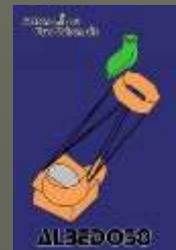
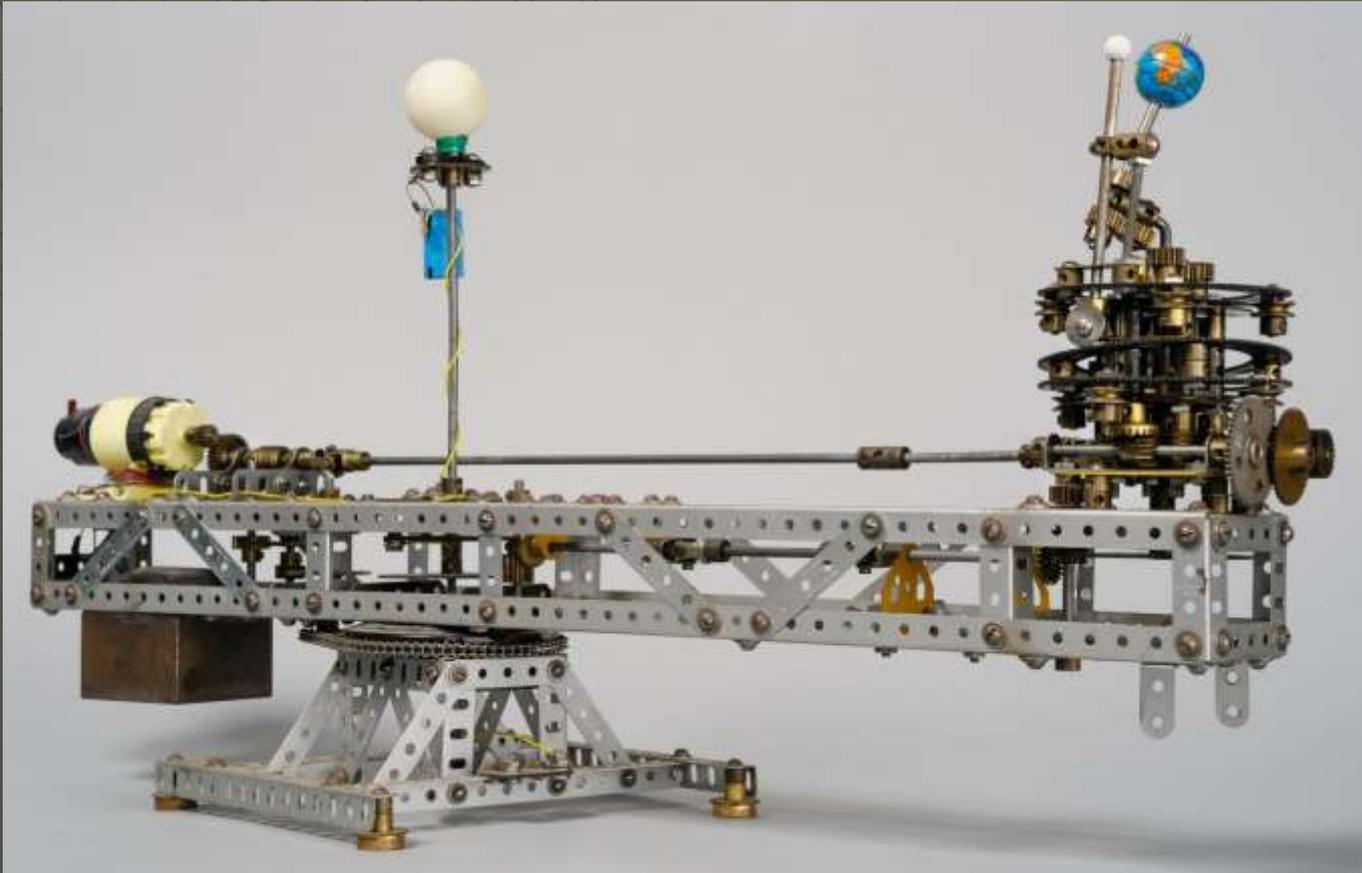


Quand les Mondes s'alignent: les Eclipses

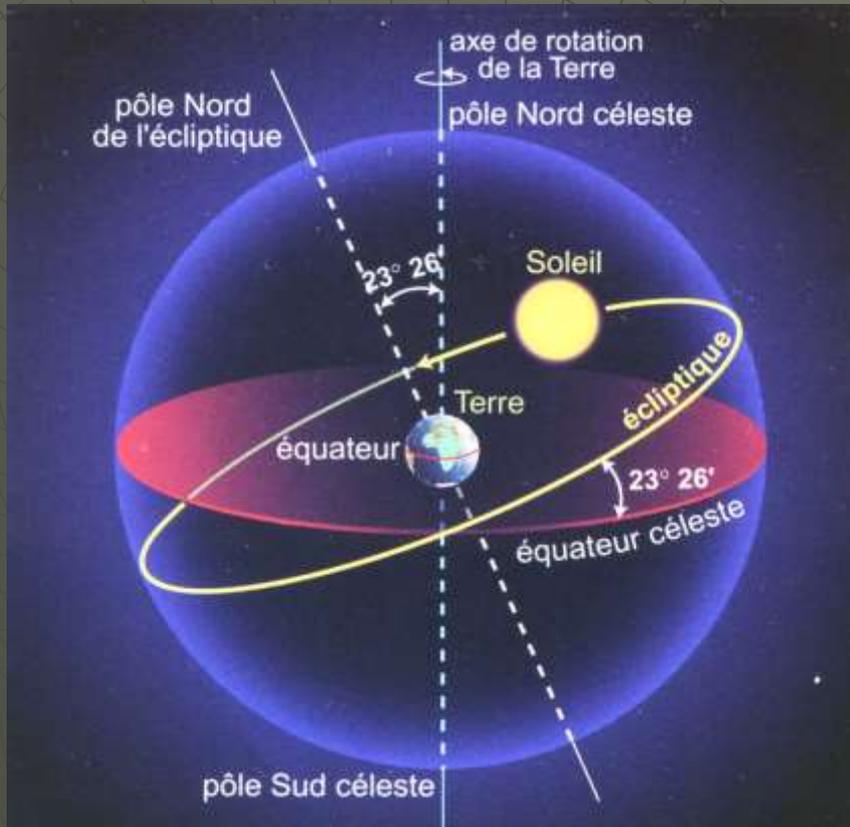


JL Mainardi
13 Mai 2022
Albedo 38

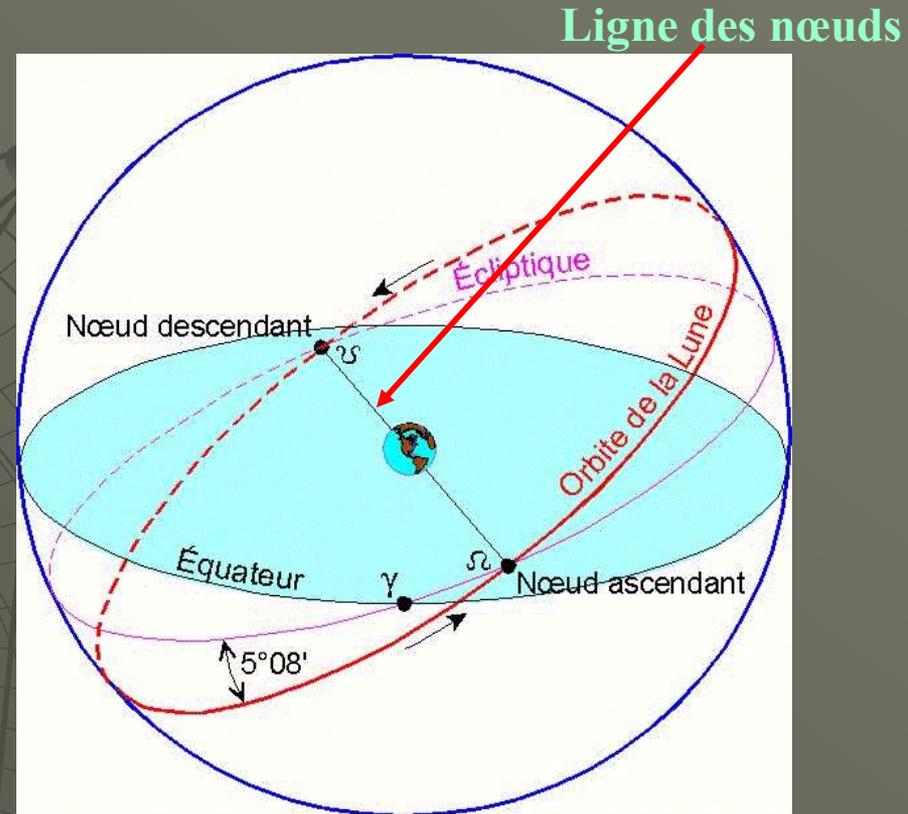
Un peu de Mécanique Céleste



Mouvement du Soleil et de la Lune dans un référentiel géocentrique



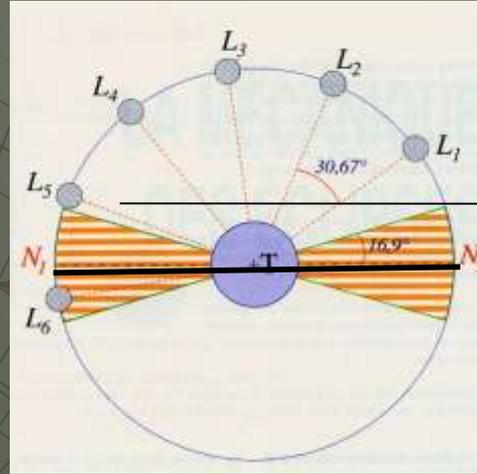
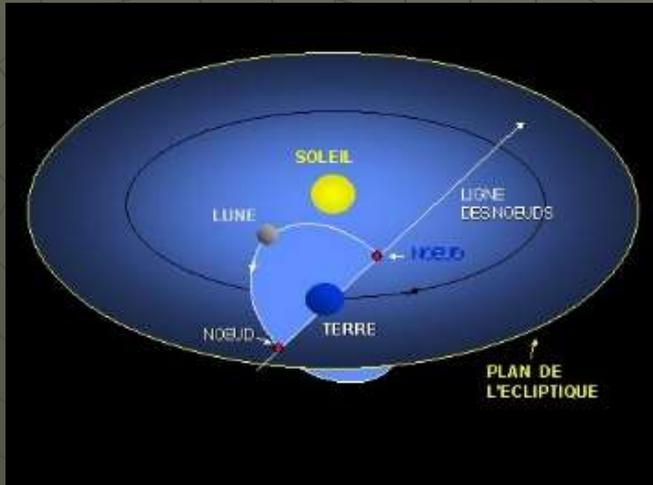
Le Plan fondamental :
Le plan de l'écliptique



L'intersection du plan de l'orbite lunaire et du plan de l'écliptique : la ligne des noeuds

L'Alignement des mondes : 2 conditions

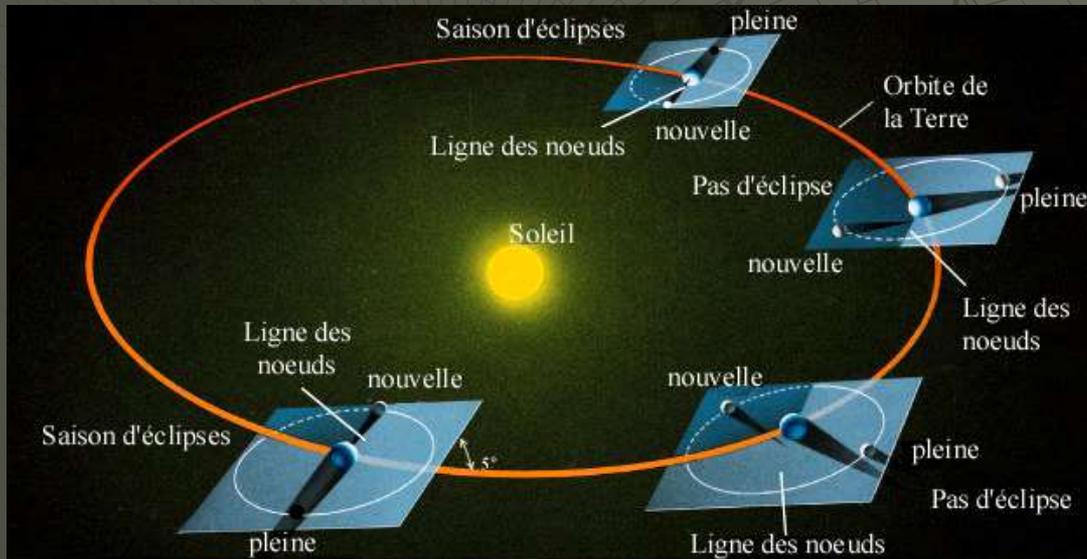
la ligne des nœuds vers le soleil et la lune à proximité d'un nœud



Direction de la ligne des nœuds

Plan de l'orbite lunaire

- La ligne des nœuds pointe vers le Soleil tous les 173 jours
- A chaque lunaison les nouvelles lunes L1, L2, L3 sont décalées de $30,67^\circ$ dans le plan de l'orbite lunaire
- Pour qu'il y ait une éclipse il faut que la Nouvelle Lune passe dans un des secteurs en orange (angle de $31,33^\circ$)
- Ce passage a lieu environ tous les 6 lunaisons (177 j): les saisons d'éclipse sont décalées de # 6 mois



La périodicité des éclipses- Le Saros

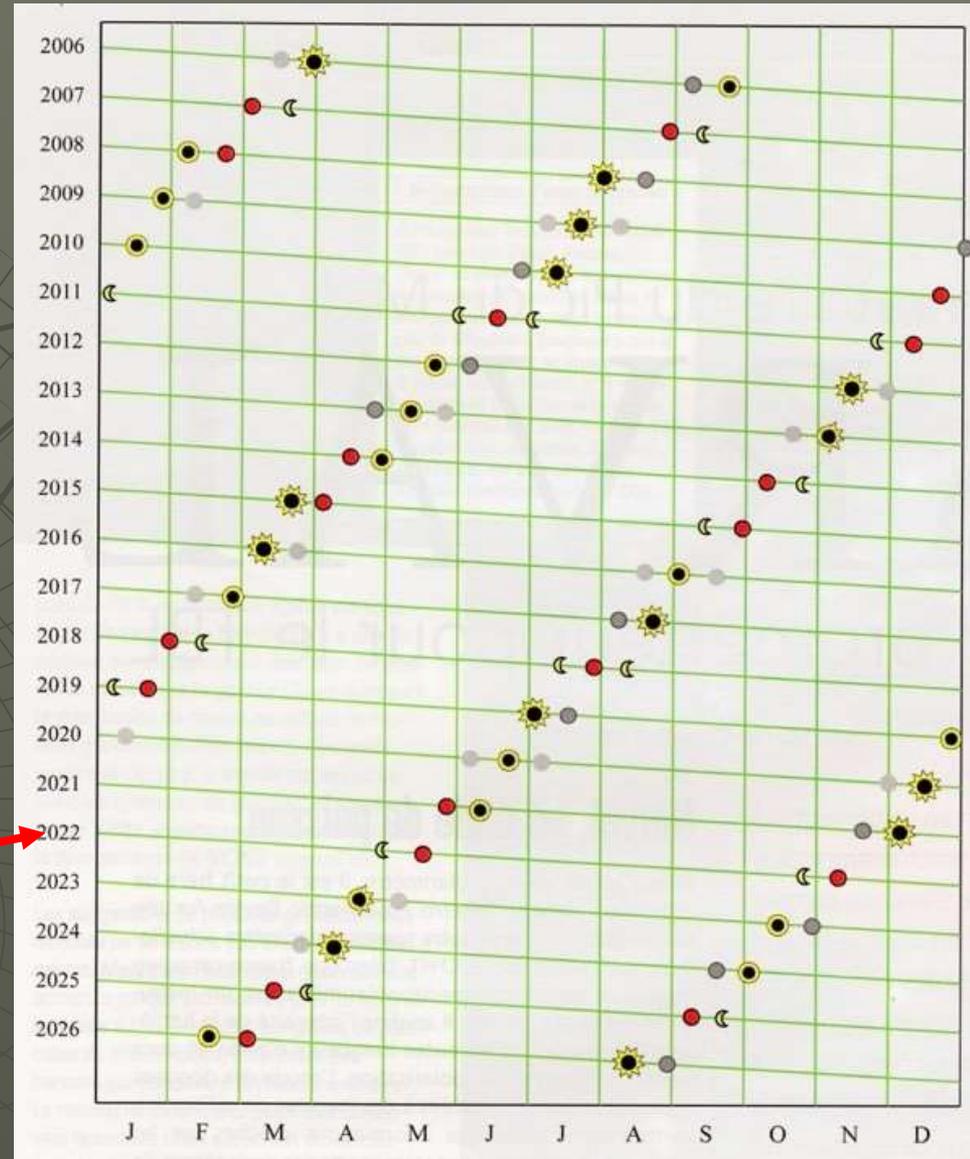
- A chaque saison des éclipses il y a au moins une éclipse de Soleil et au moins une éclipse de Lune (lors des syzygies) soit au minimum 2 éclipses (4 par an).
Dans la réalité il y a entre 4 et 7 éclipses par an réparties en 2 saisons

- Tous les 6585,32 jours, les saisons d'éclipses se répètent de façon identique

Cette période de répétition s'appelle le Saros

1 saros = 6585,32 j = 18 ans, 9 ou 10 jours et 1/3 j

Il y a plusieurs Saros imbriqués les uns dans les autres

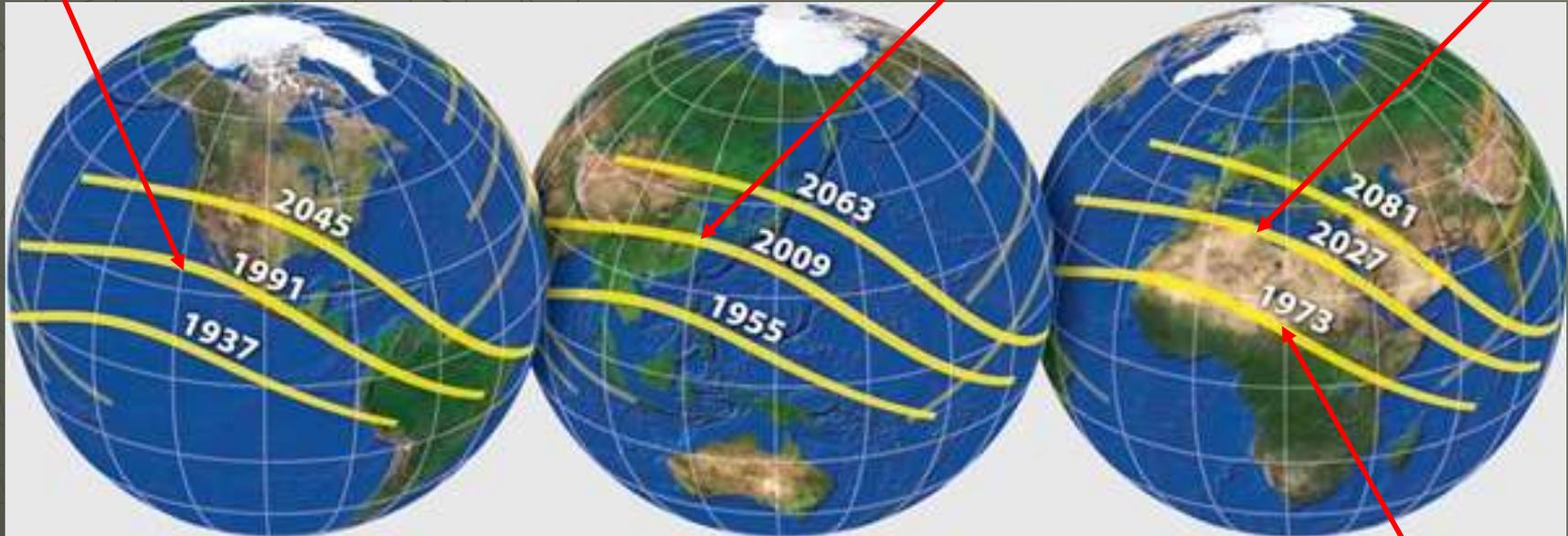


Exemple d'éclipses d'un même Saros

6 min 53 sec

6 min 38 sec

6 min 22 sec



Saros des éclipses de durée de Totalité > 6 min

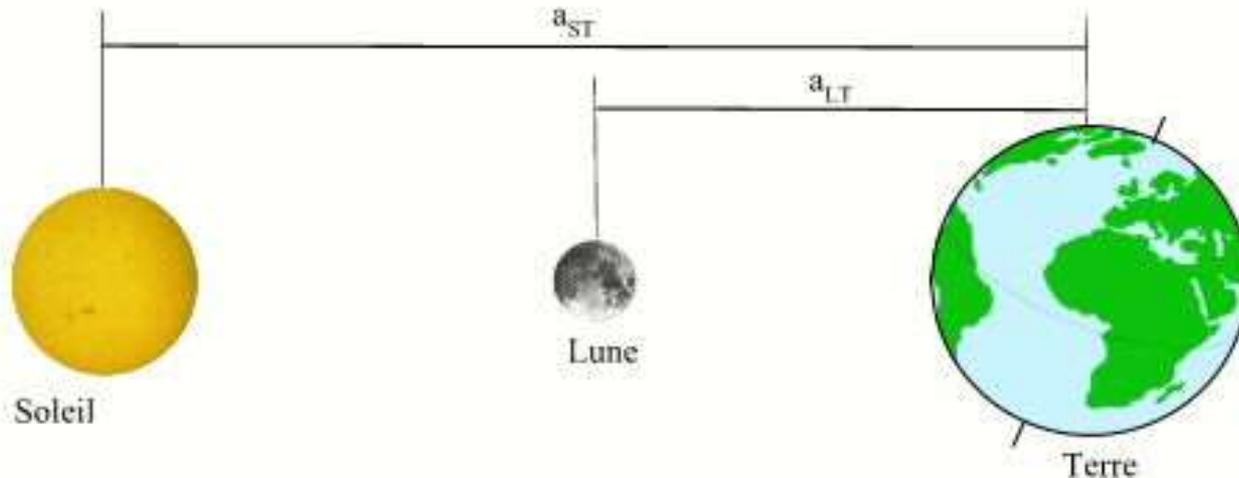
→ tous les 18 ans, mais décalage de 120° vers l'Est sur la surface terrestre

[plus longue durée = 7 min 34 sec le 16 Juillet 2186]

7 min 4 sec-Eclipse de Concorde



Les dimensions respectives



$r_S = 696\,000 \text{ km}$
 $a_{ST} = 149\,598\,023 \text{ km}$

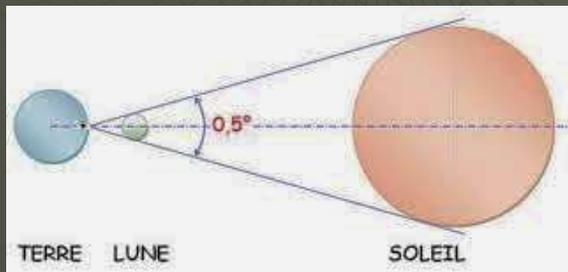
$r_S = 109 r_T$
 $a_{ST} = 23454,78 r_T$

$r_L = 1\,737,4 \text{ km}$
 $a_{LT} = 383\,398 \text{ km}$

$r_L = 0,27 r_T$
 $a_{LT} = 60,11 r_T$

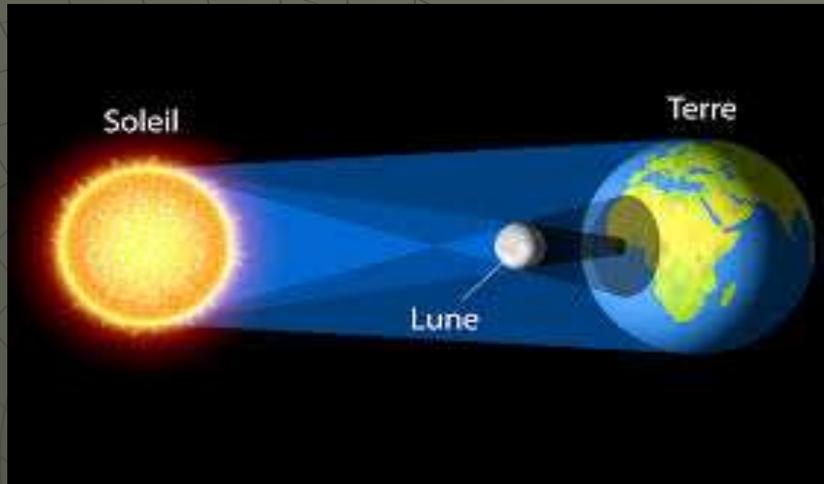
$r_T = 6\,378,136\,3 \text{ km}$

$r_S/r_L \# 400 \times$
 $a_{st} / a_{lt} \# 390 \times$



- **Vus de la Terre, le Soleil et la Lune ont même diamètre angulaire (# 30 ' d'arc)**
- **La Lune s'éloigne de la Terre (*ralentissement de la rotation terrestre*) : à terme il n'y aura plus d'éclipses totales !!!**

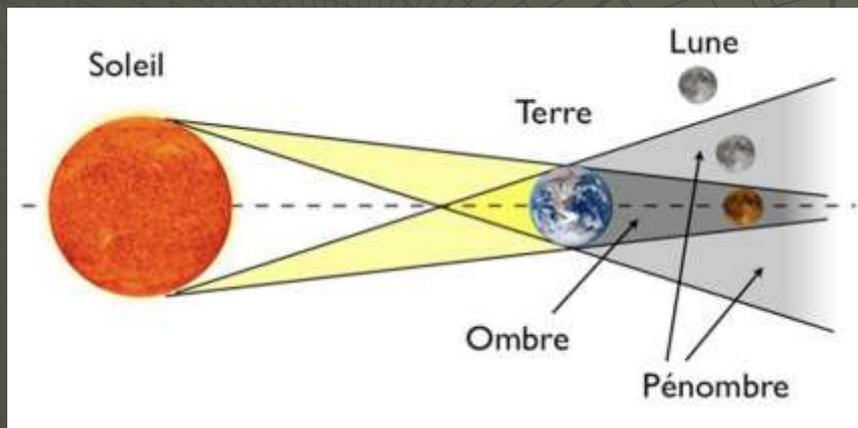
Les 2 types d'éclipse



Alignement SLT : Eclipses de Soleil



Le Soleil Noir



Alignement STL: éclipses de Lune



La Lune Rouge

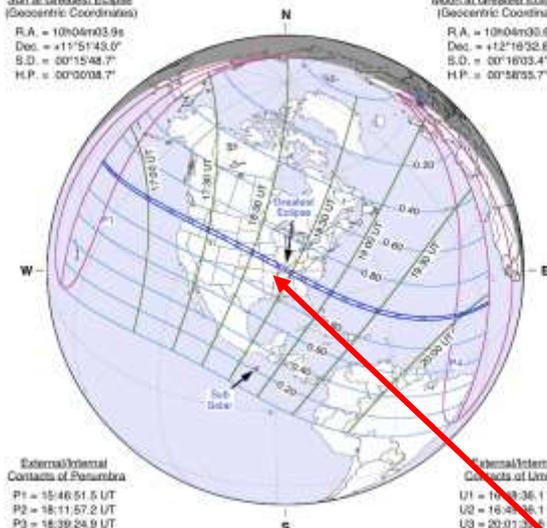
Les cartes d'éclipse de Soleil: exemple : éclipse totale du 21 Aout 2017

Total Solar Eclipse of 2017 Aug 21

Ecliptic Conjunction = 18:31:19.6 TD (= 18:30:11.2 UT)
 Greatest Eclipse = 18:26:40.3 TD (= 18:25:51.8 UT)
 Eclipse Magnitude = 1.0006 Gamma = 0.4367
 Saros Series = 145 Member = 22 of 77

Sun at Greatest Eclipse
 (Geocentric Coordinates)
 R.A. = 10h04m03.9s
 Dec. = +11°51'43.0"
 S.D. = 00°15'48.7"
 H.P. = 00°00'03.7"

Moon at Greatest Eclipse
 (Geocentric Coordinates)
 R.A. = 10h04m03.6s
 Dec. = +12°16'32.8"
 S.D. = 00°16'03.4"
 H.P. = 00°58'55.7"



External/Internal
 Contacts of Penumbra
 P1 = 18:46:51.5 UT
 P2 = 18:11:57.2 UT
 P3 = 18:39:24.9 UT
 P4 = 21:04:23.5 UT

Contacts & Extremes
 ΔT = 68.4 s
 t1 = 0.2725076
 t2 = 0.2722910
 Δb = 0.0° Δl = 0.0°
 Eph. = JPL DE405

Circumstances at Greatest Eclipse: 18:25:31.8 UT

Lat. = 36°58.0'N Sun Alt. = 63.9°
 Long. = 087°40.3'W Sun Azm. = 197.8°
 Path Width = 114.7 km Duration = 02m40.7s

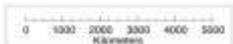
Circumstances at Greatest Duration: 18:21:48.2 UT

Lat. = 37°35'N Sun Alt. = 63.8°
 Long. = 089°07'W Duration = 02m40.2s

External/Internal
 Contacts of Umbra
 U1 = 18:49:36.1 UT
 U2 = 18:40:16.1 UT
 U3 = 20:01:31.1 UT
 U4 = 20:02:34.4 UT

Geocentric Libration
 (Optical - Physical)
 l = 4.54°
 b = -0.57°
 ε = 21.30°
 Brown Lun. No. = 1171

© Espenak, NASA's GSFC
 eclipse.gfc.nasa.gov
 2014 Feb 02



Éclipse totale du Soleil
 du 21 août 2017

P Rocher-IMCCE

Fred Espenak-NASA

**Bande de Totalité
 Largeur # 200 km-longueur # 10000 km**

Les cartes d'éclipse de Lune: exemple : l'éclipse de Lune du 16 mai 2022

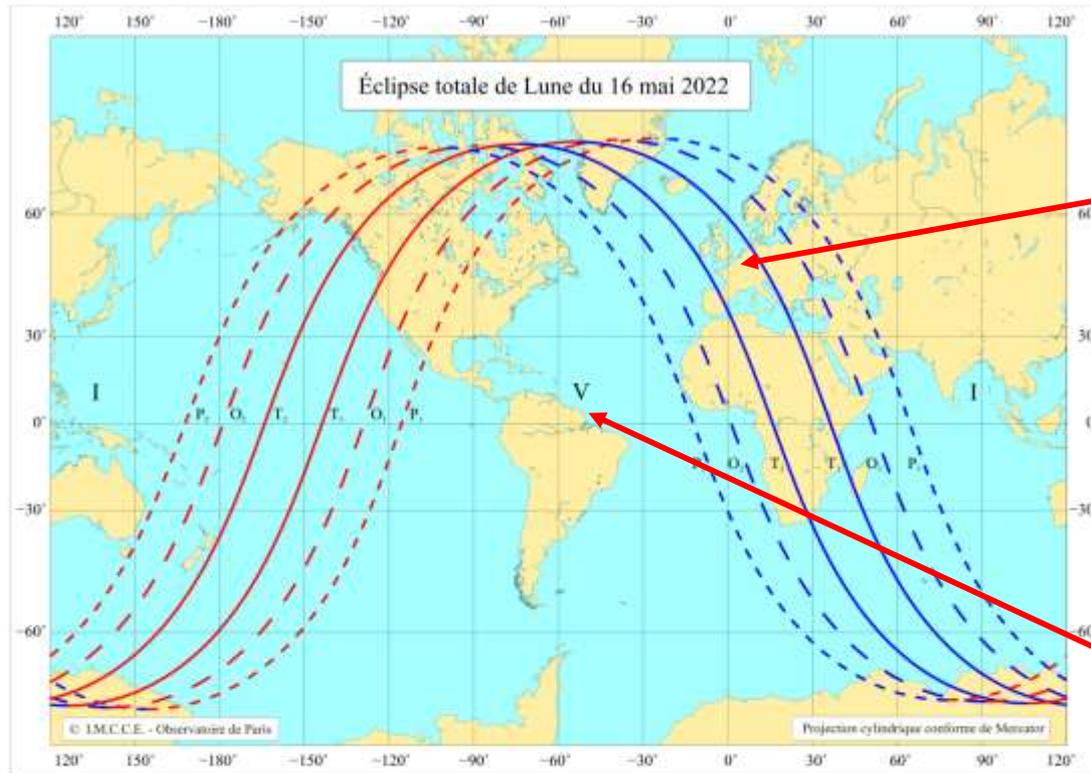


Figure 1 : Carte de l'éclipse totale de Lune du 16 mai 2022

La carte donne les limites de visibilité de l'éclipse sur Terre :

La carte est centrée sur la zone de visibilité (V) et de chaque côté on trouve deux zones d'invisibilités

(I), en fonction du type d'éclipse on a tracé plusieurs courbes :

P1 : la limite de la région où l'on observe l'entrée dans la pénombre (petits pointillés)

O1 : la limite de la région où l'on observe l'entrée dans l'ombre (grands pointillés)

T1 : la limite de la région où l'on observe l'entrée dans la totalité (trait plein)

T2 : la limite de la région où l'on observe la fin de la totalité (trait plein)

O2 : la limite de la région où l'on observe la sortie de l'ombre (grands pointillés)

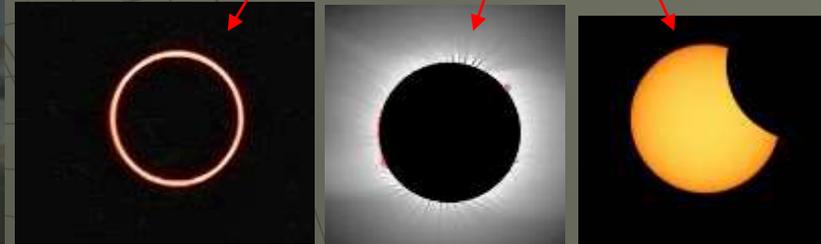
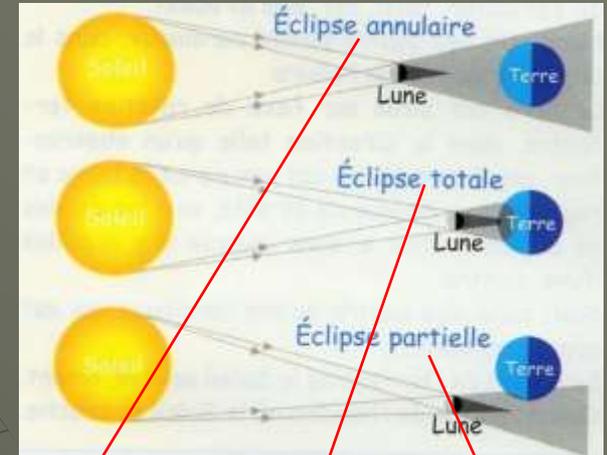
P2 : la limite de la région où l'on observe la sortie de la pénombre (petits pointillés)

Zone où l'on voit
l'entrée dans la
Totalité

Zone où l'on voit
l'intégralité de
l'éclipse lunaire

Les Eclipses de Soleil

Sur une partie de la surface de la Terre, le Soleil est occulté par la lune- *L'éclipse a lieu à la Nouvelle Lune*



L'éclipse est totale si le cône d'ombre portée de la Lune touche la Terre



La sécurité d'observation



Rayonnement solaire au niveau du sol :

51 % dans le visible

43 % dans l'Infrarouge

6 % dans les UV (UVA)



Le reflexe d'éblouissement ne fonctionne plus après 80 % d'obscurcissement et la rétine n'est pas innervée : on ne sent rien !

La Sécurité:

Protection efficace si le filtre laisse passer au plus :

0,003% du visible

0,0032 % des IR

0,0027 % des UV

T # 3.10^{-5}

Filtre soudeur grade > 12 - Astrosolar T = 10^{-5}

- Lésions par les IR = scotome (mouche noire dans le champ visuel)
perte de vision des couleurs –
photocoagulation des cônes et bâtonnets
- Lésions par les UV : inflammation de la cornée (id coup d'arc) = kératite douloureuse – atteinte réversible mais opalescence du cristallin à la longue

Le déroulement d'une éclipse de Soleil



Chili-2 juillet 2019

3 parties :

Phase partielle d'entrée (#1 h) / Totalité (quelques minutes) / Phase partielle de sortie (#1h)

C'est le mouvement de la Lune qui fait éclipse

la lune *grignote* 362 km de soleil par seconde et l'ombre se déplace à 1200 km /h

Les phénomènes à observer lors des phases partielles



L'évolution de la lunule de Soleil



Projection des lunules à travers le feuillage

Et en plus

- La chute de température
- Les ombres qui deviennent de plus en plus tranchées (effet de spot)
- A 80 % de recouvrement du soleil par la lune, le ciel devient bleu-outremer sombre d'un aspect totalement inhabituel
- Apparition du vent de l'éclipse (vent thermique)
- Le comportement anormal des animaux
- Le comportement anormal d'autres animaux (les observateurs)
- L'apparition des premières planètes/étoiles

Les observations durant la phase de Totalité

On enlève tous les filtres !!!



Les ombres volantes



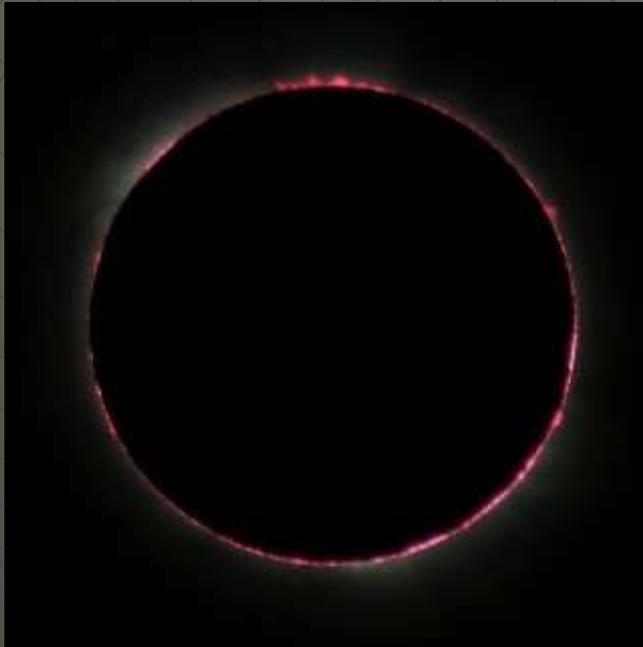
Éclipse perlée – Avril 1912



Le Diamant

Les Grains de Baily

Chromosphère - Protubérances



Couleur Rose : Hydrogène (une fois ionisé) Raie H α - $\lambda = 656,3$ nm

La Couronne solaire

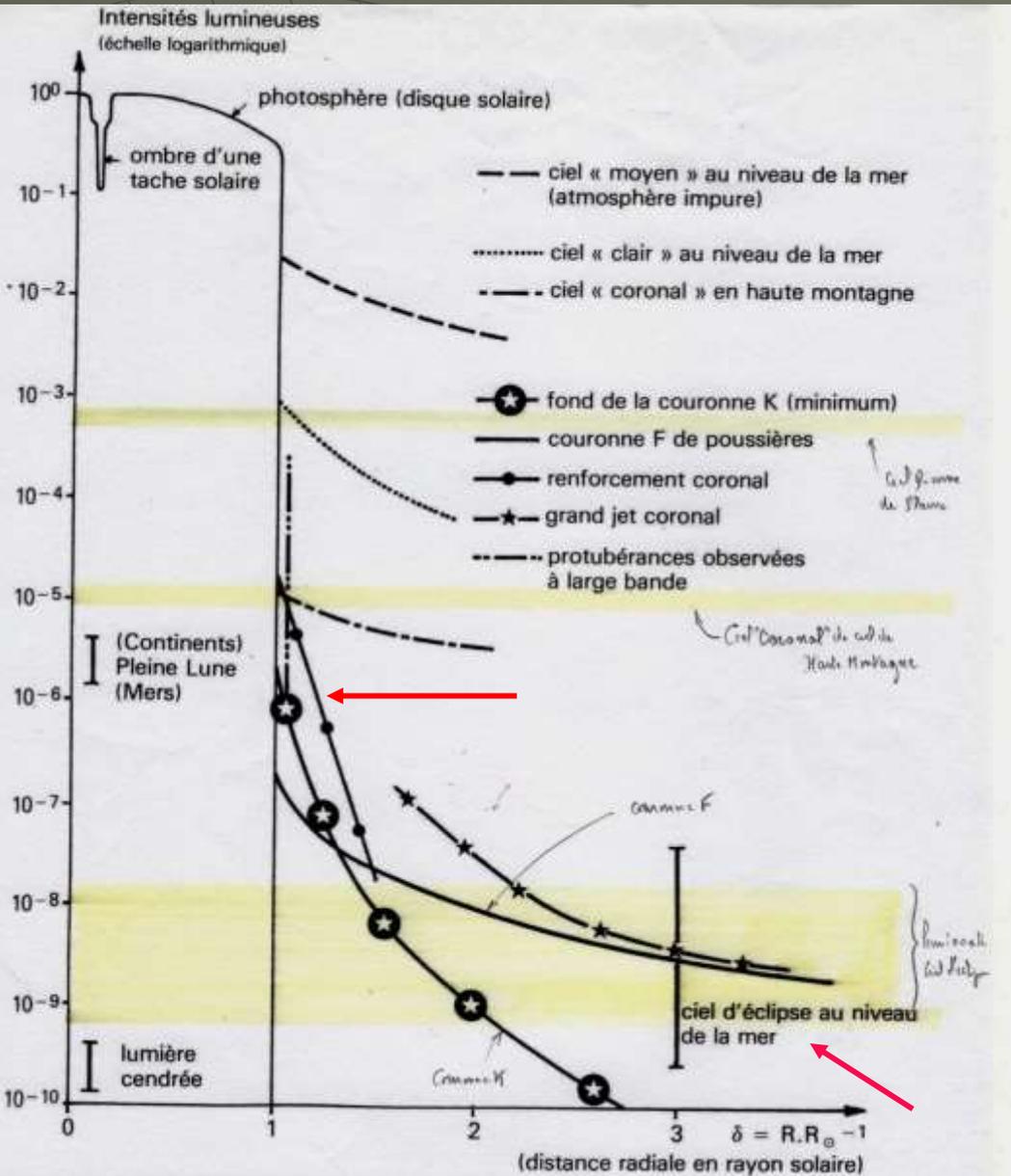
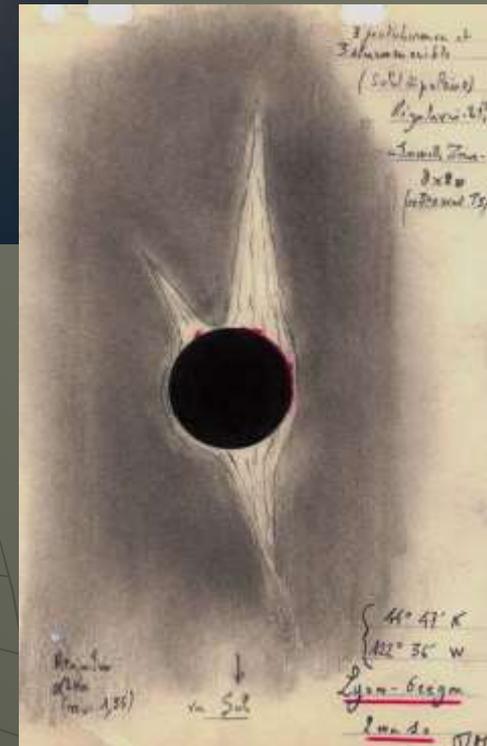


Photo HDR

Eclipse USA
du 21 Aout 2017

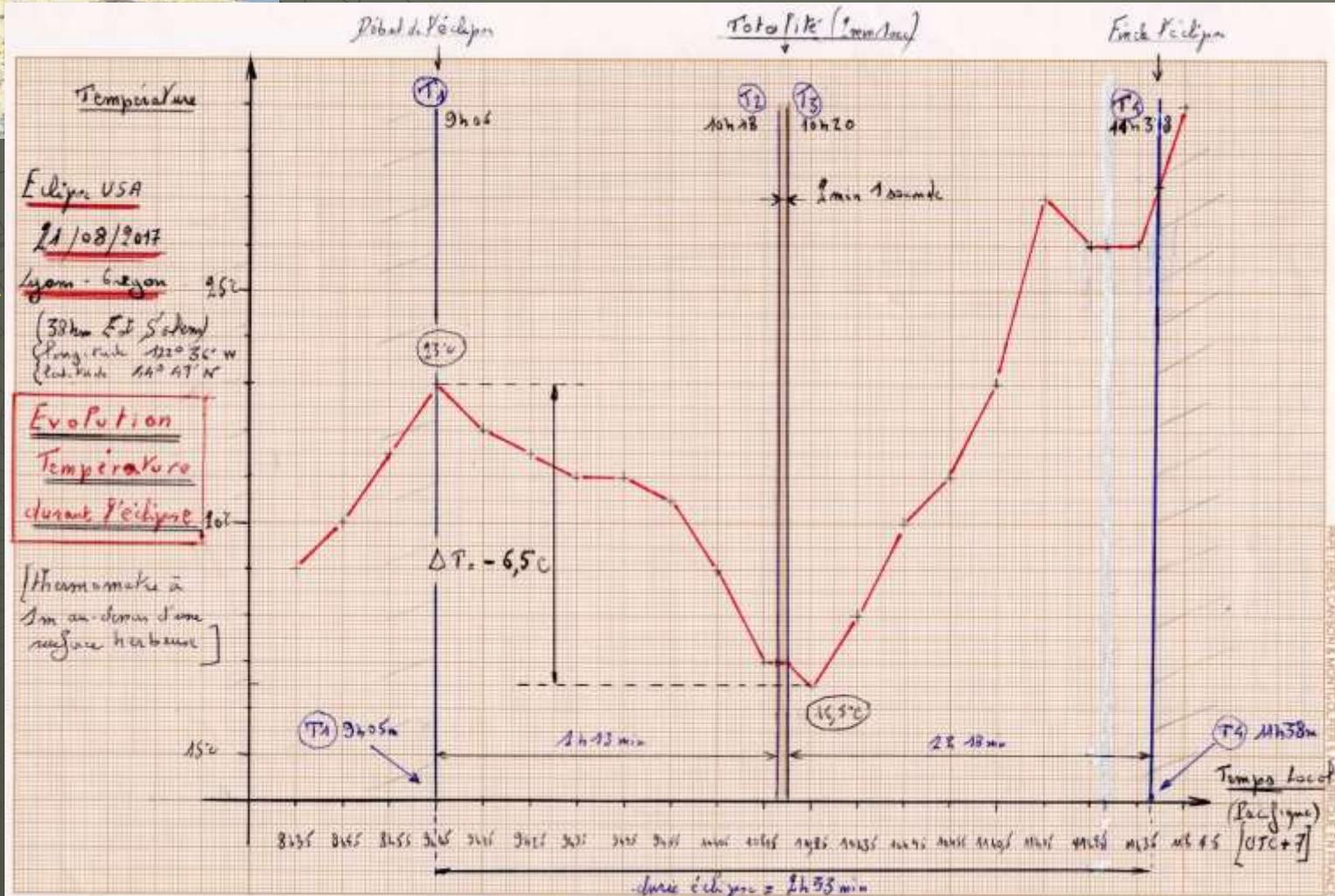


Dessin aux jumelles

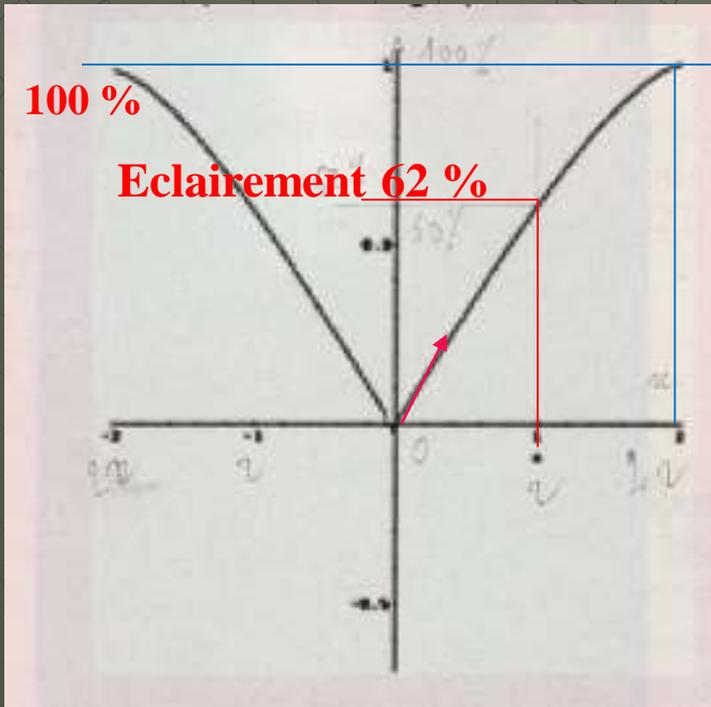
Baisse de la température



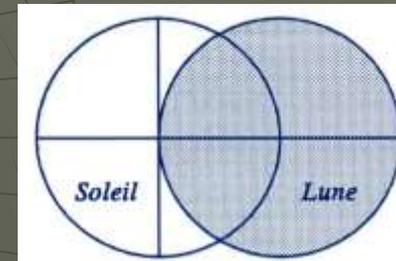
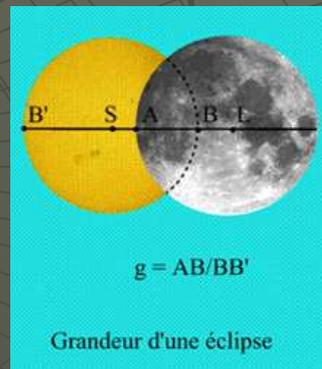
21 Aout 2017
Lyons-Oregon



Baisse de la luminosité



Eclipse du 29 Mars 2006- Lybie-Frontière du Tchad



$g = 0,5$

Courbe de luminosité
 $= [1 - \% \text{ obsc}]$

quand $g = 0,5$ [$AB = BB'/2$] alors $\% \text{ obsc} = 38 \%$

quand $g = 1$ [$AB = BB'$] alors $\% \text{ obsc} = 100 \%$

Remarque : quand $g \rightarrow 1$ l'obscurité n'est pas brusque : la dérivée n'est pas infinie

Durant la Totalité : le ciel au loin



La limite du cône d'ombre de la Lune

Chili -2019

Fin de la Totalité et phase partielle de fin d'éclipse



On remet tous les filtres

Le dernier instant de la Totalité :
==>Le diamant de sortie

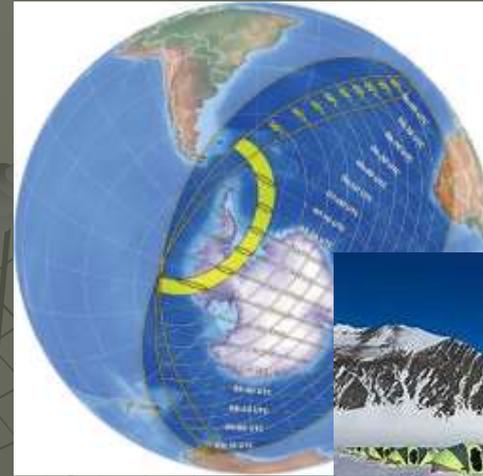


Juillet 1991

➡ *Délire généralisé du groupe :
cris – applaudissements - sauts de cabri
et ouverture du champagne !*

Puis on recommence des observations identiques à la phase partielle d'entrée
mais désintérêt marqué pour la phase de sortie - on s'ennuie presque !

La dernière éclipse totale : 4 Décembre 2021 en Antarctique



ANTARCTIC EXPEDITION TO TOTALITY

ANTARCTIC TOTAL SOLAR ECLIPSE

Experience 44 seconds of awe-inspiring, total darkness while surrounded by the rugged peaks of the Ellsworth Mountains and the icy...

DURATION

12 DAYS

ACTIVITY LEVEL

EASY / MODERATE

PRICE

\$39,800

↑
\$\$\$\$!

UPCOMING DEPARTURES

NOV. 26, 2021



Camp de Union Glacier



Programmer la prochaine éclipse : 8 Avril 2024 – 4 min 28 sec de soleil noir Mexique - USA

Total Solar Eclipse of 2024 Apr 08

Geocentric Conjunction = 18:36:02.5 UT J.D. = 2460409.275029
 Greatest Eclipse = 18:17:13.1 UT J.D. = 2460409.261957
 Eclipse Magnitude = 1.0565 Gamma = 0.3432

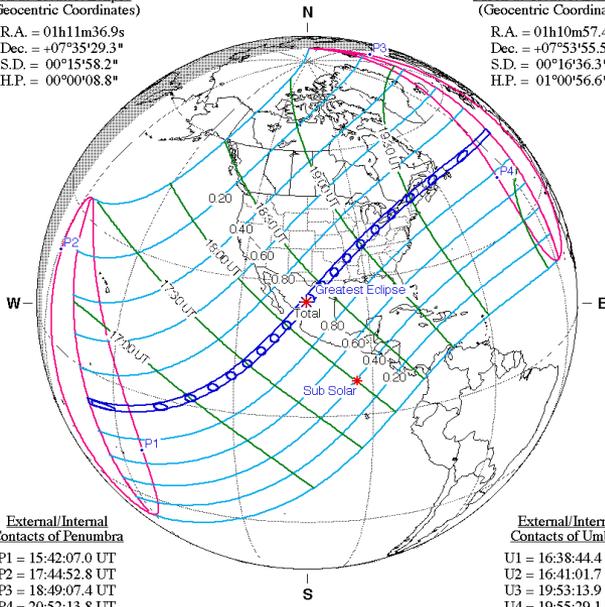
Saros Series = 139 Member = 30 of 71

Sun at Greatest Eclipse (Geocentric Coordinates)

R.A. = 01h11m36.9s
 Dec. = +07°35'29.3"
 S.D. = 00°15'58.2"
 H.P. = 00°00'08.8"

Moon at Greatest Eclipse (Geocentric Coordinates)

R.A. = 01h10m57.4s
 Dec. = +07°53'55.5"
 S.D. = 00°16'36.3"
 H.P. = 01°00'56.6"



External/Internal Contacts of Penumbra

P1 = 15:42:07.0 UT
 P2 = 17:44:52.8 UT
 P3 = 18:49:07.4 UT
 P4 = 20:52:13.8 UT

Local Circumstances at Greatest Eclipse

Lat. = 25°17.5'N Sun Alt. = 69.8°
 Long. = 104°07.2'W Sun Azm. = 149.4°
 Path Width = 197.5 km Duration = 04m28.1s

Ephemeris & Constants

Eph. = Newcomb/ILE
 $\Delta T = 81.2$ s
 $k1 = 0.2724880$
 $k2 = 0.2722810$
 $\Delta b = 0.0'' \Delta l = 0.0''$

External/Internal Contacts of Umbra

U1 = 16:38:44.4 UT
 U2 = 16:41:01.7 UT
 U3 = 19:53:13.9 UT
 U4 = 19:55:29.1 UT

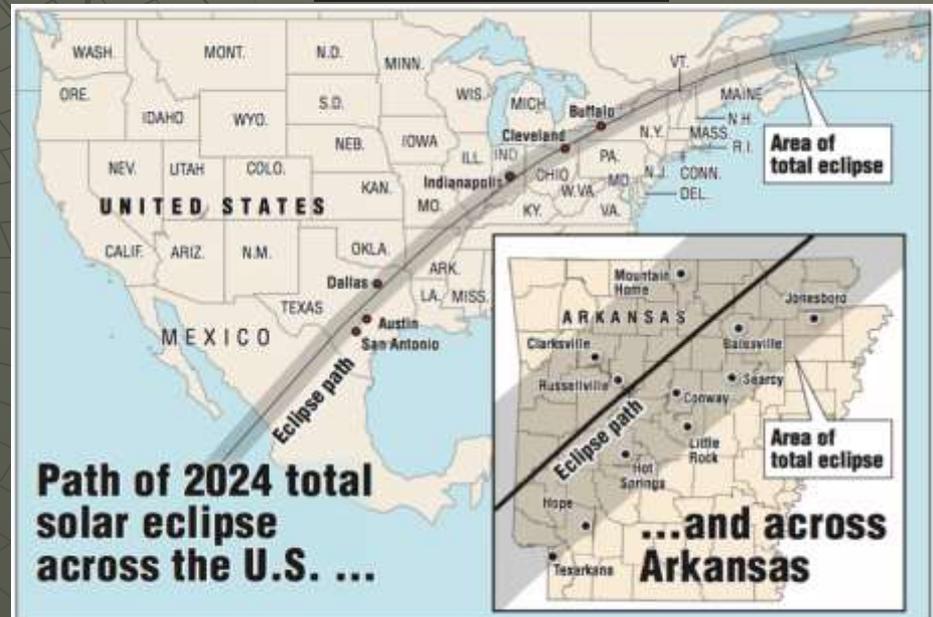
Geocentric Libration (Optical + Physical)

$l = 2.00''$
 $b = -0.46''$
 $c = -20.75''$

Brown Lun. No. = 1253



F. Espenak, NASA's GSFC - Fri, Jul 2,
sunearth.gsfc.nasa.gov/eclipse/eclipse.html



**Path of 2024 total
solar eclipse
across the U.S. ...**

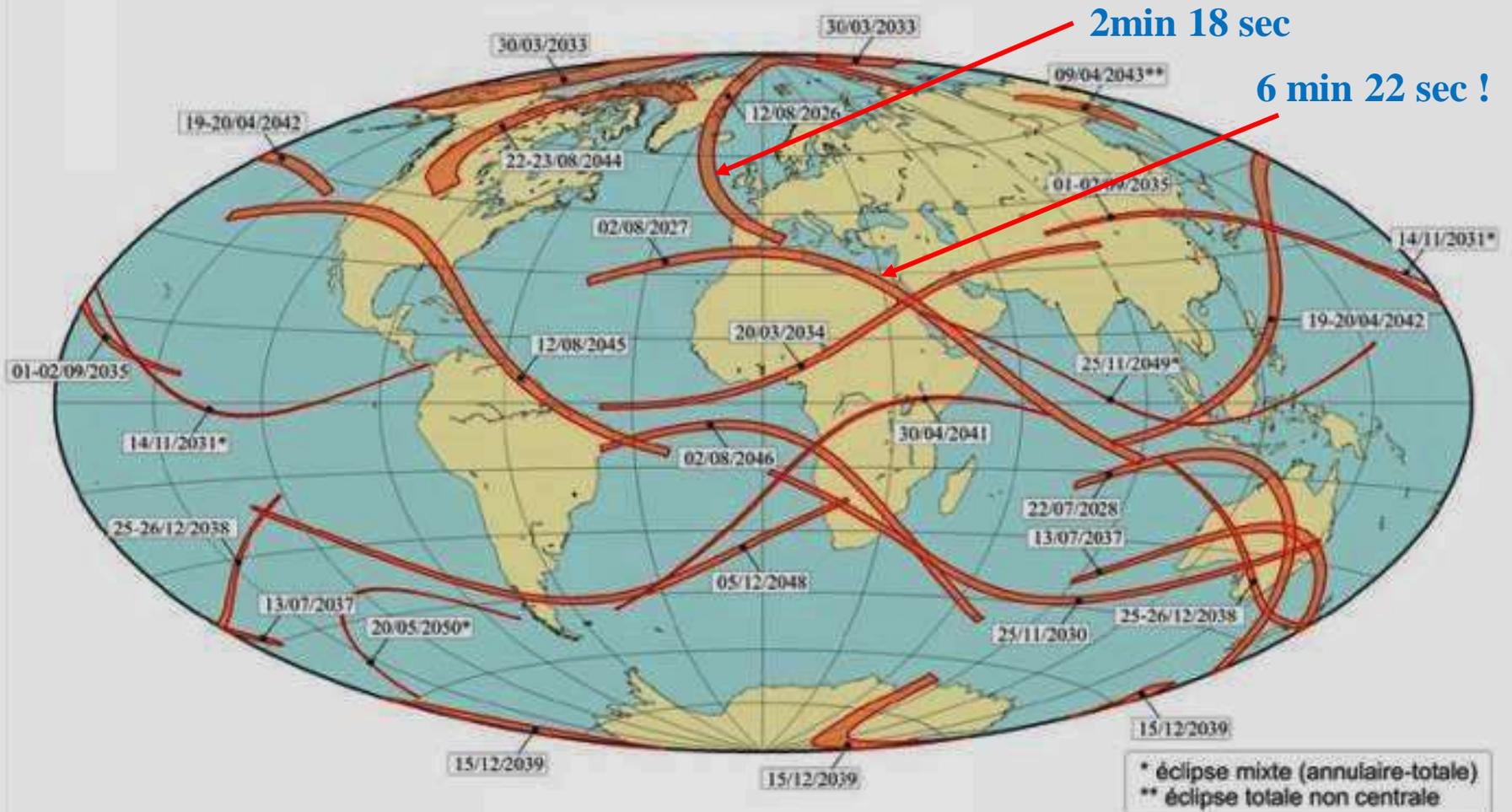
**...and across
Arkansas**

SOURCES: GreatAmericanEclipse.com, xjubier.free.fr

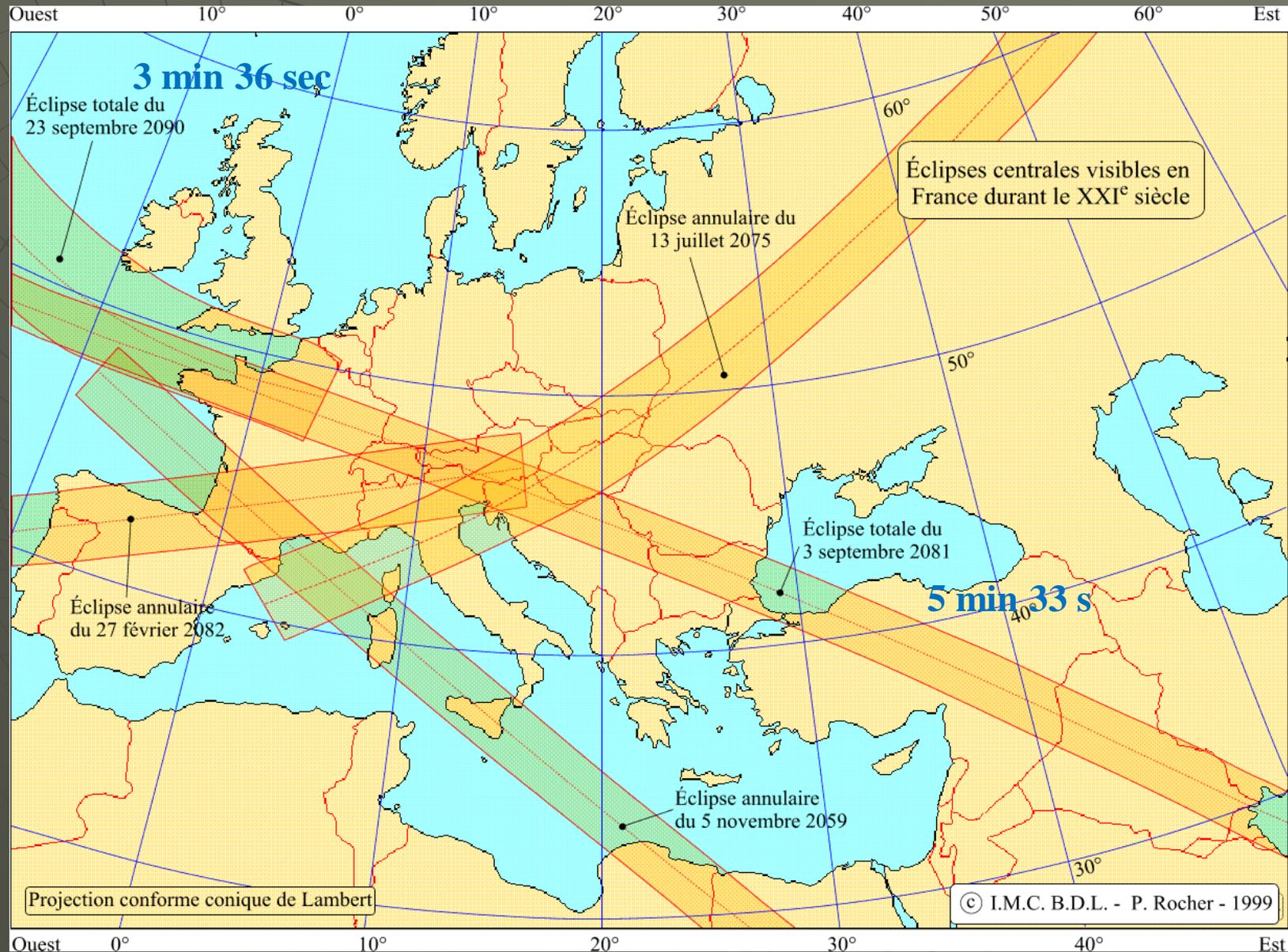
Arkansas Democrat-Gazette/KIRK MONTGOMERY

Les Eclipses à venir

Éclipses totales et mixtes de 2026 à 2050



En France au XXI^e siècle



**On peint en noir avec
les Soleils Noirs !
Il faut # 400 ans pour tout
peindre en noir !**

**1 siècle
1900 à 2000**



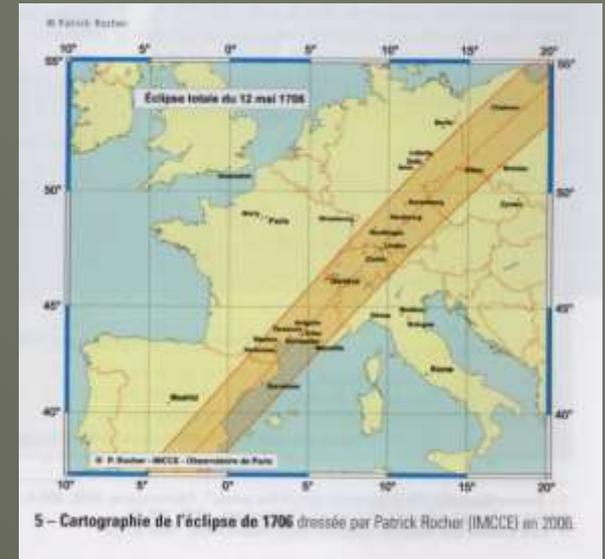
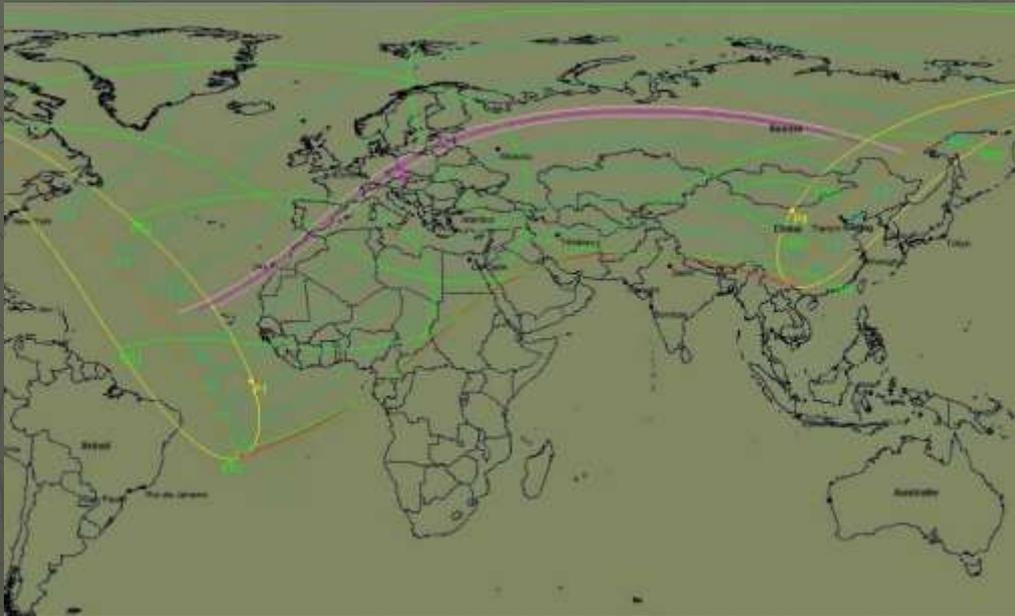
Fig. 1 – Les bandes de totalité des éclipses de Soleil de 1900 à 1999 en Europe et le nord de l'Afrique.

Fig. 2 – Pour la même région, les bandes de totalité au cours d'une période de trois siècles, de 1900 à 2199.

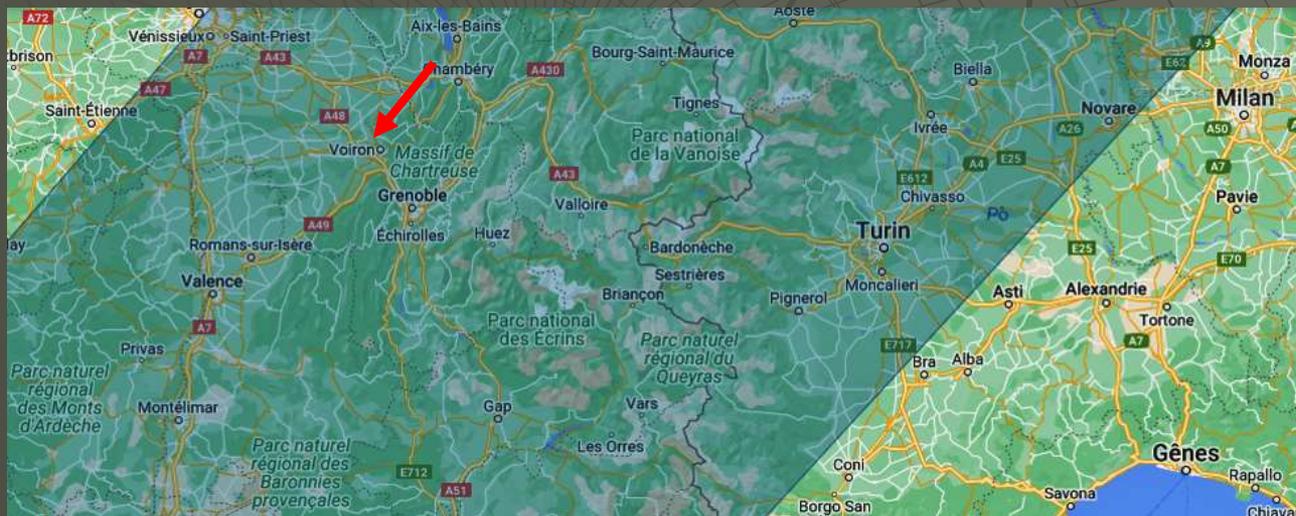


**3 siècles
1900 à 2200**

Souvenez-vous : à Voiron le 12 Mai 1706 !



5 - Cartographie de l'éclipse de 1706 dressée par Patrick Rocher (IMCCE) en 2008.



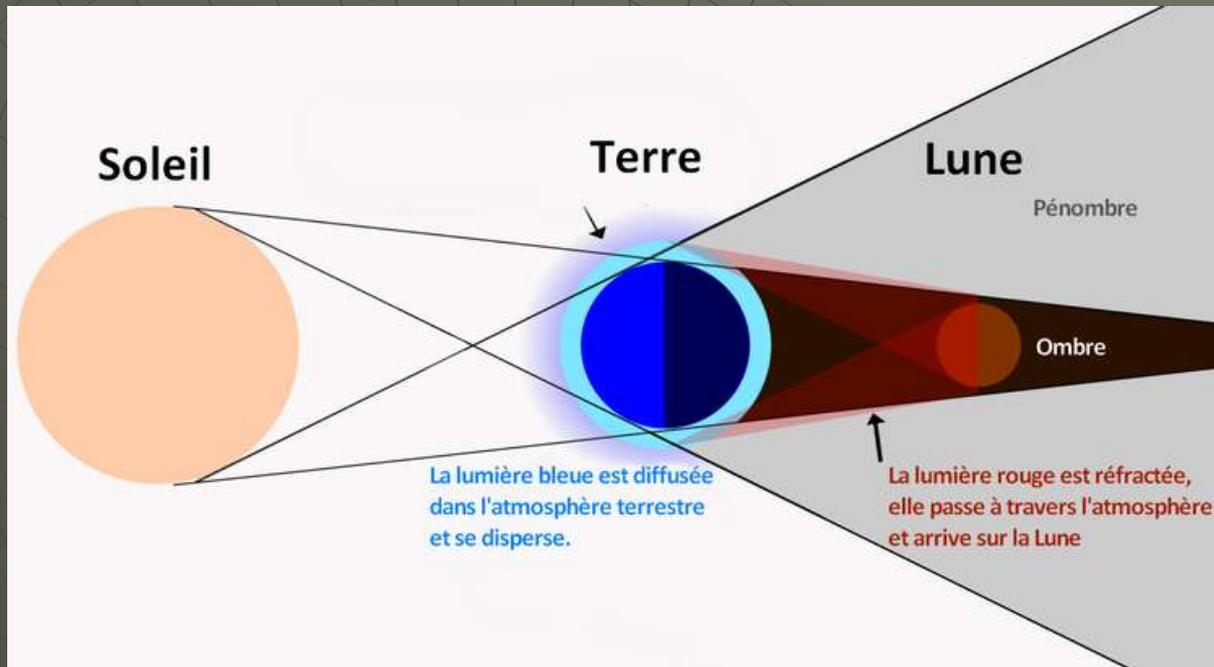
Eclipse Totale de Soleil
Magnitude : 1,059
Totalité : 4 min 6 sec
Maxi à 9h 35 TU

*1ère éclipse observée
avec une lunette*
**Découverte de la
chromosphère et des
protubérances**

Les Eclipses de Lune : la Lune est éclipsée par l'ombre portée de la Terre L'éclipse à lieu à la Pleine Lune

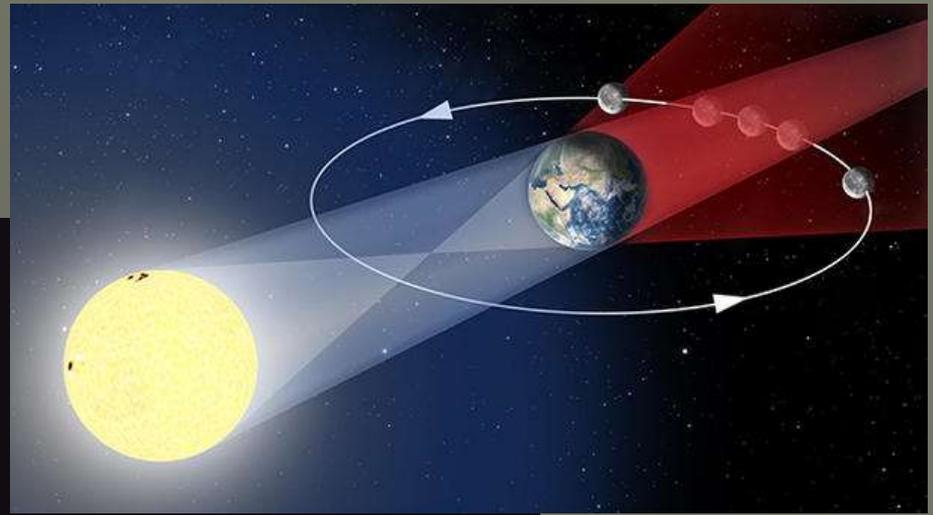


La Lune rentre dans le cône d'ombre de la Terre



- Longueur de l'ombre portée de la Terre = 221 à 231 rayons terrestres
- Orbite de la lune: # 60 rayons terrestres
- Au niveau de l'orbite de la lune la section du cône d'ombre est de 2,8 à 3 diamètres lunaires

- Les réfractions dans les couches de la haute atmosphère rabattent les rayons rouges vers l'axe de l'ombre portée
- La pureté de l'atmosphère va déterminer la luminosité du phénomène



**Limite du cône
d'ombre**

Luminosité d'une Éclipse de Lune

Échelle de Danjon.

0 : Éclipse très sombre ; la Lune est pratiquement invisible.

1 : Éclipse sombre grise ou brune, les détails lunaires sont difficilement perceptibles.

2 : Éclipse rouge foncé ; le centre de l'ombre est très sombre, la zone périphérique est un peu plus claire.

3 : Éclipse rouge brique ; le bord de l'ombre est d'un gris jaune assez clair.

4 : Éclipse brillante avec une teinte cuivrée ou orangée ; la bordure est bleutée et très lumineuse.



1



2/3



4

Eclipse de Lune du 16 Mai 2022

Grandeur Eclipse= 1,41

Durée Totalité = 1 h 25 min

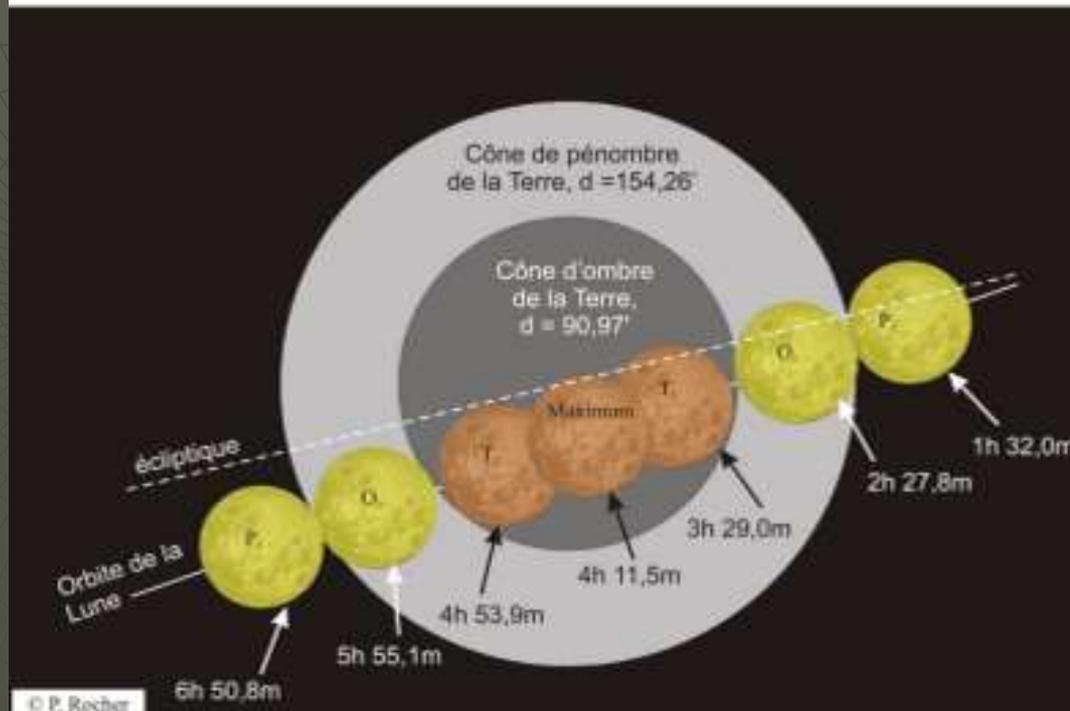
Début Totalité = 3h29 min TU-Fin Totalité = 4h 5min TU

Diamètre du cône d'ombre # 1,5°

Diamètre Lune= 33'

Maxi après le passage au nœud descendant

Éclipse totale de Lune du 16 mai 2022



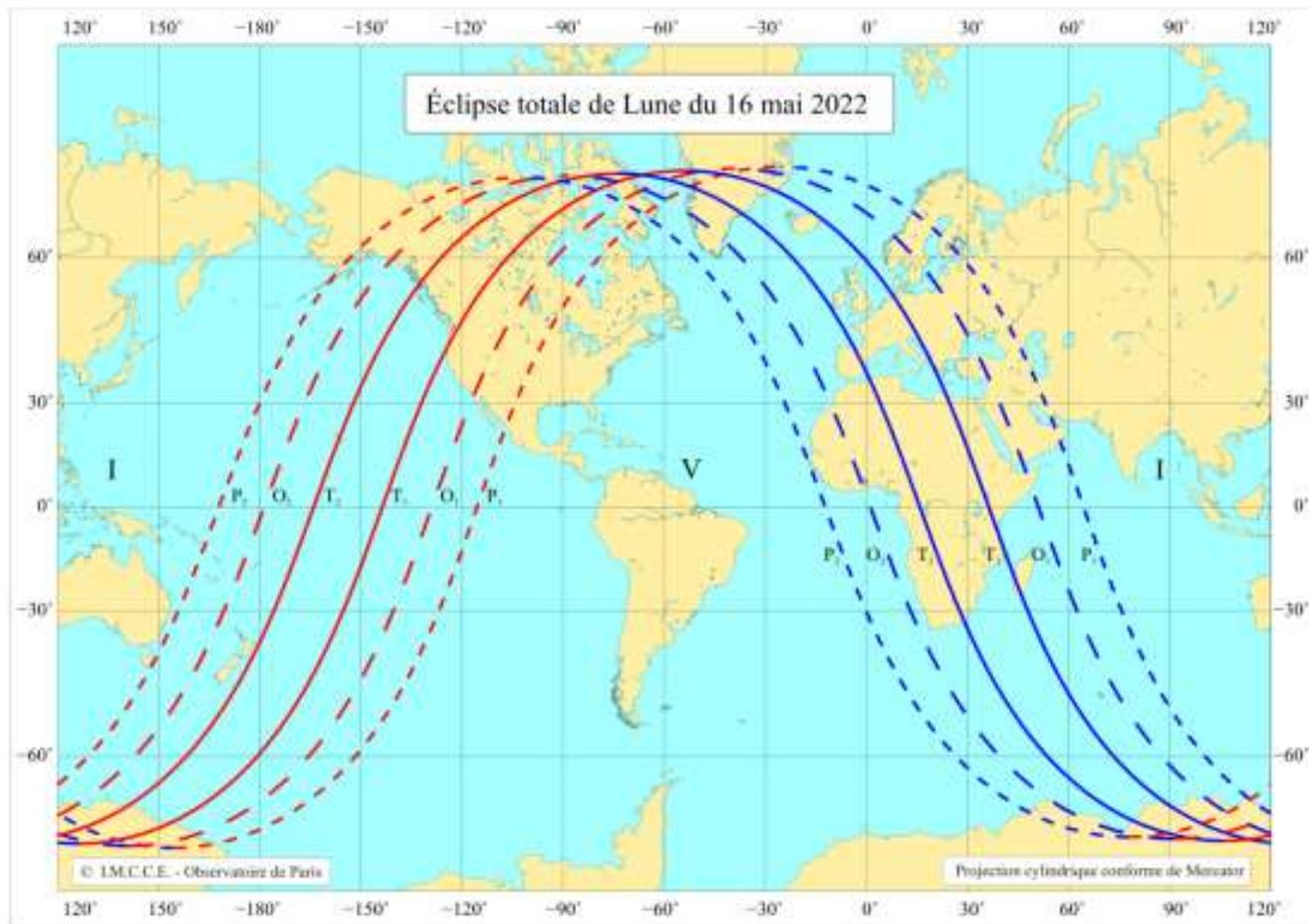


Figure 1 : Carte de l'éclipse totale de Lune du 16 mai 2022

La carte donne les limites de visibilité de l'éclipse sur Terre :

La carte est centrée sur la zone de visibilité (V) et de chaque côté on trouve deux zones d'invisibilités

(I), en fonction du type d'éclipse on a tracé plusieurs courbes :

P1 : la limite de la région où l'on observe l'entrée dans la pénombre (petits pointillés)

O1 : la limite de la région où l'on observe l'entrée dans l'ombre (grands pointillés)

T1 : la limite de la région où l'on observe l'entrée dans la totalité (trait plein)

T2 : la limite de la région où l'on observe la fin de la totalité (trait plein)

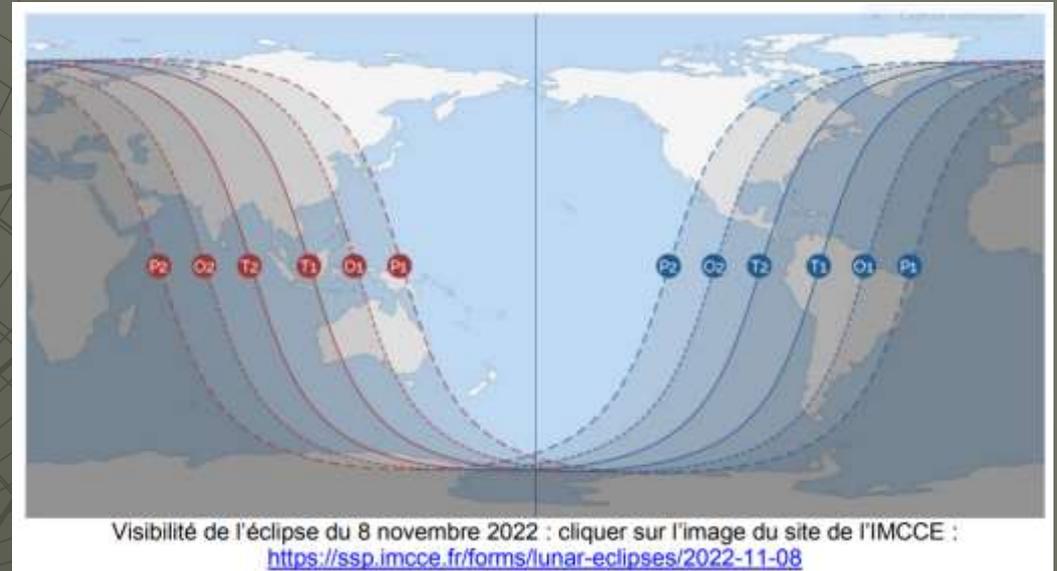
O2 : la limite de la région où l'on observe la sortie de l'ombre (grands pointillés)

P2 : la limite de la région où l'on observe la sortie de la pénombre (petits pointillés)



Reaumont- 5h27 TL- 3h27 TU
2 min avant la totalité

Eclipse de Lune du 8 Novembre 2022



Grandeur= 1,36

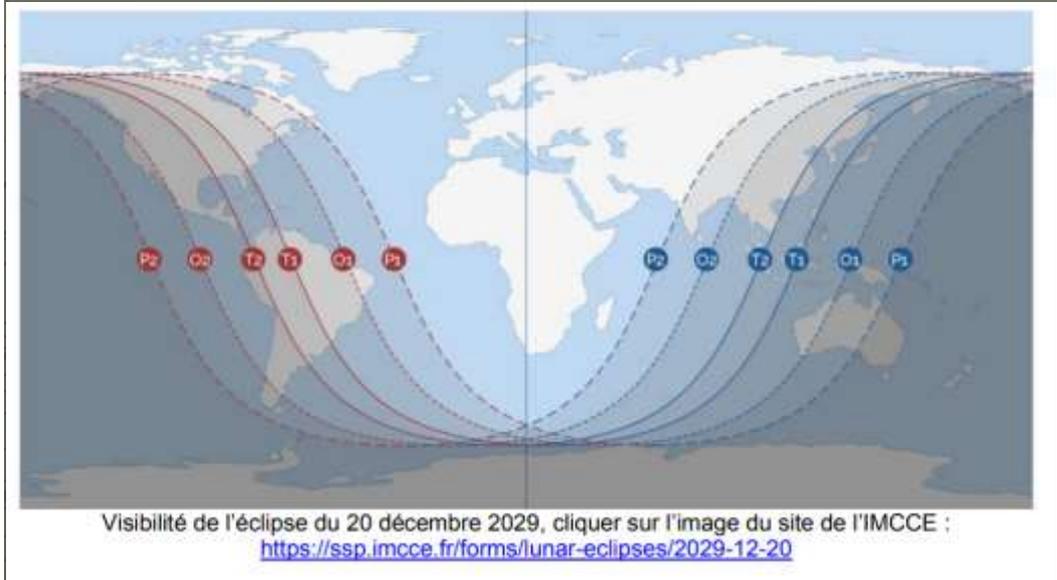
Durée Totalité =1h 25-Maxi Totalité = 10h 59 min TU

Diamètre cône d'ombre # 1,2 °

Eclipse au nœud ascendant

Visibilité en plein milieu du Pacifique

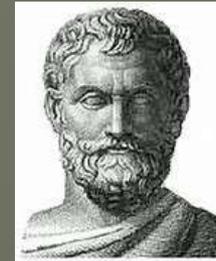
Prochaine Eclipse Totale de Lune visible en France: 20 Décembre 2029



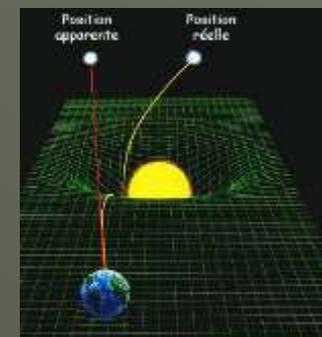
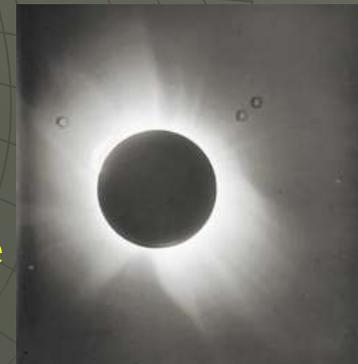
Grandeur =1,1
Maximum=22h43 TU
Durée totalité=53 min

Quelques éclipses historiques

- **Eclipse de Thales (Soleil) : 28 Mai – 585**
Fin de la guerre entre Mèdes et Lidyens
= *date de création de la Science Occidentale*
- **Eclipse d'Alexandre (Lune) : 20 Septembre – 330**
Victoire d'Alexandre sur Darius III à Arbèles
par suite de la panique de l'armée Perse (Lune rouge)
- **Eclipse de la Crucifixion: date 33 ou 37 :**
Eclipse de Lune-Eclipse de Soleil ?
La Lune couleur de sang ?
- **Eclipse de Christophe Colomb (Lune) : 29 Février 1504**
Soumission des indiens de la Jamaïque pour
approvisionner l'équipage de Colomb
- **Eclipse d'Einstein (Soleil): 29 Mai 1919**
Confirmation de la théorie de la Relativité
Générale d'Einstein



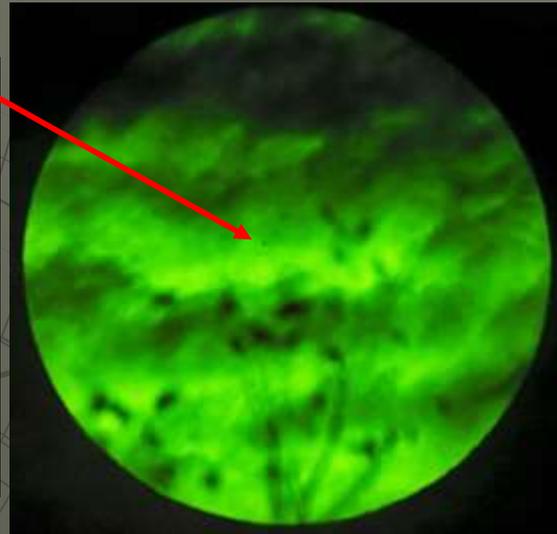
Barrabas- Eclipse de 1961



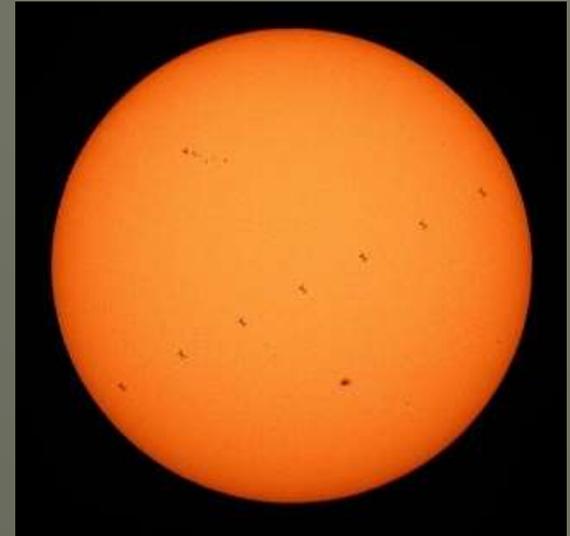
D'autres alignements



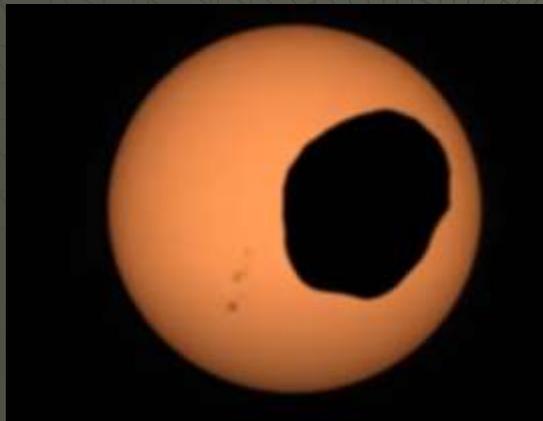
Passage de Vénus



HL
Passage de Mercure



SG
Passage de L'ISS



Phobos devant le Soleil
vu de Mars



Europe devant la TR vu de Hubble

