

L'éclipse annulaire-totale de Soleil du 20 avril 2023.

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

Cette éclipse est la seconde éclipse annulaire-totale de Soleil du XXI^e siècle et la première éclipse de l'année 2023. Ces éclipses sont également appelées éclipses hybrides. Elles ont lieu lorsque le sommet du cône d'ombre de la Lune se trouve dans l'hémisphère terrestre se trouvant face au Soleil, donc lorsque sa distance (d) au plan de Bessel (P) est inférieure à un rayon terrestre (r).

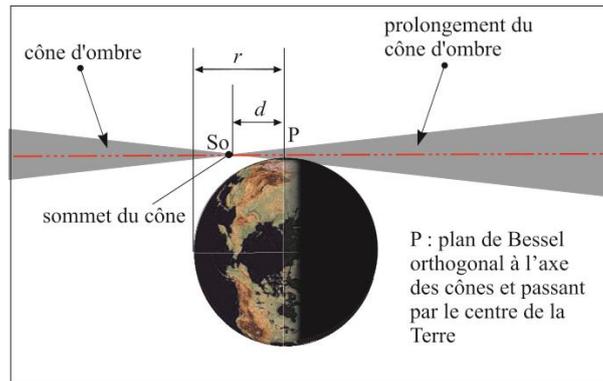


Figure 1 : Géométrie des éclipses hybrides.

À la surface de la Terre, l'éclipse commence par une éclipse annulaire, car la partie de la surface terrestre éclipsée est dans le prolongement du cône d'ombre, puis elle devient totale, car la partie de la surface terrestre éclipsée est dans le cône d'ombre, puis elle redevient annulaire lorsque la partie de la surface terrestre éclipsée retourne dans le prolongement du cône d'ombre. Ces types d'éclipses sont également appelées éclipses perlées, en effet, durant ces éclipses le diamètre apparent de la Lune est toujours très proche du diamètre apparent du Soleil, car l'intersection de la surface terrestre et du cône d'ombre reste toujours au voisinage du sommet du cône d'ombre. Or le profil du limbe lunaire n'est pas un cercle parfait, car il est constitué par une succession de montagnes et de vallées, chaque vallée laisse passer la lumière solaire et parsème le limbe lunaire de nombreux grains de Baily donnant au limbe l'aspect d'un collier de perles. De plus comme l'intersection du cône d'ombre et de la Terre se fait toujours au voisinage du sommet du cône d'ombre, les éclipses perlées sont caractérisées par une bande de centralité très étroite.

Dans le cas présent, sa largeur maximale est de l'ordre de 52 km. Comme les diamètres apparents de la Lune et du Soleil sont proches, les durées des phases centrales sont également faibles, 1 min 22 s au maximum.

Lieux d'observation

Cette éclipse est visible uniquement dans l'hémisphère sud. Elle débute dans le sud de l'océan Indien et se termine dans l'océan Pacifique au nord des îles Marshall. Elle est visible sous la forme d'une éclipse partielle sur une faible partie de l'Antarctique, notamment depuis la base Dumont d'Urville, sur l'Australie, le nord de la Nouvelle-Zélande, l'Indonésie, les Philippines, la Papouasie-Nouvelle-Guinée, le sud de la Malaisie, du Vietnam et du Cambodge et le sud-est de la Chine ainsi qu'à Taïwan.

Par contre, la bande de centralité ne passe pratiquement que sur des étendues maritimes : Sur l'océan Indien, la mer de Timor, puis l'océan Pacifique. Sur les régions continentales, elle ne passe que sur un cap Australien, sur l'est du Timor-Leste et sur la Papouasie occidentale.

Magnitude 1,0070			
	Instant en UTC	Longitude	Latitude
Commencement de l'éclipse générale	1h 34,4 min	75° 59,3' E	40° 17,5' S
Commencement de l'éclipse hybride	2h 37,1 min	63° 37,6' E	48° 27,0' S
Commencement de l'éclipse centrale	2h 37,1 min	63° 37,3' E	48° 27,3' S
Éclipse centrale à midi vrai	3h 55,6 min	120° 51,9' E	14° 50,3' S
Maximum de l'éclipse	4h 16,8 min	125° 46,8' E	9° 35,9' S
Fin de l'éclipse centrale	5h 56,6 min	178° 48,7' O	2° 55,5' N
Fin de l'éclipse hybride	5h 56,7 min	178° 49,6' O	2° 56,4' N
Fin de l'éclipse générale	6h 59,4 min	167° 13,4' E	11° 16,6' N

Durée de l'éclipse générale : 5h 25,0min.

Durée de la phase de centralité : 3h 19,6min.

Le maximum de cette éclipse a lieu quatre jours après le passage de la Lune à son périégée, le diamètre apparent de la Lune (31' 52,09") est donc moyen et proche de celui du Soleil. Il a lieu peu de temps (4,3 min) après l'instant de la nouvelle lune et avant le passage de la Lune par son nœud ascendant. Durant l'éclipse, la Lune se trouve dans la constellation du Bélier.

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

- le 16/04/2023 à 02h 23m 55s UTC : La Lune au périégée, distance à la Terre : 367968,167 km, diamètre apparent : 32,55', longitude moyenne : 332,07°.
- le 17/04/2023 à 21h 46m 11s UTC : la Lune entre dans la constellation des Poissons.
- le 18/04/2023 à 10h 55m 19s UTC : la Lune a une déclinaison nulle et croissante, ascension droite : 0h 25,2m.
- le 18/04/2023 à 12h 03m 27s UTC : la Lune entre dans la constellation de la Baleine.
- le 18/04/2023 à 21h 05m 01s UTC : la Lune entre dans la constellation des Poissons.
- le 20/04/2023 à 02h 37m 55s UTC : la Lune entre dans la constellation du Bélier.
- le 20/04/2023 à 04h 12m 32s UTC : Nouvelle lune.
- Le 20/04/2023 à 04h 16m 48s UTC : Maximum de l'éclipse.
- le 20/04/2023 à 11h 30m 31s UTC : la Lune passe par le nœud ascendant de son orbite, longitude moyenne : 34° 00,7'.

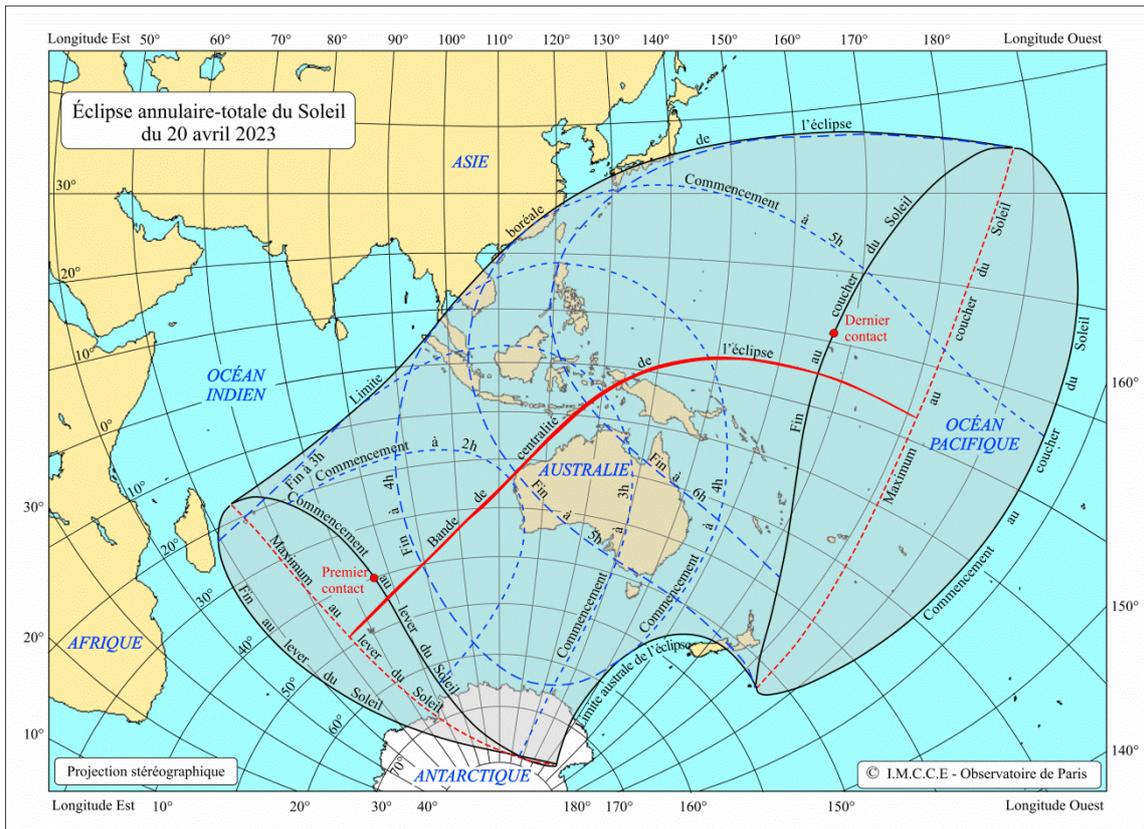


Figure 2 : Carte générale de l'éclipse © P. Rocher

Sur cette carte les lignes vertes donnent les lieux d'égales magnitudes.

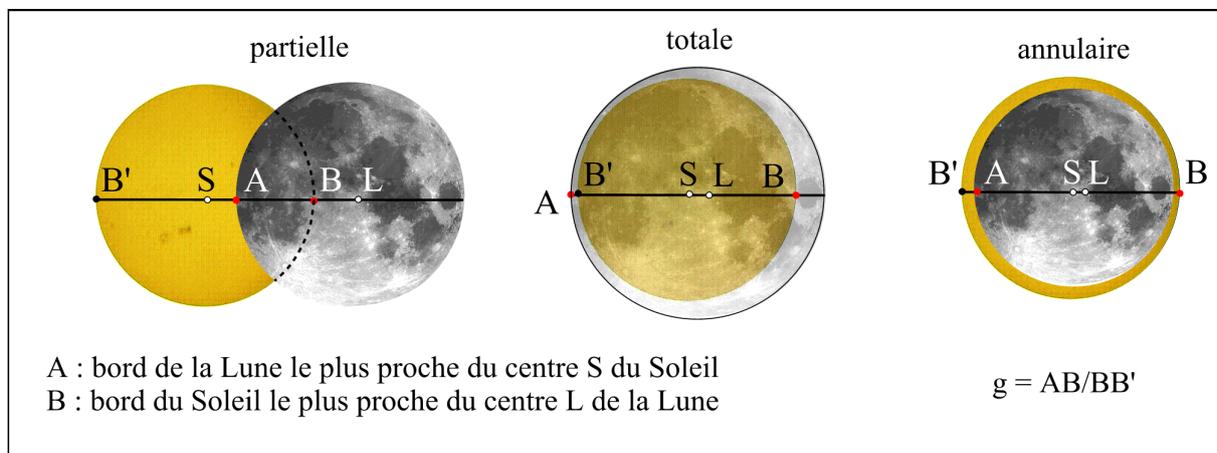


Figure 3 : Définition de la grandeur ou la magnitude g d'une éclipse de Soleil.

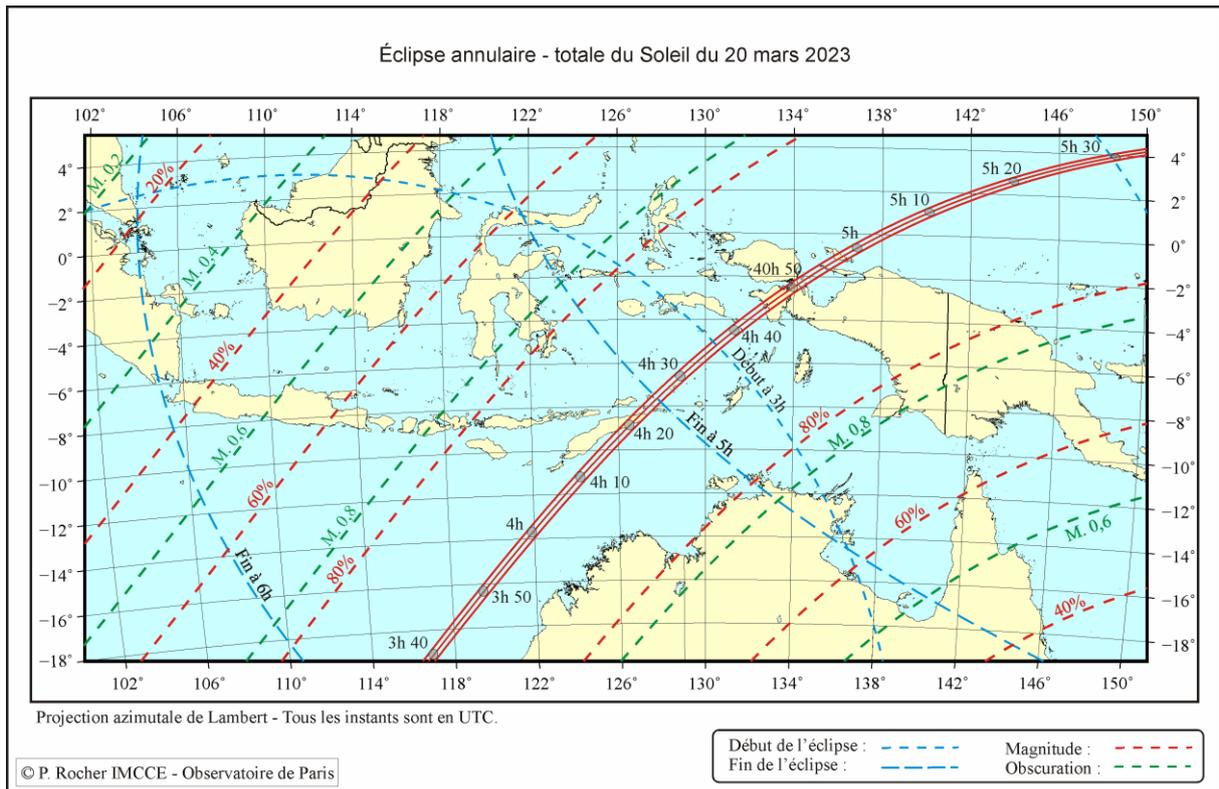


Figure 4 : Carte locale de l'éclipse contenant les parties terrestres traversées par la bande de centralité.

Sur cette carte, on donne les courbes d'égale magnitude et d'égale degré d'obscurité. On remarque que les courbes de chaque type ne se superposent pas. La connaissance du degré d'obscurité est intéressante, car elle donne la proportion de la surface solaire éclipsee, mais elle est inutile dans la bande de totalité où il est toujours égal à 100%. Par contre la connaissance de la magnitude est plus intéressante, car elle augmente dans la bande de centralité à mesure que l'on s'approche de la ligne de centralité.

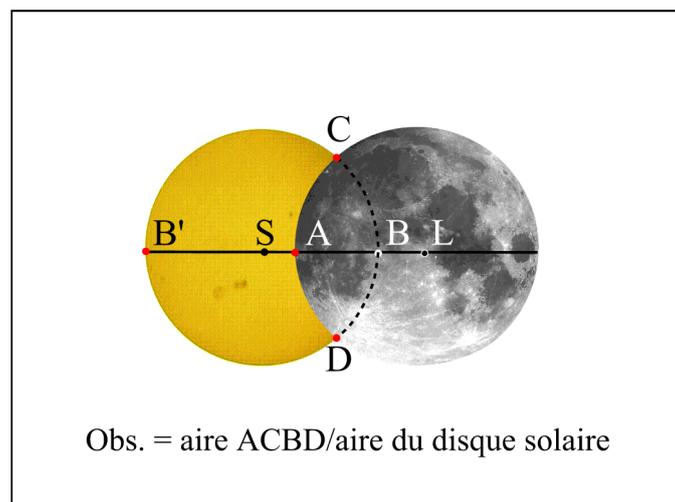


Figure 5 : Définition du degré d'obscurité d'une éclipse de Soleil.

Aspect particulier des courbes limites de cette éclipse

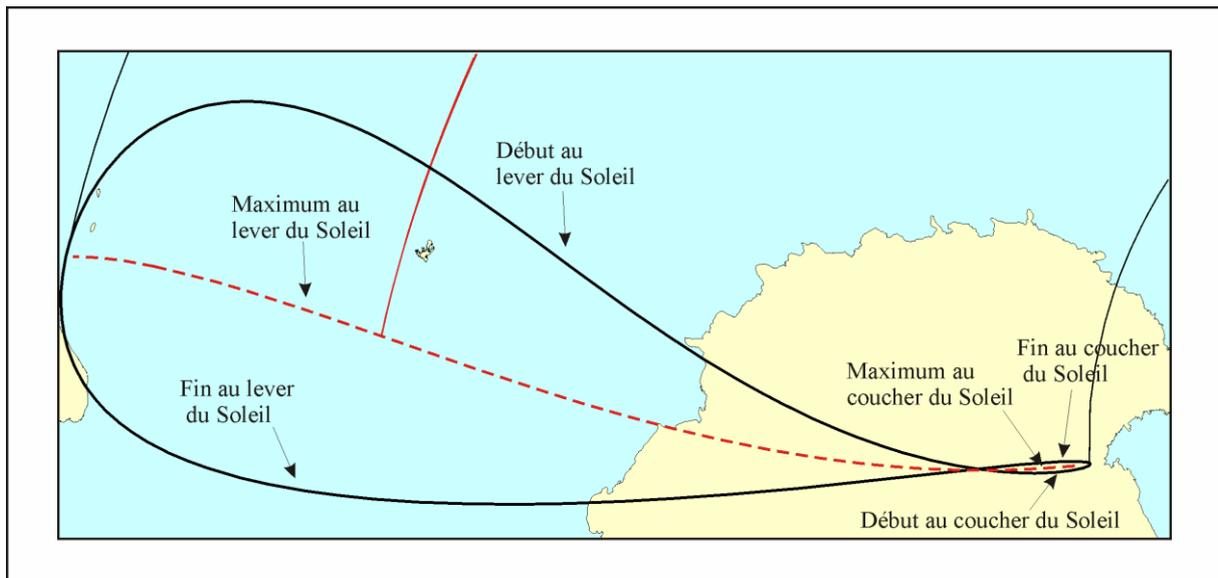


Figure 6 : Zoom sur les courbes Ouest de l'éclipse, projection orthographique.

Si l'on agrandit l'image de la partie 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 lever, une fin et un maximum au coucher du Soleil. Il est dû à la proximité de la limite de la nuit polaire de l'hémisphère sud (à environ 79° de latitude sud). 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 seconde éclipse de l'année 2023, l'éclipse annulaire du 14 octobre, sera du même type, mais proche de la région polaire arctique, le nœud se trouve alors sur les courbes de la partie est de l'éclipse.

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 pour chaque lieu d'observatoire.

Éclipse annulaire-totale du Soleil du 20 mars 2023

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

Résultats tenant compte du profil lunaire

Maximum : 4h 16m 46,26s, longitude : 125° 46,8' est, latitude : 9° 35,9' sud

Caractéristiques du profil utilisé :

Libration topocentrique de la Lune en longitude : + 4° 34' 36,492"

Libration topocentrique de la Lune en latitude : + 0°6' 46,500"

Angle du terminateur : + 89°43'51.573"

Nombre de points du profil utilisé : 5737

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

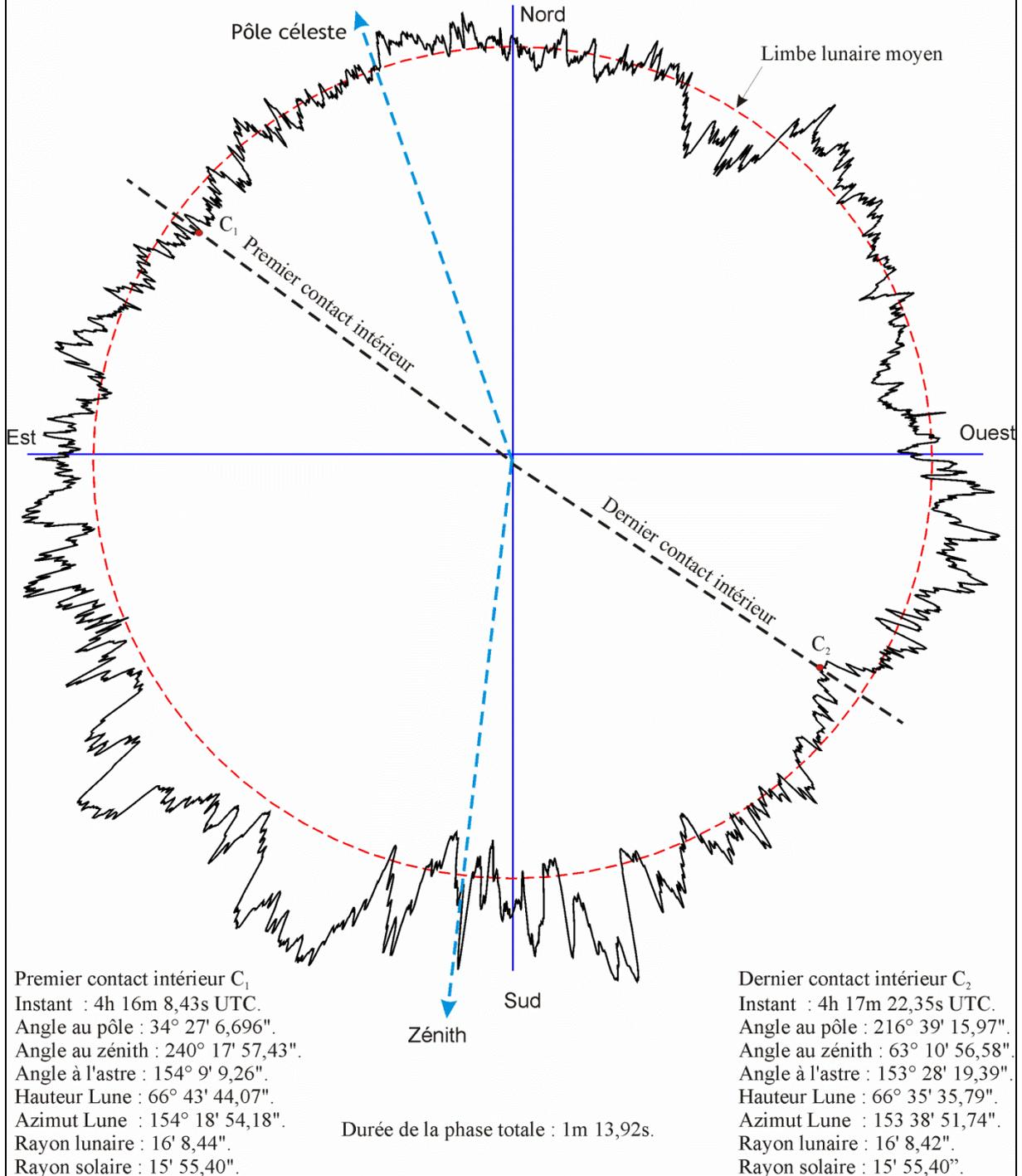


Figure 7 : Profil lunaire au maximum de l'éclipse.

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 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 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.

Cette éclipse appartient à une série longue de Saros comportant 80 éclipses successives, ce qui en fait une série importante, la valeur moyenne étant de l'ordre de 72 éclipses. Cette série commence avec l'éclipse partielle du 3 octobre 1103 (les dates antérieures à 1582 sont données dans le calendrier julien) et elle se termine par l'éclipse partielle du 21 février 2528. Elle se compose de vingt éclipses partielles, suivies de vingt-neuf éclipses annulaires, puis de trois éclipses hybrides et de neuf éclipses totales. Puis la série longue se termine avec vingt éclipses partielles.

L'éclipse du 20 avril 2023 est la dernière des trois éclipses hybrides de la série longue. On remarquera les faibles magnitudes et les courtes durées des deux éclipses hybrides précédentes.

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 hybride du 20 avril 2023 est la 52^e éclipse de la série, elle est dans la seconde moitié de la série, elle passe donc sur hémisphère sud du globe terrestre.

Liste des éclipses du Saros

N° Type	Date	Magnitude	Durée	N° Type	Date	Magnitude	Durée
1 P	03/10/1103	0.0556753		41 A	20/12/1824	0.9808741	04m09.68s
2 P	13/10/1121	0.1013871		42 A	31/12/1842	0.9820788	03m49.02s
3 P	24/10/1139	0.1370431		43 A	11/01/1861	0.9835989	03m24.94s
4 P	04/11/1157	0.1636088		44 A	22/01/1879	0.9854073	02m58.19s
5 P	15/11/1175	0.1822622		45 A	01/02/1897	0.9875114	02m29.15s
6 P	25/11/1193	0.1955273		46 A	14/02/1915	0.9898511	01m58.79s
7 P	07/12/1211	0.2040753		47 A	24/02/1933	0.9924594	01m26.81s
8 P	17/12/1229	0.2133443		48 A	07/03/1951	0.9952046	00m54.56s
9 P	28/12/1247	0.2215079		49 A	18/03/1969	0.9981352	00m21.09s
10 P	08/01/1266	0.2351759		50 A-T	29/03/1987	1.0010831	00m12.25s
11 P	19/01/1284	0.2527226		51 A-T	08/04/2005	1.0041093	00m46.79s
12 P	29/01/1302	0.2806855		52 A-T	20/04/2023	1.0070214	01m20.88s
13 P	10/02/1320	0.3155830		53 T	30/04/2041	1.0098791	01m55.44s
14 P	20/02/1338	0.3634572		54 T	11/05/2059	1.0125189	02m28.37s
15 P	02/03/1356	0.4227541		55 T	22/05/2077	1.0149450	02m58.72s
16 P	13-14/03/1374	0.4960096		56 T	02/06/2095	1.0170328	03m23.51s
17 P	24/03/1392	0.5812115		57 T	13/06/2113	1.0187729	03m40.63s
18 P	04/04/1410	0.6802309		58 T	24-25/06/2131	1.0200792	03m47.48s
19 P	14/04/1428	0.7919835		59 T	05/07/2149	1.0208536	03m42.07s
20 P	26/04/1446	0.9151909		60 T	16/07/2167	1.0209530	03m23.23s

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.

21 A	06/05/1464	0.9687352	04m13.41s	61 T	26-27/07/2185	1.0188858	02m29.78s
22 A	17/05/1482	0.9713943	04m10.90s	62 P	08/08/2203	0.8899681	
23 A	27-28/05/1500	0.9734478	04m09.24s	63 P	18/08/2221	0.7674728	
24 A	08/06/1518	0.9751722	04m09.54s	64 P	29/08/2239	0.6530456	
25 A	18/06/1536	0.9765511	04m12.51s	65 P	09/09/2257	0.5480513	
26 A	29/06/1554	0.9776688	04m17.82s	66 P	20/09/2275	0.4526913	
27 A	09-10/07/1572	0.9784915	04m24.91s	67 P	30/09/2293	0.3696661	
28 A	31/07/1590	0.9790770	04m33.00s	68 P	13/10/2311	0.2984567	
29 A	10/08/1608	0.9794504	04m40.76s	69 P	23/10/2329	0.2382220	
30 A	21-22/08/1626	0.9795980	04m48.41s	70 P	03/11/2347	0.1902642	
31 A	01/09/1644	0.9796089	04m54.31s	71 P	14/11/2365	0.1524769	
32 A	12/09/1662	0.9794642	04m59.41s	72 P	25/11/2383	0.1259108	
33 A	22/09/1680	0.9792953	05m02.21s	73 P	05/12/2401	0.1048122	
34 A	03-04/10/1698	0.9790468	05m04.28s	74 P	17/12/2419	0.0924245	
35 A	15/10/1716	0.9788693	05m03.95s	75 P	27/12/2437	0.0822480	
36 A	26/10/1734	0.9787351	05m02.14s	76 P	08/01/2456	0.0758232	
37 A	05-06/11/1752	0.9787569	04m57.53s	77 P	18/01/2474	0.0671400	
38 A	17/11/1770	0.9789185	04m50.74s	78 P	29/01/2492	0.0580362	
39 A	27/11/1788	0.9793200	04m40.43s	79 P	10/02/2510	0.0428888	
40 A	09-10/12/1806	0.9799572	04m26.89s	80 P	21/02/2528	0.0216542	

Ce tableau donne les éclipses de la série longue de Saros contenant l'éclipse du 20 avril 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 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).

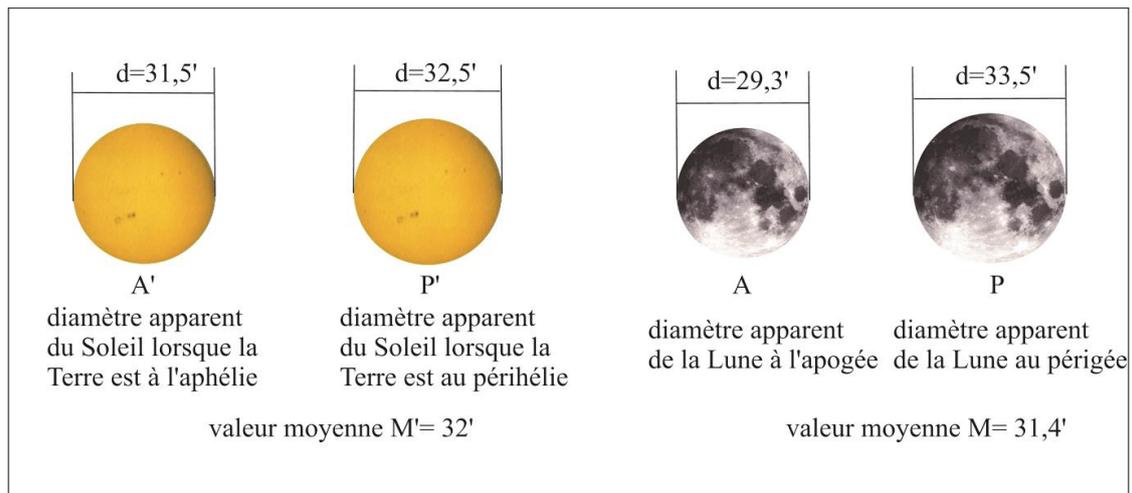


Figure 8 : Valeurs extrêmes et moyennes des diamètres apparents du Soleil et de la Lune.

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 JI.

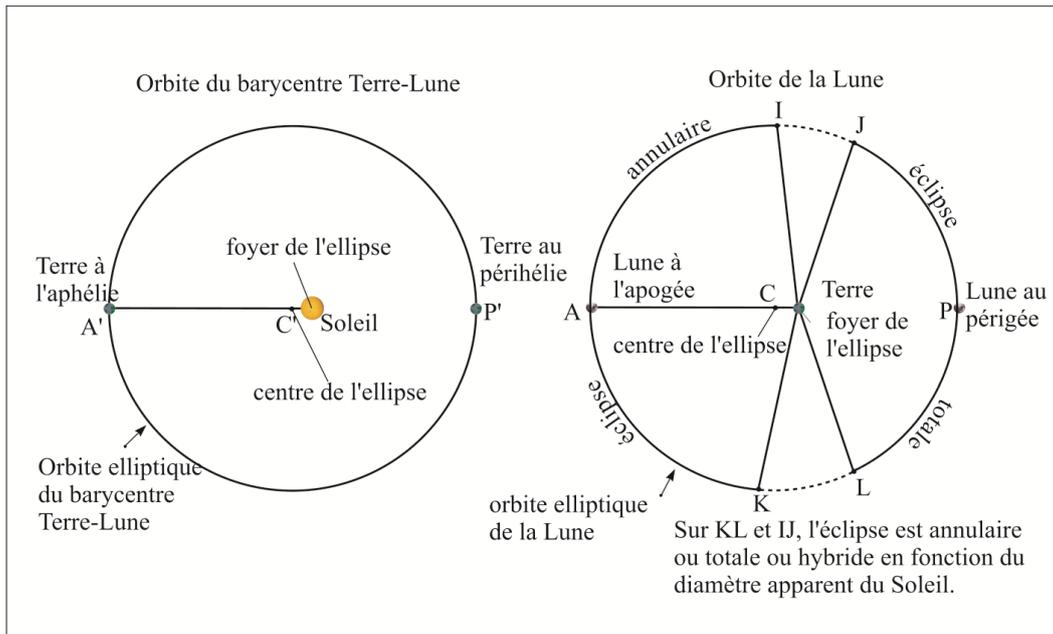


Figure 9 : Orbites osculatrices de la Terre et de la Lune.

En raison de l'écart entre un saros et 239 révolutions anomalistiques, la distance angulaire de la nouvelle lune à son 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 que 202° 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° , 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 80 éclipses, l'arc est donc d'environ 224° et l'arc des éclipses centrales ne comporte que 41 éclipses, valeur assez éloignée de la valeur moyenne, l'arc fait environ 115° .

En utilisant la figure ci-dessus, on comprend que pour notre série longue, le début des éclipses centrales se trouve sur la partie AK, donnant une série d'éclipses annulaires dont les magnitudes sont croissantes, puis elle traverse l'arc KL, donnant quelques éclipses annulaires puis les trois éclipses hybrides puis quelques éclipses totales et elle se termine sur l'arc LJ, donnant la fin des éclipses totales de magnitudes croissantes, sauf pour la dernière.

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.