



Or à la pleine lune, la Lune se lève lorsque le Soleil se couche et elle se couche lorsque le Soleil se lève, la Lune est donc visible toute la nuit.

L'éclipse sera visible en totalité sur une grande partie de l'océan Pacifique, sur l'Amérique du Nord et sur l'Est de la Russie. Seule l'entrée dans la pénombre sera visible en France métropolitaine, mais la phase partielle et la sortie de la pénombre seront visibles en Nouvelle-Calédonie. La phase partielle durera 3h 28m 24,96s. À l'instant du maximum la Lune se trouve dans la constellation du Taureau. Les instants sont donnés en UTC.

Circonstances de l'éclipse Magnitude : 0,9741696				
Phases	Instant en UTC	Longitude	Latitude	Angle au pôle
Entrée dans la pénombre	6h 02,1min	95° 25,2' O	18° 40,5' N	54,3°
Entrée dans l'ombre	7h 18,7min	113° 58,8' O	18° 52,8' N	43,5°
Maximum de l'éclipse	9h 02,9min	139° 14,6' O	19° 09,3' N	161,0°
Sortie de l'ombre	10h 47,1min	164° 29,8' O	19° 25,5' N	278,6°
Sortie de la pénombre	12h 03,7min	176° 56,1' E	19° 37,2' N	267,8°

Durée totale de l'éclipse : 6h 1m 35.91s.

Durée de la phase de pénombre : 2h 33m 10.95s.

Durée de la phase partielle : 3h 28m 24.96s.

Pour chaque début et fin de phase, on donne l'angle au pôle des points de contact, les points de contact sont les points de tangence entre le disque lunaire et les cônes d'ombre et de pénombre. L'angle au pôle est l'angle formé par la direction du pôle Nord céleste et la demi-droite issue du centre lunaire et passant par le point de tangence, cet angle est compté positivement vers l'ouest (donc dans le sens direct). On donne également les coordonnées géographiques des lieux où la Lune est au zénith à l'instant de chaque phase.

### Éléments à l'instant du maximum de l'éclipse.

Maximum de l'éclipse le 19 novembre 2021 à 9h 2m 55,48s UTC

Ascension droite du centre de l'ombre : 3h 39m 50,86s.

Déclinaison du centre de l'ombre : 19° 32' 33,06".

Diamètre du cône d'ombre : 77,22'.

Diamètre du cône de pénombre : 141,96'.

Parallaxe équatoriale du Soleil : 8,90".

Ascension droite du centre de la Lune : 3h 40m 24,76s.

Déclinaison du centre de la Lune : 19° 9' 15.20".

Diamètre apparent de la Lune : 29,48'.

Parallaxe équatoriale de la Lune : 54' 6,06".

## Éclipse partielle de Lune du 19 novembre 2021

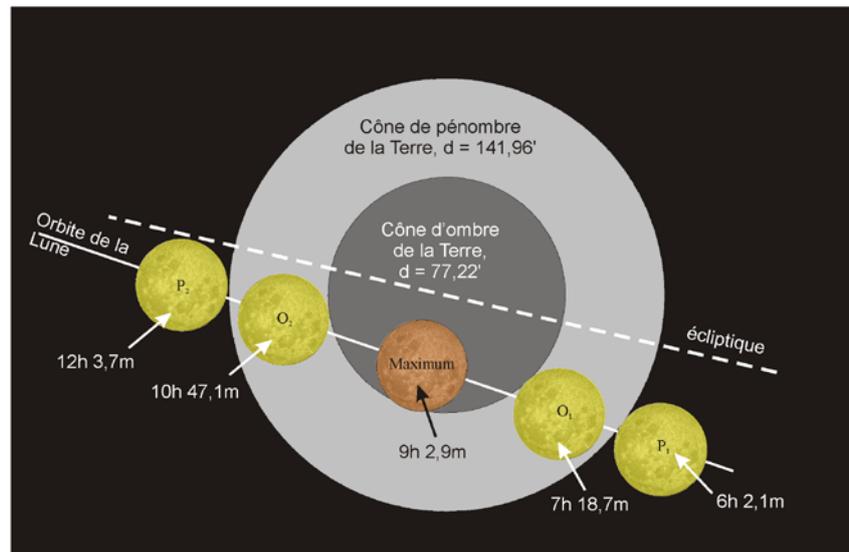


Figure 2 : Évolution des positions de la Lune durant les différentes phases de l'éclipse.

La figure ci-dessus représente les différentes phases de l'éclipse, les instants sont donnés en Temps universel coordonné, il faut ajouter deux heures pour avoir l'heure légale en France métropolitaine.

Cette éclipse a lieu deux jours avant le passage de la Lune à son apogée, le diamètre apparent de la Pleine Lune est donc faible ( $29' 33,80''$ ). Cela participe également à la durée de l'éclipse, la vitesse angulaire de la Lune est lente, car proche de son apogée. L'éclipse a lieu avant le passage de la Lune par son nœud ascendant, durant l'éclipse la Lune se trouve dans la constellation du Taureau.

Voici la suite des événements relatifs à la Lune au voisinage de la journée du 19 novembre :

- le 19/11/2021 à 08h 57m 28s UTC : Pleine lune.
- le 19/11/2021 à 09h 02m 55s UTC : Maximum de l'éclipse de Lune.
- le 19/11/2021 à 17h 59m 02s UTC : La Lune passe par le nœud ascendant de son orbite, longitude moyenne :  $61^{\circ} 42,0'$ .
- le 21/11/2021 à 02h 12m 46s UTC : La Lune à l'apogée, distance à la Terre : 406 279,282 km, diamètre apparent :  $29,49'$ , longitude moyenne :  $77,55^{\circ}$ .

### La série de Saros de cette éclipse de Lune

Le Saros est une période de récurrence des éclipses de 6585,32 jours correspondant à 223 révolutions synodiques moyennes de la Lune, qui est très proche de 242 révolutions draconitiques moyennes de la Lune et de 239 révolutions anomalistiques moyennes de la Lune. Elle a la propriété de ramener la Pleine Lune proche du même nœud de l'orbite lunaire et proche de la même position de la Lune sur son orbite par rapport à la direction de son périégée. Cette période a été nommée, à tort, Saros par Edmond Halley. On peut donc construire des séries longues d'éclipses séparées par un Saros. Ces séries longues traduisent l'évolution des éclipses homogènes due au fait que ces trois quantités ne sont pas identiques.

Cette éclipse appartient à une série longue de Saros comportant 70 éclipses successives. Cette série commence avec l'éclipse par la pénombre du 18 juillet 1228 (les dates antérieures à 1582 sont données dans le calendrier julien) et se termine par l'éclipse par la pénombre du 19 août 2472. Elle se compose de 22 éclipses par la pénombre (dont une totale par la pénombre en 1607), suivies de 8 éclipses partielles par l'ombre, puis de 14 éclipses totales, puis 19 éclipses partielles par l'ombre et se termine par 7 éclipses par la pénombre. Ce sont toutes des éclipses au nœud ascendant de la Lune, donc les latitudes célestes successives de la Lune décroissent des latitudes positives aux latitudes négatives, les positions de la Lune par rapport aux cônes d'ombre et de pénombre de la Terre vont donc se déplacer dans cette série du nord au sud.

En réalité, dans le propos précédent, les directions nord et sud désignent le nord et le sud par rapport à l'écliptique et non pas par rapport à l'équateur terrestre, il faut bien se rappeler que l'écliptique est incliné par rapport à l'équateur terrestre.

L'éclipse du 19 novembre 2021 est la première éclipse partielle qui suit la série des 14 éclipses totales de la série longue, ce qui explique la durée de la phase partielle et la magnitude de l'éclipse et la trajectoire de la Lune est donc très proche du bord sud du cône d'ombre. L'éclipse totale de la série qui a eu la phase de totalité la plus longue est celle du 13 août 1859. On peut également remarquer la forte dissymétrie dans la répartition des différents types d'éclipse de cette série longue.

### L'évolution des séries longues au nœud ascendant

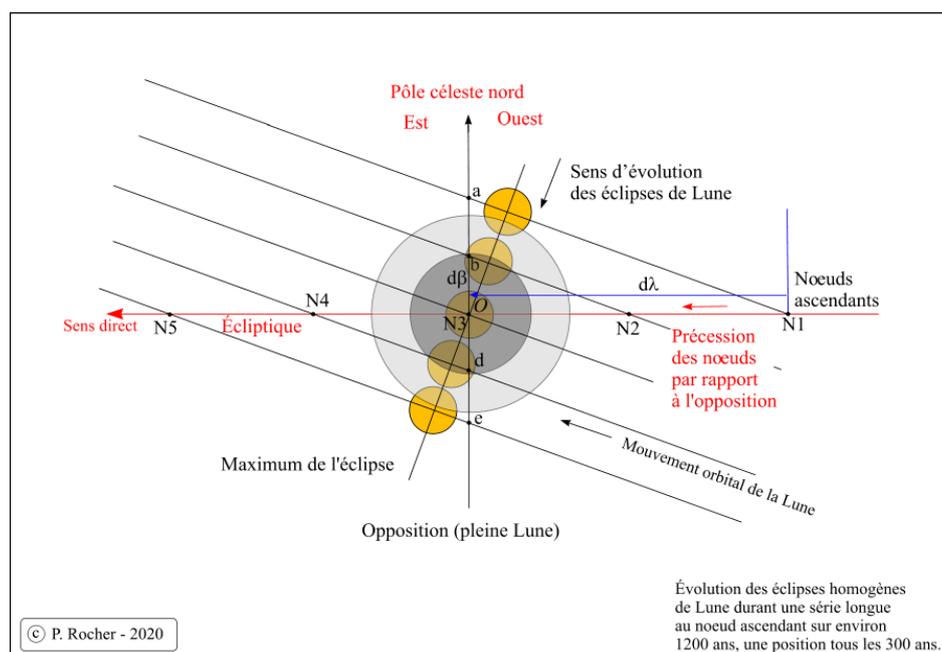


Figure 3 : Projection orthogonale de la sphère céleste écliptique.

La figure ci-dessus montre l'évolution des éclipses homologues de Lune durant une suite longue de saros au nœud ascendant, cette évolution est montrée dans le repère céleste écliptique vu depuis le centre de la Terre, les longitudes célestes évoluent donc dans le sens direct de la droite (ouest) vers la gauche (est). Pour rendre l'explication plus compréhensive, la figure n'est pas à l'échelle, notamment l'inclinaison de l'orbite lunaire ( $\sim 5^\circ$ ) et les tailles des cônes d'ombre et pénombre ainsi que le diamètre apparent de la Lune sont fixes. Sur cette figure, nous avons figé la longitude de la pleine Lune (opposition), ce sont donc les positions du nœud descendant qui vont varier dans le sens direct par rapport à l'opposition au cours du temps. Nous avons représenté la position du nœud ascendant environ tous les 300 ans ainsi

que les maxima des éclipses correspondantes c'est-à-dire les distances minimales entre le centre de la Lune et le centre des cônes. Le décalage entre la position de la pleine Lune et la position de la ligne des nœuds entre deux saros provient de l'écart en temps entre 223 lunaisons (6585,321314 jours) et 242 révolutions draconitiques (6 585,537 419 jours), cet écart est en moyenne de l'ordre 52 minutes de temps. Durant ces 52 minutes, la Lune sur son orbite se déplace en moyenne par rapport à son nœud de  $-28,67'$ . Donc si l'on fige la position de la Lune à l'opposition le nœud se déplace par rapport à la Lune dans le sens direct par rapport à La Lune. Compte tenu de l'inclinaison de l'orbite lunaire, ce décalage se traduit par un décalage moyen de la longitude céleste du nœud de  $\delta\lambda = 28,55'$  et par une variation moyenne de la latitude céleste de la Lune de  $\delta\beta = 2,64'$  (ces distances ne sont pas constantes dans la projection orthogonale).

Au début de la suite longue d'éclipses de Lune, le nœud ascendant se trouve en position N1, à l'ouest de l'opposition, la Lune va donc passer d'ouest en est devant le bord nord du cône de pénombre, les premières éclipses de la suite seront des éclipses par la pénombre passant au bord nord de la pénombre (éclipsant donc le sud de la Lune). 300 ans plus tard, le nœud descendant de l'orbite lunaire est en N2, la Lune rencontre le bord nord du cône d'ombre, les éclipses de Lune sont donc partielles par l'ombre. 300 ans plus tard, le nœud descendant N3 est proche de la longitude de l'opposition, c'est le cas idéal d'une éclipse totale centrale, puis nous avons une situation symétrique par rapport à l'opposition, c'est-à-dire un nœud en N4 correspondant à des éclipses partielles par l'ombre, mais au sud du cône d'ombre (éclipsant le nord de la Lune), puis des éclipses par la pénombre au sud du cône de pénombre qui prennent fin avec la dernière position N5 du nœud. On remarque que lorsque le nœud ascendant est à l'ouest de l'opposition le maximum de l'éclipse a lieu avant l'opposition, et que lorsque le nœud ascendant est à l'est de l'opposition le maximum de l'éclipse a lieu après l'opposition. Donc la connaissance de l'instant du maximum de l'éclipse, de l'instant de l'opposition et de la nature du nœud (ascendant) permet de situer la position de l'éclipse dans la suite longue d'éclipses homologues et la partie de la Lune éclipsée. Ou bien, inversement, la connaissance de la position d'une éclipse dans sa suite longue et la nature du nœud permet de savoir si le maximum de l'éclipse a lieu avant ou après l'opposition et de connaître la partie de la Lune éclipsée.

Ainsi pour l'éclipse du 19 novembre 2021, la pleine Lune a lieu avant le passage par le nœud ascendant, donc l'éclipse fait partie de la seconde moitié de la série longue et la Lune passe au sud du cône d'ombre qui cache une grande partie de la Lune sauf son bord sud.

Le tableau donne les éclipses de la série longue de Saros contenant l'éclipse du 19 novembre 2021. Pour les types d'éclipse :

- P : désigne les éclipses par la pénombre,
- P(T) : désigne les éclipses totales par la pénombre,
- O : désigne les éclipses partielles par l'ombre,
- T : désigne les éclipses totales,
- La durée indiquée est celle de la phase de totalité.

N° Type	Date	Magnitude	Durée	N° Type	Date	Magnitude	Durée
1 P	18/07/1228	0.0985124		36 T	13/08/1859	1.8151453	01h46m28s
2 P	30/07/1246	0.2148131		37 T	23/08/1877 - 24/08/1877	1.6849422	01h44m56s
3 P	09/08/1264	0.3247640		38 T	04/09/1895	1.5530100	01h40m31s
4 P	20/08/1282	0.4282849		39 T	15/09/1913	1.4303608	01h33m29s
5 P	30/08/1300 - 31/08/1300	0.5214914		40 T	26/09/1931	1.3208135	01h24m14s
6 P	11/09/1318	0.6040677		41 T	06/10/1949 - 07/10/1949	1.2236222	01h12m50s
7 P	21/09/1336	0.6748714		42 T	18/10/1967	1.1425732	00h59m45s
8 P	02/10/1354 - 03/10/1354	0.7358987		43 T	28/10/1985	1.0735648	00h43m52s
9 P	13/10/1372	0.7833198		44 T	08/11/2003 - 09/11/2003	1.0178434	00h21m58s
10 P	24/10/1390	0.8203444		45 O	19/11/2021	0.9741696	
11 P	03/11/1408 - 04/11/1408	0.8468384		46 O	30/11/2039	0.9426230	
12 P	15/11/1426	0.8655061		47 O	10/12/2057 - 11/12/2057	0.9180827	
13 P	25/11/1444	0.8764548		48 O	22/12/2075	0.9012448	
14 P	06/12/1462 - 07/12/1462	0.8829407		49 O	01/01/2094	0.8871119	
15 P	17/12/1480	0.8876077		50 O	13/01/2112 - 14/01/2112	0.8764247	
16 P	28/12/1498	0.8913680		51 O	24/01/2130	0.8619164	
17 P	07/01/1517 - 08/01/1517	0.8974440		52 O	04/02/2148	0.8465358	
18 P	19/01/1535	0.9094549		53 O	14/02/2166 - 15/02/2166	0.8232417	
19 P	29/01/1553	0.9298759		54 O	26/02/2184	0.7930105	
20 P	09/02/1571 - 10/02/1571	0.9584798		55 O	09/03/2202	0.7505020	
21 P	02/03/1589	0.9980780		56 O	19/03/2220 - 20/03/2220	0.6998463	
22 P(T)	13/03/1607	1.0513048		57 O	31/03/2238	0.6361460	
23 O	23/03/1625 - 24/03/1625	0.0526847		58 O	10/04/2256	0.5605563	
24 O	04/04/1643	0.1343904		59 O	21/04/2274 - 22/04/2274	0.4722835	
25 O	14/04/1661	0.2289628		60 O	02/05/2292	0.3734307	
26 O	25/04/1679 - 26/04/1679	0.3381729		61 O	14/05/2310	0.2642900	
27 O	06/05/1697	0.4584301	00h27m21s	62 O	24/05/2328	0.1460106	
28 O	18/05/1715	0.5908666	01h01m08s	63 O	05/06/2346	0.0208978	
29 O	28/05/1733	0.7327001	01h17m31s	64 P	15/06/2364	0.9191543	
30 O	08/06/1751 - 09/06/1751	0.8822303	01h27m36s	65 P	26/06/2382	0.7801520	
31 T	19/06/1769	1.0375130	01h33m46s	66 P	06/07/2400 - 07/07/2400	0.6408474	
32 T	30/06/1787	1.1949878	01h37m29s	67 P	18/07/2418	0.5020169	
33 T	11/07/1805 - 12/07/1805	1.3556761	01h39m29s	68 P	28/07/2436	0.3678627	
34 T	23/07/1823	1.5127554	01h40m21s	69 P	08/08/2454	0.2364588	
35 T	02/08/1841	1.6681410	01h40m30s	70 P	19/08/2472	0.1142515	