

Les éclipses de soleil



n'existent pas !



*Je t'aime ainsi!
Pourtant, si tu veux aujourd'hui,
Comme un astre éclipsé qui sort de la pénombre,
Te pavaner aux lieux que la folie encombre,
C'est bien!...*

Baudelaire, Les Fleurs du Mal, 1857



Qu'en pensent les astronomes amateurs ?

<http://www.astrosurf.com/cis/eclipse/occul.htm>

Les diverses manières de voir disparaître totalement ou partiellement un astre au firmament font l'objet de trois concepts que l'on définit **précisément** comme suit :

1°) Une **éclipse** est le phénomène qui se produit lorsqu'une planète ou un satellite (ou tout astre **qui n'émet pas de lumière par lui-même**) **passe dans l'ombre** d'un autre objet. L'exemple le plus simple à observer (une paire de jumelles suffit) et le plus fréquent se trouve parmi les éclipses des satellites galiléens (Io, Europe, Ganymède et Callisto) par leur planète Jupiter. L'objet éclipsé n'émet réellement plus de lumière et le phénomène ne dépend pas du lieu de l'observation.

2°) Une **occultation** se produit lorsqu'un **astre sombre** masque dans sa course céleste **un astre lumineux** de **diamètre apparent plus petit**. Exemple : un astéroïde peut occulter une étoile. L'objet occulté continue à briller et l'observation du phénomène ne peut se faire qu'en certains lieux (ceux qui sont dans le bon alignement).

3°) Un **passage** dont la définition est très voisine de celle de l'occultation. La seule différence est que cette fois-ci, l'objet masqué présente un **diamètre angulaire supérieur à l'objet occultant**. Là encore, le phénomène observé dépend du lieu d'observation. L'exemple le plus remarquable est constitué par les passages de Venus (sous-entendu devant le Soleil), phénomènes rares et soumis à un cycle très curieux : intervalle de 8 ans puis 121,5 ans puis 8 ans puis 105,5 ans et ainsi de suite. Le dernier passage s'est produit le 6 décembre 1882, les prochains s'observeront le 7 juin 2004 et le 5 juin 2012. Au XVIIIème siècle ces passages servaient au calcul de la distance Terre-Soleil.

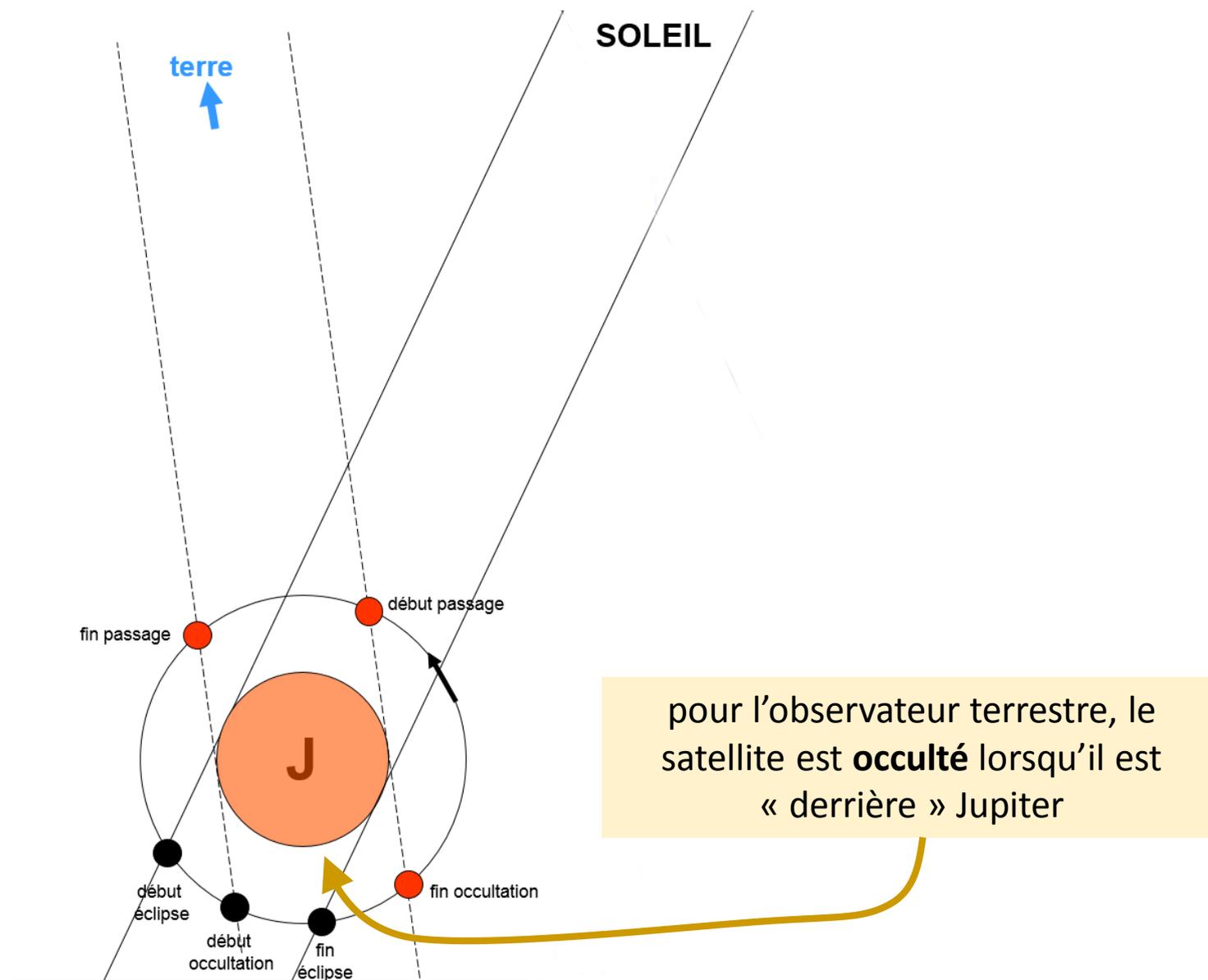
On voit ainsi que **ce phénomène spectaculaire que tout le monde continue à appeler une éclipse de soleil n'en est pas une**. Lorsque l'éclipse est totale, la Lune, plus grande, masque totalement le Soleil et c'est en fait une occultation. Lorsque l'éclipse est annulaire, la Lune, plus petite, ne masque pas complètement le Soleil et c'est un passage. Rassurez-vous, l'éclipse de lune, elle, bien que beaucoup moins spectaculaire, est bien une éclipse. La Lune passe dans le cône d'ombre de la Terre, le spectacle est visible de partout où il fait nuit, et si notre satellite ne s'éteint pas complètement c'est à cause de l'atmosphère terrestre qui réfracte les rayons du Soleil et donne à la Lune cette couleur rouge sombre caractéristique du phénomène.

Guy MIZRAHI

Occultation

- un astre sombre masque un astre lumineux de diamètre apparent plus petit.

exemple d'un satellite de Jupiter





Occultation

- un astre sombre masque un astre lumineux de diamètre apparent plus petit.

autres exemples:

- occultation d'une étoile par un astéroïde; l'objet occulté continue à briller
- occultation d'une étoile par la Lune; l'objet occulté continue à briller
- occultation du soleil par Lune (cas où le diamètre de la Lune est supérieur à celui du Soleil)
 - **les 'éclipses totales' de soleil n'existent pas: ce sont des occultations**





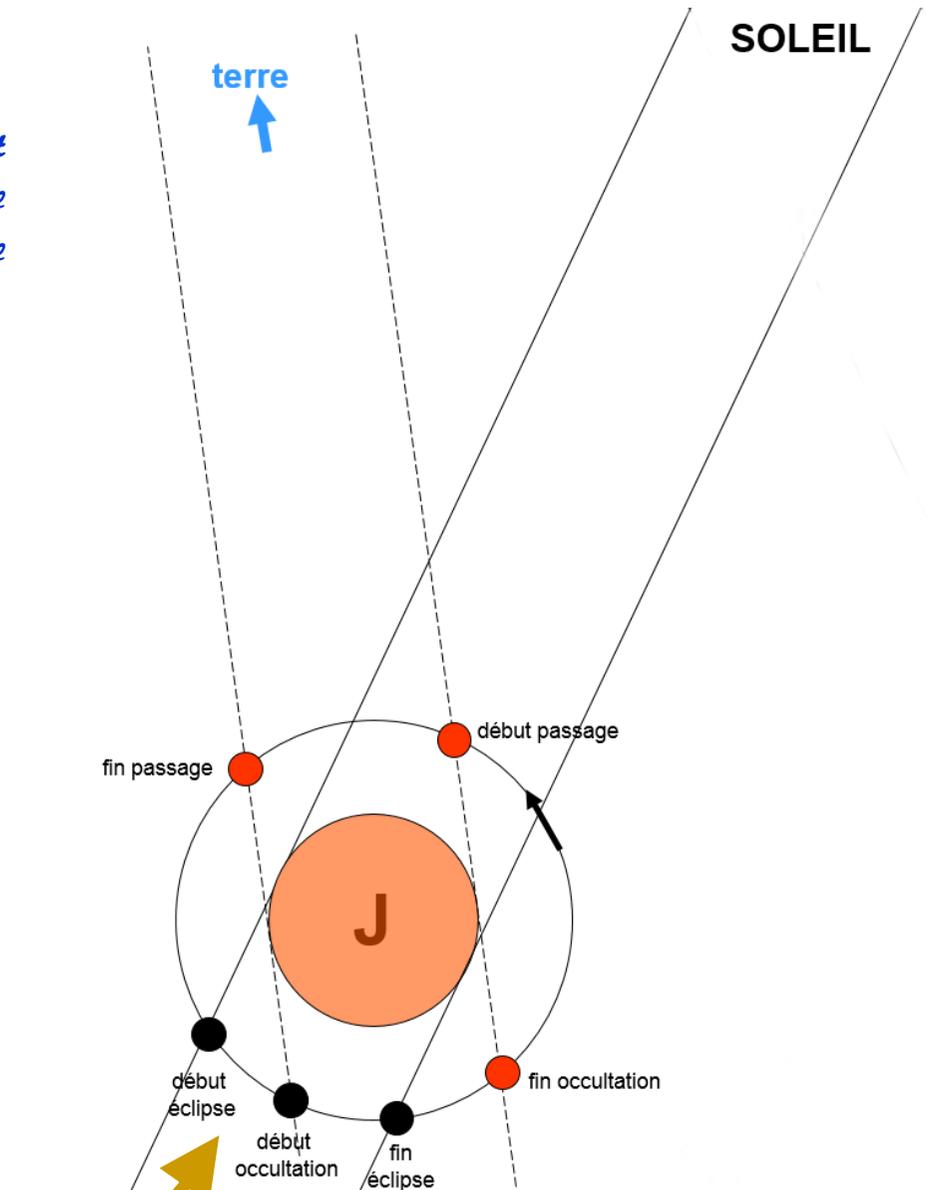
Eclipse

- un objet qui n'émet pas de lumière passe dans l'ombre d'un autre objet

le 17 février 2013, les adhérents d'AstroSaône ont vu Europe sortir d'occultation à 19h40, avant d'être éclipsé à 19h54 et de réapparaître en pleine lumière à 22h30

exemple d'un satellite de Jupiter

le satellite **est éclipsé par l'ombre** de sa planète: il disparaît aux yeux de l'observateur terrestre, avant de passer « derrière » Jupiter





Eclipse

- un objet qui n'émet pas de lumière passe dans l'ombre **d'un autre objet**

- **les 'éclipses totales' de soleil n'existent pas** (l'ombre lunaire n'obscurcit pas le soleil) :
ce sont des occultations

- éclipse de la Lune par la Terre:
 - les éclipses de Lune existent !!



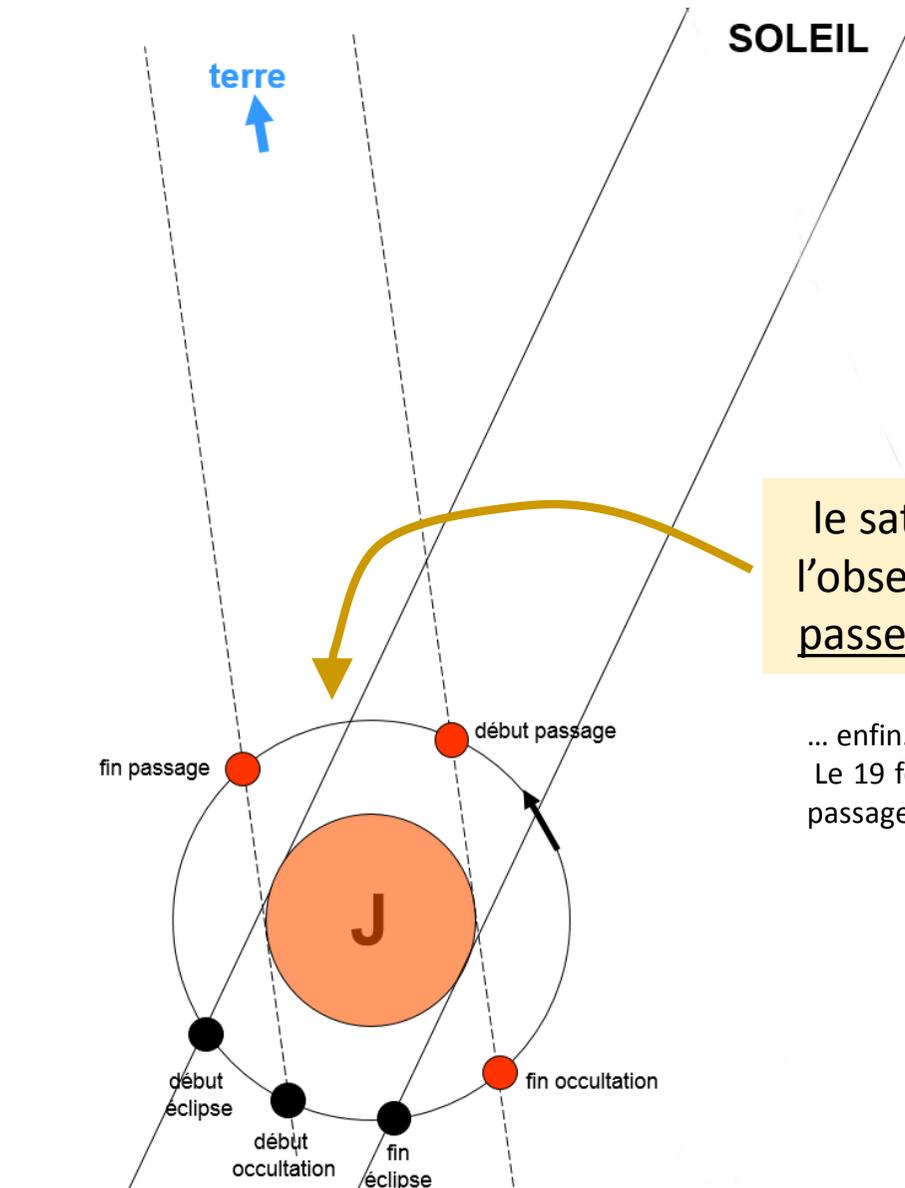
question:

- et quand l'objet passe dans la **pénombre**: comment nomme-t-on le phénomène ??

Passage

- un astre sombre de diamètre apparent plus petit masque partiellement un astre lumineux.

**exemple d'un
satellite de Jupiter**



le satellite apparaît aux yeux de l'observateur terrestre, alors qu'il passé devant le disque de Jupiter

... enfin... pas toujours...

Le 19 février 2015 nous n'avons pu observer le passage d'Europe – même au 500mm !!

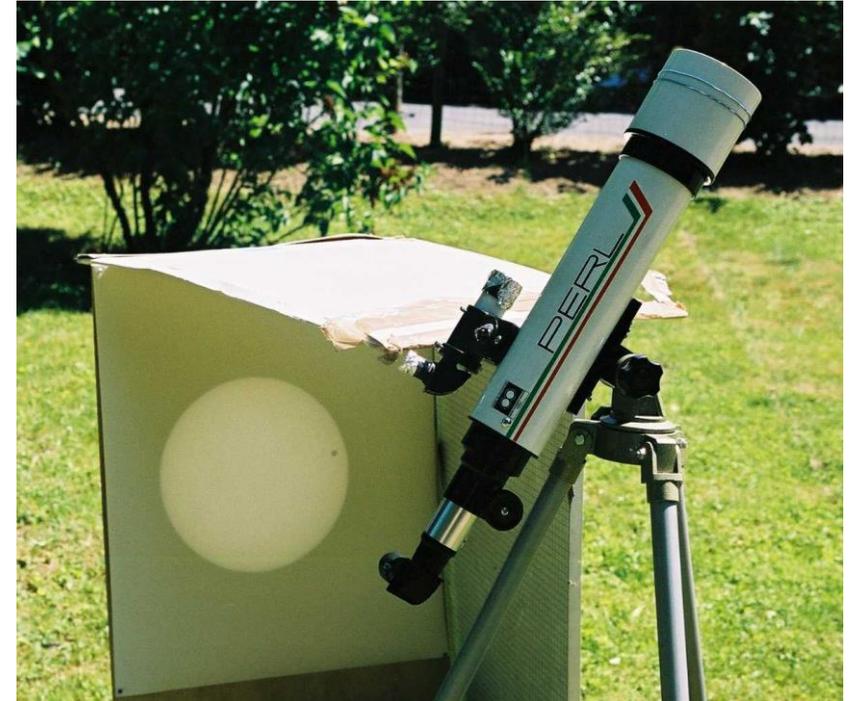


Passage

- un astre sombre de diamètre apparent plus petit masque partiellement un astre lumineux.

autres exemples:

- passage des planètes devant leur étoile
 - **passage de Vénus le 7 juin 2004,**
de Mercure le 7 mai 2003
 - passage de Phobos (sat. de Mars)
Photographié par Curiosity



- passage des exoplanètes
- passage des satellites devant leur planète
 - ex: satellites de Jupiter
- **passage de la Lune devant le soleil** (cas où le diamètre de la Lune est inférieur à celui du soleil)

- **les éclipses partielles ou annulaires de soleil n'existent pas : ce sont des passages ??**

question:

- cas où un astre lumineux passe devant un autre astre lumineux: binaires... **à éclipses** ??



Difficultés sémantiques

la définition des termes **éclipse / occultation / passage** fait intervenir:

- **la taille**
 - diamètre respectif des deux astres
 - base de la distinction occultation \leftrightarrow passage
- **la position relative**
 - ce qui précède est en général « vu d'un observateur terrestre »
 - or, l'observation de ces phénomènes dépend de la position de l'observateur
- **l'éclat**
 - cas de deux astres brillants (étoiles binaires à éclipses)?
 - quand un satellite de Jupiter en occulte un autre, l'occultation ne fait-elle pas intervenir deux astres « brillants » ?
 - l'éclat du disque planétaire 'éclipse'-t-il le satellite en passage (Europe le 19/2/2015) ?



et le mouvement relatif, dans tout ça ?

- le mouvement relatif Soleil / Lune

02/09/2005 - 20h21

Mister Quartz
●●●●●
INSATIABLE

Date d'inscription: avril 2004

Localisation: Epinal

Âge: 35

Messages: 253

Re : Eclipse / Occultation

Oui, bien sûr, je comprends. En fait pour moi, il y avait éclipse quand c'est l'objet éclipse qui se déplace.

Quand il y a éclipse de soleil, c'est la lune qui vient occulter le soleil, et non le soleil qui vient s'éclipser derrière la lune. Donc on devrait (ou plutôt je devrais) appeler ça une occultation de soleil. Bon, ça suit ou bien ? 😊

En tout cas, y a pas de quoi se casser la tête là-dessus.

PS: tiens, moi c'est mon 201ème 😊 .

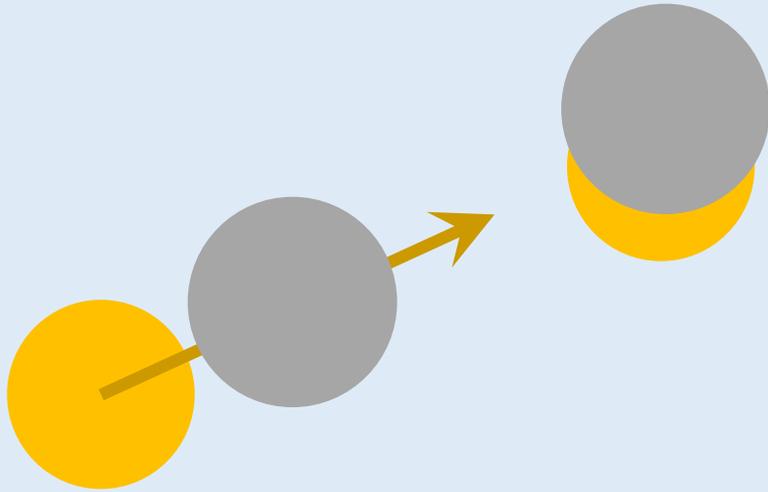
vu sur AstroSurf...



*Le soleil a rendez-vous avec la lune
Mais la lune n'est pas là et **le soleil l'attend**
Ici-bas souvent chacun pour sa chacune
Chacun doit en faire autant
La lune est là, la lune est là
La lune est là, mais le soleil ne la voit pas
Pour la trouver il faut la nuit
Il faut la nuit mais le soleil ne le sait pas et
toujours luit
Le soleil a rendez-vous avec la lune*

et le mouvement relatif, dans tout ça ?

le 20 mars à Charnay:

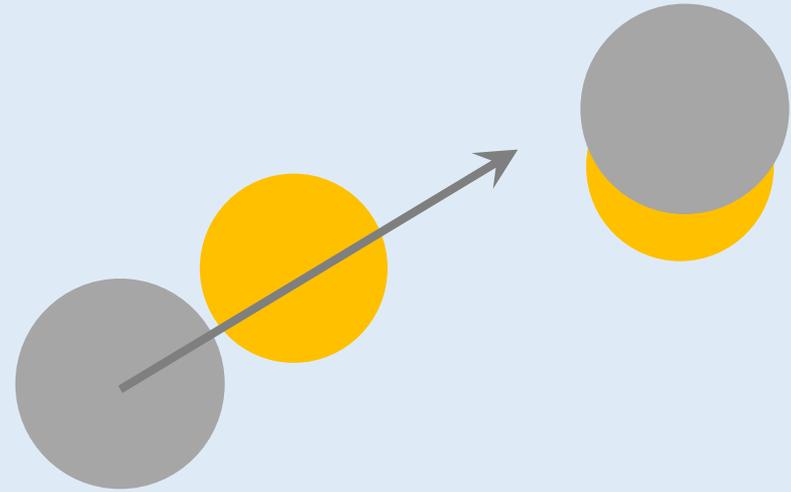


le Soleil est plus à l'Est que la Lune

le Soleil « rattrape » la Lune

le Soleil se glisse derrière la Lune

A



la Lune est plus à l'Est que le Soleil

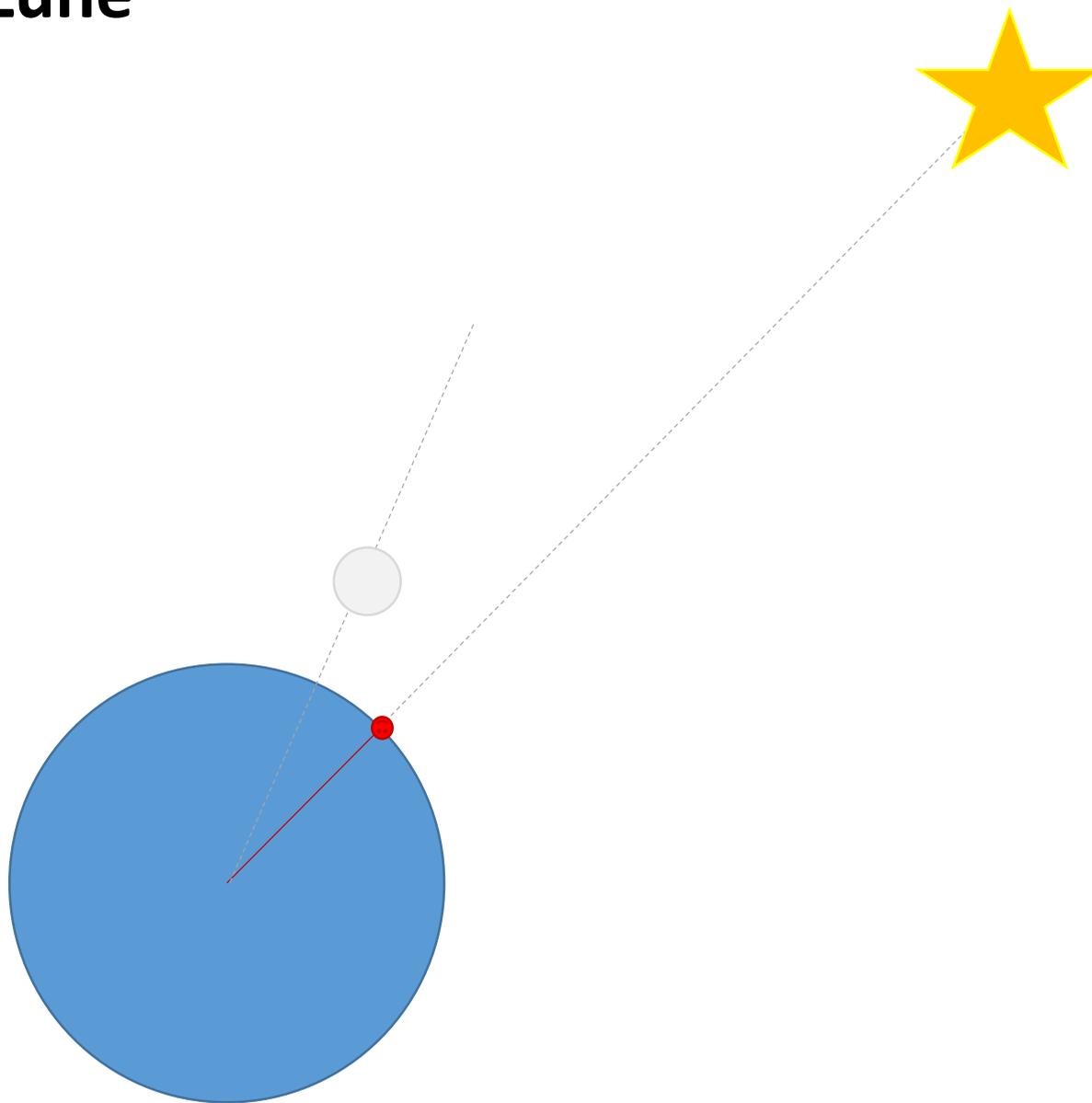
la Lune « rattrape » le Soleil

la Lune passe devant le Soleil

B

Soleil - Terre - Lune

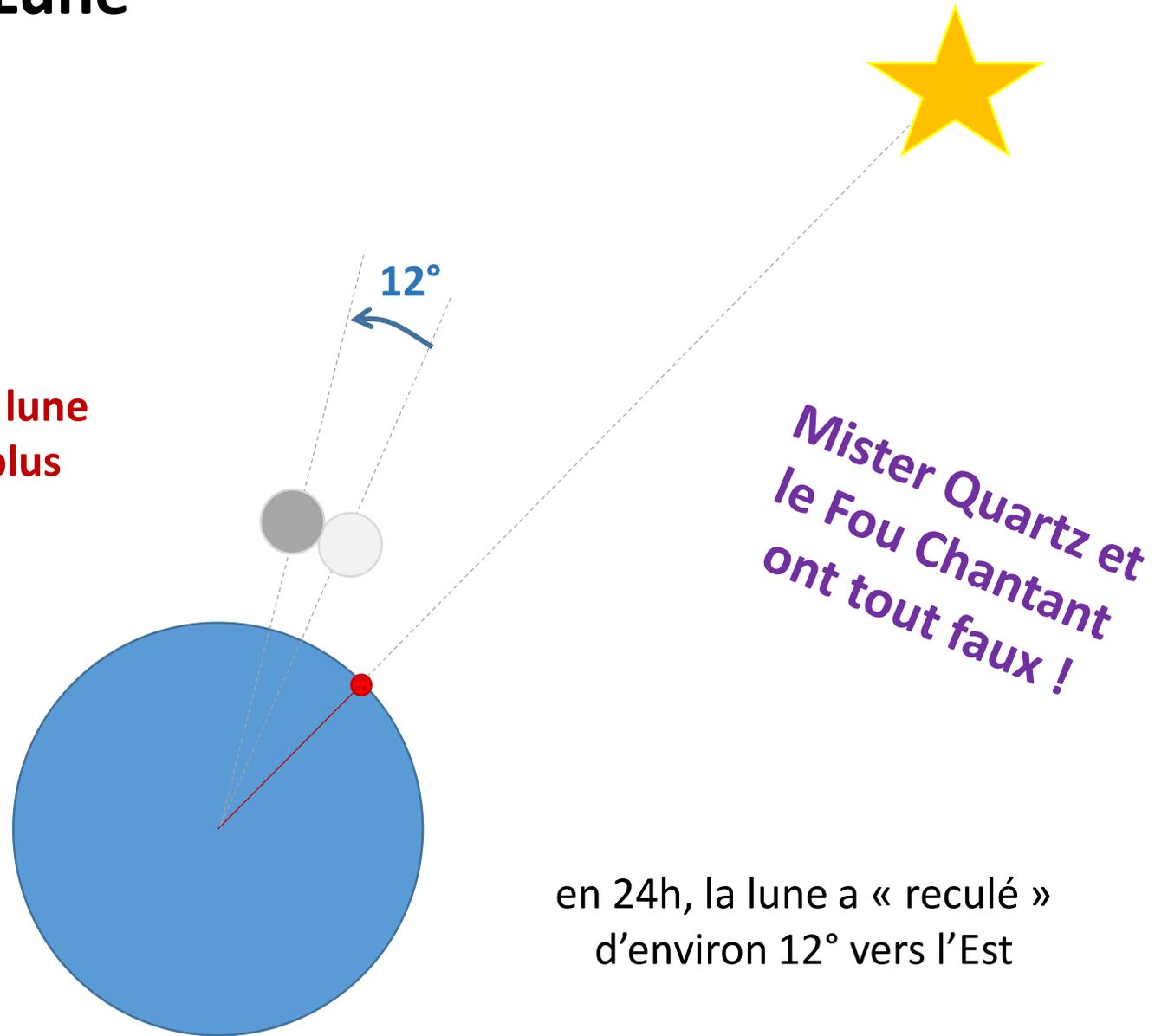
t = 0



Soleil - Terre - Lune

t = +24h

dans le repère local, le mouvement apparent de la lune (de l'Est vers l'Ouest) est plus lent que celui du soleil



Mister Quartz et le Fou Chantant ont tout faux !

en 24h, la lune a « reculé » d'environ 12° vers l'Est

le premier contact intéresse donc le côté Ouest du Soleil, qui se « glisse » sous la Lune



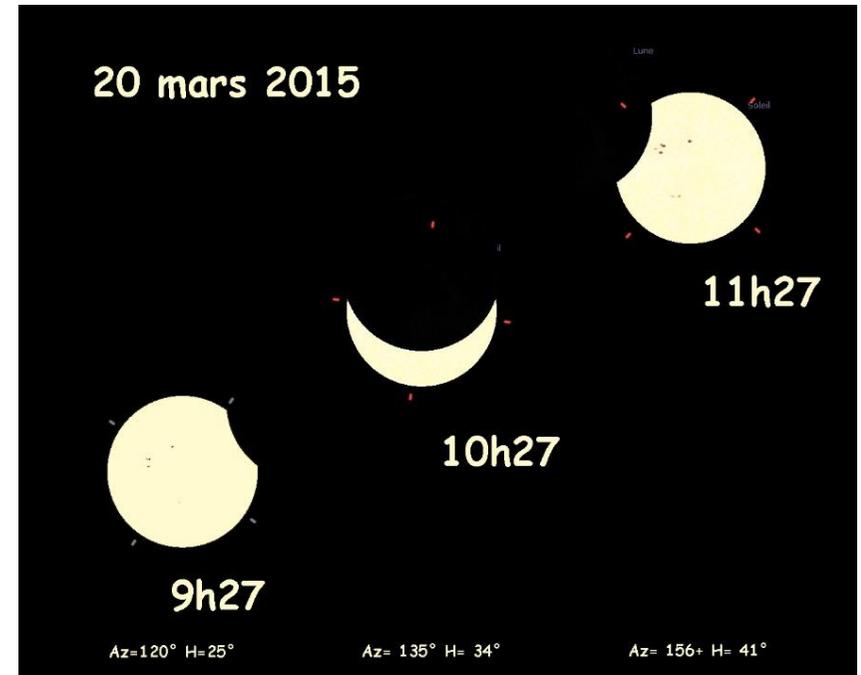
... c'est le Soleil qui « voile sa face »...

comme toujours,
Tintin a raison !!



- lors d'une éclipse de Soleil dans **l'hémisphère Nord** :
 - les deux astres passent d'Est en Ouest... mais le spectacle a lieu au Sud !
 - donc « **de gauche à droite** »

ex. du 20 mars 2015 à Charnay

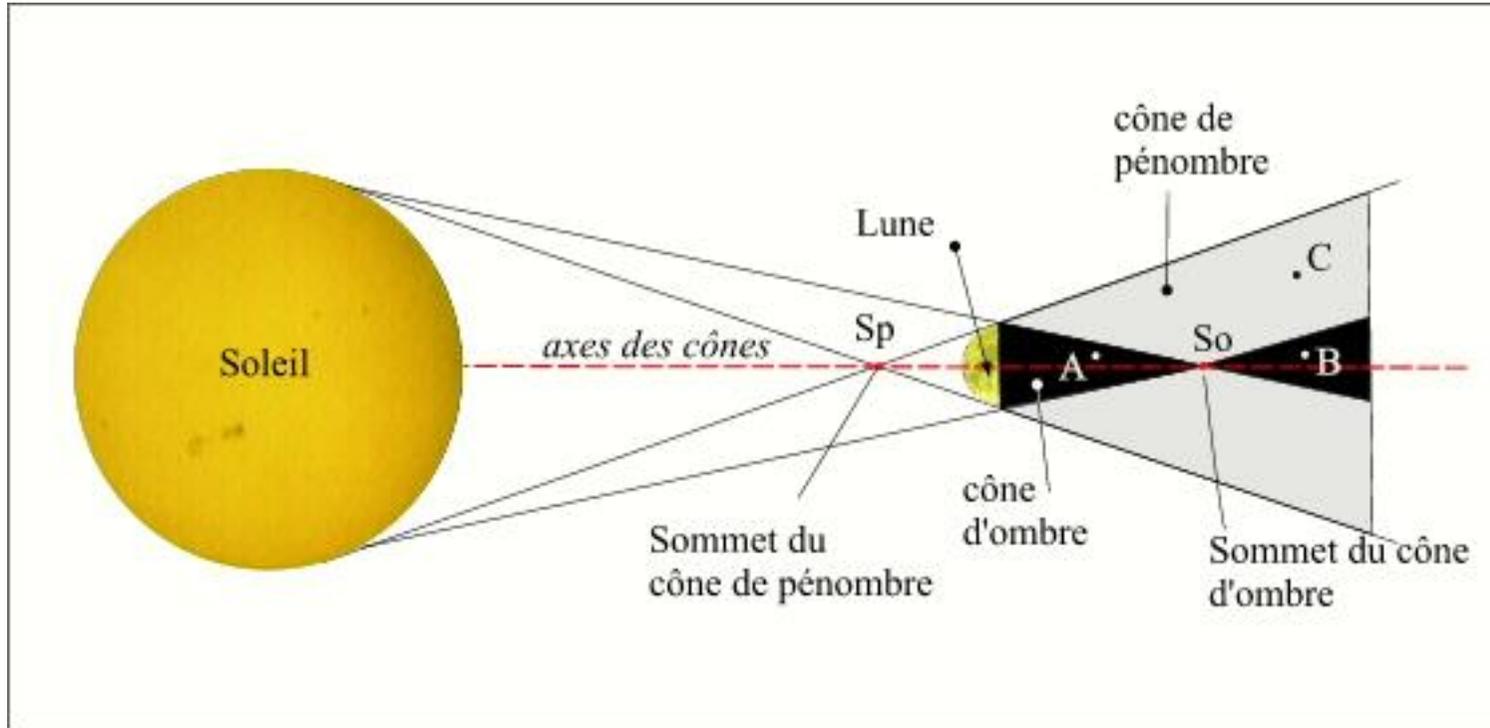


- lors d'une éclipse de Soleil dans **l'hémisphère Sud**:
 - les deux astres passent d'Est en Ouest... mais le spectacle a lieu au Nord !
 - donc « **de droite à gauche** »

ex. du 2 juillet 2019 à La Serena (Chili)

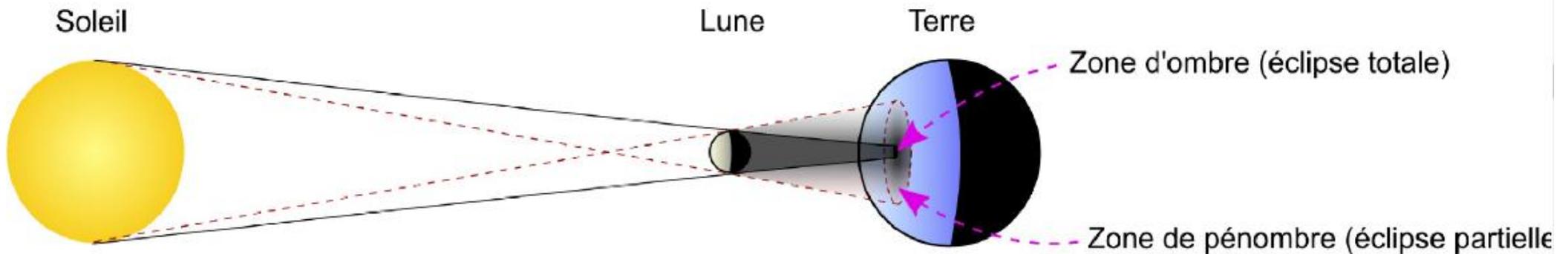
- dans la **zone intertropicale** $-23^\circ < \lambda > +23^\circ$:
 - les deux cas sont possibles: observation au Nord, ou au Sud

Ombre et pénombre



en A: totale
 en B: annulaire
 en C: partielle

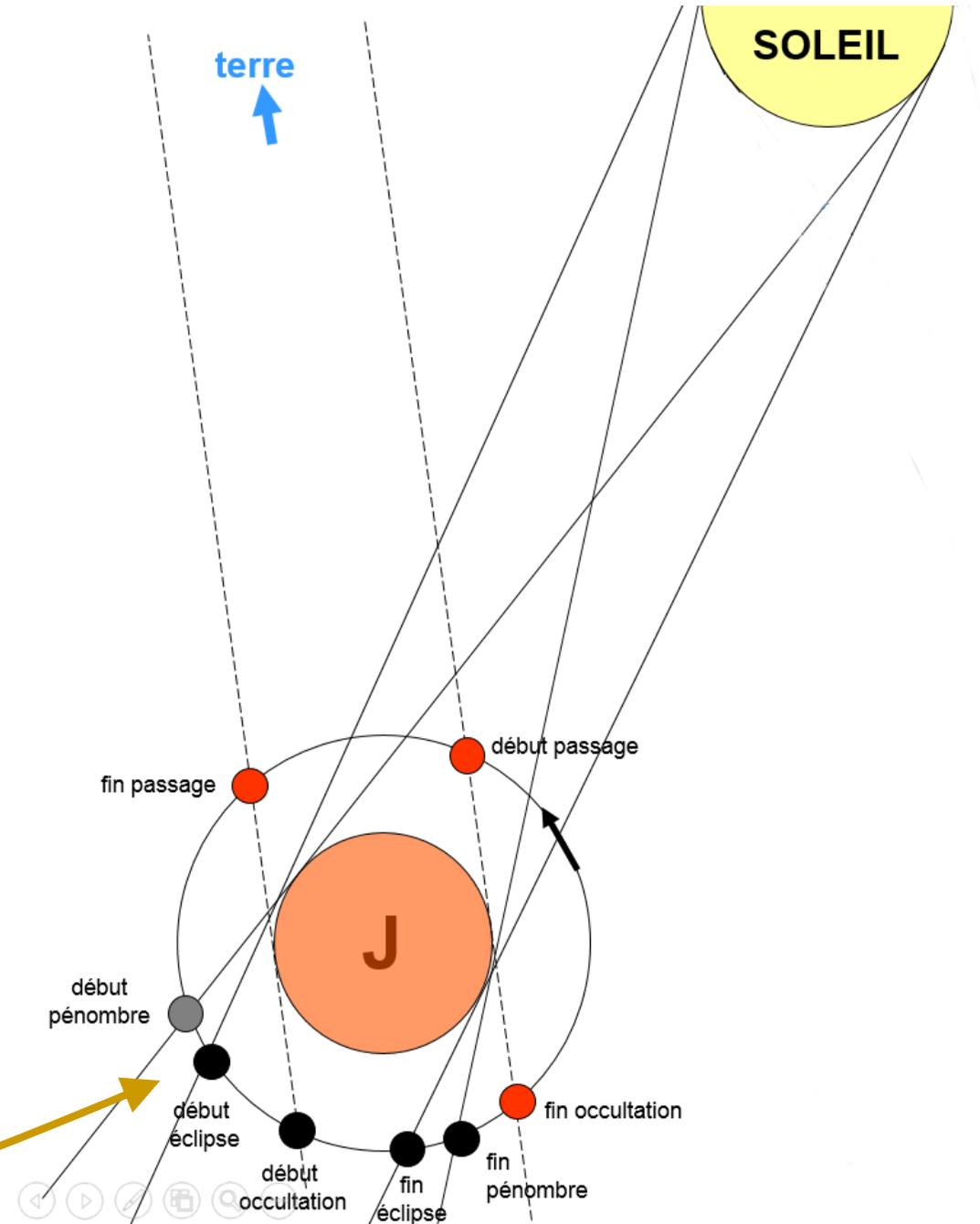
définies respectivement par les tangentes extérieures et intérieures aux deux astres



Ombre et pénombre

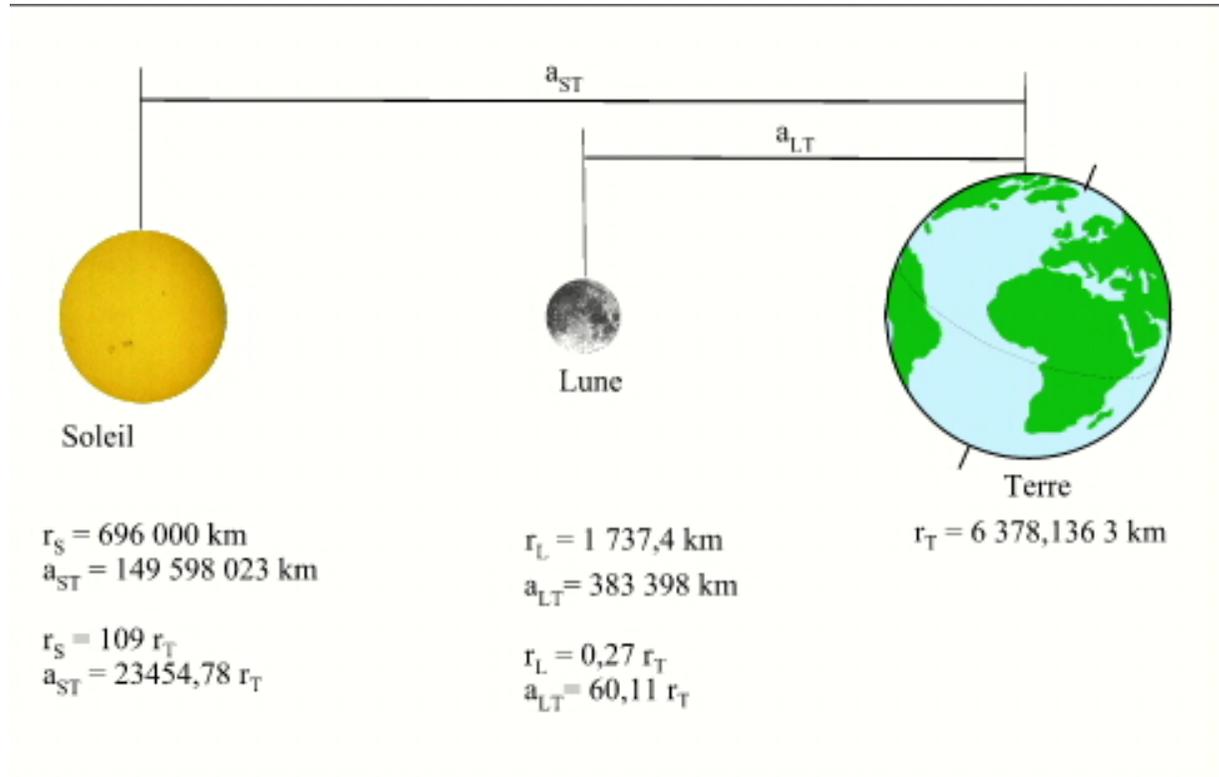
exemple d'un satellite de Jupiter

le satellite passe d'abord dans la pénombre puis l'ombre, avant d'être occulté

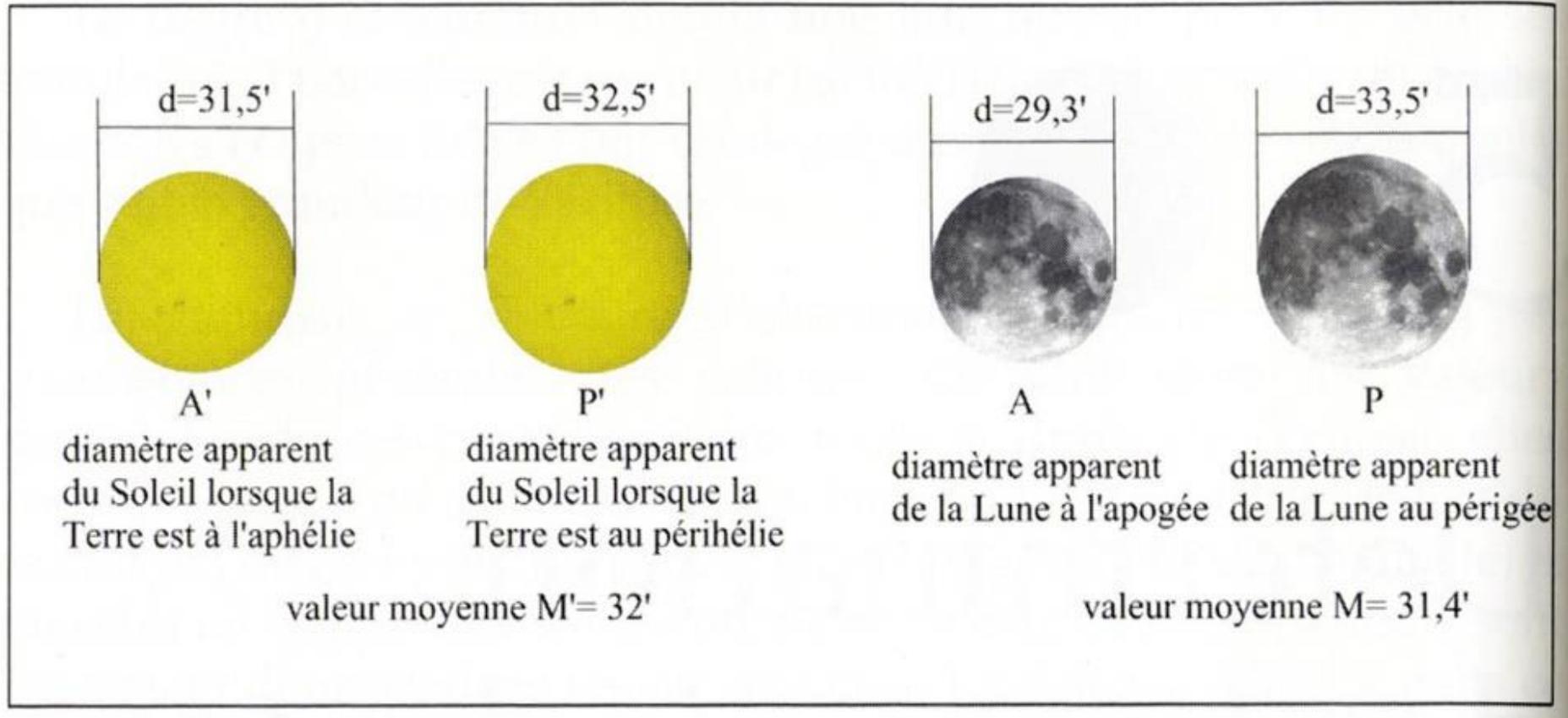




Les dimensions respectives

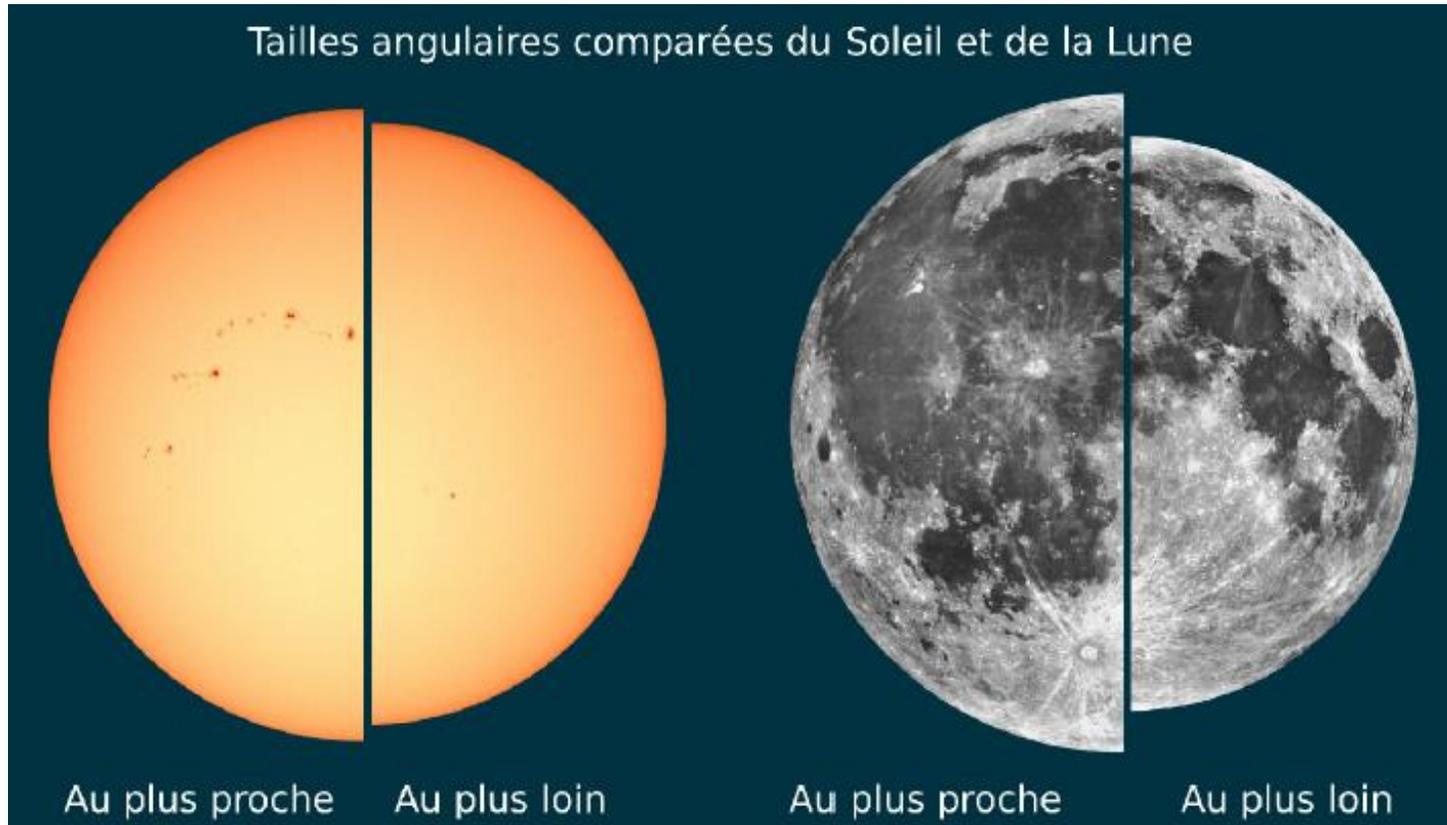


Les dimensions respectives



Les diamètres apparents respectifs

- **diamètres apparents respectifs** de la Terre et de la Lune

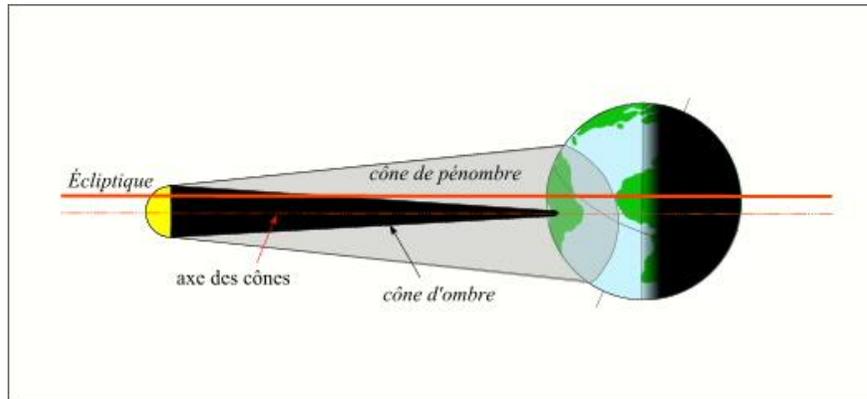


*coup de chance !!!
complètement fortuit !!!*

Différents types d'éclipse

selon position de l'axe des cônes sur la durée de l'éclipse

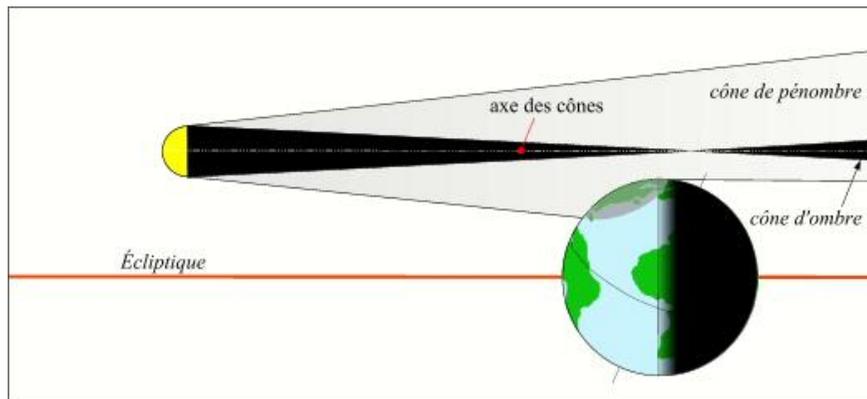
éclipse **centrale**



totale
annulaire
partielle

l'axe traverse la Terre

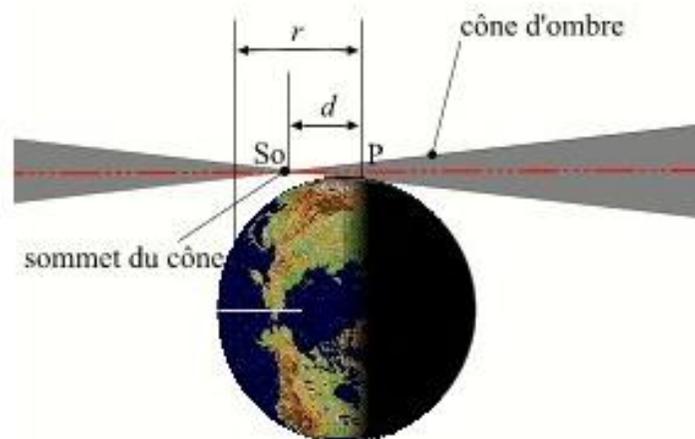
éclipse **non centrale**



annulaire
totale
partielle

l'axe est extérieur à la Terre

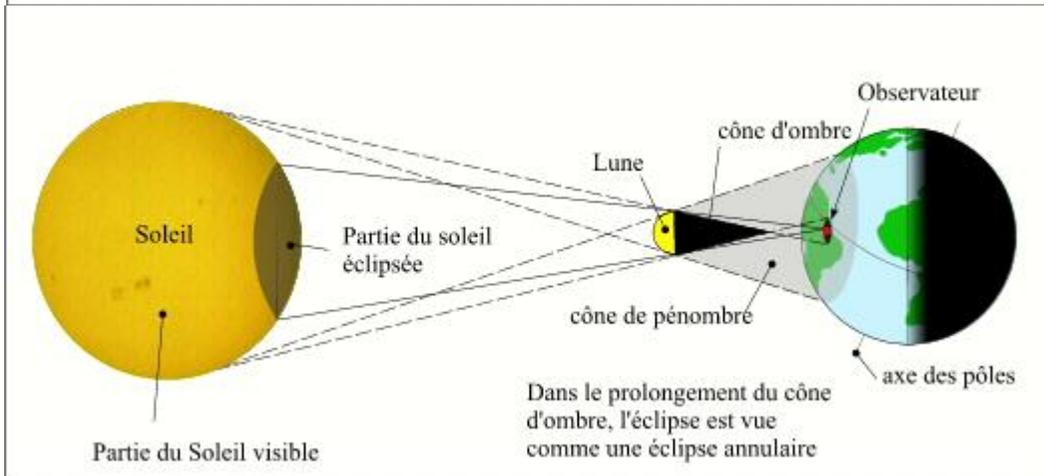
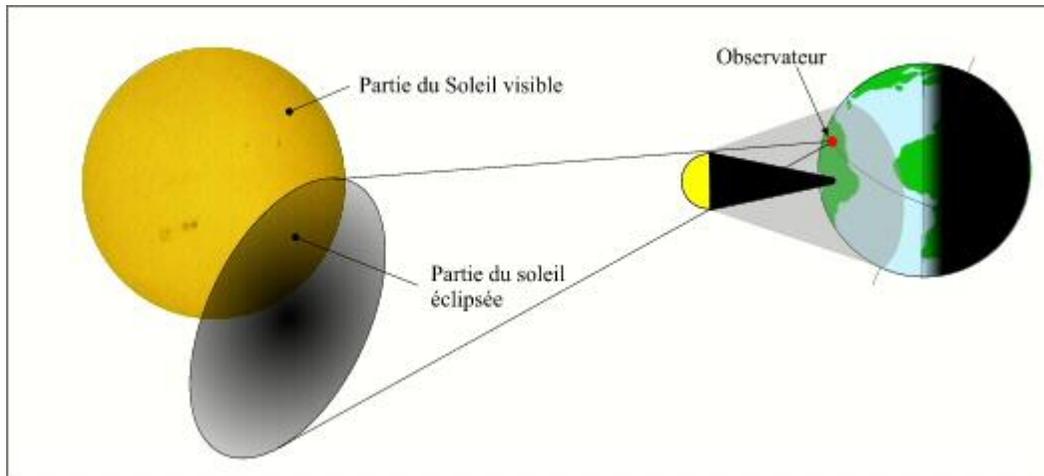
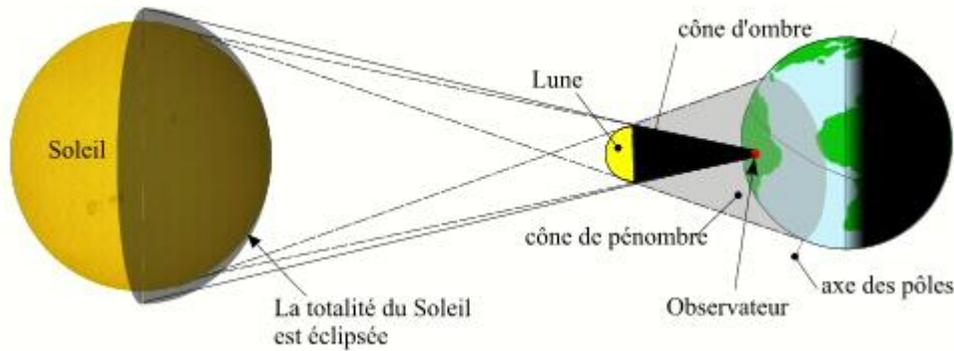
éclipse **mixte**
(ou perlée)



d'abord annulaire
puis totale
enfin annulaire

la Terre durant le
phénomène passe à
l'avant et à l'arrière du
cône d'ombre

Eclipses centrales (l'axe des cônes traverse la terre)



si la Terre est **devant** le sommet du cône d'ombre:
selon position de l'observateur:

totale

partielle

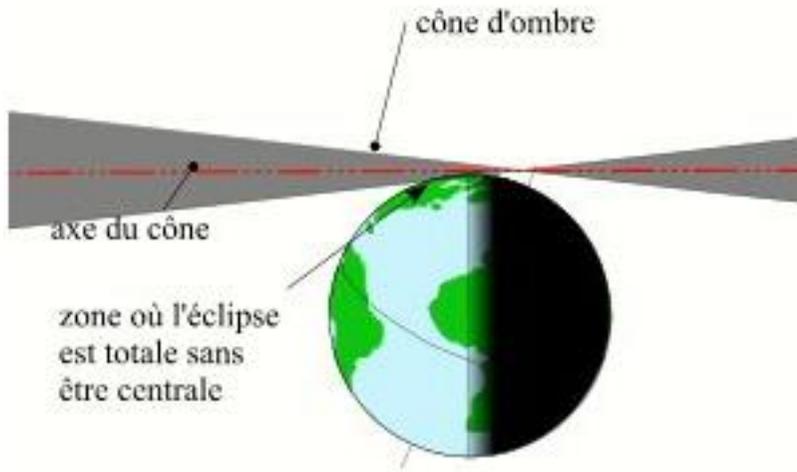
si la Terre est **derrière** le sommet du cône d'ombre:
selon position de l'observateur:

annulaire

partielle

(non représentée;
obs extérieur au cône d'ombre)

Eclipses non centrales (l'axe des cônes est extérieur à la Terre)



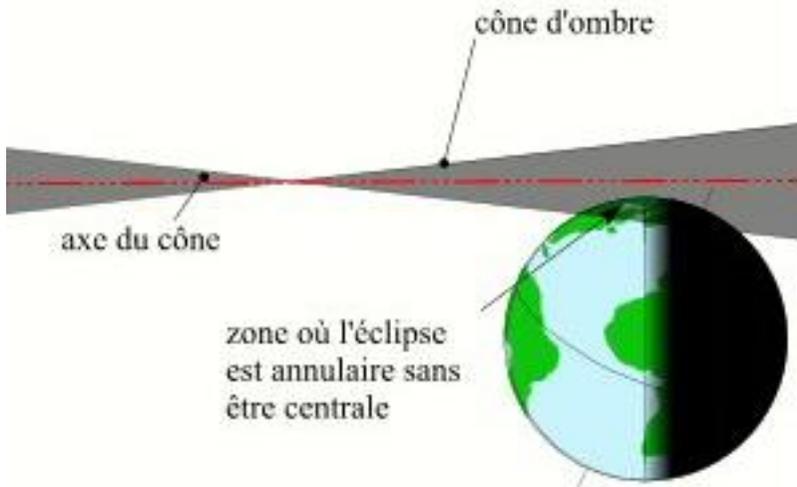
si la Terre est **devant** le sommet du cône d'ombre:
selon position de l'observateur:

totale



partielle

(non représentée;
obs extérieur au cône d'ombre)



si la Terre est **derrière** le sommet du cône d'ombre:
selon position de l'observateur:

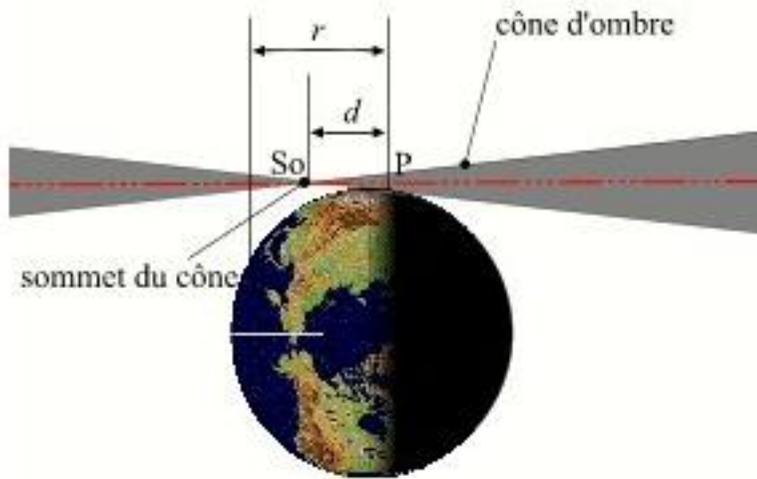
annulaire



partielle

(non représentée;
obs extérieur au cône d'ombre)

Eclipses mixtes (l'axe des cônes touche ou quitte la terre)



pendant le phénomène, l'éclipse est:

**d'abord annulaire,
puis totale
enfin annulaire**

selon position de l'observateur, elle peut aussi être:

partielle

leur géométrie implique que les diamètres apparents de la Lune et du Soleil soient très proches



grains de Baily très visibles

éclipses perlées





Comment calculer une éclipse ?

1) caractérisation du mouvement apparent du Soleil

- éléments orbitaux du mouvement apparent du soleil (« inverse » de l'orbite terrestre)
 - **longitude et latitude du Soleil** dans le repère géocentrique écliptique

$$\begin{aligned} \odot = L + (1,919\ 444 - 0,004\ 722\ T)\sin M_o + 0,02 \sin 2M - 0,001\ 944 \cos(M_o - M_3) \\ + 0,001\ 666 \sin (M_5 - L) + 0,001\ 388 \sin (4 M_o - 8 M_2 + M_3) - 0,001\ 388 \cos (M_o - M_1) \\ - 0,001\ 111 \sin (M_o - M_1) + 0,001\ 111 \cos (4 M_o - 8 M_2 + M_3) + 0,000\ 833 \\ \sin 2 (M_o - M_1) - 0,000\ 833 \sin M_3 - 0,000\ 833 \sin 2 (M_o - M_3) \quad (20) \end{aligned}$$

et de la Lune

- éléments orbitaux du mouvement apparent de la Lune
- prise en compte des nombreux mouvements de la Lune

→ **longitude et latitude de la Lune** dans le repère géocentrique écliptique

2°) Calcul de la longitude écliptique de la Lune:

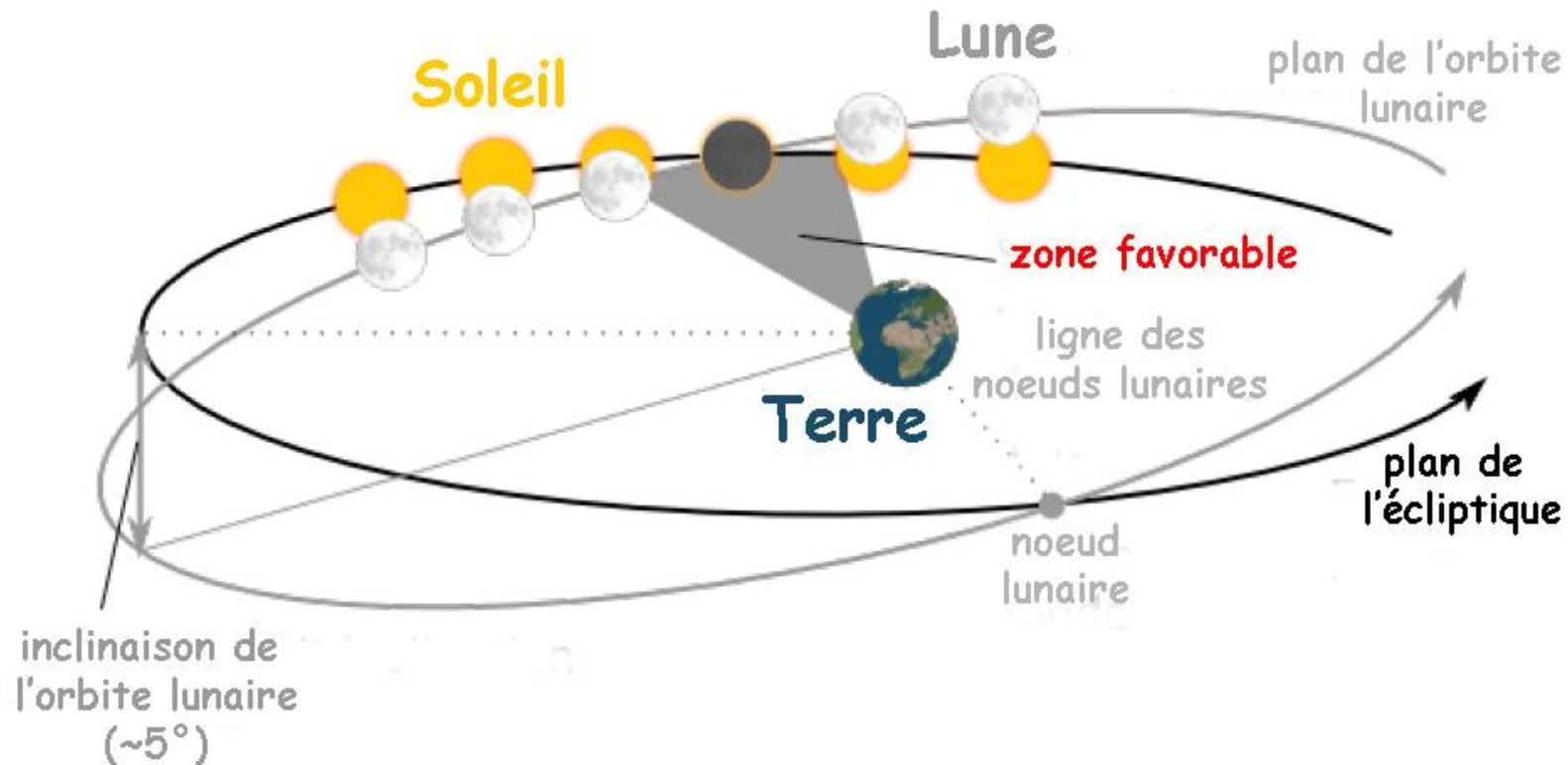
Elle est donnée par le développement suivant dans lequel les coefficients des termes périodiques sont exprimés en secondes d'arc.

$$\begin{aligned} \lambda = L + 22\ 640 \sin M - 4\ 586 \sin(M - 2D) + 2\ 370 \sin 2D + 769 \sin 2M \\ - 668 \sin M_o - 412 \sin 2F - 212 \sin(2M - 2D) - 206 \sin(M - 2D + M_o) \\ + 192 \sin(M + 2D) + 165 \sin(2D - M_o) + 148 \sin(M - M_o) - 125 \sin D \\ - 110 \sin(M + M_o) - 55 \sin(2F - 2D) - 45 \sin(M + 2F) + 40 \sin(M - 2F) \\ - 38 \sin(M - 4D) + 36 \sin(3M) - 31 \sin(2M - 4D) + 28 \sin(M - 2D - M_o) \\ - 24 \sin(2D + M_o) + 19 \sin(M - D) + 18 \sin(D + M_o) + 15 \sin(M + 2D - M_o) \\ + 14 \sin(2M + 2D) + 14 \sin 4D - 13 \sin(3M - 2D) - 11 \sin(M + 16L_o - 18L_2) \\ + 10 \sin(2M - M_o) + 9 \sin(M - 2F - 2D) + 9 \cos(M + 16L_o - 18L_2) - 9 \sin(2M - \\ 2D + M_o) - 8 \sin(M + D) + 8 \sin(2D - 2M_o) - 8 \sin(2M + M_o) - 7 \sin 2M_o \\ - 7 \sin(M - 2D + 2M_o) + 7 \sin \Omega - 6 \sin(M - 2F + 2D) - 6 \sin(2F + 2D) \\ - 4 \sin(M - 4D + M_o) + 4T \cos(M + 16L_o - 18L_2) - 4 \sin(2M + 2F) + 4T \sin(M + 16L_o - 18L_2) \\ + 3 \sin(M - 3D) - 3 \sin(M + 2D + M_o) - 3 \sin(2M - 4D + M_o) + 3 \sin(M - 2M_o) \\ + 3 \sin(M - 2D - 2M_o) - 2 \sin(2M - 2D - M_o) - 2 \sin(2F - 2D + M_o) + 2 \sin(M + 4D) \\ + 2 \sin 4M + 2 \sin(4D - M_o) + 2 \sin(2M - D). \end{aligned}$$

Comment calculer une éclipse ?

2) conditions de survenue d'une éclipse de soleil

- éclipse si et seulement si la distance des centres deux astres est inférieure à la somme de leurs rayons *corrigés de la parallaxe*
 - critère en longitude satisfait ?
 - critère en latitude satisfait ?
- date de survenue d'une éclipse





Comment calculer une éclipse ?

3) pour une date d'éclipse donnée

- calcul des éléments **généraux** de l'éclipse
 - ➔ type d'éclipse, début, fin, etc...
- calcul des éléments **locaux** de l'éclipse (méthode de Bessel)
 - prise en compte des nombreux mouvements de la Lune
 - ➔ longitude et latitude de la Lune dans le repère géocentrique écliptique

caractéristiques **générales** ou **globales**:

- liées aux positions héliocentriques des planètes
- indépendantes de la position de l'observateur sur la Terre

caractéristiques **locales**:

- liées à la position de l'observateur
- font intervenir la rotation terrestre et son inclinaison sur l'écliptique

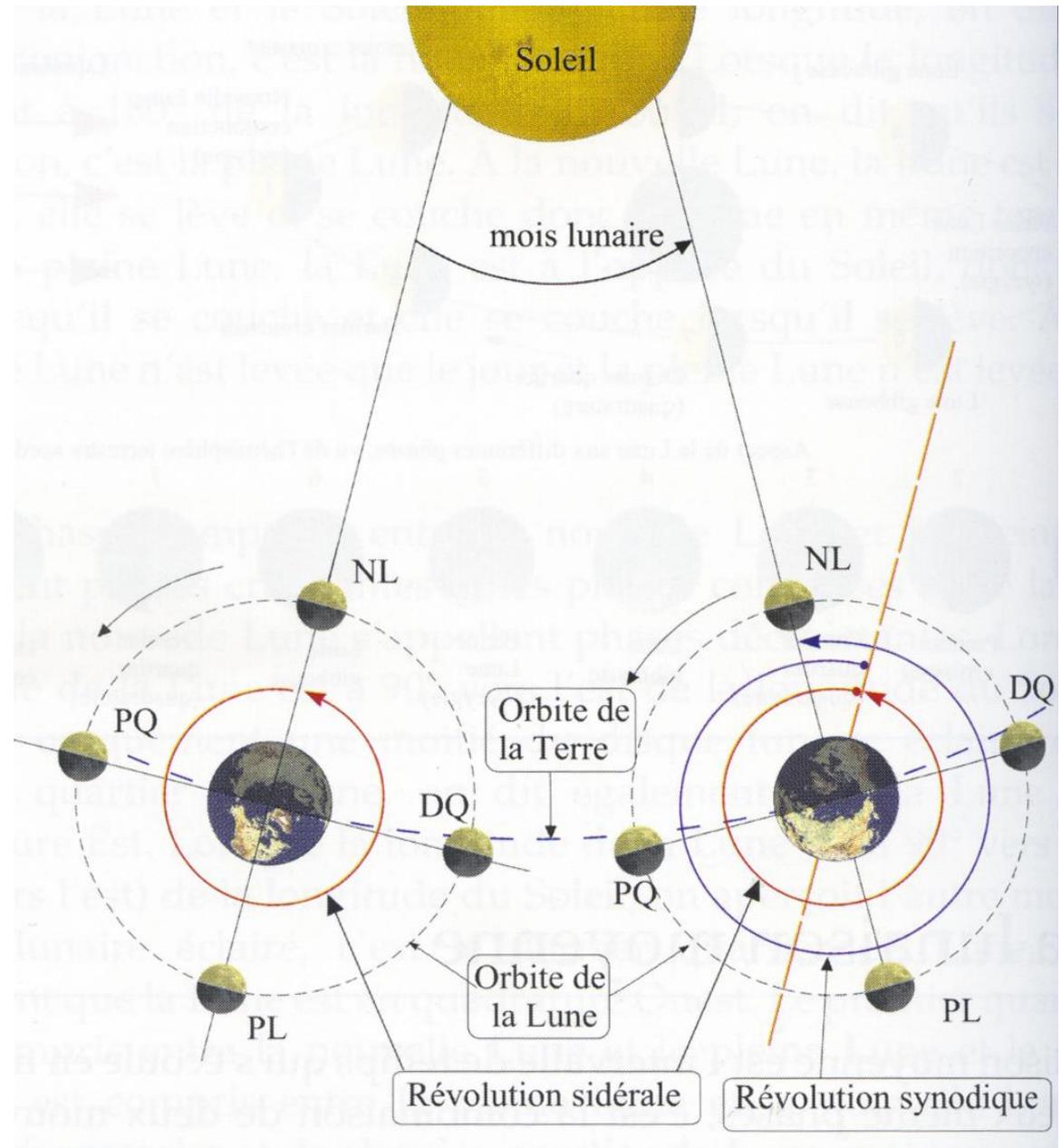
Mouvement de la Lune

retour à la même phase, plus long que la révolution sidérale, du fait que la Terre se déplace pendant le mois lunaire:

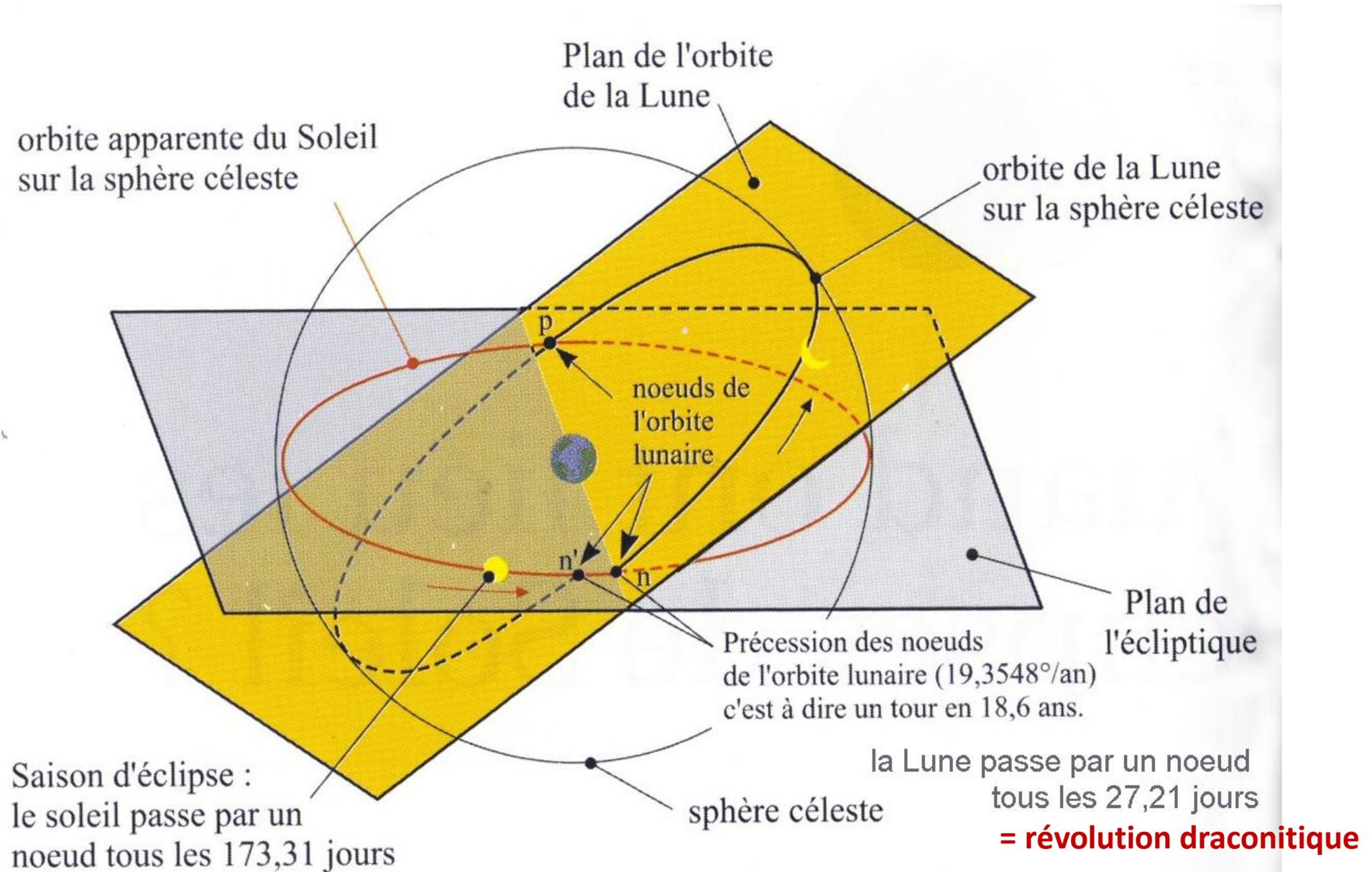
$$\begin{array}{l} \text{révolution sidérale} \\ \text{de la Lune} \end{array} \quad \begin{array}{l} \text{de la Terre} \\ \text{de la Terre} \end{array} \\ 1/27,321 \quad - \quad 1/365,256 = 1/29,539$$

révolution synodique ou lunaison

retour à la même phase



Sygygies: alignements Soleil Terre Lune





Syzygies: alignements Soleil Terre Lune

- *alignement parfait si et seulement si:*
 - *le Soleil et la Lune sont sur la ligne des nœuds de l'orbite Lunaire*
- *Nouvelle Lune:* le Soleil et la Lune ont la même **longitude** géocentrique
- *Pleine Lune:* le Soleil et la Lune ont des **longitudes** géocentriques différant de 180°

ATTENTION: les syzygies sont un phénomène global;
elles n'ont rien à voir avec la rotation de la Terre:
elles peuvent intervenir à n'importe quelle heure locale

le 20 mars 2015, la Nouvelle Lune est à 9h45 UTC ou 10h45 locales

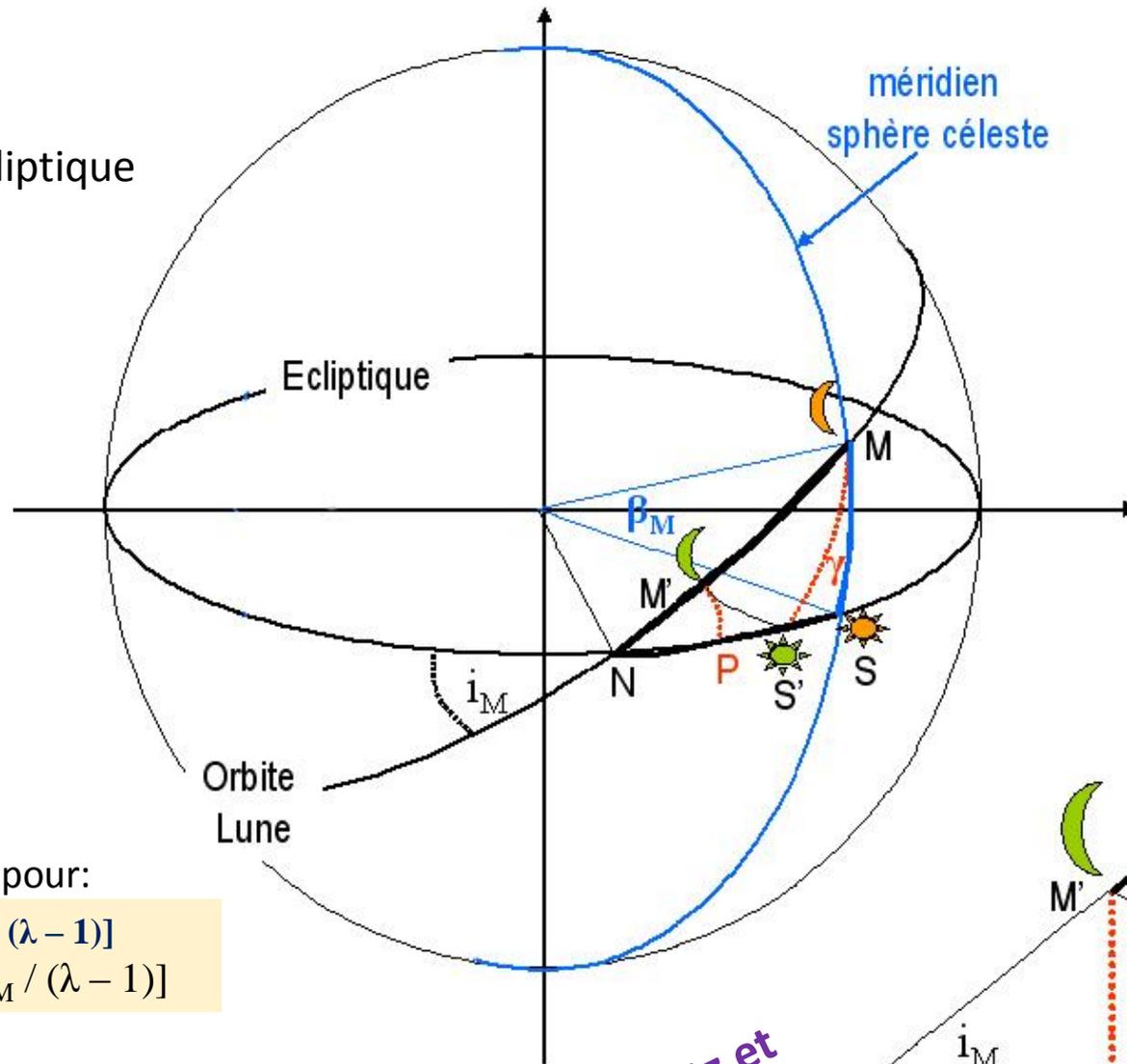
- les **éclipses de soleil** interviennent au voisinage d'une **Nouvelle Lune**
 - les **éclipses de Lune** interviennent au voisinage d'une **Pleine Lune**
- pas d'éclipse à **chaque** NL ou PL:
l'exigence 'ligne des nœuds' apporte aussi la contrainte en **latitude**



Distance apparente Soleil-Lune minimale

repère géocentrique écliptique

β_M : latitude de la Lune à la conjonction



distance minimale Lune Soleil $M'S'$ obtenue pour:

$$\gamma = \text{Arctg} \left[\frac{\text{tg} I \cdot \cos^2 I}{(\lambda - 1)} \right]$$

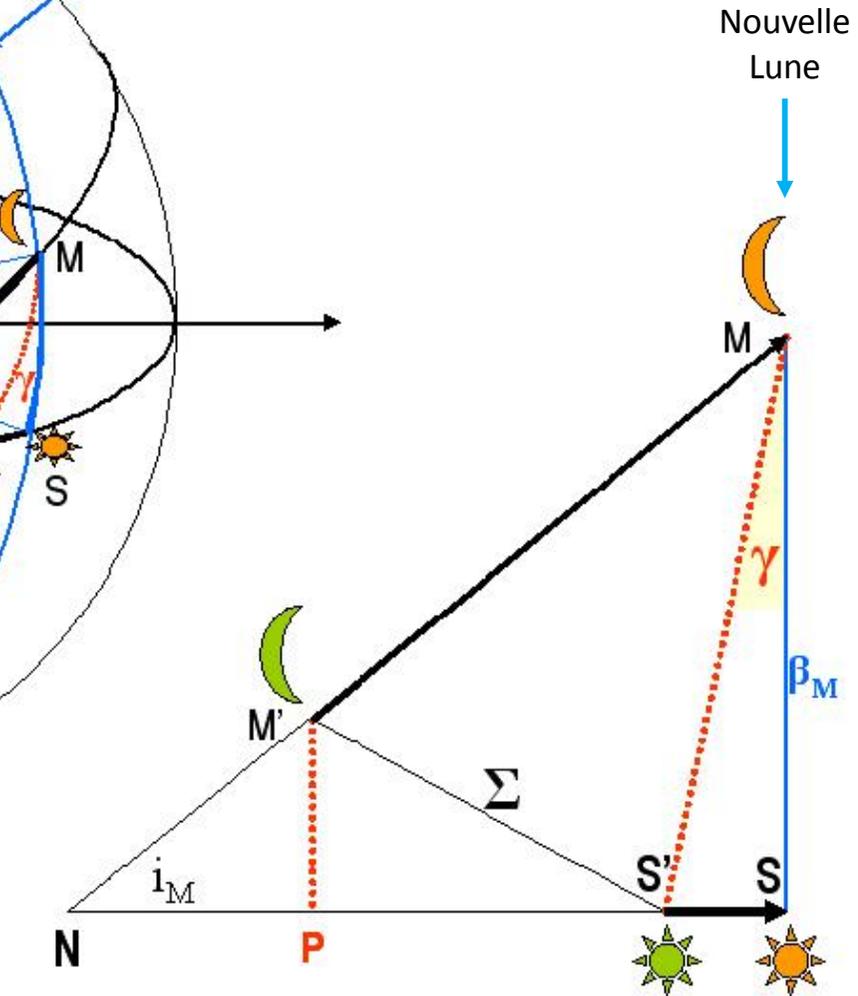
avec : $I = \text{Arctg} \left[\frac{\lambda \cdot \text{tg} i_M}{(\lambda - 1)} \right]$

or $i_M = 5,1^\circ$ et $\lambda \sim 12$, d'où: $I \sim 5,5^\circ$

la distance est alors: $\Sigma = \beta_M \cdot \cos I$

soit $\Sigma \sim 0,995 \cdot \beta_M$

Mister Quartz et le Fou Chantant ont raison... dans ce repère !



$\lambda =$ rapport des vitesses en longitudes de la Lune et du Soleil

$\lambda \sim '365/29' > 1$



Critère en latitude

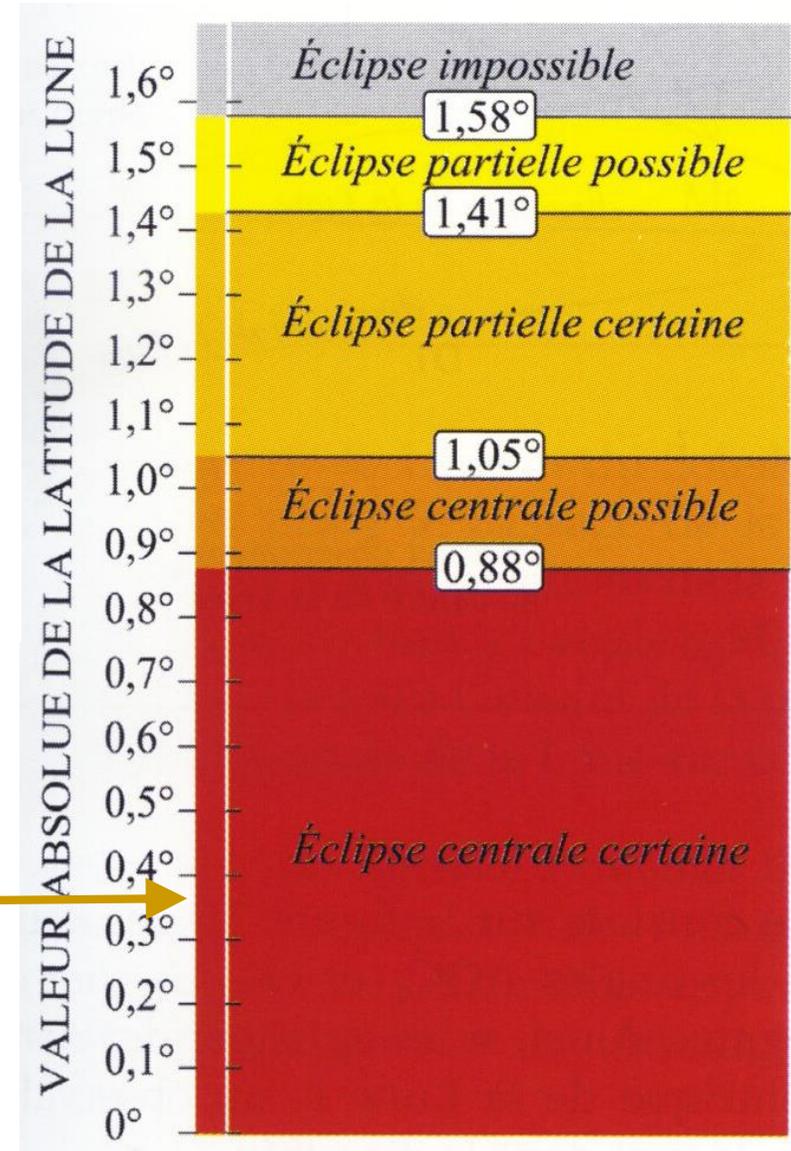
tout se joue sur 1,5° !!

- selon latitude β_M de la Lune à la conjonction

#	#	#	Date UTC	R.A.	Dec.	Distance	V.Mag	Phase
#	#	#	h m s	h m s	° ' "	Rt.		°
20	3	2015	9 0 0.00	23 54 14.81394	+00 28 7.0269	56.111419292	5.76	178.93
20	3	2015	9 5 0.00	23 54 26.85734	+00 29 6.5594	56.112017200	5.82	178.95
20	3	2015	9 10 0.00	23 54 38.90054	+00 30 6.0894	56.112618774	5.88	178.97
20	3	2015	9 15 0.00	23 54 50.94359	+00 31 5.6169	56.113224015	5.93	178.99
20	3	2015	9 20 0.00	23 55 2.98640	+00 32 5.1414	56.113832920	5.98	179.00
20	3	2015	9 25 0.00	23 55 15.02902	+00 33 4.6631	56.114445488	6.02	179.01
20	3	2015	9 30 0.00	23 55 27.07145	+00 34 4.1819	56.115061720	6.05	179.02
20	3	2015	9 35 0.00	23 55 39.11371	+00 35 3.6981	56.115681618	6.07	179.03
20	3	2015	9 40 0.00	23 55 51.15575	+00 36 3.2111	56.116305175	6.08	179.03
20	3	2015	9 45 0.00	23 56 3.19759	+00 37 2.7211	56.116932394	6.09	179.03
20	3	2015	9 50 0.00	23 56 15.23928	+00 38 2.2282	56.117563278	6.08	179.03
20	3	2015	9 55 0.00	23 56 27.28074	+00 39 1.7320	56.118197819	6.07	179.03
20	3	2015	10 0 0.00	23 56 39.32200	+00 40 1.2326	56.118836021	6.05	179.02

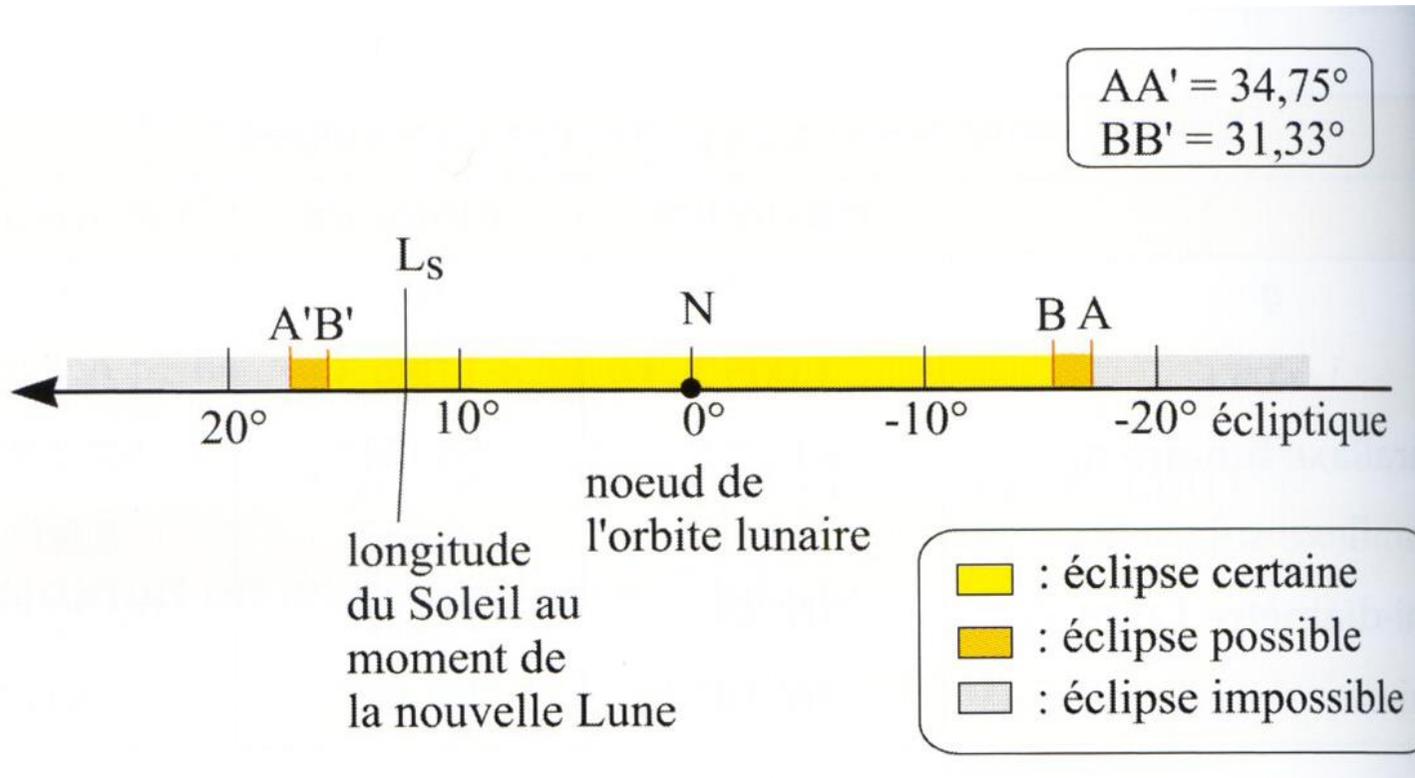
le 20 mars 2015, la latitude de la Lune à la conjonction (Nouvelle Lune) est de **0°37'**

→ éclipse centrale certaine



Critère en longitude

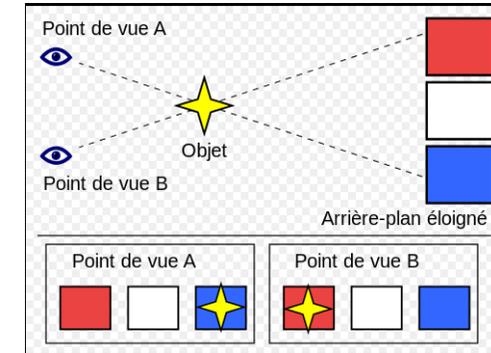
« marge de manœuvre » de 30° !!



la contrainte en latitude ($\sim 30^\circ$) est beaucoup moins forte qu'en longitude!!
 c'est le reflet de la faible inclinaison de l'orbite!!

Critère de survenue d'éclipse

- il faut **tenir compte de la parallaxe**,
(car un observateur de l'éclipse n'est pas au centre du repère géocentrique)



- Il y a éclipse (au moins partielle), si la distance minimale des centres Soleil-Lune est inférieure à la somme des demi-diamètres apparents (corrigée de la différence de leur parallaxe) du Soleil et de la Lune

$$\Sigma = \beta_M \cdot \cos I < (D_M + D_S) + (\pi_M - \pi_S)$$

- Il y a éclipse centrale, si la distance minimale des centres Soleil-Lune est inférieure à la différence des demi-diamètres apparents (corrigée de la différence de leur parallaxe)

$$\Sigma = \beta_M \cdot \cos I < (D_M - D_S) + (\pi_M - \pi_S)$$

selon β l'écart de latitude
des centres à la conjonction

- si $\beta > 1^\circ 34' 45'' \rightarrow$ pas d'éclipse
 si $1^\circ 24' 37'' < \beta < 1^\circ 34' 45'' \rightarrow$ éclipse possible
 si $\beta < 1^\circ 24' 37'' \rightarrow$ éclipse certaine



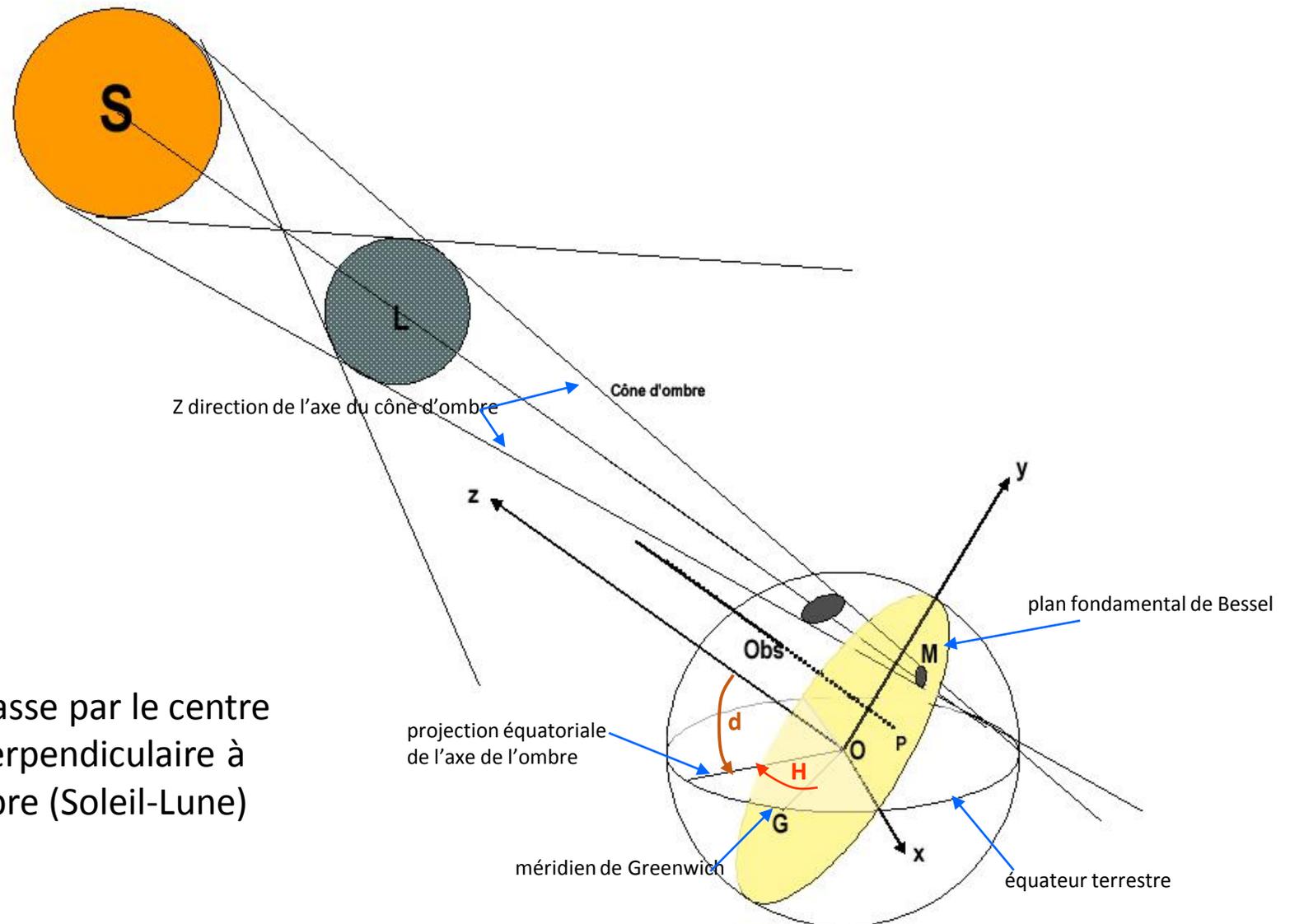
Calcul des circonstances générales

- on calcule les circonstances générales de l'éclipse

Circonstance	UT	Longitude	Latitude
Commencement de l'éclipse générale	le 20 à 7h40,8m	+ 23°12,8'	+20°13,9'
Commencement de l'éclipse totale	le 20 à 9h 9,4m	+ 45°10,5'	+51°56,2'
Commencement de l'éclipse centrale	le 20 à 9h12,7m	+ 45°58,1'	+53°37,6'
Maximum de l'éclipse	le 20 à 9h45,6m	+ 6°37,2'	+64°25,8'
Éclipse centrale à midi ou minuit vrai	le 20 à 10h17,1m	- 27°37,3'	+85° 6,5'
Fin de l'éclipse centrale	le 20 à 10h18,2m	- 97°47,4'	+89°22,8'
Fin de l'éclipse totale	le 20 à 10h21,4m	-111°19,7'	+87°43,4'
Fin de l'éclipse générale	le 20 à 11h50,2m	- 94° 3,9'	+56° 6,2'

Circonstances locales: méthode de Bessel

- puis on calcule les éléments dans le plan de Bessel:



- **le plan de Bessel** passe par le centre de la Terre et est perpendiculaire à l'axe du cône d'ombre (Soleil-Lune)



Calculs dans le plan de Bessel

- puis on détermine les **éléments de Bessel** relatifs à l'éclipse:
 - interpolation en fonction du temps sous la forme de séries polynomiales

Un élément quelconque X , se calcule par la formule suivante :

$$X = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + a_3 t^3 + c \delta\tau$$

	éléments	coefficient a_0	coefficient a_1	coefficient a_2	coefficient a_3	terme c
coordonnées de l'axe de l'ombre dans le plan de Bessel	x	-1,81859295	+0,55345773	+0,00008953	-0,00000937	
	y	+0,40608609	+0,17889283	-0,00002794	-0,00000293	
projection de l'axe de l'ombre dans le plan équatorial	sind	-0,00454605	+0,00027988	-0,00000000		
	cosd	+0,99998966	+0,00000127	-0,00000004		
angle horaire de la projection de l'axe de l'ombre	H	+283,09284815	+15,00440988	+0,00000069	-0,00000002	-0.00417807
rayon des cônes d'ombre et de pénombre	u_e	+0,53575708	+0,00010375	-0,00001296	+0,00000000	
	u_i	+0,01057566	-0,00010323	+0,00001290	-0,00000000	
rayon des cônes d'ombre et de pénombre	$\tan f_e$	+0,00469501				
	$\tan f_i$	-0,00467162				

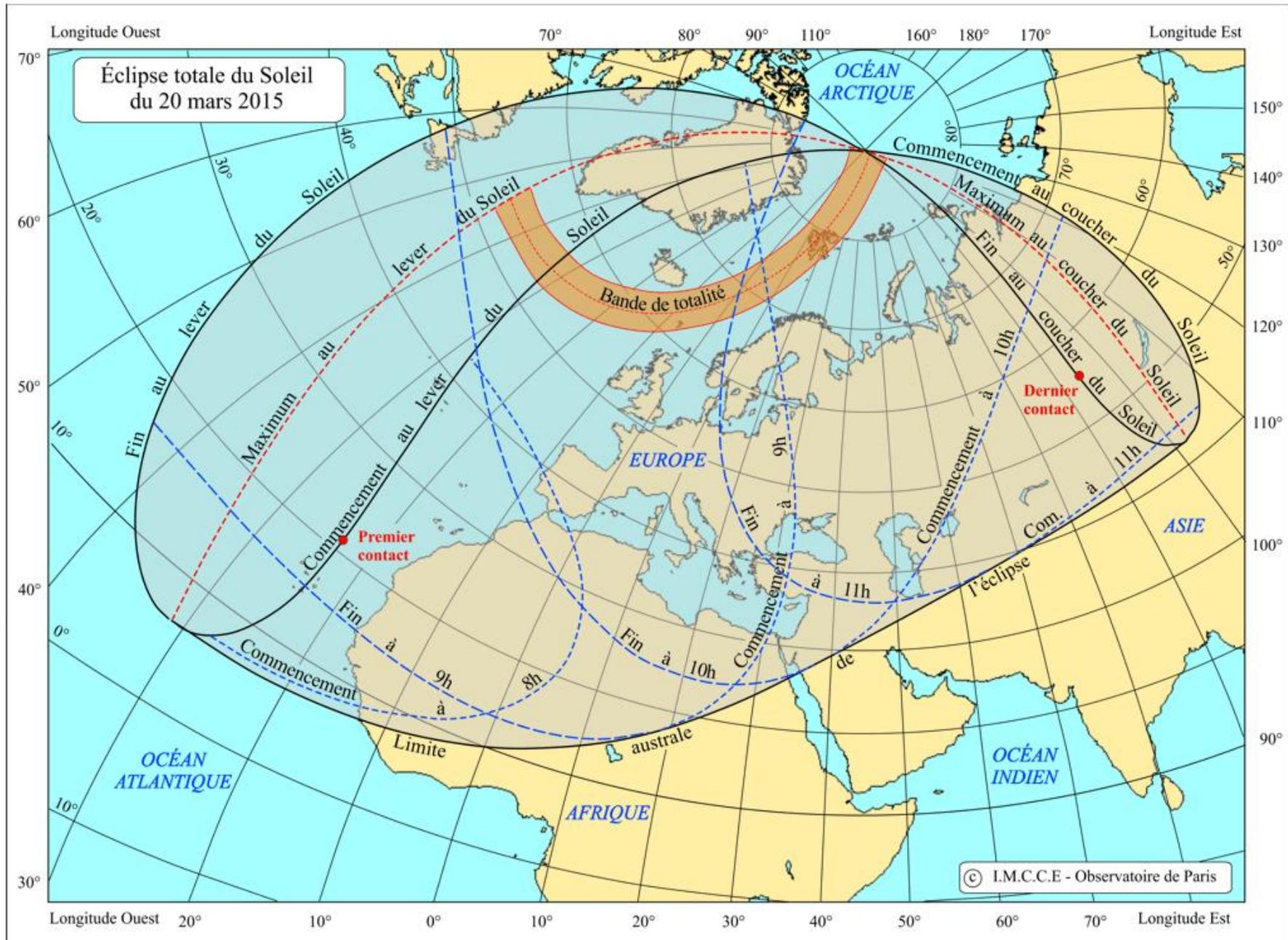


Circonstances locales de l'éclipse à Paris

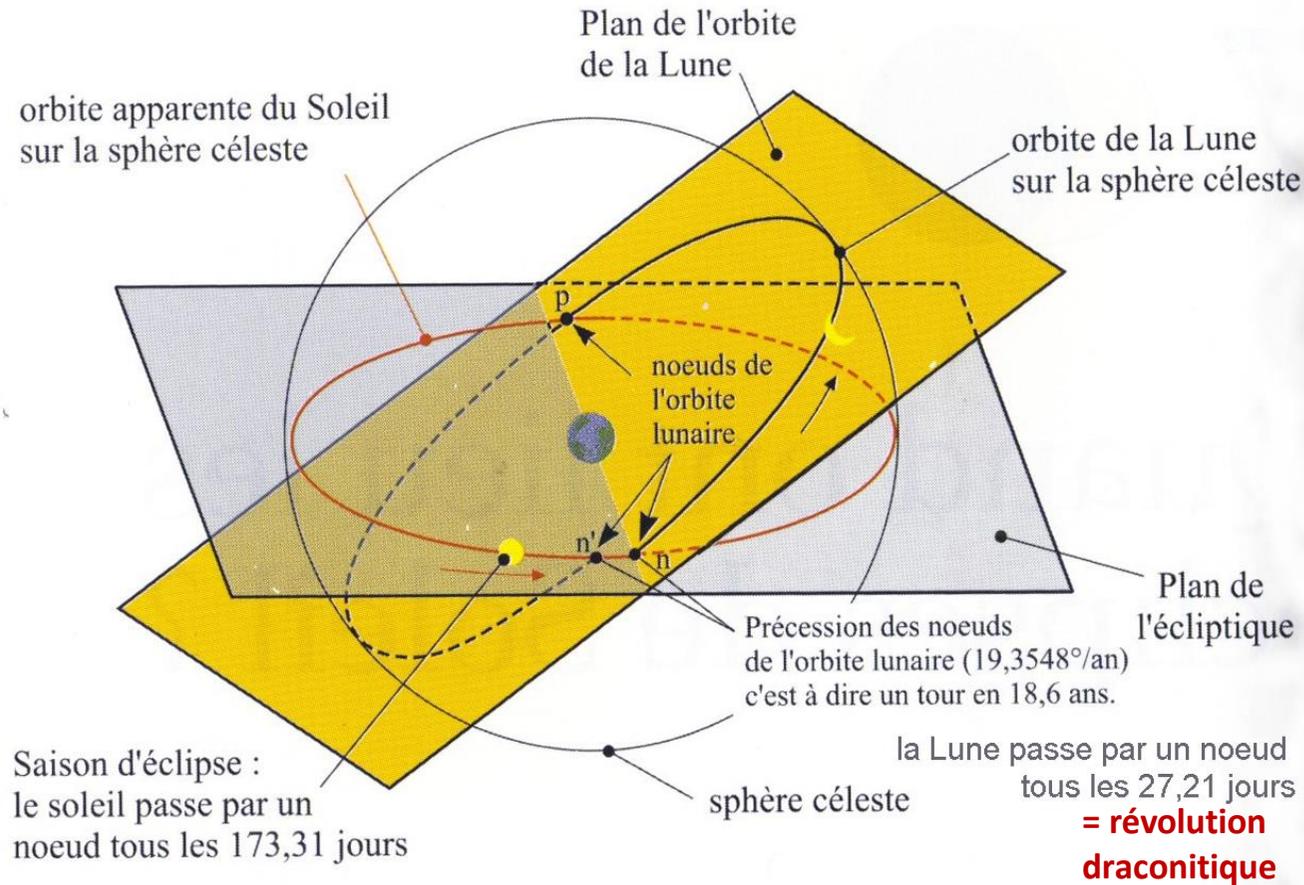
		1 ^{er} contact extérieur	Maximum	2 ^e contact extérieur
instant	t (UT.)	8 h30 m	9 h30 m	10 h30 m
angle horaire de l'axe Terre-Soleil	H	305,599 46°	320,603 88°	335,608 29°
déclinaison de l'axe Terre-Soleil	$\sin d$	-0,004 13	-0,003 85	-0,003 57
	$\cos d$	0,999 99	0,999 99	0,999 99
coordonnée centre de la Lune	x	-0,988 24	-0,434 54	0,119 20
coordonnée lieu d'observation	ξ	-0,532 46	-0,413 57	-0,266 49
écart de coo^{ées} selon x	$U = x - \xi$	-0,455 78	-0,020 96	0,385 69
coordonnée centre de la Lune	y	0,674 35	0,853 10	1,031 74
coordonnée lieu d'observation	η	0,750 82	0,751 19	0,751 37
écart de coo^{ées} selon y	$V = y - \eta$	-0,076 47	0,101 90	0,280 37
vitesse de l'ombre	$\dot{U} = \dot{x} - \dot{\xi}$	0,451 77	0,419 21	0,395 77
	$\dot{V} = \dot{y} - \dot{\eta}$	0,178 21	0,178 28	0,178 34
rayon du cône de pénombre	l_e	0,534 07	0,533 54	0,533 14
quantités utilisées pour le calcul de l'instant des contacts	β	-0,930 80	0,045 20	1,075 40
	γ	-0,303 79		-0,301 82
	$\theta = \pm \sqrt{\beta^2 - \gamma^2}$	-1,081 75		1,207 60
	$\tau = -\beta + \theta$	-0,150 95 h		0,132 20 h
	$\tau_m = -\beta$		-0,045 20 h	
instant des contacts	$t + \tau$	8 h 20 m 56,6 s		10 h 37 m 55,9 s
instant du maximum	$t + \tau_m$		9 h 27 m 17,3 s	



Eclipse du 20 mars 2015



Récurrence des éclipses



- le soleil parcourt: $360,008^\circ/\text{an}$
- le nœud lunaire tourne (en sens inverse) de: $19,355^\circ/\text{an}$

si T la période qui ramène le Soleil au même nœud, alors:

$$360,008 \cdot T + 19,355 \cdot T = 360 \quad \rightarrow \quad T = 0,946 \text{ an soit } 346\text{j } 14\text{h}$$

donc tous les **173j 7h**, le Soleil passe par un nœud lunaire : c'est la **saison des éclipses**

Récurrance des éclipses

J

si éclipse de Soleil à la Nouvelle Lune

J + 14

alors éclipse de Lune possible à la pleine Lune.

➔ 2 éclipses (une Soleil, une Lune) consécutives à une demi-lunaison d'écart

Le critère de latitude (environ 30°) est « souple ».

or le soleil ne parcourt que $\sim (360^\circ/365) \cdot 29 < 30^\circ$ en un mois lunaire

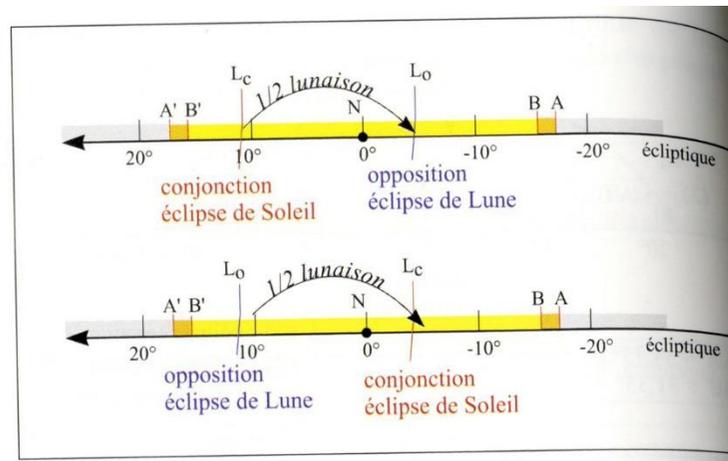
J + 29

la lune « a le temps » de revenir au même nœud avant que le Soleil ne sorte de la plage favorable.

➔ si une éclipse du Soleil a eu lieu « bien avant » un nœud, une seconde éclipse peut avoir lieu au même nœud à la lunaison suivante

6
ou
plus
rarement
5
lunaisons

Conjonction et opposition au voisinage du nœud avec un doublet d'éclipses.



au même nœud, au moins deux éclipses, et au plus trois

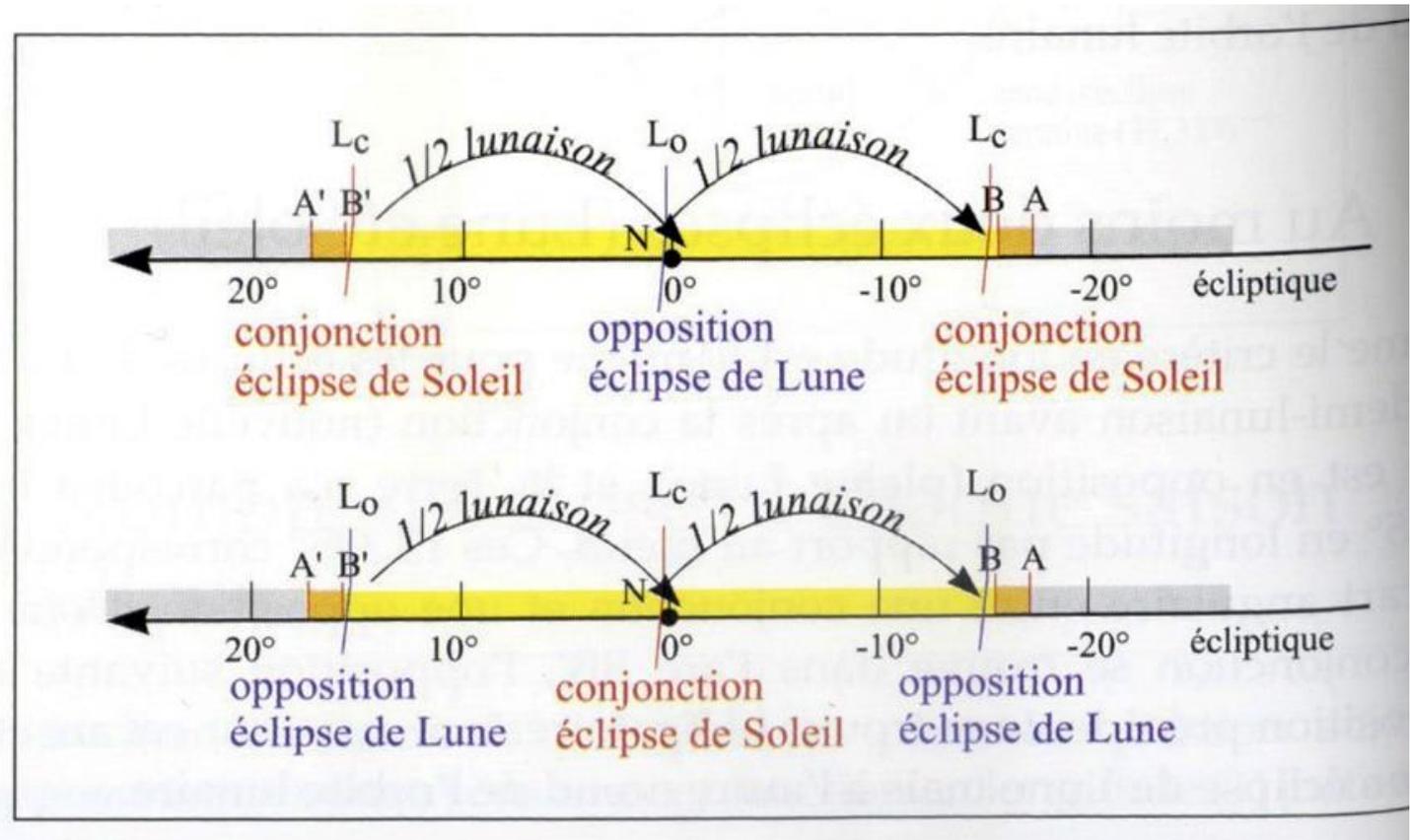
puis le soleil a atteint le nœud suivant. Une nouvelle **saison d'éclipses** commence

J + 173

Récurrance des éclipses

au même nœud, au moins deux éclipses, et au plus trois

Conjonction et opposition au voisinage du nœud avec un triplet d'éclipses.



J + 173

puis le soleil a atteint le nœud suivant. Une nouvelle **saison d'éclipses** commence

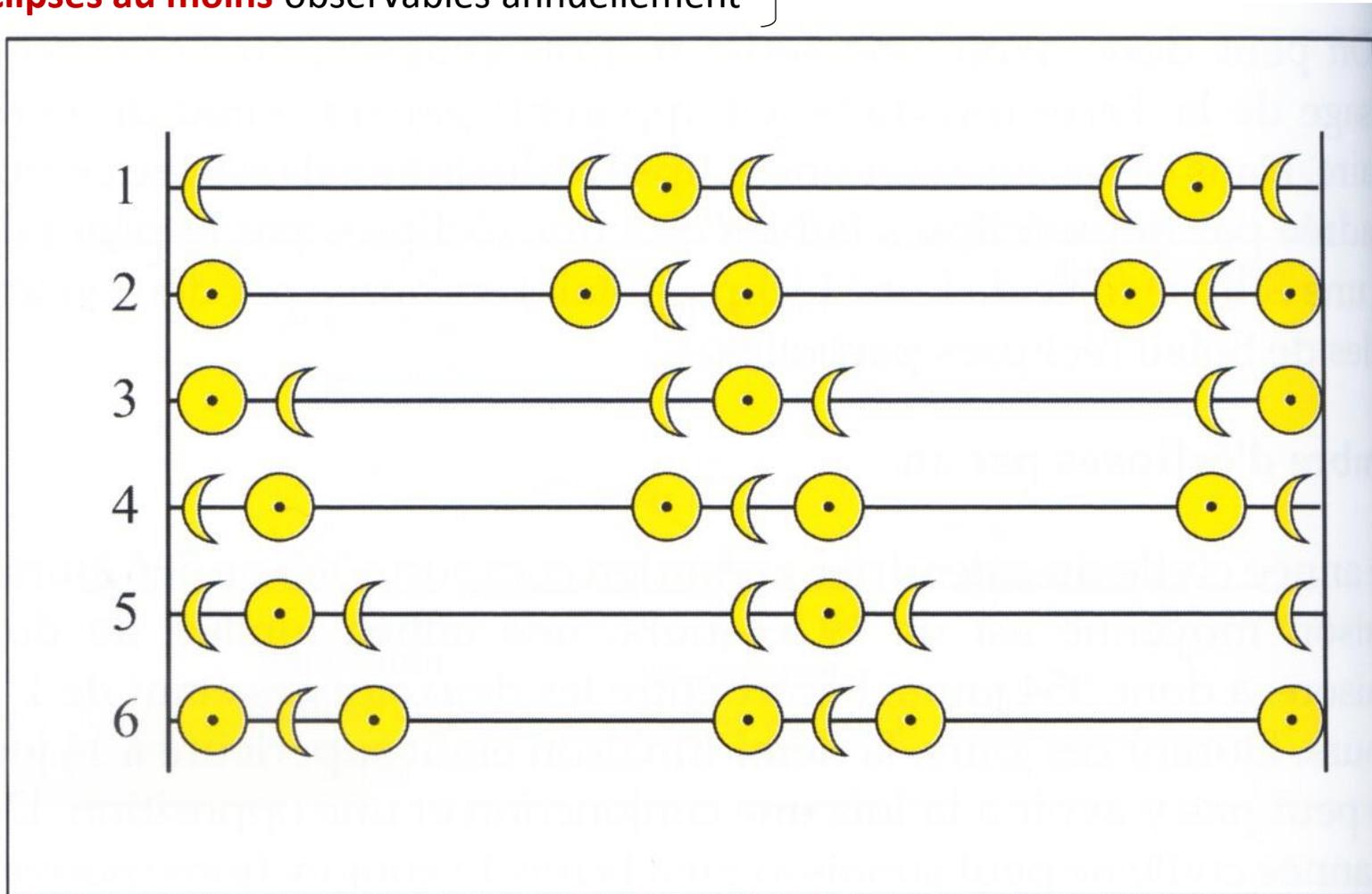
Récurrence des éclipses

2 saisons par an, qui « dérivent » un peu par rapport au calendrier civil

7 éclipses au plus observables annuellement

4 éclipses au moins observables annuellement

dont **au moins deux de Soleil et deux de Lune**



NB: éclipses de Lune visibles partout sur la Terre lorsque la Lune est levée pendant l'éclipse



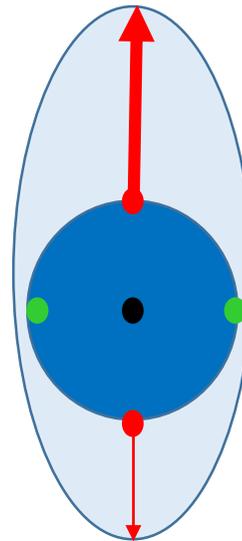
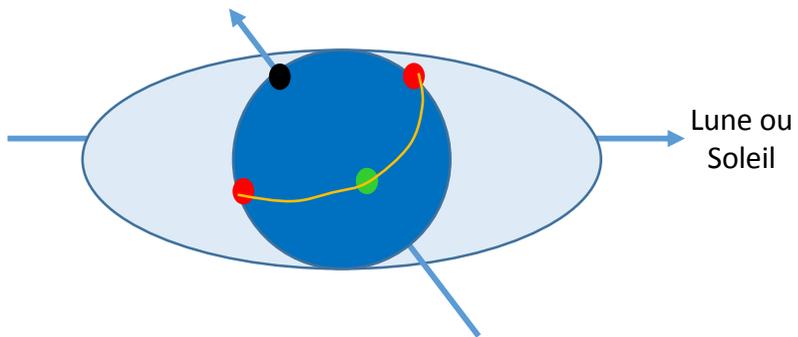
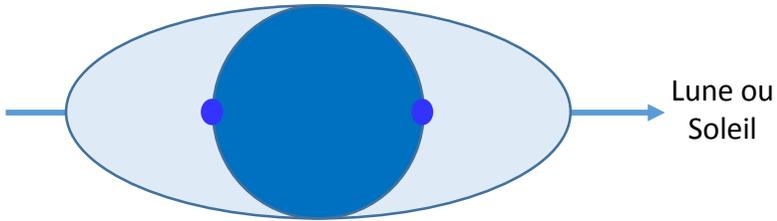
aparté: les marées exceptionnelles d'équinoxe 2015

[voir par ex. cahiers Clairault](#)

le champ de marée créé par un astre (Lune ou Soleil) en un point de la Terre est la différence entre les champs de gravitation de cet astre au centre de la Terre et en ce point:

$$g_{\bullet} = 2 G R_t M / D^3$$

variations quotidiennes de ce champ

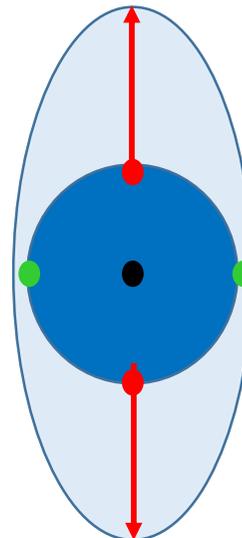
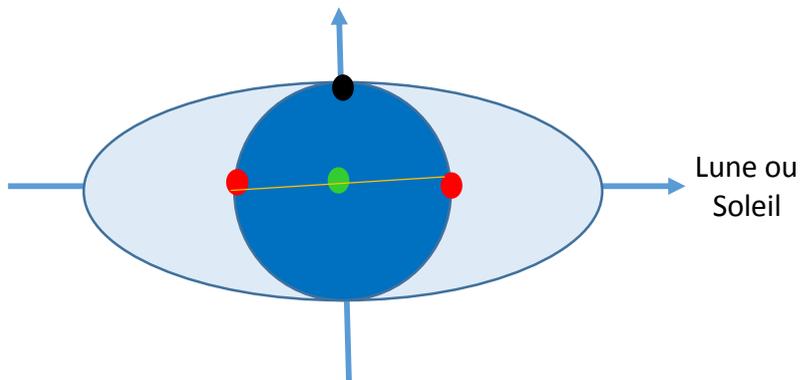


hors équinoxe, la force de marée quotidienne passe par deux **minima** égaux et deux **maxima** différents

cette régularité – sur plusieurs jours - induit un renforcement de « l'effet de marée »

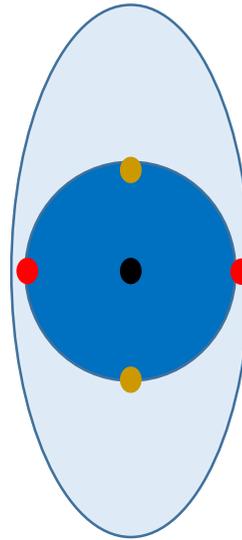
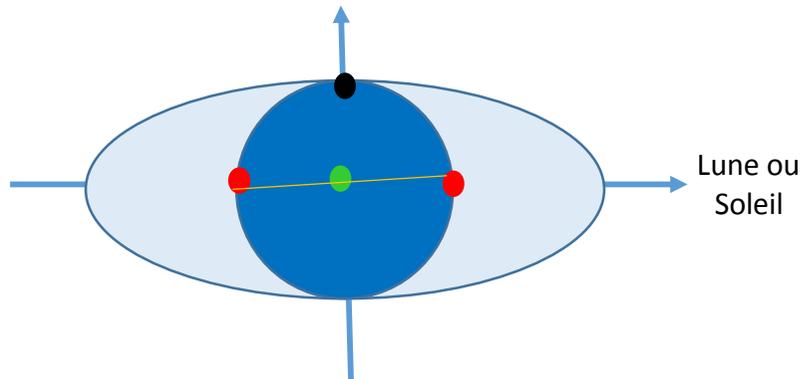


à l'équinoxe, la force de marée quotidienne passe par deux **minima** et deux **maxima égaux**





aparté: les marées exceptionnelles d'équinoxe 2015



à l'équinoxe, la force de marée diurne passe par deux **minima** égaux et deux **maxima** différents

les marées les plus fortes ont lieu:

aux **Pleines Lunes** et **Nouvelles Lunes**: (Soleil Terre Lune *dans le même axe*)

lorsque le Soleil et/ou la Lune sont **au plus proche** de la Terre gravité ET diamètres apparents

en **saison d'éclipse** (*alignement « parfait » des astres*) le phénomène est accentué

« global »

à l'équinoxe (*égalité des maxima du champ de marée*)

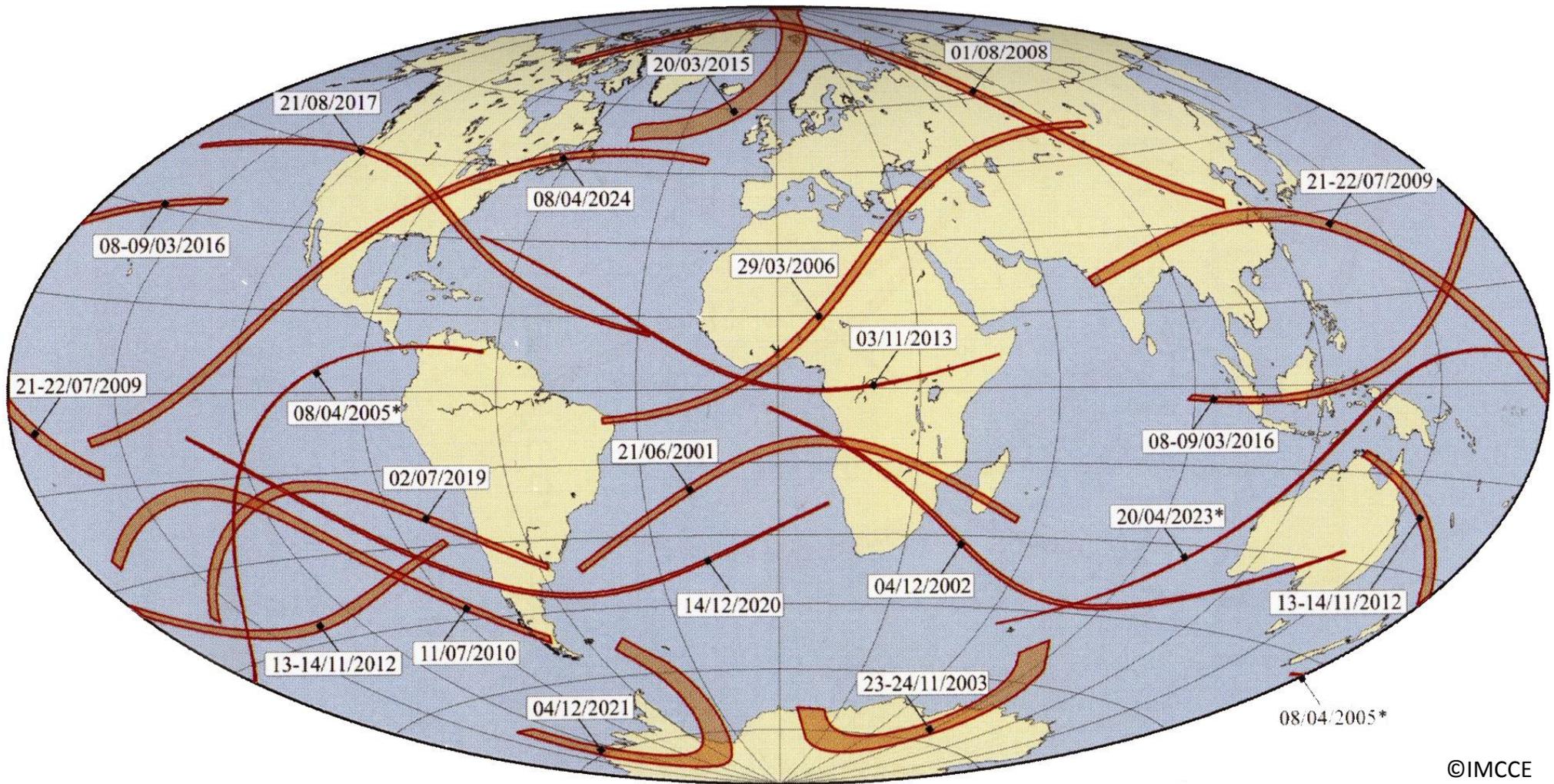
d'autres facteurs sont aussi à prendre en compte:

géométrie des côtes (ex: baie de Fundy en Nouvelle Ecosse)

météo locale

« local »

Récurrence des éclipses



caractéristiques très variées (lieu, largeur de centralité, etc...)

Récurrance des éclipses

on peut savoir comment retrouver des suites d'éclipses qui se « ressemblent »

- retour d'une **même phase lunaire**:
- retour du **Soleil au nœud de l'orbite lunaire**:

révolution **S**ynodique **29,530 588 853 j**

révolution **D**raconitique **27,212 220 817 j**

➔ **saison des éclipses**

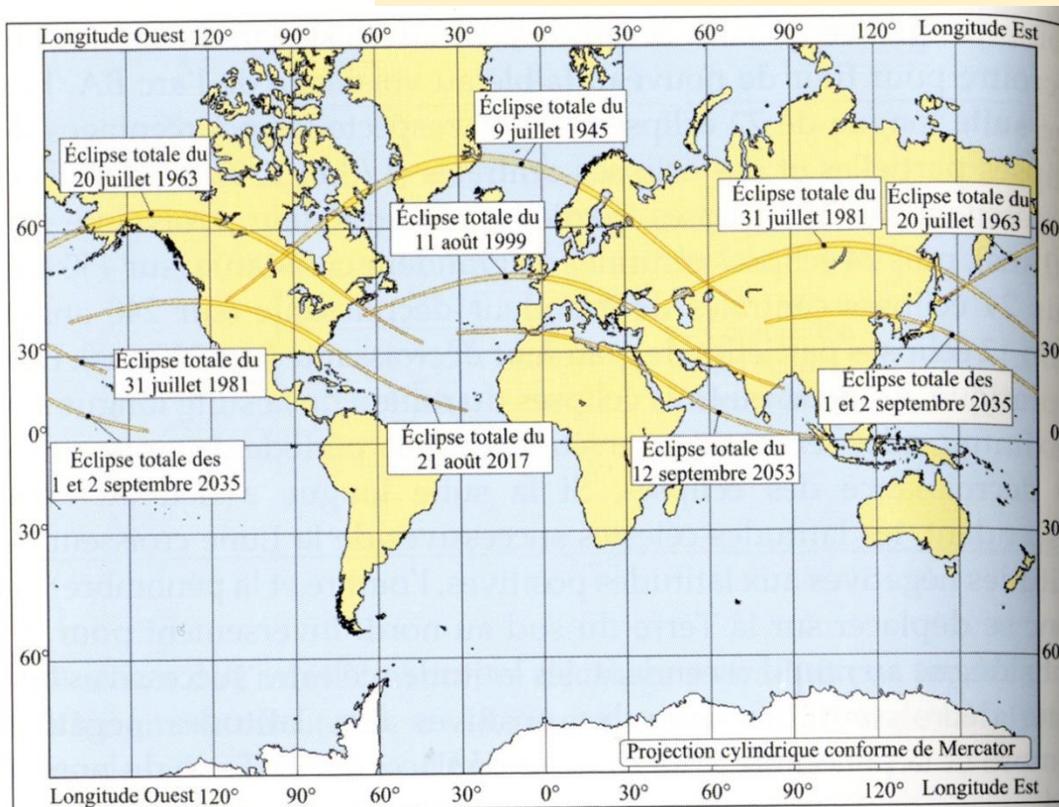
révolution **A**nomalitique **27,554 549 878 j**

on peut rajouter une condition:

- retour de la **Lune à son périégée**:

223 . S ~ 242 . D ~ 239 . A ~ **6585,32 j**

cette période d'environ 223 lunaisons (~18ans) est appelée **Saros**



- les éclipses homologues restent cependant décalées d'environ 120° en longitude
- au bout de 3 Saros (**Exeligmos**), les régions intéressées sont quasi identiques

1999 ➔ 2053; 1945 ➔ 1999; 1963 ➔ 2017

(les marées exceptionnelles reviennent tous les 18 ans)



Récurrance des éclipses

J

si éclipse de Soleil ES1 à la Nouvelle Lune

J + 14

demi-lunaison

Pleine Lune: alors éclipse de Lune possible à la pleine Lune.

J + 29

lunaison

éclipse de Soleil possible.

6 lunaisons

J + 173

1^{ère} saison d' éclipses
(autre nœud que ES1)

nouveau cycles d' éclipses – potentiellement très différentes de ES1

J + 346

2^{ème} saison d' éclipses
(même nœud que ES1)

nouveau cycles d' éclipses – potentiellement très différentes de ES1

222 saisons

J + 6585

(~18 ans)

saros

éclipse de « forme » analogue à ES1 – mais décalée en longitude

J+19755

(~54 ans)

exeligmos

éclipse semblable à ES1



Observer une éclipse de Soleil



protection par filtre spécial pleine ouverture



Télescopes munis de filtre solaire ... A gauche, en Mylar. A droite : en polymère noir.

Mylar

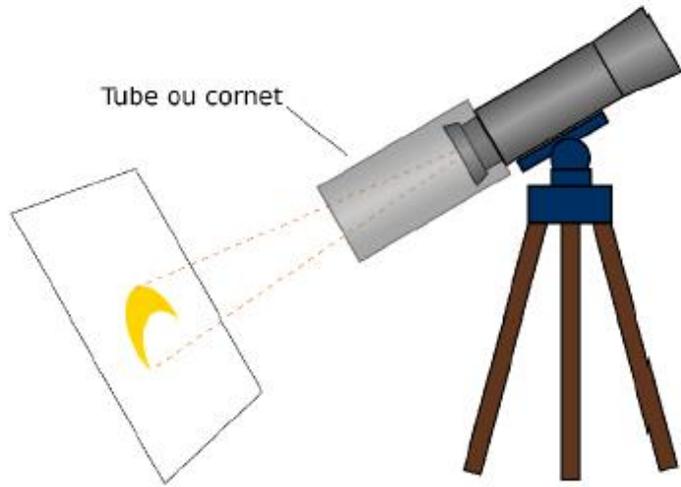
verre métallisé



PST; raie H α

adaptation possible d'appareil photo ou webcam

Observer une éclipse de Soleil



projection



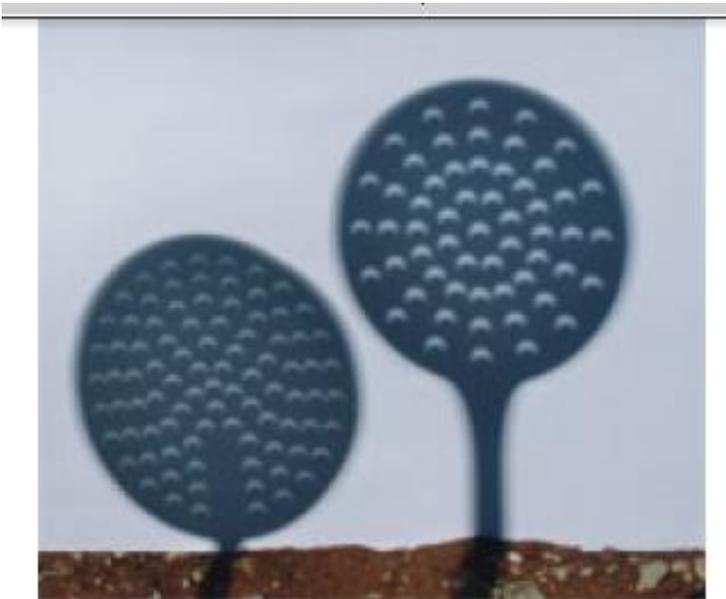
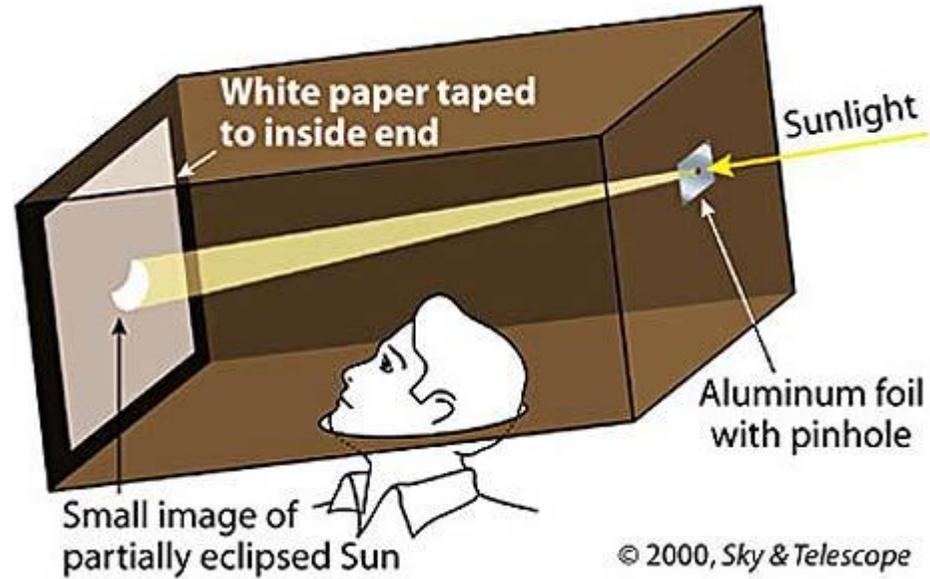
rétro-projection (Solarscope)

Observer une éclipse de Soleil

« camera obscura »

sténopé

diaphragme





Conclusions

- la variété des situations relatives à l'alignement de trois corps célestes est telle que **la terminologie** (éclipse/occultation/passage) est nécessairement **réductrice**
- **la Lune** – observée à 24 heures d'intervalle - « recule » de **12 degrés vers l'Est**
- **la Nouvelle Lune et la Pleine Lune peuvent intervenir à n'importe quelle heure du jour et de la nuit** (l'alignement des trois corps n'a rien à voir avec la rotation terrestre)
- **les phases de la Lune** (Nouvelle Lune, Pleine Lune, etc...) **ne dépendent que de la position relative du Soleil et de la Lune**; le « croissant de Lune » n'est pas le fruit d'une occultation
- **sous nos latitudes**, lors d'une éclipse de Soleil c'est **le Soleil qui « rattrape » la Lune et se « glisse par dessous »**
- dans une année calendaire, il existe **deux périodes favorables aux éclipses** (au maximum 7 au minimum 4 – 2 Soleil 2 Lune), pas toutes visibles en un même point
- les saisons d'éclipses dérivent lentement sur l'année calendaire; **les marées d'équinoxe n'ont rien à voir avec la saison des éclipses**, mais la coïncidence des phénomènes les renforce



Bibliographie

IMCCE, Le Manuel des éclipses, EDP Sciences, Paris, 2005

Cours du DU Astronomie et Mécanique Céleste, Observatoire de Paris Meudon, 2009

Sylvain Rondi, Olivier Espagnet, Dossier pédagogique Académie de Toulouse et Observatoire Midi-Pyrénées,
L'éclipse du 20 mars 2015, 2009

Cahiers Clairaut, n°131, 2010

[Cartes interactives Google](#)

Stellarium