LA CAPSULE DU DÉBUTANT

Mécanique céleste

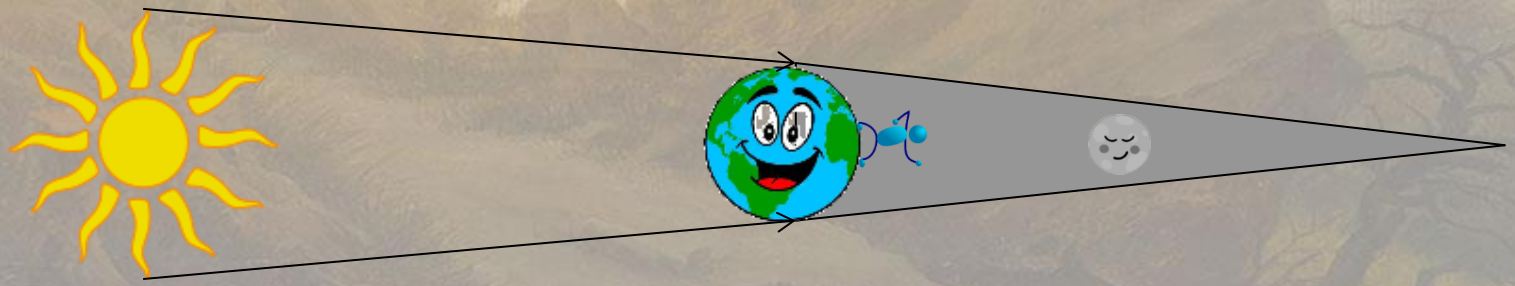
- ✓ Les orbites
- ✓ Les mouvements de la Lune
- ✓ Les mouvements de la Terre
- ✓ Les éclipses

LES OBJECTIFS

- Au terme de cette présentation, le participant pourra :
  - Expliquer les paramètres orbitaux et la géométrie astrale des éclipses.
  - Illustrer les éléments chronologiques de la récurrence des éclipses.
  - Nommer les différents types d'éclipses et leurs manifestations.
  - Soulever les éléments de sécurité dans l'observation des éclipses.

DÉFINITION

- Une éclipse est la disparition apparente et temporaire d'un astre, provoquée par l'interposition d'un corps céleste soit :
  1) **entre cet astre et la source lumineuse qui l'éclaire habituellement (éclipse *vraie*)**



DÉFINITION

- Une éclipse est la disparition apparente et temporaire d'un astre, provoquée par l'interposition d'un corps céleste **soit :**

  2) entre cet astre et l'œil de l'observateur (éclipse *apparente*).

Io

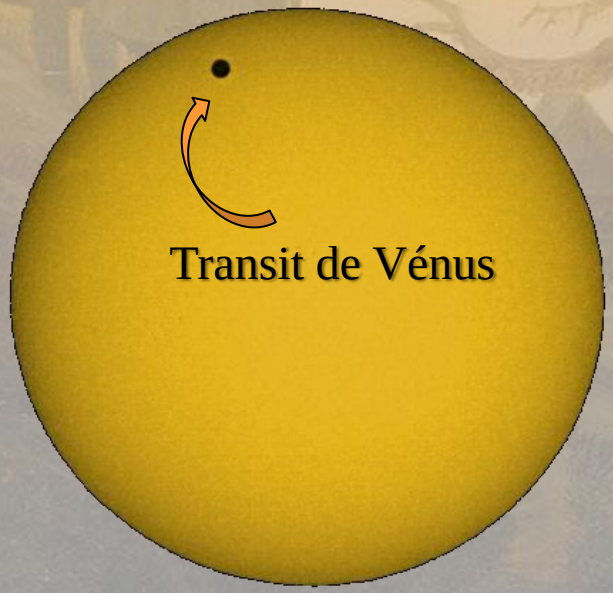
DÉFINITION

- Lorsque l'objet occulté a un diamètre angulaire nettement plus petit que celui de l'objet occultant (sans qu'une limite précise ne soit réellement fixée), on parle plutôt d'*Occultation*.

Occultation de Jupiter par la Lune

DÉFINITION

- Lorsque l'objet occultant a un diamètre angulaire nettement plus petit que celui de l'objet occulté (sans qu'une limite précise ne soit réellement fixée), on parle plutôt de *Transit*.

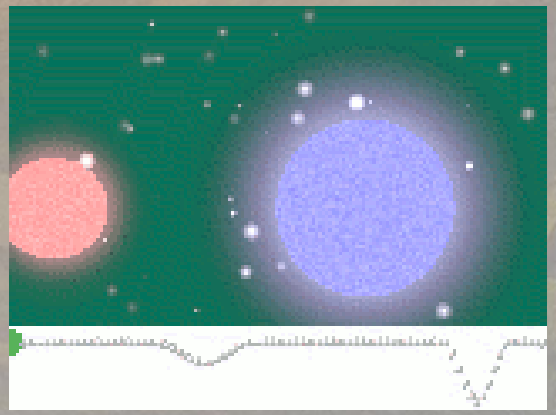


DÉFINITION

- Des étoiles peuvent s'*éclipser*.
  - Type **Algol**

« Étoile du démon »

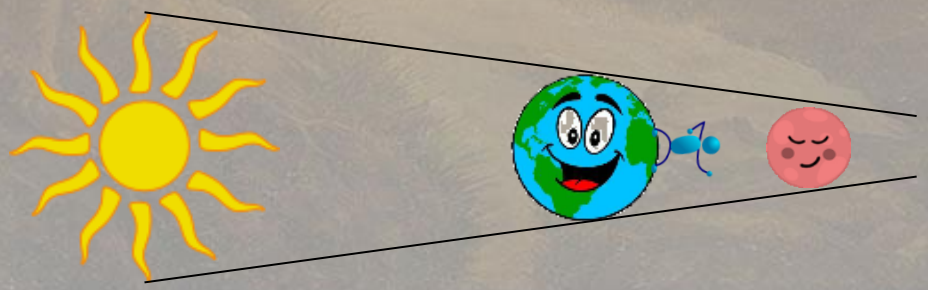
Magnitude apparente passe de 2,3 à 3,5 en 2 jours 20 heures et 49 minutes.



NOMENCLATURE

- À partir de maintenant, nous limiterons notre sujet aux éclipses qui surviennent dans le système **Soleil-Terre-Lune**.
  - L'éclipse porte le nom de l'astre *éclipsé* de la perspective de l'observateur terrestre.

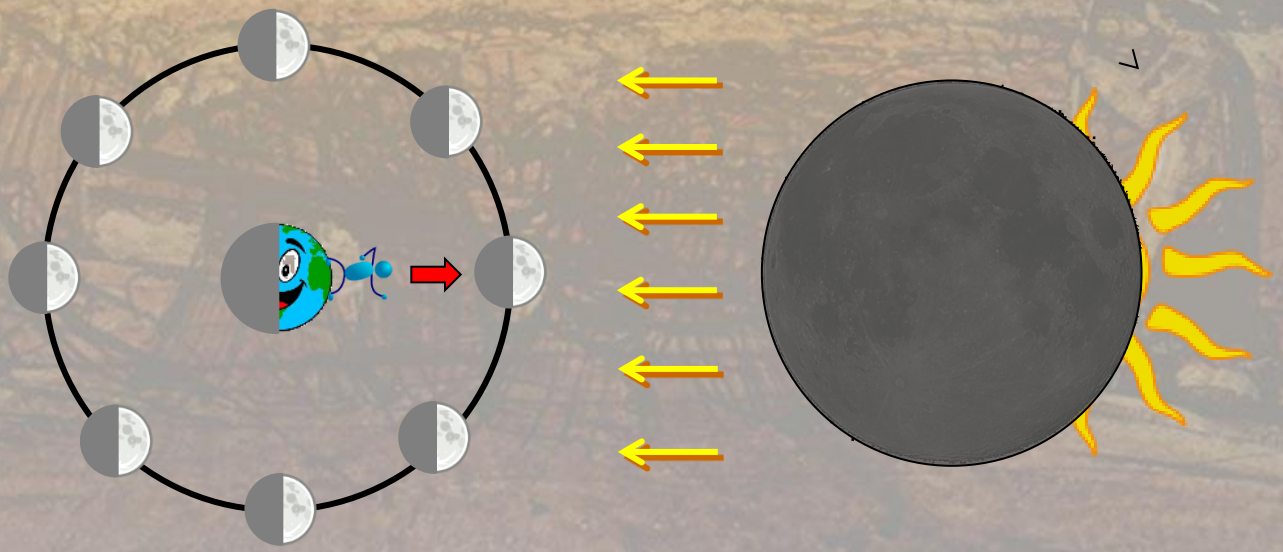
Éclipse de **Soleil**



Éclipse de **Lune**

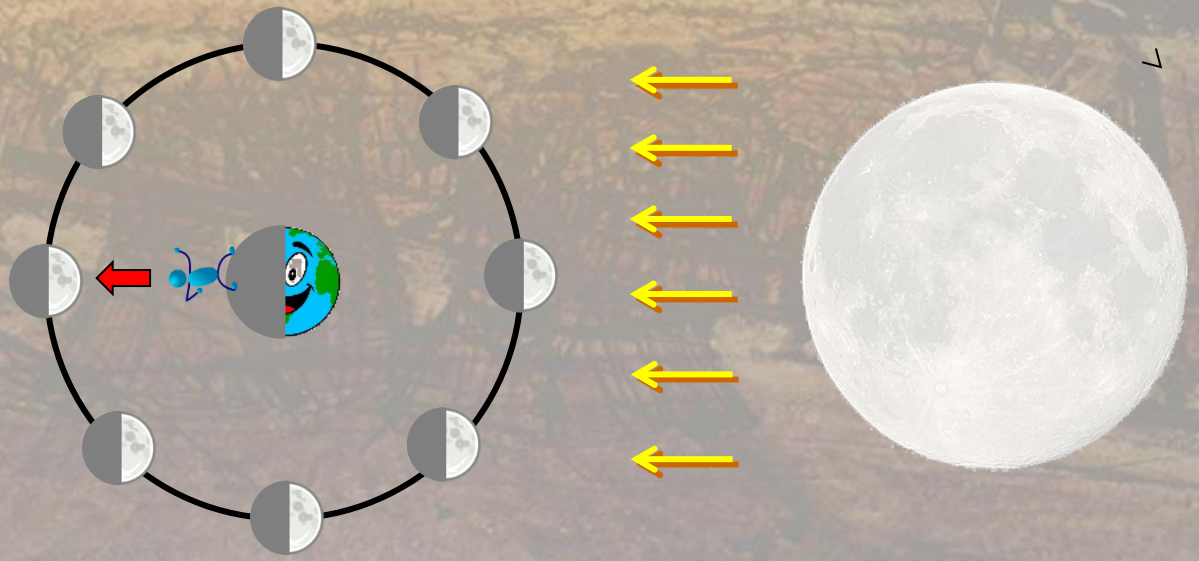
COMMENT EST-CE POSSIBLE ?

- Les éclipses ne peuvent se produire que lorsque les trois astres – Soleil-Terre-Lune – sont **alignés** sur un même plan.
  - L'éclipse de ***Soleil*** n'est possible qu'à la phase de la ***Nouvelle Lune***…



COMMENT EST-CE POSSIBLE ?

- Les éclipses ne peuvent se produire que lorsque les trois astres – Soleil-Terre-Lune – sont **alignés** sur un même plan.
  - L'éclipse de ***Lune*** n'est possible qu'à la phase de la ***Pleine Lune***…



COMMENT EST-CE POSSIBLE ?

- Les éclipses ne peuvent se produire que lorsque les trois astres – Soleil-Terre-Lune – sont **alignés** sur un même plan.
  - Mais alors, pourquoi n'y a-t-il pas d'éclipse de Soleil et de Lune chaque mois ?
    - Parce que d'autres facteurs sont à prendre en compte…

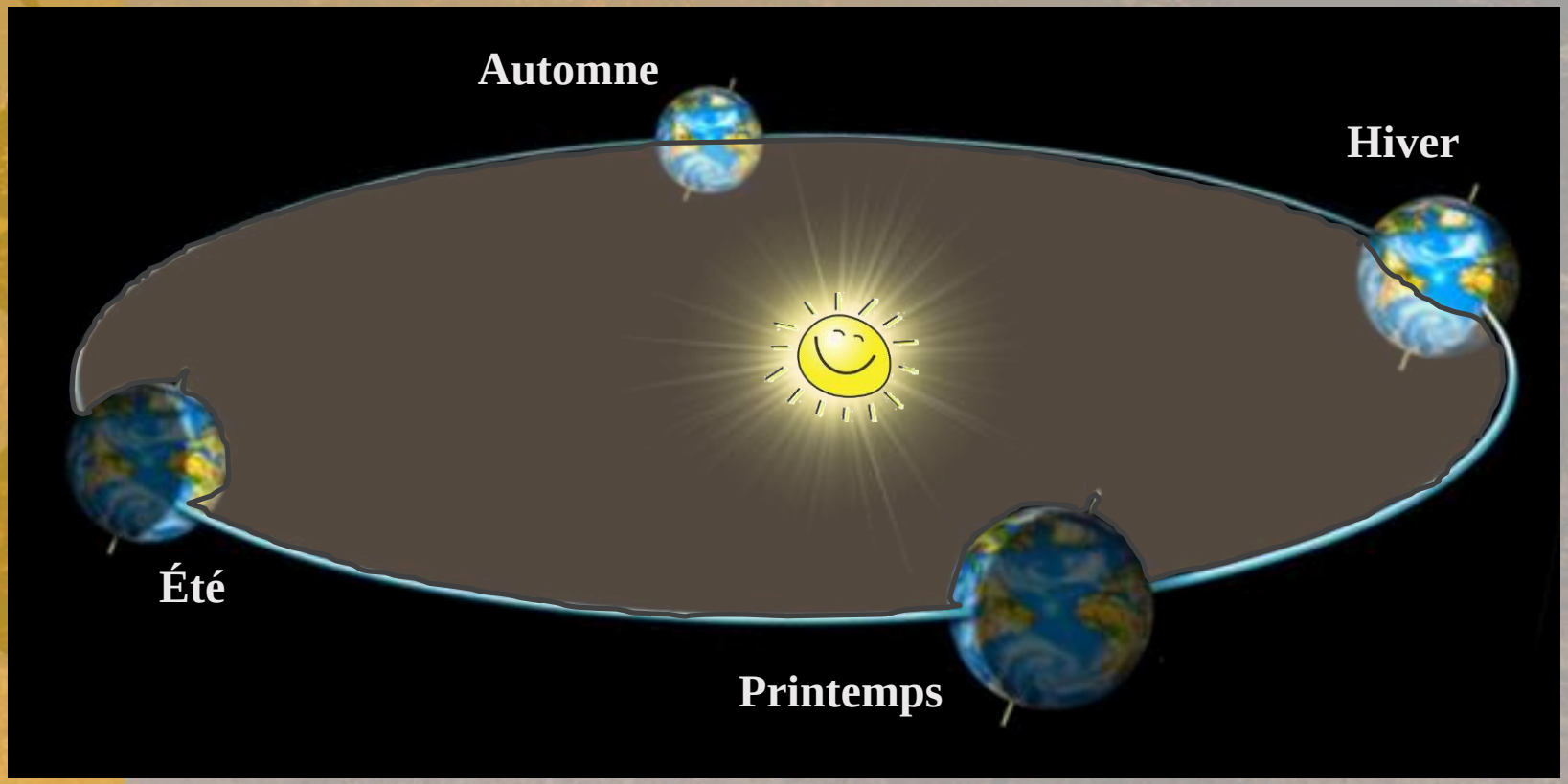
Rappel des relations orbitales :

- Terre-Soleil
- Terre-Lune

… et les ordres de grandeur…

COMMENT EST-CE POSSIBLE ?

- Le plan que décrit l'orbite de la Terre autour du Soleil se nomme **Écliptique**.

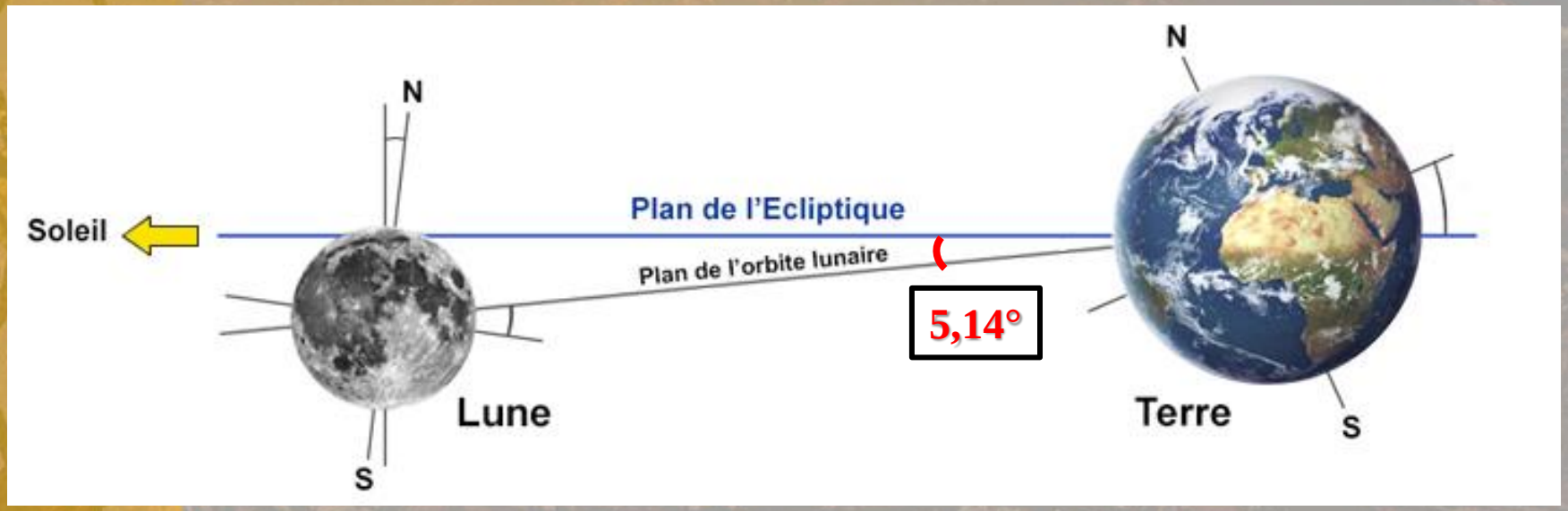


COMMENT EST-CE POSSIBLE ?

- Le plan que décrit l'orbite de la Terre autour du Soleil se nomme **Écliptique**.
  - De notre perspective, nous percevons l'Écliptique comme la ligne imaginaire que trace le Soleil sur la trame des étoiles au cours de l'année.

COMMENT EST-CE POSSIBLE ?

- La Lune aussi possède son plan orbital.
  - Qui **ne coïncide pas** avec l'Écliptique !



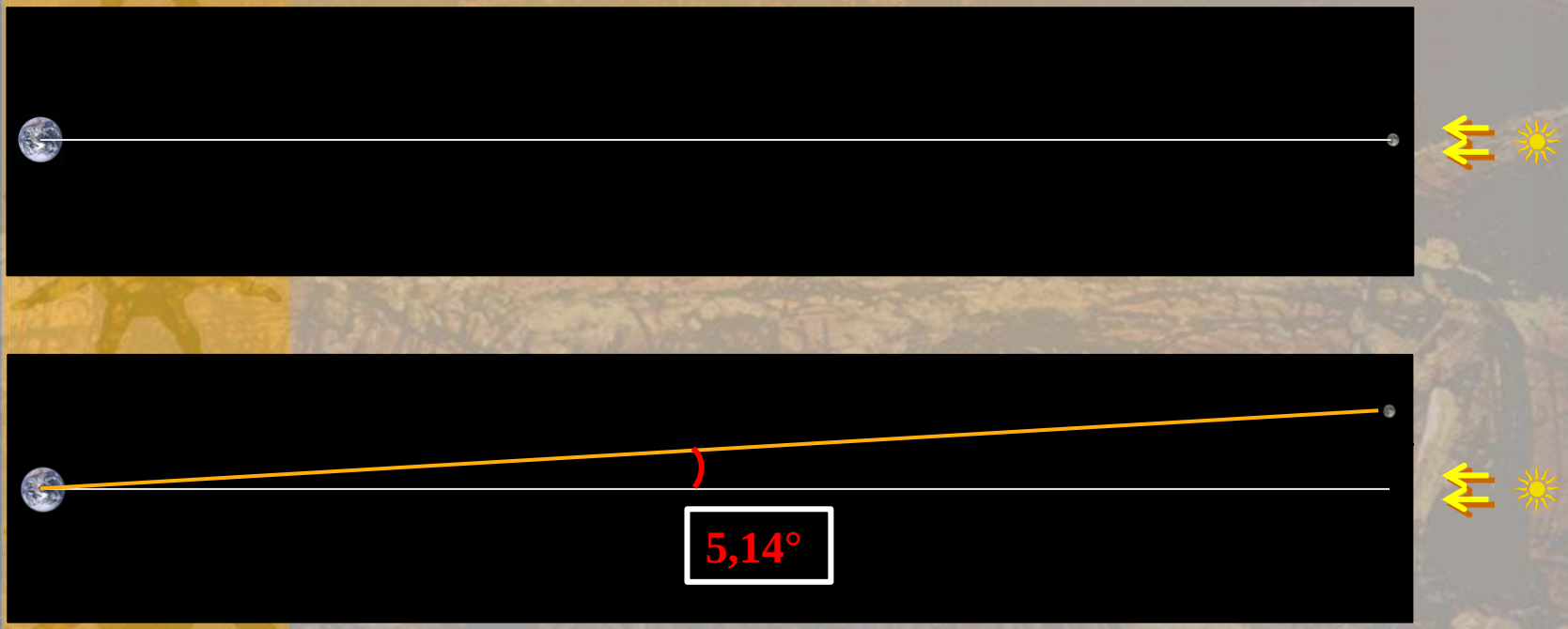
  - L'angle que fait le plan de l'orbite de la Lune avec l'Écliptique varie entre 5° et 5,28° sur 173 jours !

COMMENT EST-CE POSSIBLE ?

- Voici la représentation usuelle que l'on entretient du tandem Terre-Lune…

COMMENT EST-CE POSSIBLE ?

- Souvenons-nous des véritables proportions…

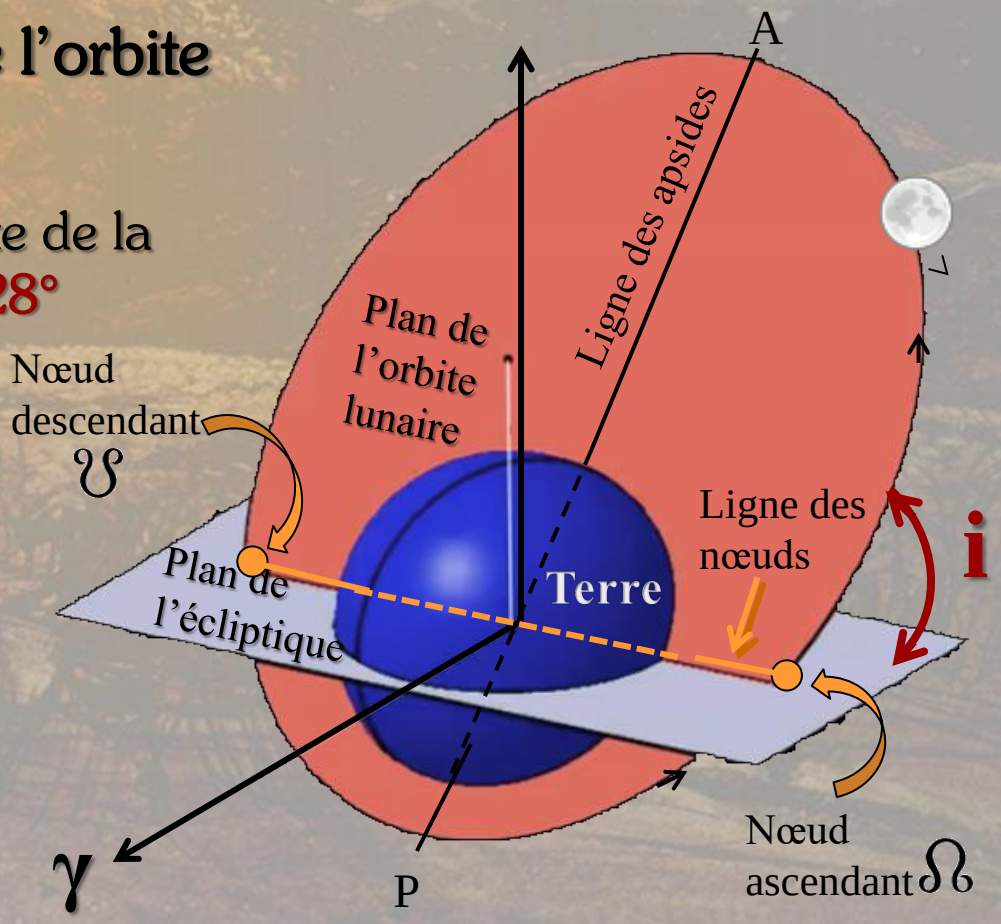


COMMENT EST-CE POSSIBLE ?

✶ Géométrie du Système Soleil-Terre-Lune

➢ Inclinaison de l'orbite

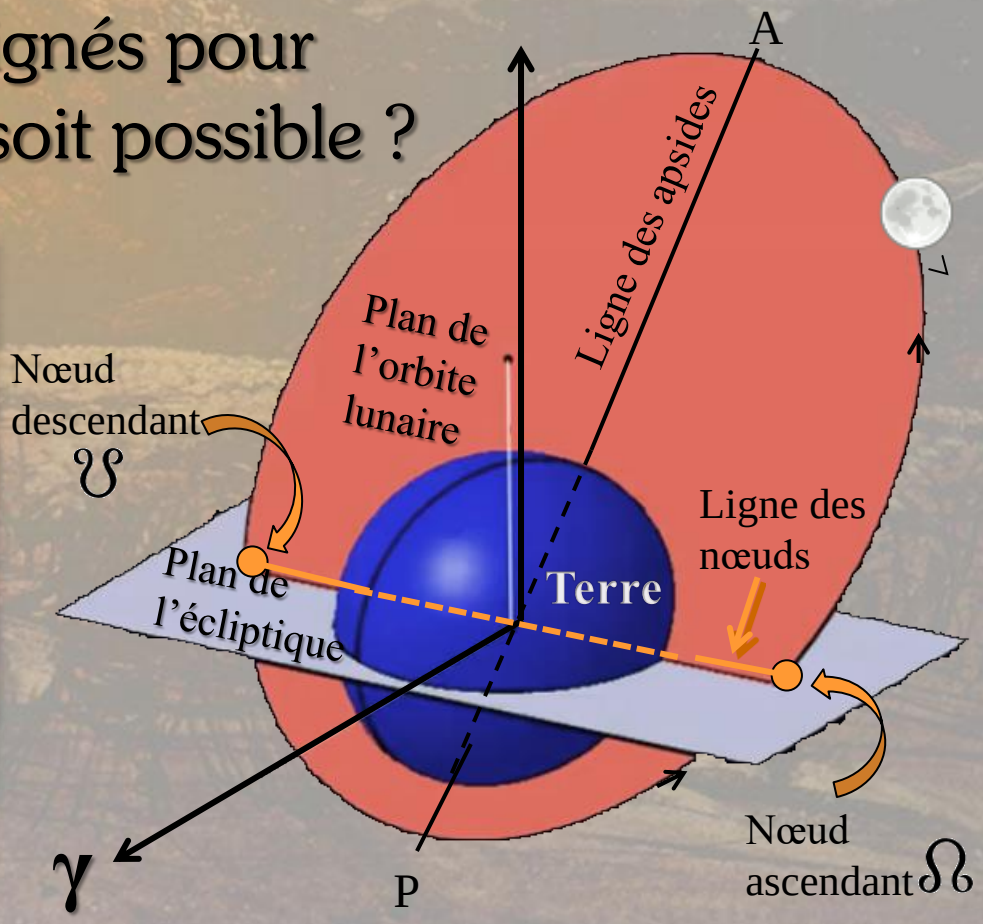
- La valeur de l'angle d'inclinaison de l'orbite de la Lune varie de **5°** à **5,28°** sur une période de 173 jours.



COMMENT EST-CE POSSIBLE ?

✶ Quand le Soleil, la Terre et la Lune sont-ils parfaitement alignés pour qu'une éclipse soit possible ?

Lorsque la Lune est **Pleine** (éclipse de Lune) ou **Nouvelle** (éclipse de Soleil) et qu'elle est à un des **nœuds** de son orbite.



L'ÉCLIPSE DE SOLEIL

- Une éclipse de ***Soleil*** se produit lorsque la Lune s'insère entre le Soleil et la Terre. Il faut :
  - **Que la Lune soit « Nouvelle »**
  - **Que la Lune soit à l'un de ses nœuds avec l'écliptique**
- À ce moment, et à ce moment seulement, l'alignement permet l'éclipse.

L'ÉCLIPSE DE SOLEIL

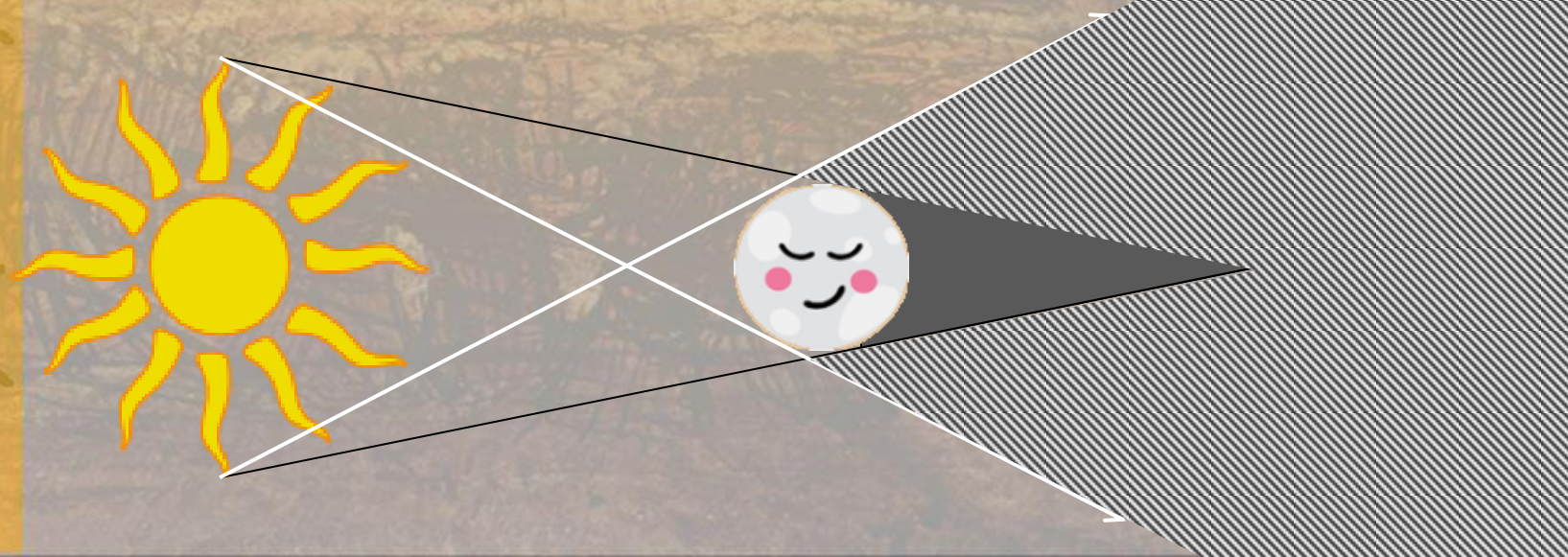
- Une éclipse de ***Soleil*** se produit lorsque la Lune s'insère entre le Soleil et la Terre. Il faut :
  - **Que la Lune soit « Nouvelle »**
  - **Que la Lune soit à l'un de ses nœuds avec l'écliptique**
- À ce moment, et à ce moment seulement, l'alignement permet l'éclipse.

L'ÉCLIPSE DE SOLEIL

- La géométrie du système.
  - Lorsqu'une source de lumière éclaire un astre, il se développe du côté opposé un **cône d'ombre** d'où la source lumineuse n'est pas visible.
  - Ce cône d'ombre a une longueur limitée.

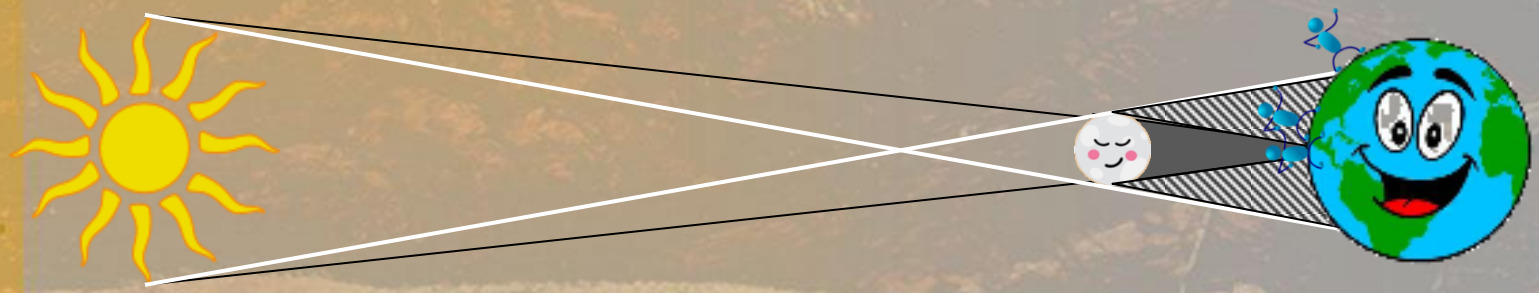
L'ÉCLIPSE DE SOLEIL

- La géométrie du système.
  - Lorsqu'une source de lumière éclaire un astre, il se développe aussi une **zone de pénombre** qui cache une partie seulement de la source lumineuse.
  - Cette pénombre a une longueur illimitée.



L'ÉCLIPSE DE SOLEIL

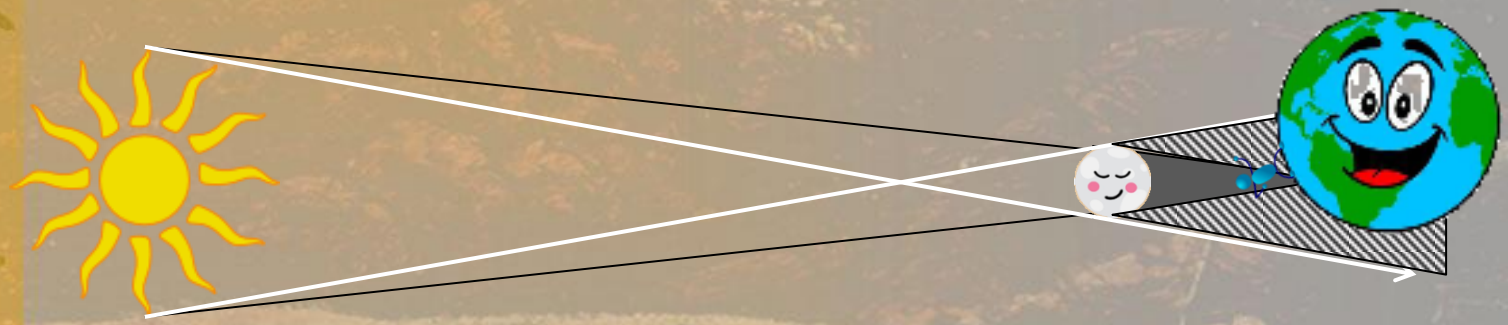
- La géométrie du système.



  - Un observateur situé dans le cône d'ombre verra une éclipse totale de Soleil.
  - Un observateur situé dans la zone de pénombre verra une éclipse partielle de Soleil.
  - Un observateur situé en dehors de ces zones ne verra pas d'éclipse.

L'ÉCLIPSE DE SOLEIL

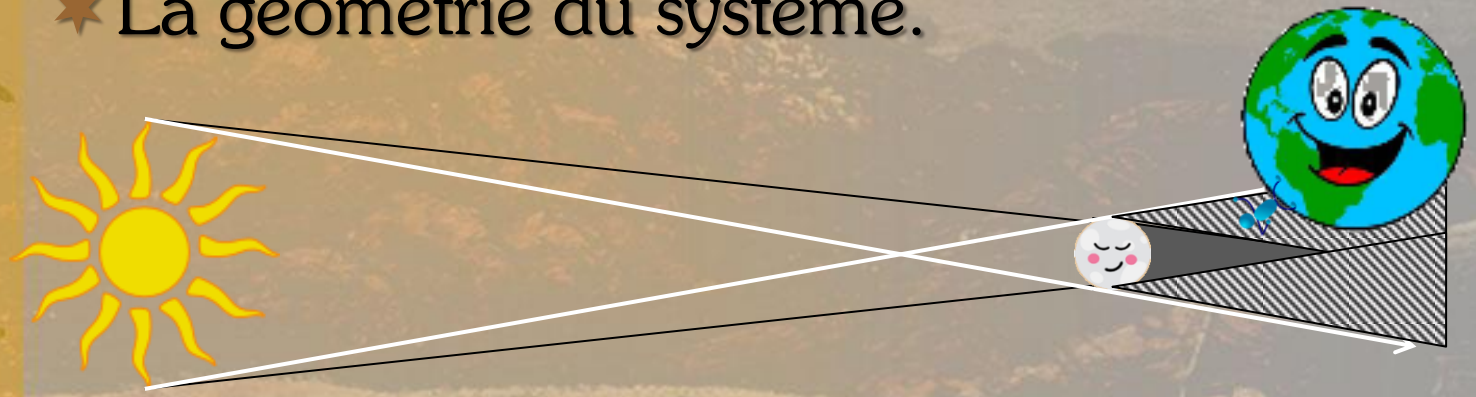
- La géométrie du système.



  - L'alignement peut faire en sorte que la localisation de la totalité de l'éclipse sur la Terre varie.

L'ÉCLIPSE DE SOLEIL

- La géométrie du système.



  - L'alignement peut faire en sorte que la localisation de la totalité de l'éclipse sur la Terre varie.
  - Ou qu'on ne puisse voir qu'une éclipse partielle.

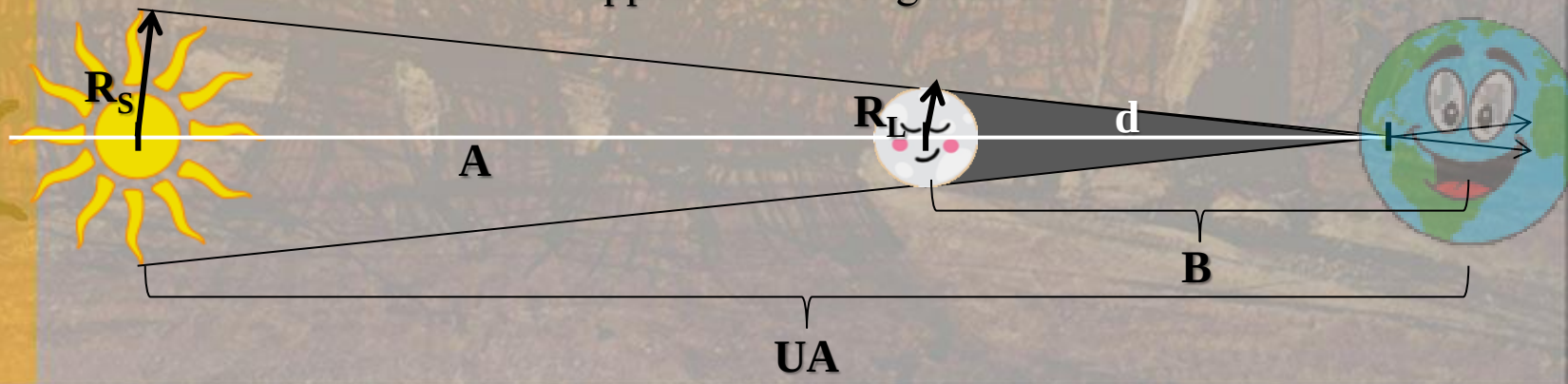
L'ÉCLIPSE DE SOLEIL

- La géométrie du système.
  - **Quelle est la longueur du cône d'ombre de la Lune**

Soit la distance moyenne Terre-Soleil = 1 **U.A.** = 149 597 870 km
Et la distance moyenne Terre-Lune = 384 403 km (**B**)
Alors la distance moyenne Soleil-Nouvelle Lune = **149 213 467** km (**A = UA-B**)

Le rayon du Soleil = **695 508** km (**R_S**)
Le rayon de la Lune = **1 737** km (**R_L**)

Appelons **d** la longueur du cône d'ombre



L'ÉCLIPSE DE SOLEIL

- La géométrie du système.
  - **La longueur du cône d'ombre de la Lune**

Selon la loi des triangles semblables : $\frac{R_S}{R_L} = \frac{A + d}{d}$ et $d = \frac{A \bullet R_L}{R_S - R_L}$

On trouve d = **373 587,95** km

Or, la distance moyenne Terre-Lune = 384 403 km
et le cône d'ombre de la Lune n'atteint pas la Terre.

L'ÉCLIPSE DE SOLEIL

- La géométrie du système.
  - **La longueur du cône d'ombre de la Lune**

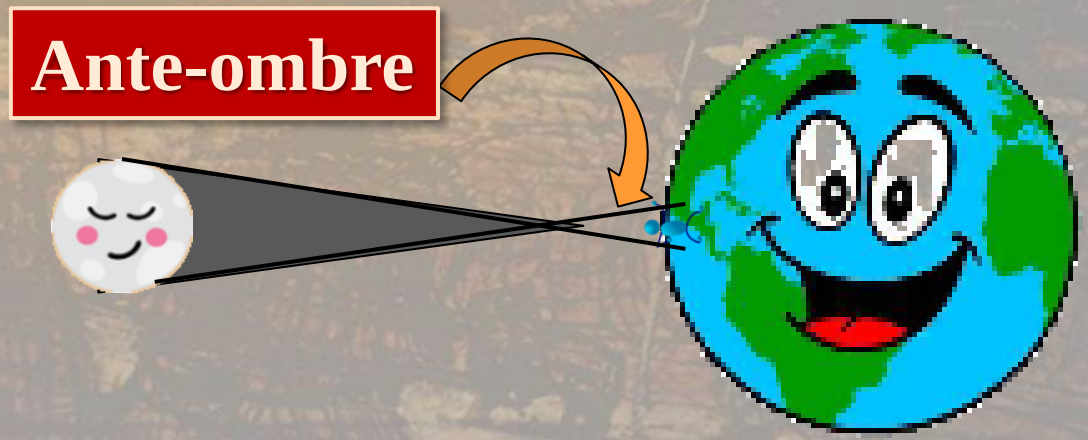
Cela signifie que pour l'observateur, placé juste en dessous du cône d'ombre, la Lune ne cachera pas la totalité du disque solaire.

On parlera d'une éclipse **annulaire**

L'ÉCLIPSE DE SOLEIL

- La géométrie du système.
  - **La longueur du cône d'ombre de la Lune**

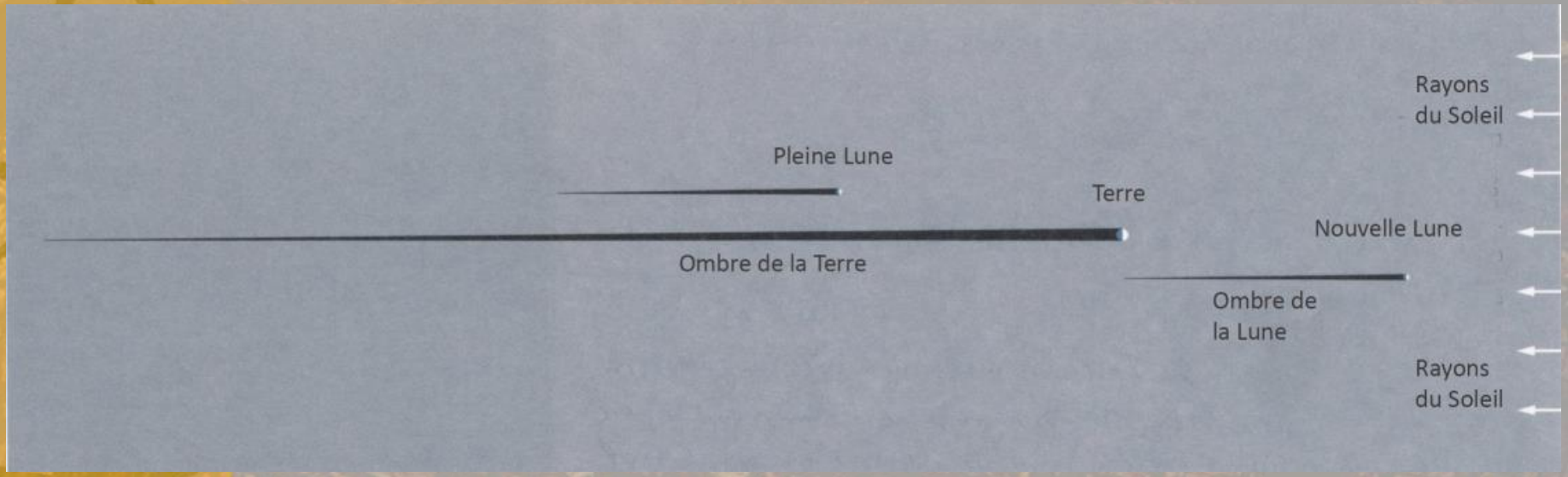
Cela signifie que pour l'observateur, placé juste en dessous du cône d'ombre, la Lune ne cachera pas la totalité du disque solaire.



On parlera d'une éclipse **annulaire**

L'ÉCLIPSE DE SOLEIL

- Souvenons-nous des véritables proportions…



L'ÉCLIPSE DE SOLEIL

- La géométrie du système.
  - Par un heureux hasard, les diamètres apparents du Soleil et de la Lune sont ≅ d'une perspective terrestre.
  - Soit ~ **30' d'arc**.

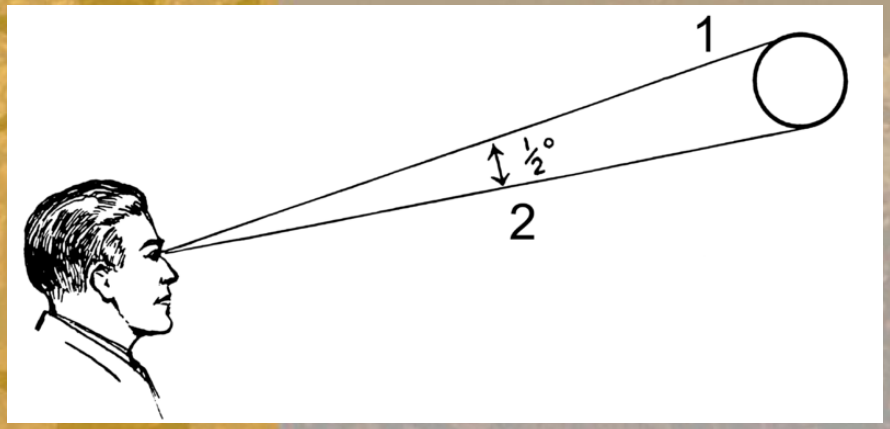
L'ÉCLIPSE DE SOLEIL

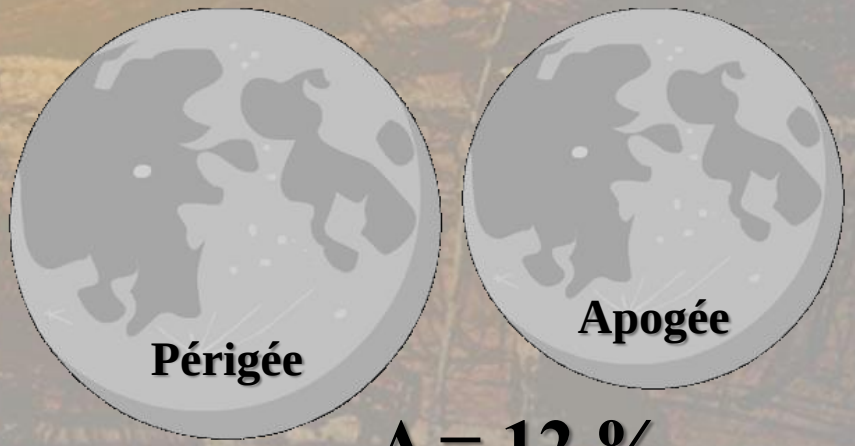
- La géométrie du système.
  - Il faut cependant prendre en compte que les orbites de la Terre et de la Lune sont **elliptiques**.
    - La **Terre** possède un périhélie (147 098 291 km) et un aphélie (152 098 233 km)
    - La **Lune** possède un périgée (+ court en 2019 = 356 761 km) et un apogée (+long en 2019 = 406 555 km)

L'excentricité de l'orbite de la Lune varie de 0,045 à 0,065 selon un cycle de 206 jours

L'ÉCLIPSE DE SOLEIL

- La géométrie du système.
  - Le diamètre apparent du Soleil et de la Lune.





Δ = 12 %

L'ÉCLIPSE DE SOLEIL

- La géométrie du système.
  - Le diamètre apparent du Soleil et de la Lune.

	Minimum (‘ d'arc)		Maximum (‘ d'arc)	
Soleil	**31,4**	Aphélie	**32,5**	Périhélie
Lune	**29,3**	Apogée	**33,5**	Périgée

- Les types d'éclipse de Soleil.
  - Totale ➡ Lune ≥ Soleil.
  - Annulaire ➡ Lune < Soleil
  - Partielle ➡ Seule la pénombre touche la Terre
  - Hybride ➡ Le type change en cours de parcours

Éclipses centrales :
- Totales ≅ 40 %
- Annulaires ≅ 60%

L'ÉCLIPSE DE SOLEIL

- La géométrie du système.
  - Le diamètre apparent du Soleil et de la Lune.
    - Lire le **passé** et l'**avenir**

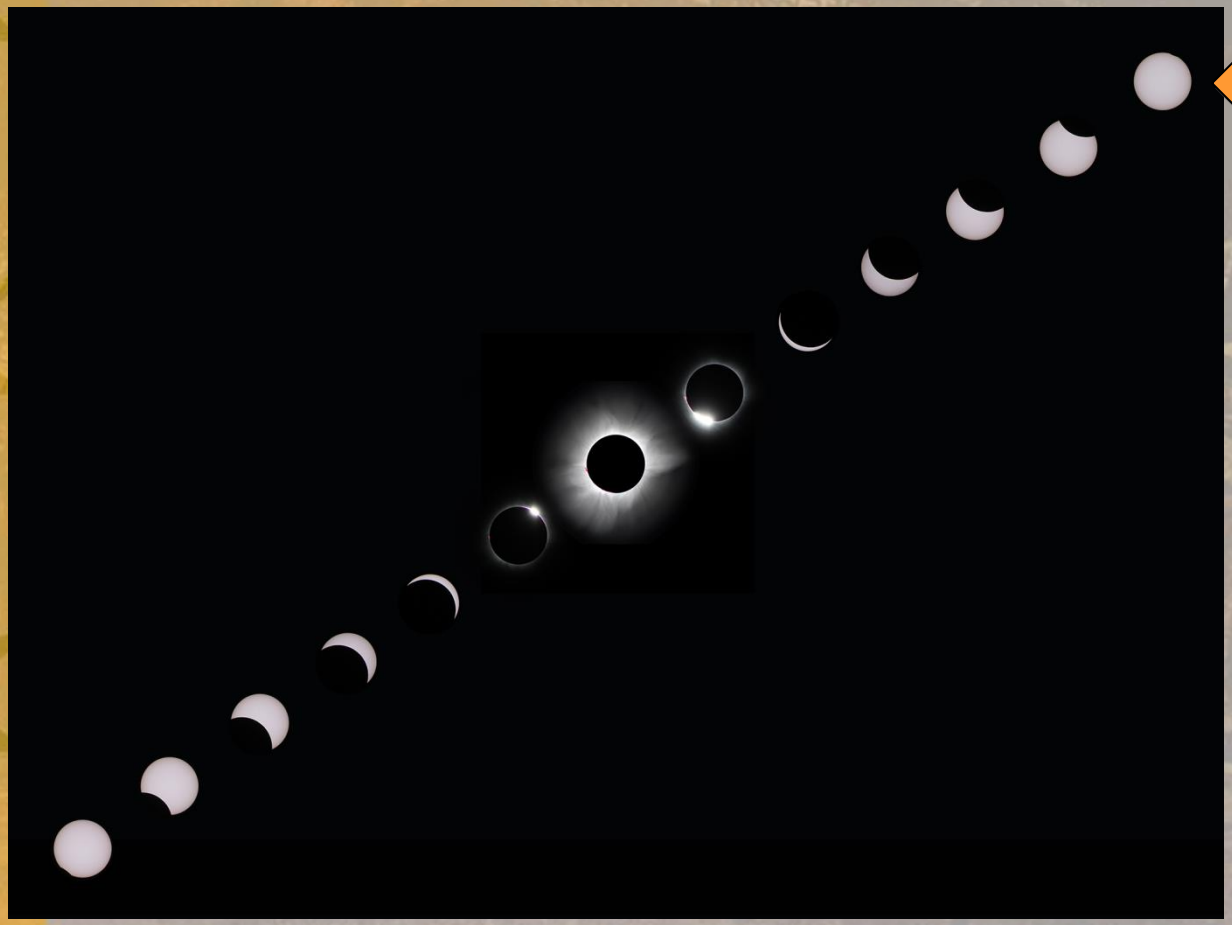
La Lune s'éloigne de la Terre de 3,8 cm/année.

  - Il y a 600 millions d'années, il n'y avait pas d'éclipse annulaire du Soleil.
  - Dans 600 millions d'années, il n'y aura que des éclipses annulaires du Soleil.

L'ÉCLIPSE DE SOLEIL

L'ÉCLIPSE DE SOLEIL

- La séquence d'une éclipse totale de Soleil.



2017/08/21

Madras, Oregon

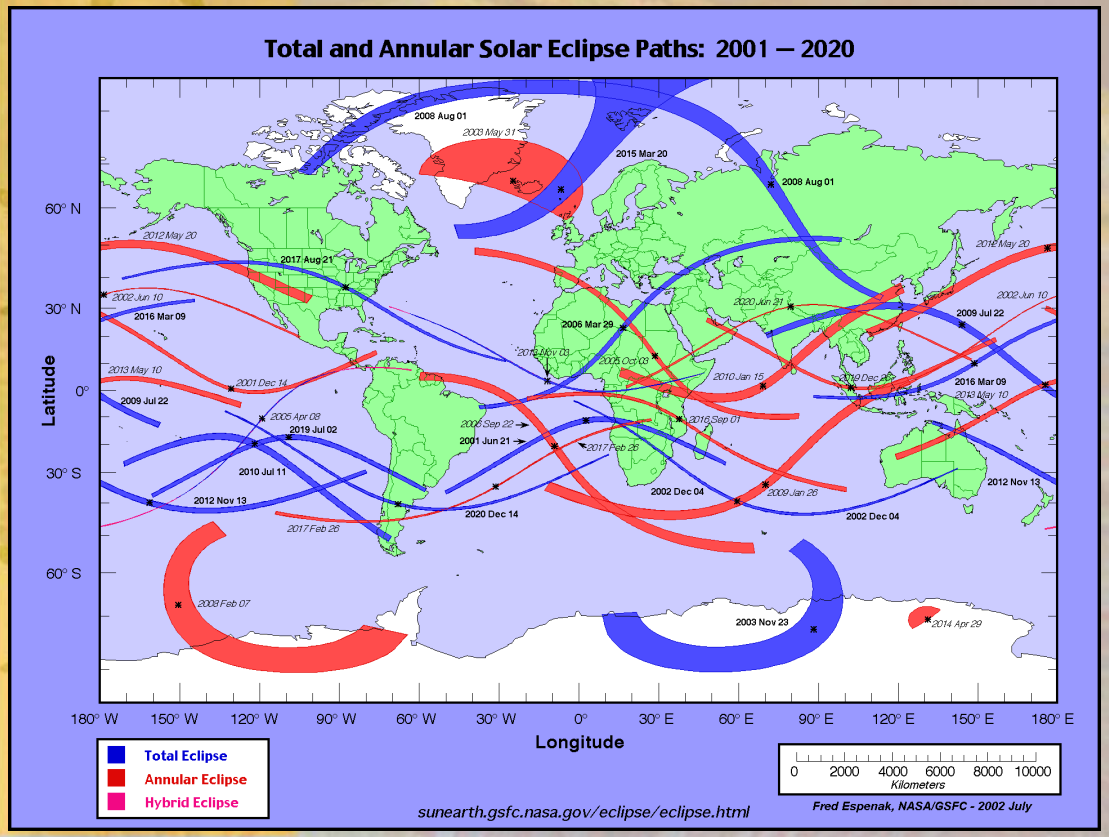
L'ÉCLIPSE DE SOLEIL

- La séquence d'une éclipse totale de Soleil.

2008/08/01

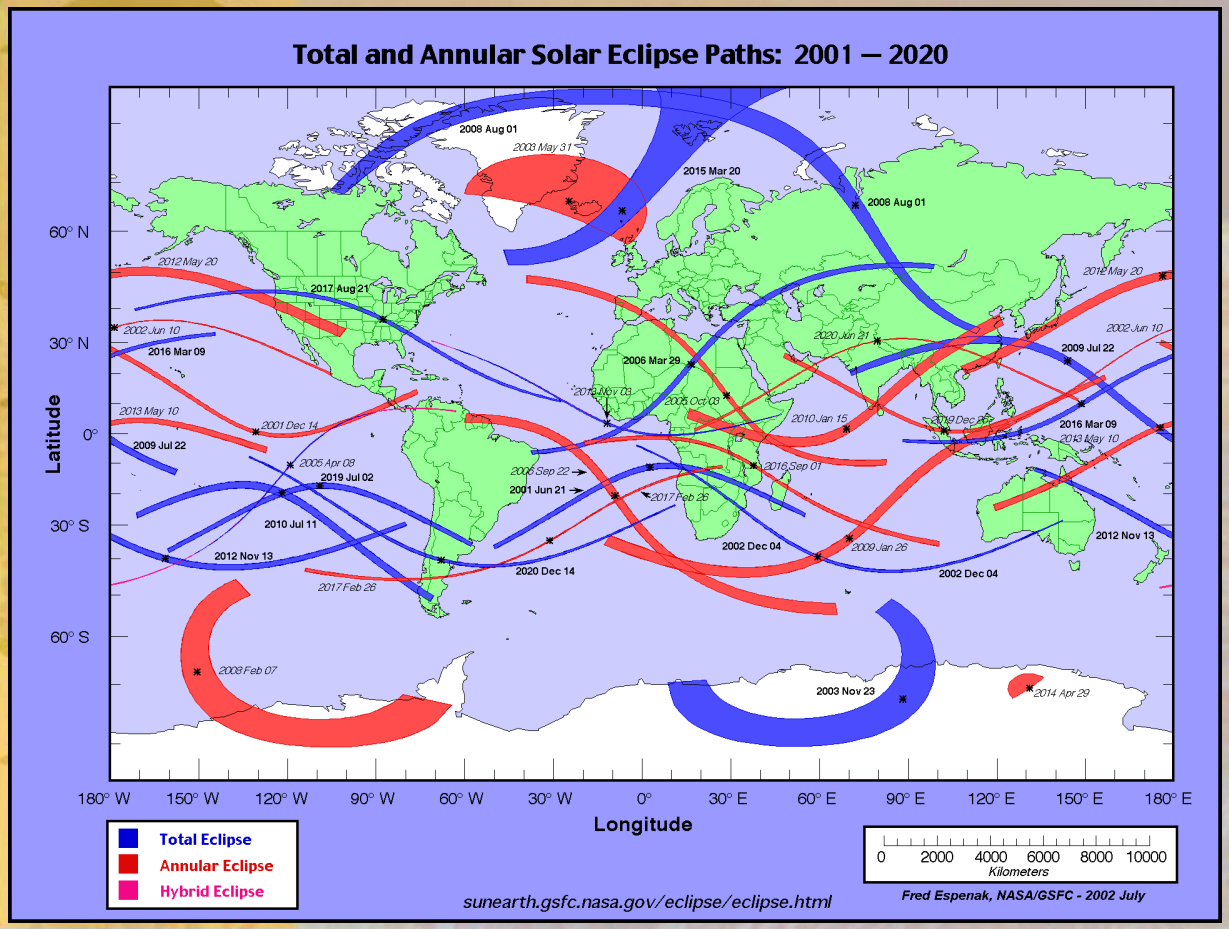
L'ÉCLIPSE DE SOLEIL

- L'éclipse totale de Soleil du 21 août 2017.
  - Bande de totalité ➡ **114,7** km de largeur



L'ÉCLIPSE DE SOLEIL

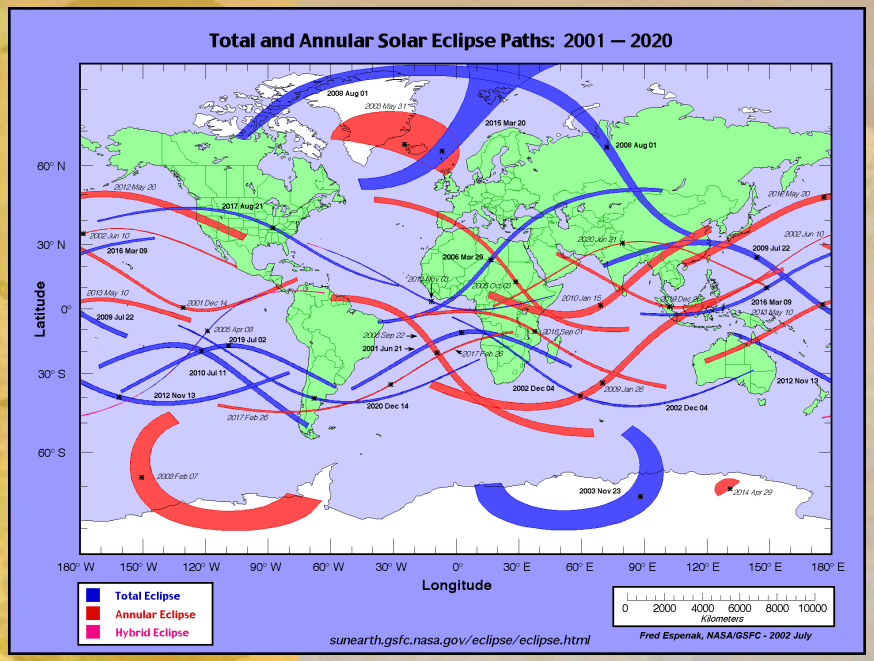
- Largeur de la bande de totalité



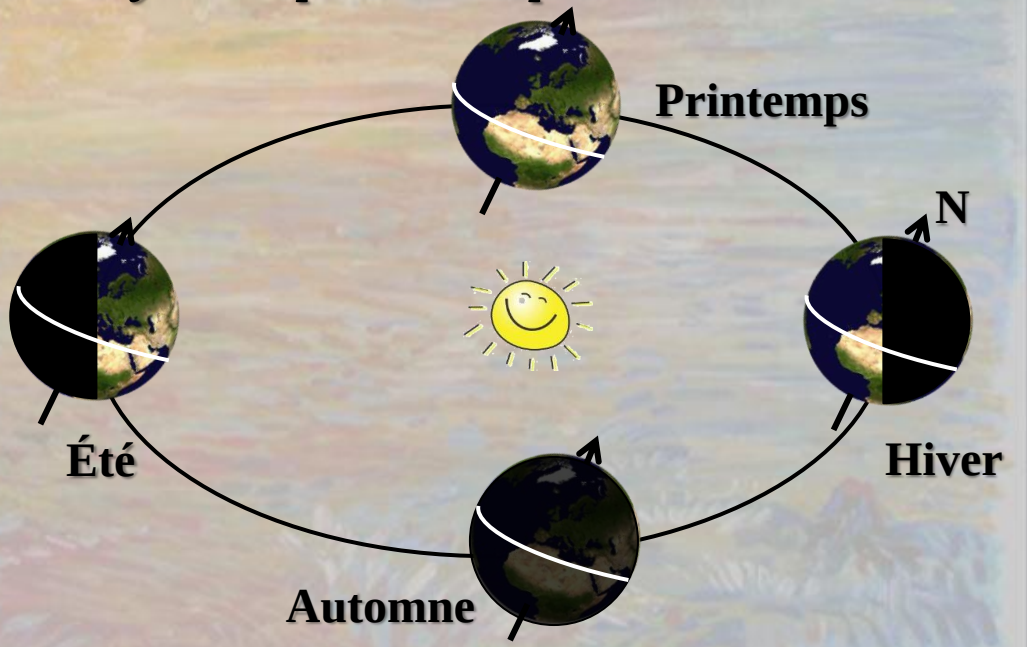
- Variable
- Annulaire > Totale

L'ÉCLIPSE DE SOLEIL

- Largeur de la bande de totalité

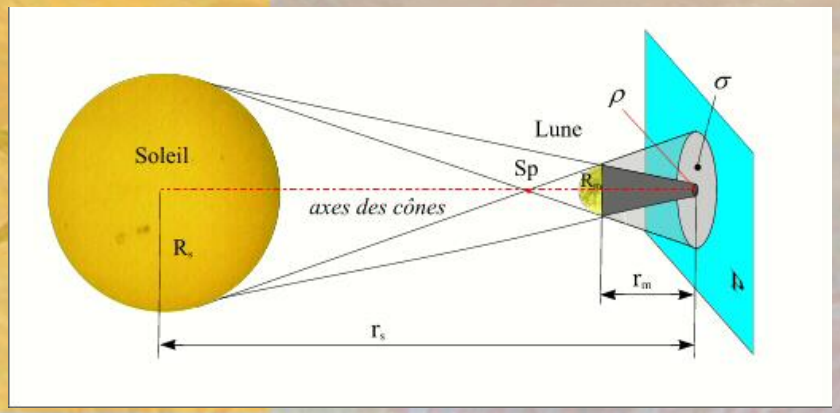


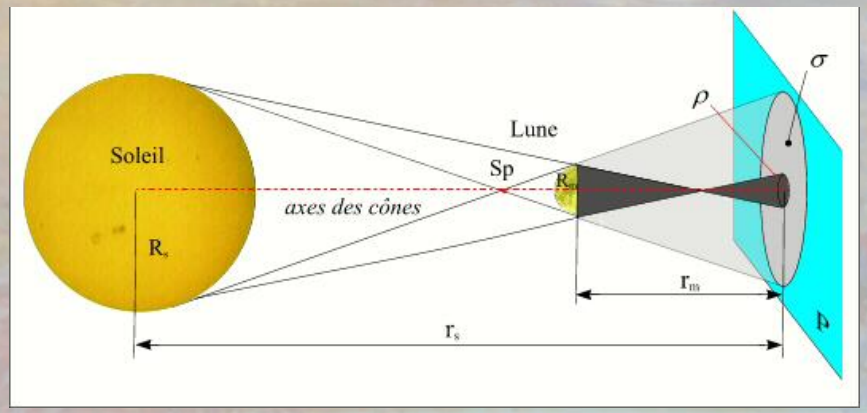
- On peut voir des éclipses solaires de n'importe où sur la Terre…
- …y compris aux pôles.



L'ÉCLIPSE DE SOLEIL

- Largeur de la bande de totalité
  - Maximale lorsque la Terre est à l'aphélie et la Lune au périgée, sur la partie la plus proéminente de la Terre.
    - Alors, la largeur de la bande d'une éclipse totale peut atteindre 268 kilomètres.
  - Une éclipse annulaire peut atteindre 375 kilomètres.





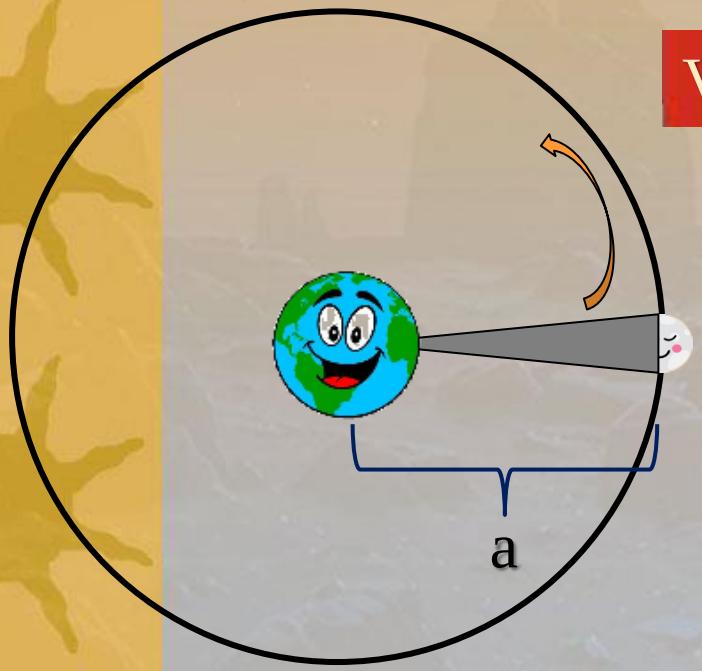
L'ÉCLIPSE DE SOLEIL

- Largeur de la pénombre (où l'éclipse est partielle)
  - 6 700 à 7 300 kilomètres.

À Rimouski, l'éclipse du 2017/08/21 était à **60** %.

L'ÉCLIPSE DE SOLEIL

- Durée de la totalité.
  - L'ombre de la Lune se déplace de l'Ouest vers l'Est.
  - La Terre tourne sur elle-même de l'Ouest vers l'Est.



Vitesse orbitale de la Lune

a = 384 000 km

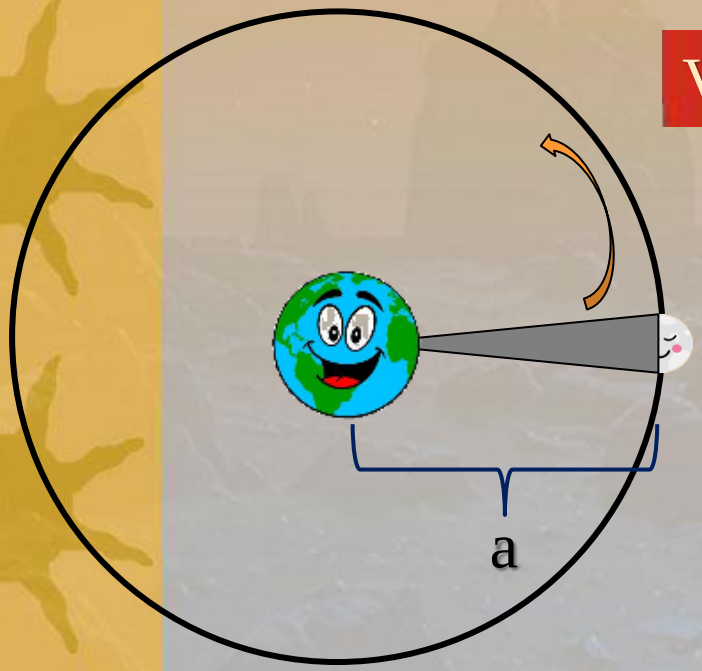
$\mathbf{C}_{orbite} = 2\pi a = 2\ 412\ 743$ km

Mois sidéral (**T**) = 27,32 j = 2 360 448 s

$$v_o = \frac{C}{T} = \frac{2\ 412\ 743\ km}{2\ 360\ 448\ s} = \mathbf{1,02}\ {}^{km}/_{s}$$

L'ÉCLIPSE DE SOLEIL

- Durée de la totalité.
  - L'ombre de la Lune se déplace de l'Ouest vers l'Est.
  - La Terre tourne sur elle-même de l'Ouest vers l'Est.



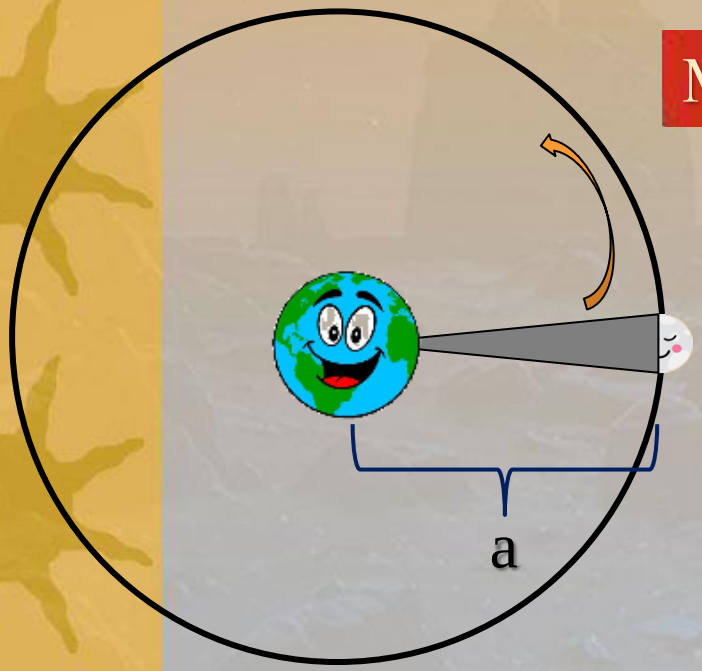
Vitesse orbitale de la Lune

Le diamètre maximum de l'ombre de la Lune = **268** km.
Si la Terre ne tournait pas, alors la durée de l'éclipse de Soleil en tout point de son trajet sur la surface terrestre serait ➡

$$d_e = \frac{268\ km}{1{,}02\ {}^{km}/_{s}} \cong 263\ s = \mathbf{4{,}4}\ \text{minutes}$$

L'ÉCLIPSE DE SOLEIL

- Durée de la totalité.
  - L'ombre de la Lune se déplace de l'Ouest vers l'Est.
  - La Terre tourne sur elle-même de l'Ouest vers l'Est.



Mais la Terre tourne…

La vitesse de rotation d'un point à la surface terrestres ➡

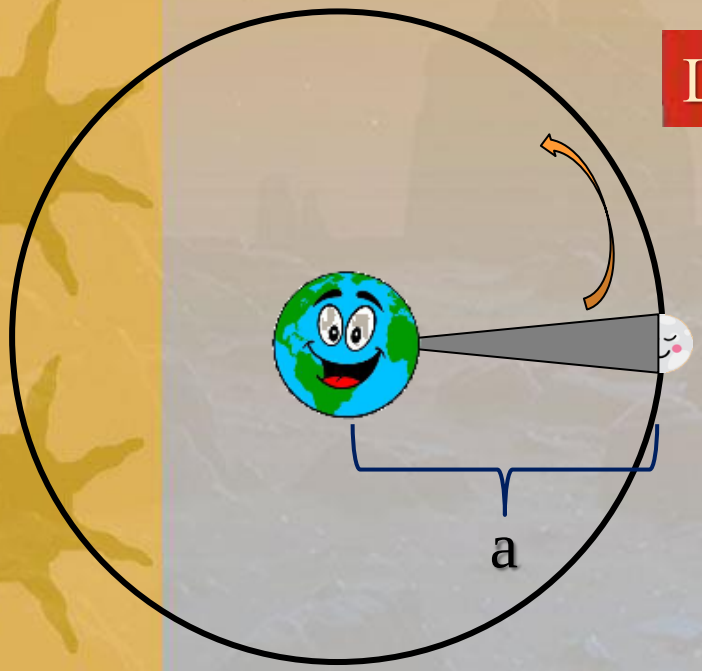
$$v_R = \frac{2\pi R_T \bullet \cos L}{86\,164\ s}$$

, où 86 164 s = 1 jour sidéral

- À l'équateur, v_R = 0,465 km/s
- À Rimouski (L= 48,5°), v_R = 0,31 km/s

L'ÉCLIPSE DE SOLEIL

- Durée de la totalité.
  - L'ombre de la Lune se déplace de l'Ouest vers l'Est.
  - La Terre tourne sur elle-même de l'Ouest vers l'Est.



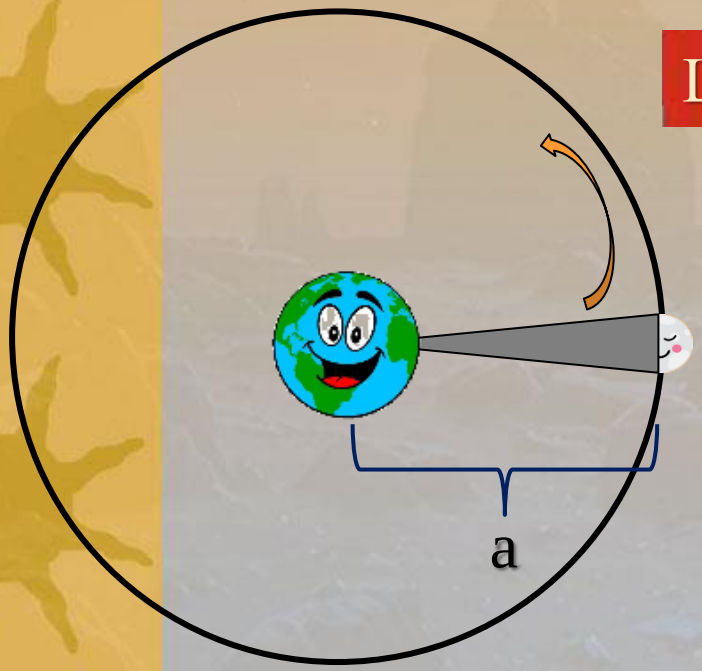
La durée de la totalité est…

$$\boldsymbol{d}_{Tot} = \frac{2\pi R_T \bullet \cos L}{1{,}02 - 0{,}465\ {}^{km}/_{s}}$$

- À l'équateur, $\mathbf{d}_{Tot}$ = 467 s = **7,79** minutes
- À Rimouski, $\mathbf{d}_{Tot}$ = 330 s = **5,16** minutes

L'ÉCLIPSE DE SOLEIL

- Durée de la totalité.
  - L'ombre de la Lune se déplace de l'Ouest vers l'Est.
  - La Terre tourne sur elle-même de l'Ouest vers l'Est.



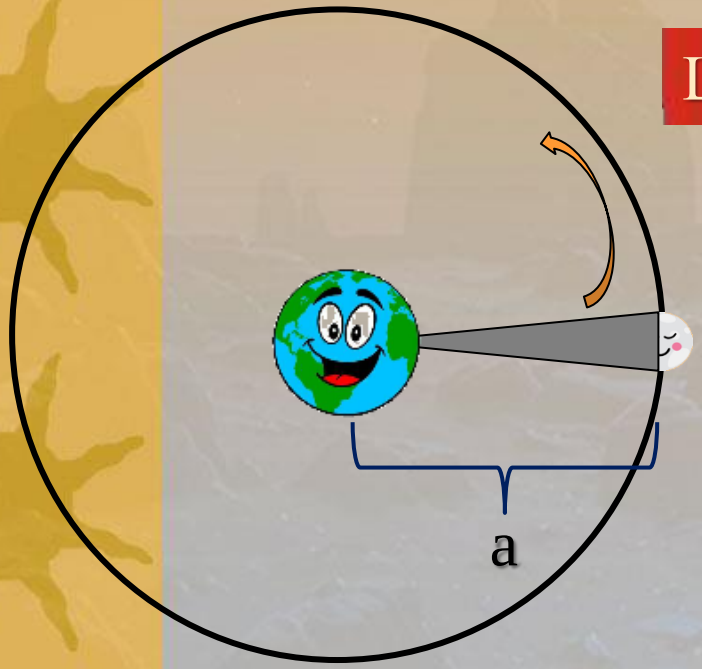
La durée de la totalité est…

Mais ces durées extrêmes ne sont presque jamais atteintes :

- Entre les années -4 000 à 6 000, l'éclipse totale la plus longue se produira le 16 juillet 2 186 et durera 7 minutes 29 secondes.

L'ÉCLIPSE DE SOLEIL

- Durée de la totalité.
  - L'ombre de la Lune se déplace de l'Ouest vers l'Est.
  - La Terre tourne sur elle-même de l'Ouest vers l'Est.

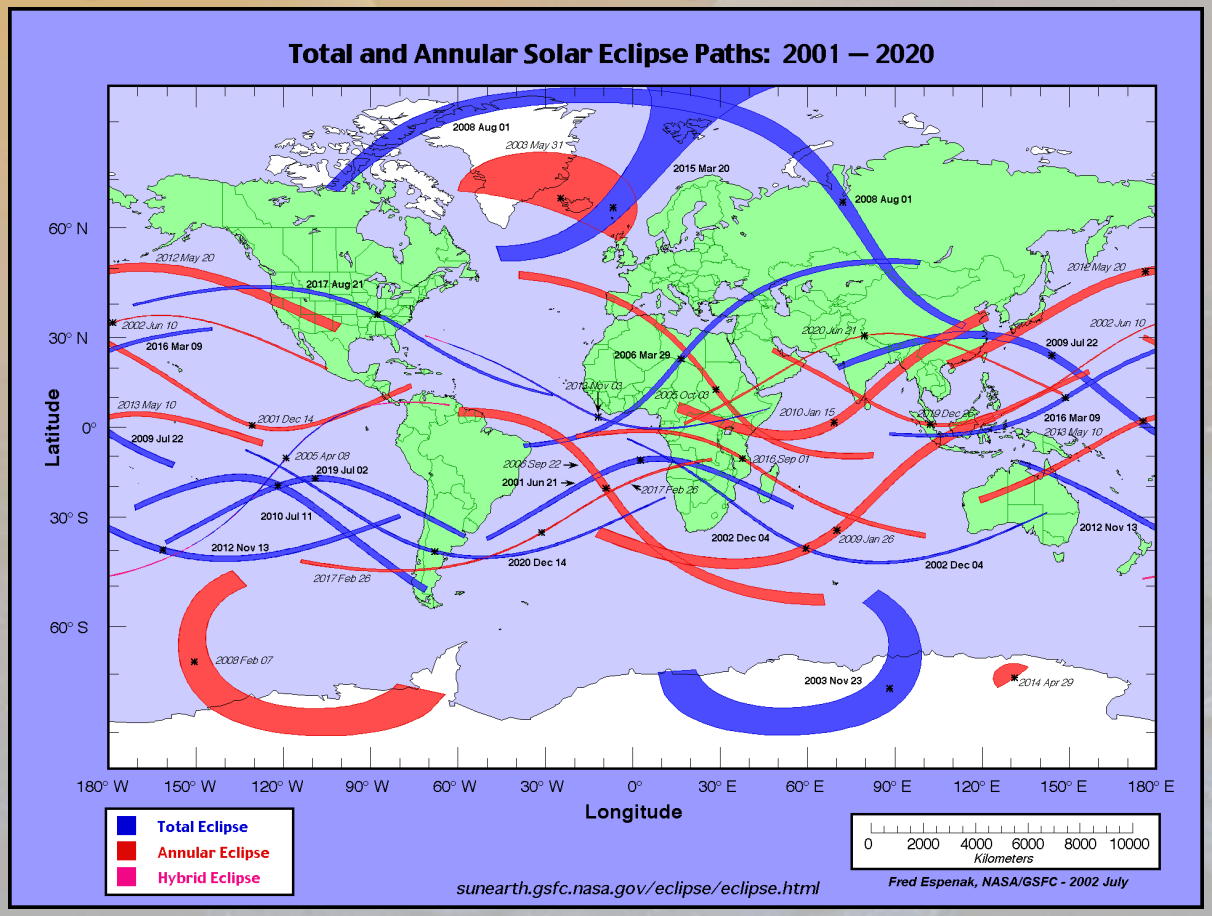


L'éclipse totale du 21 août 2017

- Largeur de la bande de totalité = **114,7** km
- Durée de la totalité = **2 min 40 s**

L'ÉCLIPSE DE SOLEIL

- Le parcours d'une éclipse centrale de Soleil.



CHRONOLOGIE ET LEÇONS

- La récurrence :
  - Liste des prochaines éclipses de Soleil et de Lune

26 décembre 2019	**Soleil**	Annulaire	Asie
10 Janvier 2020	**Lune**	Pénombrale	Europe, Afrique, Australie
05 Juin 2020	**Lune**	Pénombrale	Europe, Afrique, Australie
21 juin 2020	**Soleil**	Annulaire	Asie
05 Juillet 2020	**Lune**	Pénombrale	Amériques, Afrique
30 Novembre 2020	**Lune**	Pénombrale	Amériques, Asie
14 décembre 2020	**Soleil**	Totale	Amérique du Sud
26 Mai 2021	**Lune**	Totale	Amériques, Pacifique
10 juin 2021	**Soleil**	Annulaire	Amérique du Nord, Europe
19 Novembre 2021	**Lune**	Partielle	Amériques, Pacifique
4 décembre 2021	**Soleil**	Totale	Antarctique
30 avril 2022	**Soleil**	Partielle	Amérique du Sud

CHRONOLOGIE ET LEÇONS

- La récurrence :
  - Le plus souvent deux par année à ± 6 mois d'intervalle.
    - **Peut aller jusqu'à 5 (1 année sur 100).**
  - N'importe quand au cours de l'année.

Année	Date	Type		Date	Type
1997	9 mars	T		2 septembre	P
1998	26 février	T		22 août	A
1999	16 février	A		11 août	T
2000	5 février	P		31 juillet	P
2000	1 juillet	P		25 décembre	P
2001	21 juin	T		14 décembre	A
2002	10 juin	A		4 décembre	T
2003	31 mai	A		23 novembre	T
2004	19 avril	P		14 octobre	P
2005	8 avril	H		3 octobre	A
2006	29 mars	T		22 septembre	A
2007	19 mars	P		11 septembre	P
2008	7 février	P		1 août	T
2009	26 janvier	A		22 juillet	T
2010	15 janvier	A		11 juillet	T
2011	4 janvier	P		1 juillet	T
2011	1 juin	P		25 novembre	P
2012	20 mai	A		23 novembre	T
2013	10 mai	A		3 novembre	H
2014	29 avril	A		23 octobre	P
2015	20 mars	T		13 septembre	P
2016	9 mars	T		1 septembre	A
2017	26 février	A		21 août	T
2018	15 février	P		11 août	P

CHRONOLOGIE ET LEÇONS

- La récurrence :
  - La récurrence semble précéder de ± 10 jours l'éclipse correspondante de l'année précédente…
  - …avec des sauts parfois inattendus.

Année	Date	Type		Date	Type
1997	9 mars	T		2 septembre	P
1998	26 février	T		22 août	A
1999	16 février	A		11 août	T
2000	5 février	P		31 juillet	P
2000	1 juillet	P		25 décembre	P
2001	21 juin	T		14 décembre	A
2002	10 juin	A		4 décembre	T
2003	31 mai	A		23 novembre	T
2004	19 avril	P		14 octobre	P
2005	8 avril	H		3 octobre	A
2006	29 mars	T		22 septembre	A
2007	19 mars	P		11 septembre	P
2008	7 février	P		1 août	T
2009	26 janvier	[illegible]		22 juillet	T
2010	15 janvier	[illegible]		11 juillet	T
2011	4 janvi[illegible]	[illegible]		[illegible]	T
2011	1 juin	[illegible]		[illegible]re	P
2012	20 mai	A		23 novembre	T
2013	10 mai	A		3 novembre	H
2014	29 avril	A		23 octobre	P
2015	20 mars	T		13 septembre	P
2016	9 mars	T		1 septembre	A
2017	26 février	A		21 août	T
2018	15 février	P		11 août	P

Saut d'environ un mois.

CHRONOLOGIE ET LEÇONS

- La récurrence :
  - Se répète parfois de façon rapprochée avec initiation d'une nouvelle série.

Année	Date	Type		Date	Type
1997	9 mars	T		2 septembre	P
1998	26 février	T		22 août	A
1999	16 février	A		11 août	T
2000	5 février	P		31 juillet	P
2000	1 juillet	P		25 décembre	P
2001	21 juin	T		14 décembre	A
2002	10 juin	A		4 décembre	T
2003	31 mai	A		23 novembre	T
2004	19 avril	P		14 octobre	P
2005	8 avril	H		3 octobre	A
2006	29 mars	T		22 septembre	A
2007	19 mars	P		11 septembre	P
2008	7 février	P		1 août	T
2009	26 janvier	A		22 juillet	T
2010	15 janvier	A		11 juillet	T
2011	4 janvier	P		1 juillet	T
2011	1 juin	P		25 novembre	P
2012	20 mai	A		23 novembre	T
2013	10 mai	A		3 novembre	H
2014	29 avril	A		23 octobre	P
2015	20 mars	T		13 septembre	P
2016	9 mars	T		1 septembre	A
2017	26 février	A		21 août	T
2018	15 février	P		11 août	P

CHRONOLOGIE ET LEÇONS

- La récurrence :
  - On découvre que les conditions orbitales permettant un alignement parfait se produisent tous les 346,6 jours ➡ retour au même nœud.

C'est L'année écliptique

Année	Date	Type		Date	Type
1997	9 mars	T		2 septembre	P
1998	26 février	T		22 août	A
1999	16 février	A		11 août	T
2000	5 février	P		31 juillet	P
2000	1 juillet	P		25 décembre	P
2001	21 juin	T		14 décembre	A
2002	10 juin	A		4 décembre	T
2003	31 mai	A		23 novembre	T
2004	19 avril	P		14 octobre	P
2005	8 avril	H		3 octobre	A
2006	29 mars	T		22 septembre	A
2007	19 mars	P		11 septembre	P
2008	7 février	P		1 août	T
2009	26 janvier	A		22 juillet	T
2010	15 janvier	A		11 juillet	T
2011	4 janvier	P		1 juillet	T
2011	1 juin	P		25 novembre	P
2012	20 mai	A		23 novembre	T
2013	10 mai	A		3 novembre	H
2014	29 avril	A		23 octobre	P
2015	20 mars	T		13 septembre	P
2016	9 mars	T		1 septembre	A
2017	26 février	A		21 août	T
2018	15 février	P		11 août	P

CHRONOLOGIE ET LEÇONS

- La récurrence :
  - Ainsi, tous les **173,3** jours (346,6÷2), la Lune se retrouve à l'un des ses nœuds et une éclipse est possible.

On parle de **saison écliptique** (durée de **35** jours) où les éclipses se produisent.

Année	Date	Type		Date	Type
1997	9 mars	T		2 septembre	P
1998	26 février	T		22 août	A
1999	16 février	A		11 août	T
2000	5 février	P		31 juillet	P
2000	1 juillet	P		25 décembre	P
2001	21 juin	T		14 décembre	A
2002	10 juin	A		4 décembre	T
2003	31 mai	A		23 novembre	T
2004	19 avril	P		14 octobre	P
2005	8 avril	H		3 octobre	A
2006	29 mars	T		22 septembre	A
2007	19 mars	P		11 septembre	P
2008	7 février	P		1 août	T
2009	26 janvier	A		22 juillet	T
2010	15 janvier	A		11 juillet	T
2011	4 janvier	P		1 juillet	T
2011	1 juin	P		25 novembre	P
2012	20 mai	A		23 novembre	T
2013	10 mai	A		3 novembre	H
2014	29 avril	A		23 octobre	P
2015	20 mars	T		13 septembre	P
2016	9 mars	T		1 septembre	A
2017	26 février	A		21 août	T
2018	15 février	P		11 août	P

CHRONOLOGIE ET LEÇONS

- La récurrence :
  - Et surtout, le retour à un patron identique d'éclipses après une période de 6 583,321 jours.

18 ans 11 jours 7 heures et 43 minutes

C'est le Saros

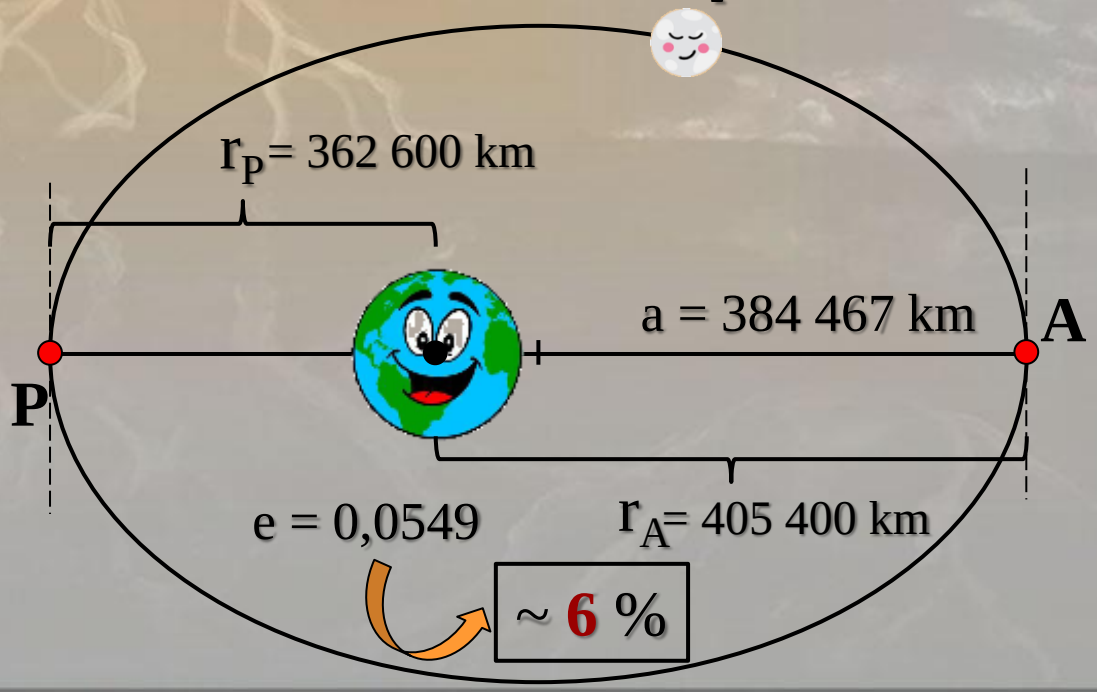
Année	Date	Type		Date	Type
1997	9 mars	T		2 septembre	P
1998	26 février	T		22 août	A
1999	16 février	A		11 août	T
2000	5 février	P		31 juillet	P
2000	1 juillet	P		25 décembre	P
2001	21 juin	T		14 décembre	A
2002	10 juin	A		4 décembre	T
2003	31 mai	A		23 novembre	T
2004	19 avril	P		14 octobre	P
2005	8 avril	H		3 octobre	A
2006	29 mars	T		22 septembre	A
2007	19 mars	P		11 septembre	P
2008	7 février	P		1 août	T
2009	26 janvier	A		22 juillet	T
2010	15 janvier	A		11 juillet	T
2011	4 janvier	P		1 juillet	T
2011	1 juin	P		25 novembre	P
2012	20 mai	A		23 novembre	T
2013	10 mai	A		3 novembre	H
2014	29 avril	A		23 octobre	P
2015	20 mars	T		13 septembre	P
2016	9 mars	T		1 septembre	A
2017	26 février	A		21 août	T
2018	15 février	P		11 août	P

CHRONOLOGIE : EXPLICATIONS

- Expliquer l'Année écliptique et le Saros.

Retour sur les éléments de l'orbite de la Lune

- L'orbite de la Lune est une ellipse.



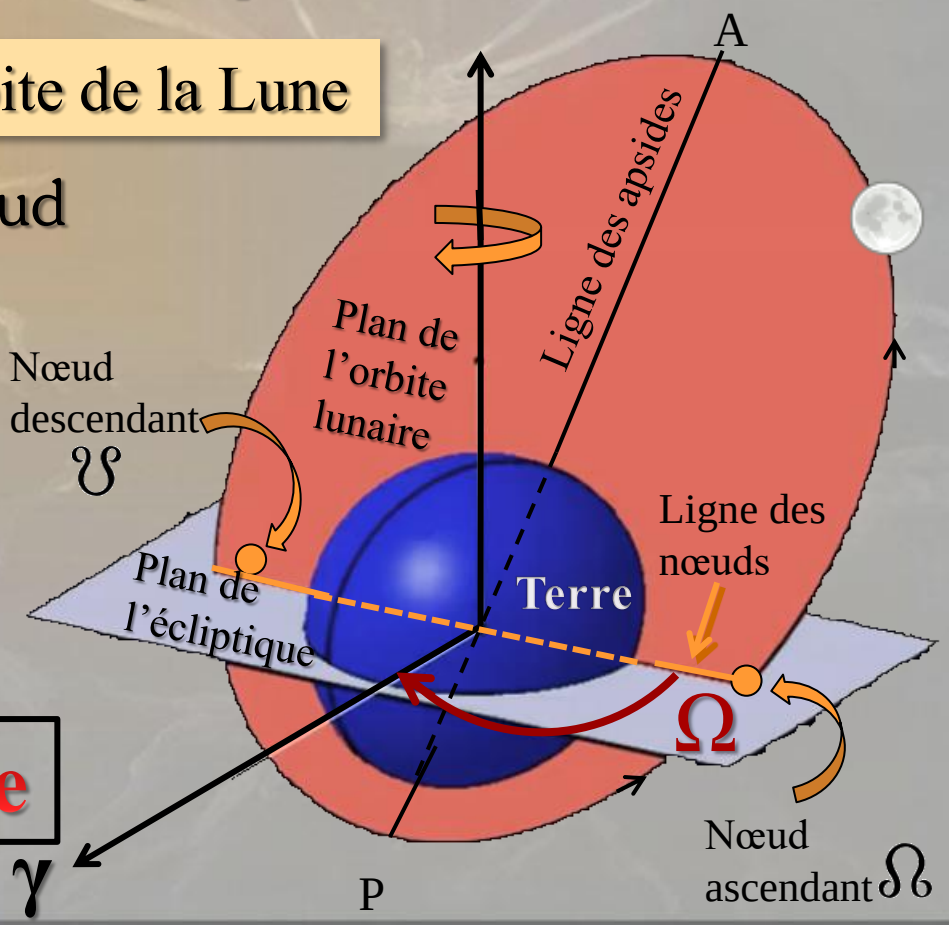
CHRONOLOGIE : EXPLICATIONS

- Expliquer l'Année écliptique et le Saros.

Retour sur les éléments de l'orbite de la Lune

- La longitude du nœud ascendant (Ω).
  - La rotation antérograde de la **ligne des nœuds** fait un tour complet en 18,61 ans, soit 19,3549°/année.

Définit le mois **draconitique**



LES VISAGES DE SÉLÉNÉ

- Les mois…

Le mois	Durée (Jours)	Mesure
Sidéral ✸	27,32166	Par rapport aux étoiles (repère fixe)
Synodique	29,53059	Durée d'une lunaison
Anomalistique	27,55464	Qui sépare deux passages au périgée
Draconitique	27,21220	Qui sépare deux passages au nœud ascendant
Tropique	27,32158	Qui sépare deux passages au point vernal

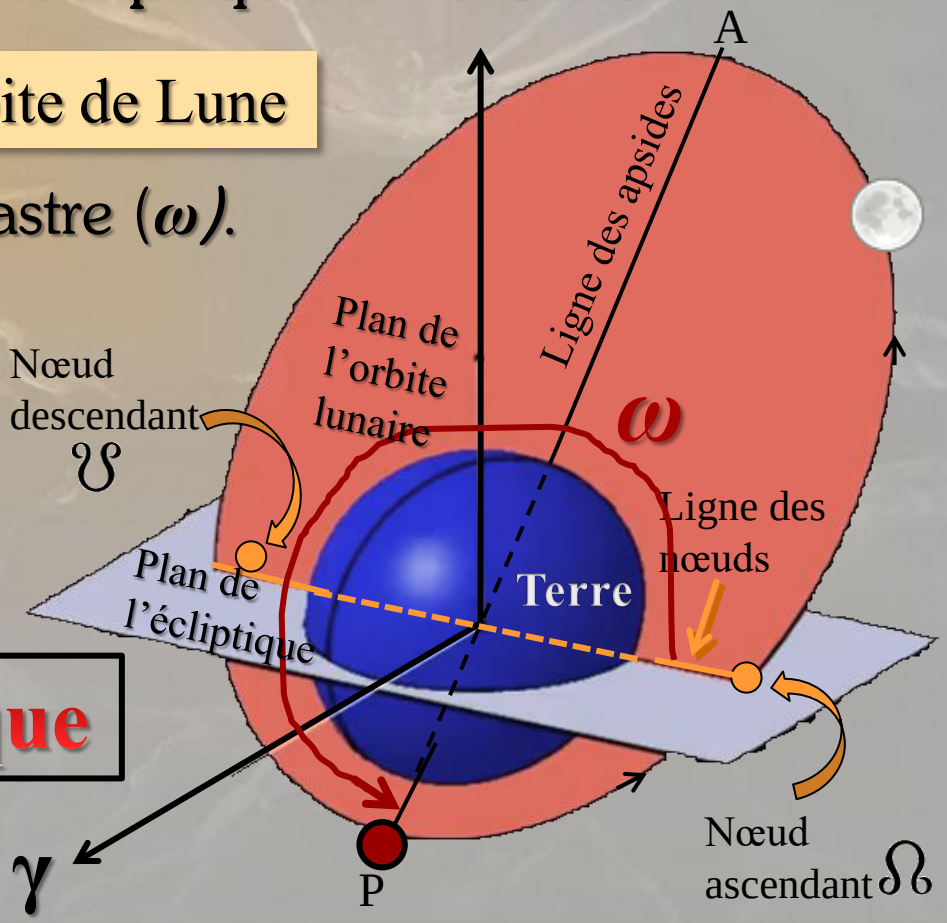
CHRONOLOGIE : EXPLICATIONS

- Expliquer l'Année écliptique et le Saros.

Retour sur les éléments de l'orbite de Lune

- Argument du périastre (ω).

  - La rotation rétrograde de l'axe des apsides en 8,85 ans.



Définit le mois **anomalistique**

LES VISAGES DE SÉLÉNÉ

- Les mois…

Le mois	Durée (Jours)	Mesure
Sidéral ✸	27,32166	Par rapport aux étoiles (repère fixe)
Synodique	29,53059	Durée d'une lunaison
Anomalistique	27,55464	Qui sépare deux passages au périgée
Draconitique	27,21220	Qui sépare deux passages au nœud ascendant
Tropique	27,32158	Qui sépare deux passages au point vernal

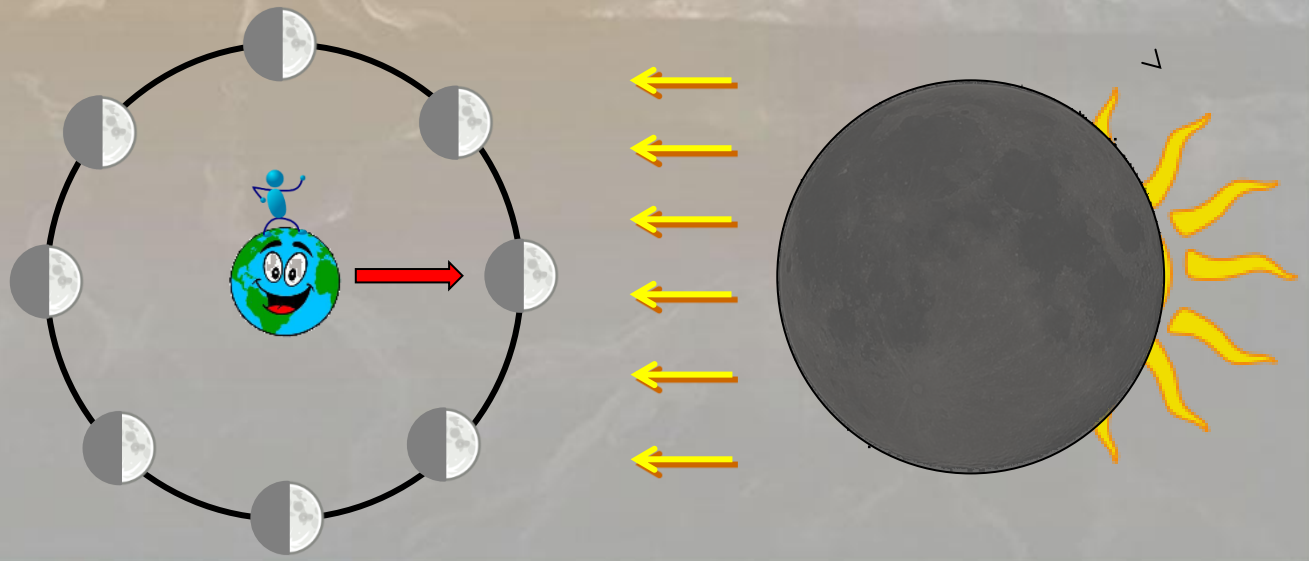
CHRONOLOGIE : EXPLICATIONS

- Expliquer l'Année écliptique et le Saros.

Retour sur les éléments de l'orbite de Lune

- Le retour des phases de la Lune.
  - Une « **lunaison** » est le retour de la Nouvelle Lune

Définit le mois **synodique**



LES VISAGES DE SÉLÉNÉ

- Les mois…

Le mois	Durée (Jours)	Mesure
Sidéral ✸	27,32166	Par rapport aux étoiles (repère fixe)
Synodique	29,53059	Durée d'une lunaison
Anomalistique	27,55464	Qui sépare deux passages au périgée
Draconitique	27,21220	Qui sépare deux passages au nœud ascendant
Tropique	27,32158	Qui sépare deux passages au point vernal

CHRONOLOGIE : EXPLICATIONS

- Qu'est-ce que le Saros ?
  - Le ***plus petit commun dénominateur*** entre ces différentes composantes de l'orbite lunaire.

6 585,32 jours = 18 ans 11 jours 7 heures 43 minutes

6 585,32 ÷ 29,53 (mois synodique) ≅ **223**
6 585,32 ÷ 27,55 (mois anomalistique) ≅ **239**
6 585,32 ÷ 27,21 (mois draconitique) ≅ **242**

6 585,32 jours correspondent à :
223 synodiques ≅ **242** draconitiques ≅ **239** anomalistiques

CHRONOLOGIE : EXPLICATIONS

- Qu'est-ce que le Saros ?
  - Le ***plus petit commun dénominateur*** entre ces différentes composantes de l'

6 585,32 jours = 18 ans 11 jo

6 585,32 ÷ 29,53 (mois sy

6 585,32 ÷ 27,55 (mois anomalisti

6 585,32 ÷ 27,21 (mois draconitiq ≅ **242**

C'est purement mathématique !

6 585,32 jours correspondent à :

223 synodiques ≅ **242** draconitiques ≅ **239** anomalistiques

LA PRÉDICTION DES ÉCLIPSES

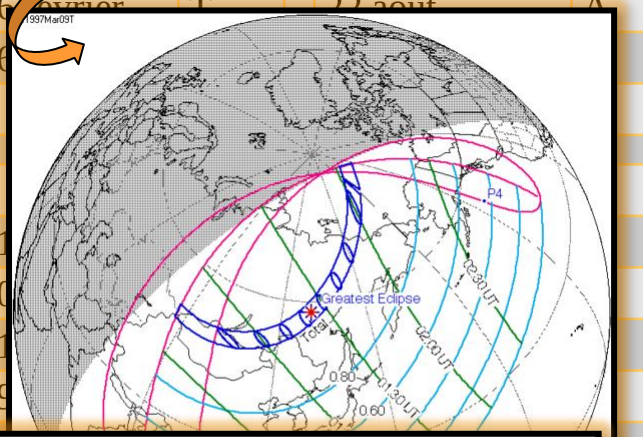
- Utilisation pratique du Saros ?
  - Par convention, on fait débuter le Cycle par une éclipse polaire boréale.

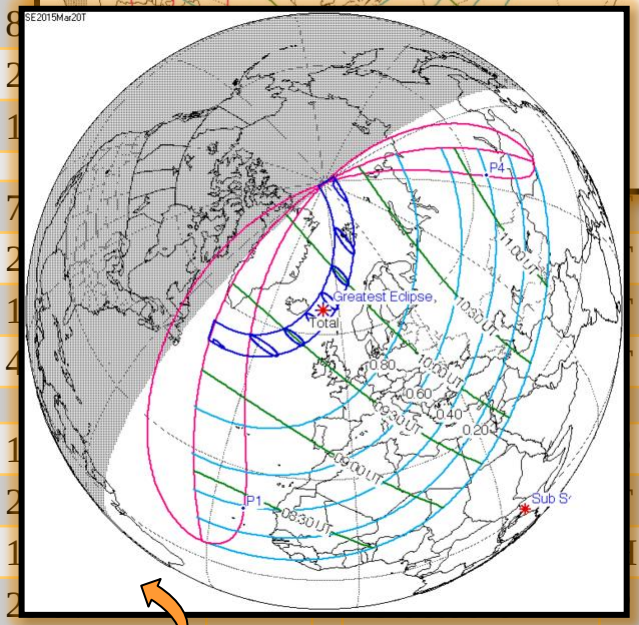
Année	Date	Type		Date	Type
1997	9 mars	T		2 septembre	P
1998	26 février	T		22 août	A
1999	16 février	A		11 août	T
2000	5 février	P		31 juillet	P
2000	1 juillet	P		25 décembre	P
2001	21 juin	T		14 décembre	A
2002	10 juin	A		4 décembre	T
2003	31 mai	A		23 novembre	T
2004	19 avril	P		14 octobre	P
2005	8 avril	H		3 octobre	A
2006	29 mars	T		22 septembre	A
2007	19 mars	P		11 septembre	P
2008	7 février	P		1 août	T
2009	26 janvier	A		22 juillet	T
2010	15 janvier	A		11 juillet	T
2011	4 janvier	P		1 juillet	T
2011	1 juin	P		25 novembre	P
2012	20 mai	A		23 novembre	T
2013	10 mai	A		3 novembre	H
2014	29 avril	A		23 octobre	P
2015	20 mars	T		13 septembre	P
2016	9 mars	T		1 septembre	A
2017	26 février	A		21 août	T
2018	15 février	P		11 août	P

LA PRÉDICTION DES ÉCLIPSES

- Utilisation pratique du **Saros** ?
  - Par convention, on fait débuter le Cycle par une éclipse polaire boréale.

Année	Date	Type	Date	Type
1997	9 mars	T	2 septembre	P
1998	26 février	T	22 août	A
1999	16			
2000	5			
2000	1			
2001	21			
2002	10			
2003	31			
2004	19			
2005	8			
2006	2			
2007	1			
2008	7			
2009	2			
2010	1			
2011	4			
2011	1			
2012	2			
2013	1			
2014	2			
2015	20 mars	T	13 septembre	P
2016	9 mars	T	1 septembre	A
2017	26 février	A	21 août	T
2018	15 février	P	11 août	P

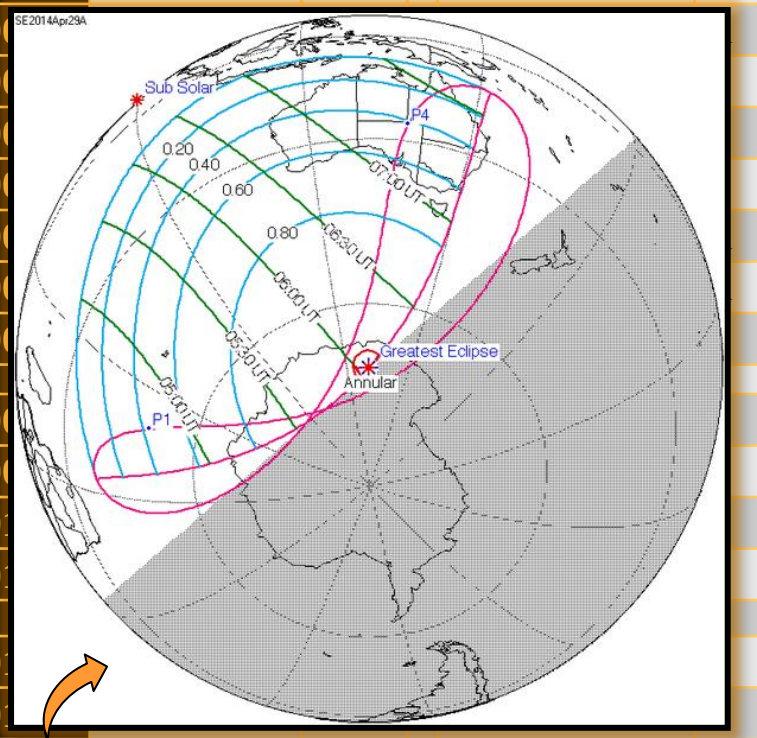




LA PRÉDICTION DES ÉCLIPSES

- Utilisation pratique du **Saros** ?
  - Le Cycle se termine aussi par une éclipse polaire australe.

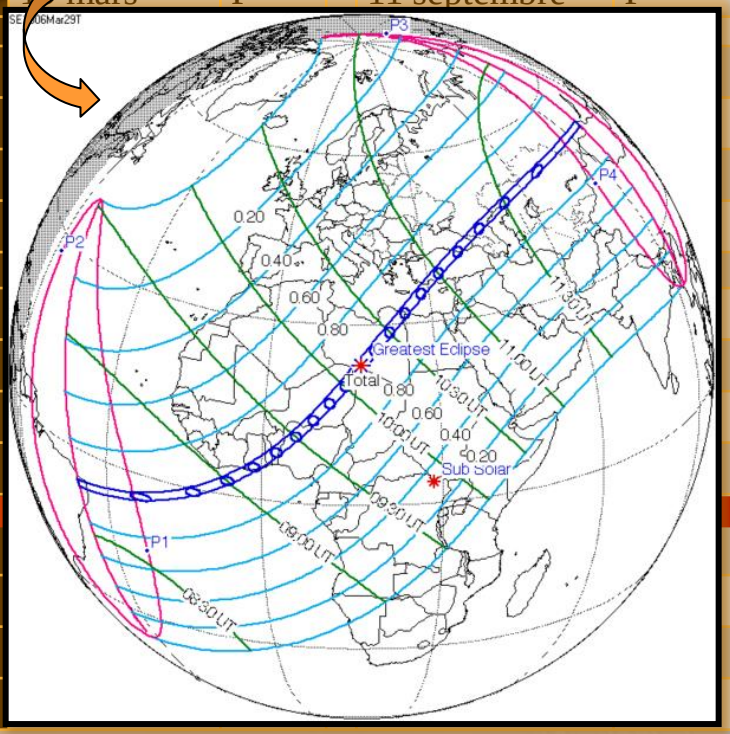
Année	Date	Type		Date	Type
1997	9 mars	T		2 septembre	P
1998	26 février	T		22 août	A
1999	16 février	A		11 août	T
2000	5 février	P		31 juillet	P
2000	1 juillet	P		25 décembre	P
20					
20					
20					
20					
20					
20					
20					
20					
20					
20					
20					
20					
20					
2013	10 mai	A		3 novembre	H
2014	29 avril	A		23 octobre	P
2015	20 mars	T		13 septembre	P
2016	9 mars	T		1 septembre	A
2017	26 février	A		21 août	T
2018	15 février	P		11 août	P



LA PRÉDICTION DES ÉCLIPSES

- Utilisation pratique du **Saros** ?
  - Les éclipses centrales sont équatoriales.

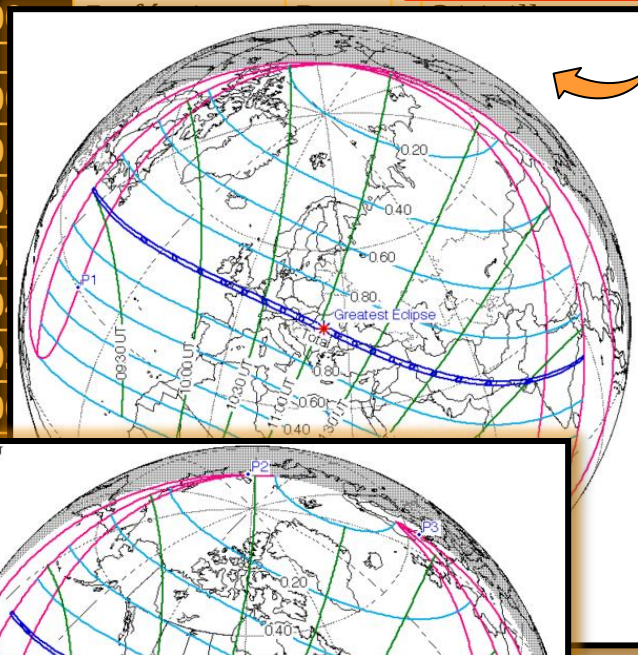
Année	Date	Type		Date	Type
1997	9 mars	T		2 septembre	P
1998	26 février	T		22 août	A
1999	16 février	A		11 août	T
2000	5 février	P		31 juillet	P
2000	1 juillet	P		25 décembre	P
2001	21 juin	T		14 décembre	A
2002	10 juin	A		4 décembre	T
2003	31 mai	A		23 novembre	T
2004	19 avril	P		14 octobre	P
2005	8 avril	H		3 octobre	A
2006	29 mars	T		22 septembre	A
2007	19 mars	P		11 septembre	P
2008					
2009					
2010					
2011					
2011					
2012					
2013					
2014					
2015					
2016					
2017					
2018					

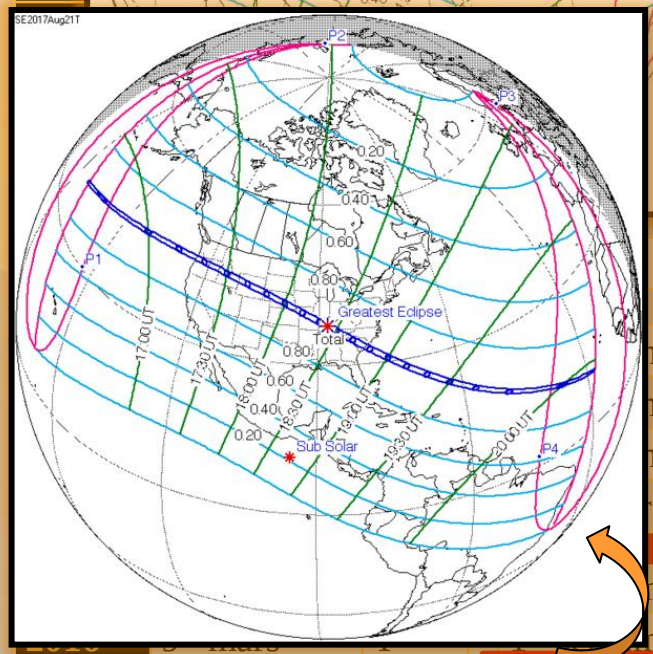


LA PRÉDICTION DES ÉCLIPSES

- Utilisation pratique du **Saros** ?
  - Les éclipses correspondantes sont semblables…

Année	Date	Type		Date	Type
1997	9 mars	T		2 septembre	P
1998	26 février	T		22 août	A
1999	16 février	A		11 août	T
200					P
200					P
200					A
200					T
200					T
200					P
200					A
200					A
					P
					T
					T
					T
					T
				nbre	P
				nbre	T
				nbre	H
				re	P
				nbre	P
				nbre	A
2017	26 février	A		21 août	T
2018	15 février	P		11 août	P

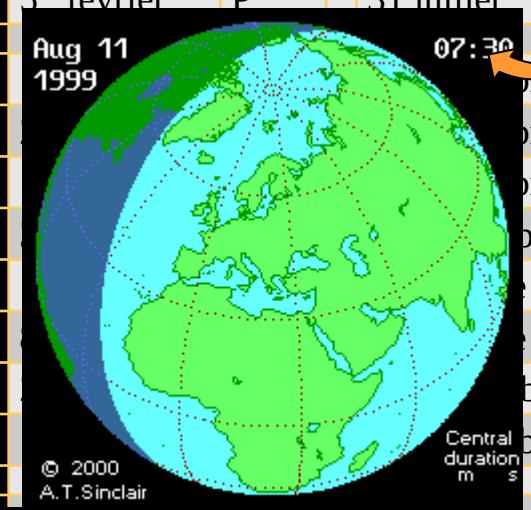


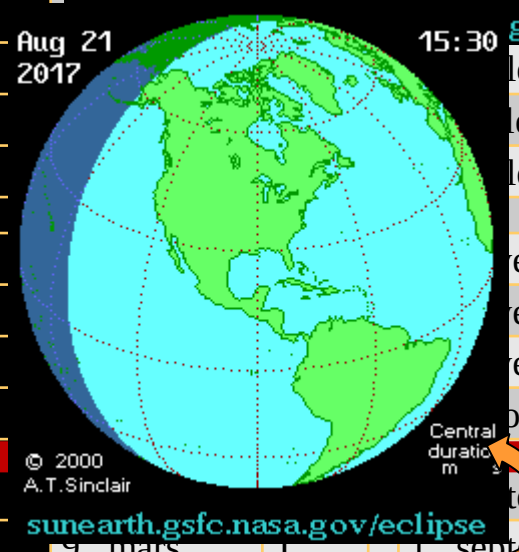


LA PRÉDICTION DES ÉCLIPSES

- Utilisation pratique du **Saros** ?
  - Les éclipses correspondantes sont semblables…
  - Mais les éclipses correspondantes ne se produisent pas au même endroit !

Année	Date	Type		Date	Type
1997	9 mars	T		2 septembre	P
1998	26 février	T		22 août	A
1999	16 février	A		11 août	T
2000	5 février	P		31 juillet	P
2000					P
2001					A
2002					T
2003					T
2004					P
2005					A
2006					A
2007					P
2008					T
2009					T
2010					T
2011					T
2011					P
2012					T
2013					H
2014					P
2015					P
2016	9 mars	T		1 septembre	A
2017	26 février	A		21 août	T
2018	15 février	P		11 août	P





LA PRÉDICTION DES ÉCLIPSES

- Pourquoi ce déphasage des éclipses correspondantes ?
  - La faute au « **7 heures 43 minutes** ». Le nombre de jours n'est pas un entier.

6 585,32 jours = 18 ans 11 jours 7 heures 43 minutes

  - Or, la Terre tourne de 15° par heure vers l'Est.

    ~8 heures = **120°** de décalage vers l'Ouest

LA PRÉDICTION DES ÉCLIPSES

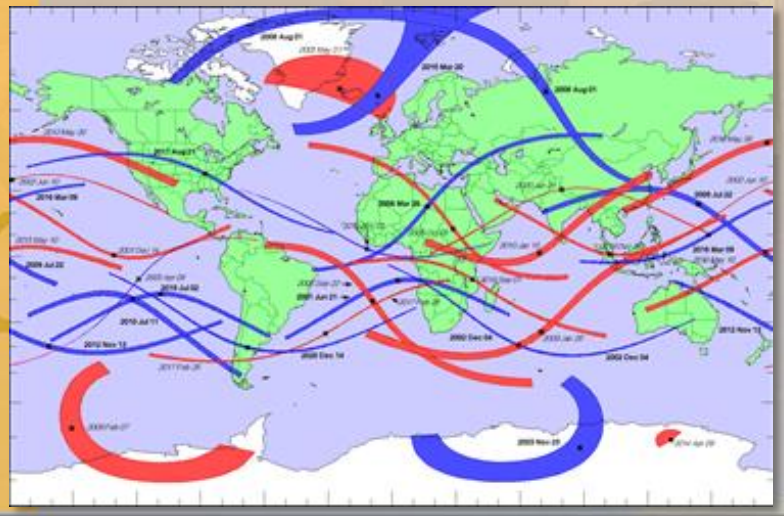
- Une éclipse totale de Soleil se produit aujourd'hui à Rimouski.
  - Dans 173,3 jours, la Lune revient à un nœud… mais elle n'est pas dans la bonne phase.
  - Les conditions seront parfaites et une éclipse semblable se produira dans 6 585,32 jours, mais alors, c'est Rimouski qui ne sera pas au rendez-vous !

LA PRÉDICTION DES ÉCLIPSES

- Une éclipse totale de Soleil se produit aujourd'hui à Rimouski.
  - Il faudra attendre 3 cycles de Saros pour voir l'éclipse *revenir* à Rimouski.
    3 x 120° = 360°
  - L'éclipse semblable reviendra dans
    ~ 3 x 18 ans = 54 ans

LA PRÉDICTION DES ÉCLIPSES

- Une éclipse totale de Soleil se produit aujourd'hui à Rimouski.
  - Cependant, d'autres *cycles* d'éclipse se produisent et ils peuvent dériver vers nous…



LA PRÉDICTION DES ÉCLIPSES

- La *découverte* du Saros

Sumérie (1000 AEC)

Terme grec σαρος vient du sumérien *šár* (cercle)

LA PRÉDICTION DES ÉCLIPSES

- La *découverte* du Saros

Mayas (700 EC)

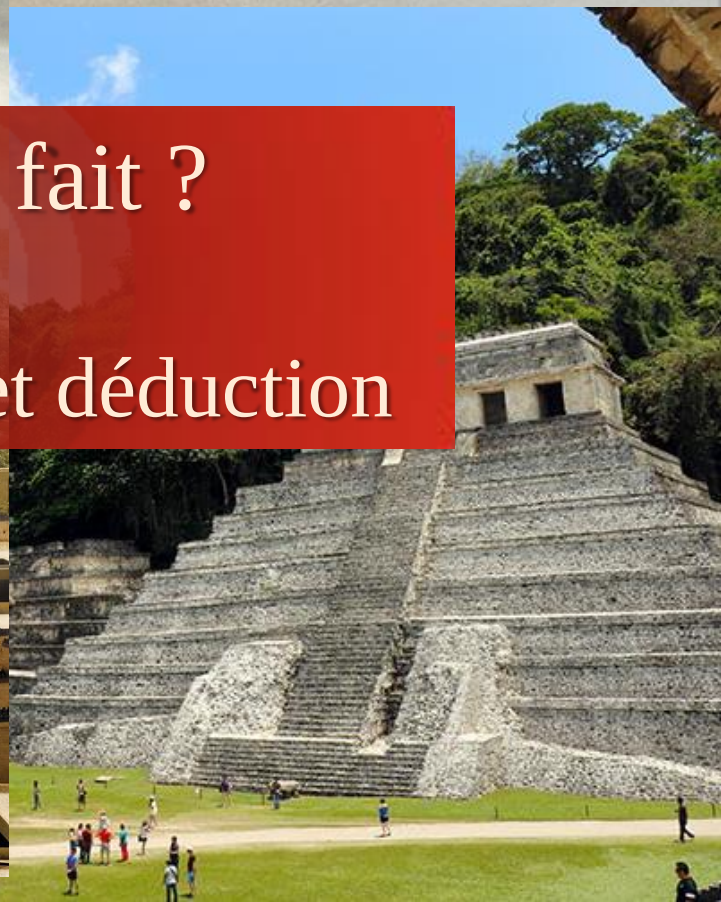
In Table 4 below, I present a summary of the eclipse history of Edzná at the final stages of its existence as the main astronomical center of the Maya. From this, it is quite obvious that, if anything, the frequency of lunar eclipses was just as great near the end of Edzná's life-span as it was at its beginning. In the 77 years of record documented here, we find that a total of 78 eclipses were visible from the site, for an overall average that continued at the rate of one every 11.6 months.

Table 4 – The Late History of Lunar Eclipses at Edzná (684 to 763 CE)

Date	Julian Day Number	No. of Lunations	Saros Number
November 8, 686	1971931	0	(New Saros Cycle)
February 3, 687	1972018	3	83
July 30, 687	1972195	9	88
January 23, 688	1972372	15	93
December 2, 689	1973051	38	75
November 22, 690	1973406	50	85
May 17, 691	1973582	56	90
September 20, 693	1974439	85	77
March 17, 694	1974617	91	82
September 9, 694	1974793	97	87
January 13, 697	1975650	126	74
January 2, 698	1976004	138	84
June 29, 698	1976182	144	89
December 22, 698	1976358	150	94
June 18, 699	1976536	156	99
April 27, 701	1977215	179	81
April 16, 702	1977569	191	91
November 17, 704	1978515	223	(New Saros Cycle)
August 9, 705	1978780	9	88
July 30, 706	1979135	21	98
December 13, 707	1979636	38	75
June 8, 708	1979814	44	80
May 28, 709	1980168	56	90

LA PRÉDICTION DES ÉCLIPSES

- La *découverte* du Saros

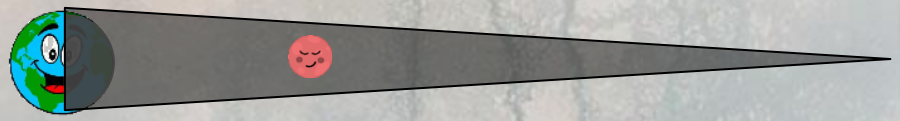


Comment ont-ils fait ?

- Comme nous…
  - Observation et déduction

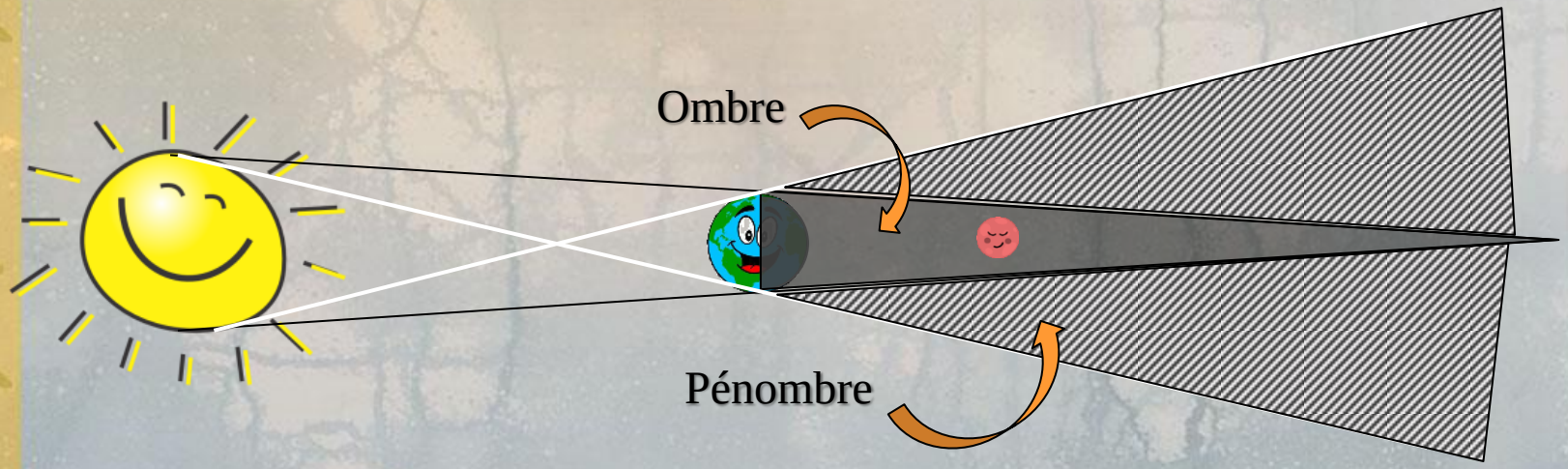
L'ÉCLIPSE DE LUNE

- La mécanique
  - La Terre s'insère entre le Soleil et la Lune qui s'obscurcit.
  - Se produit toujours lors de la **Pleine Lune** lorsque celle-ci est près ou à l'un de ses nœuds.



L'ÉCLIPSE DE LUNE

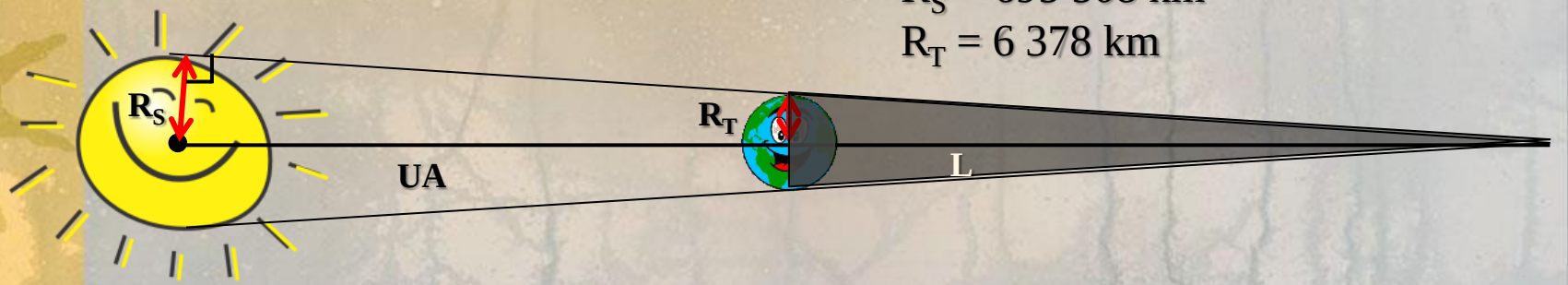
- La mécanique
  - La Terre s'insère entre le Soleil et la Lune qui s'obscurcit.
  - Se produit toujours lors de la **Pleine Lune** lorsque celle-ci est près ou à l'un de ses nœuds.



L'ÉCLIPSE DE LUNE

- La géométrie
  - La longueur de l'ombre de la Terre

Où, UA = 149 597 870 km
R_S = 695 508 km
R_T = 6 378 km



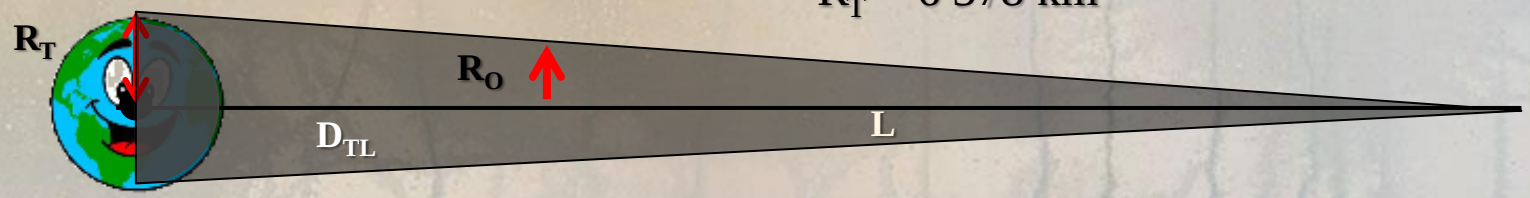
  - La loi des triangles semblables :

$$\frac{R_S}{R_T} = \frac{UA + L}{L} \quad \text{et}, L = \frac{UA \bullet R_T}{R_S - R_T} = \mathbf{1\ 384\ 550}\ km$$

L'ÉCLIPSE DE LUNE

- La géométrie
  - La largeur du cône d'ombre de la Terre au niveau de la Lune

Où, L = 1 384 550 km
D_{TL} = 384 403 km
R_T = 6 378 km



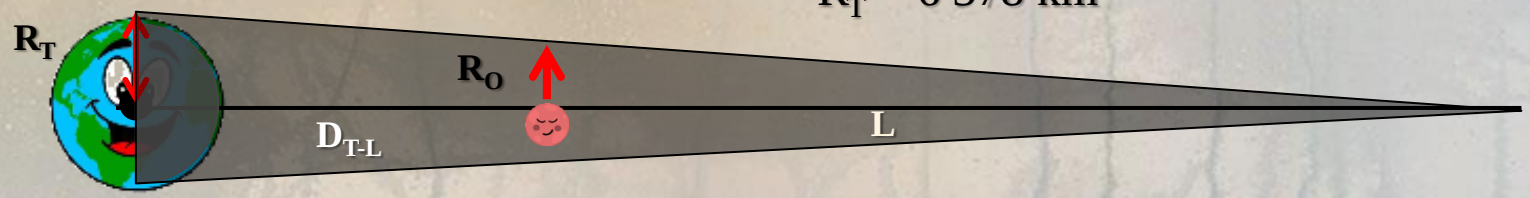
  - La loi des triangles semblables :

$$\frac{R_T}{R_O} = \frac{L}{L - D_{TL}} \quad \text{et, } R_o = \frac{R_T(L - D_{TL})}{L} = \mathbf{4\,607}\ km$$

L'ÉCLIPSE DE LUNE

- La géométrie
  - La largeur du cône d'ombre de la Terre au niveau de la Lune

Où, $L = 1\,384\,550$ km
$D_{TL} = 384\,403$ km
$R_T = 6\,378$ km

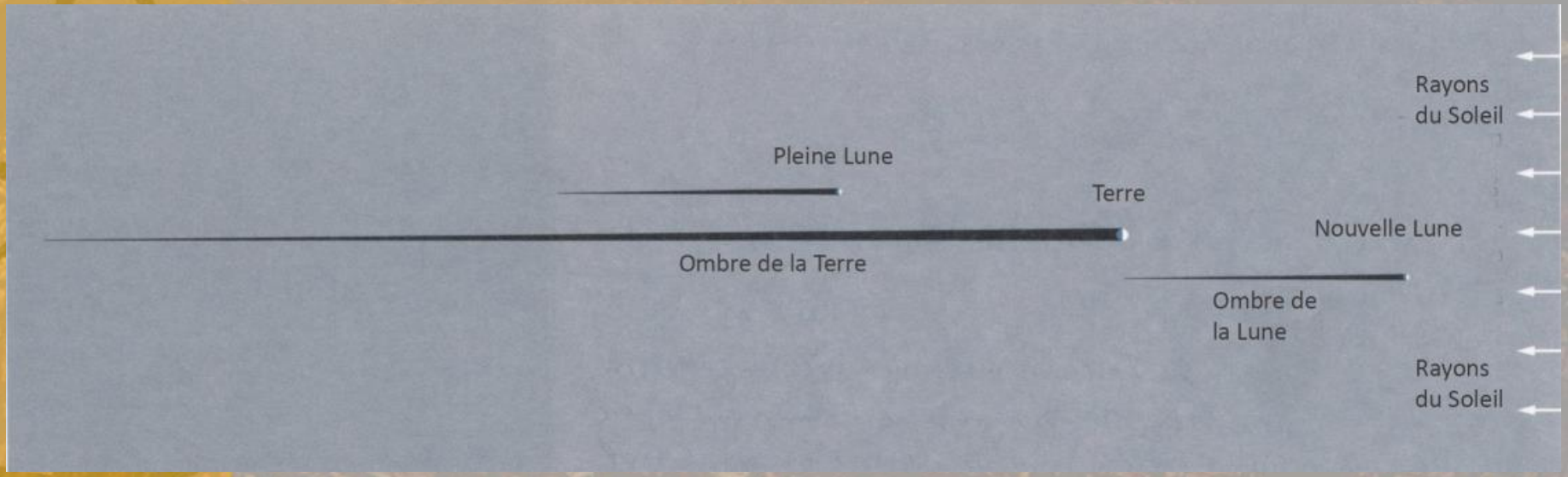


On a $R_O = 4\,607$ km et le $R_L = 1\,737$ km

  - Donc, l'ombre de la Terre peut contenir $R_O \div R_L$, soit 2,65 fois la Lune.

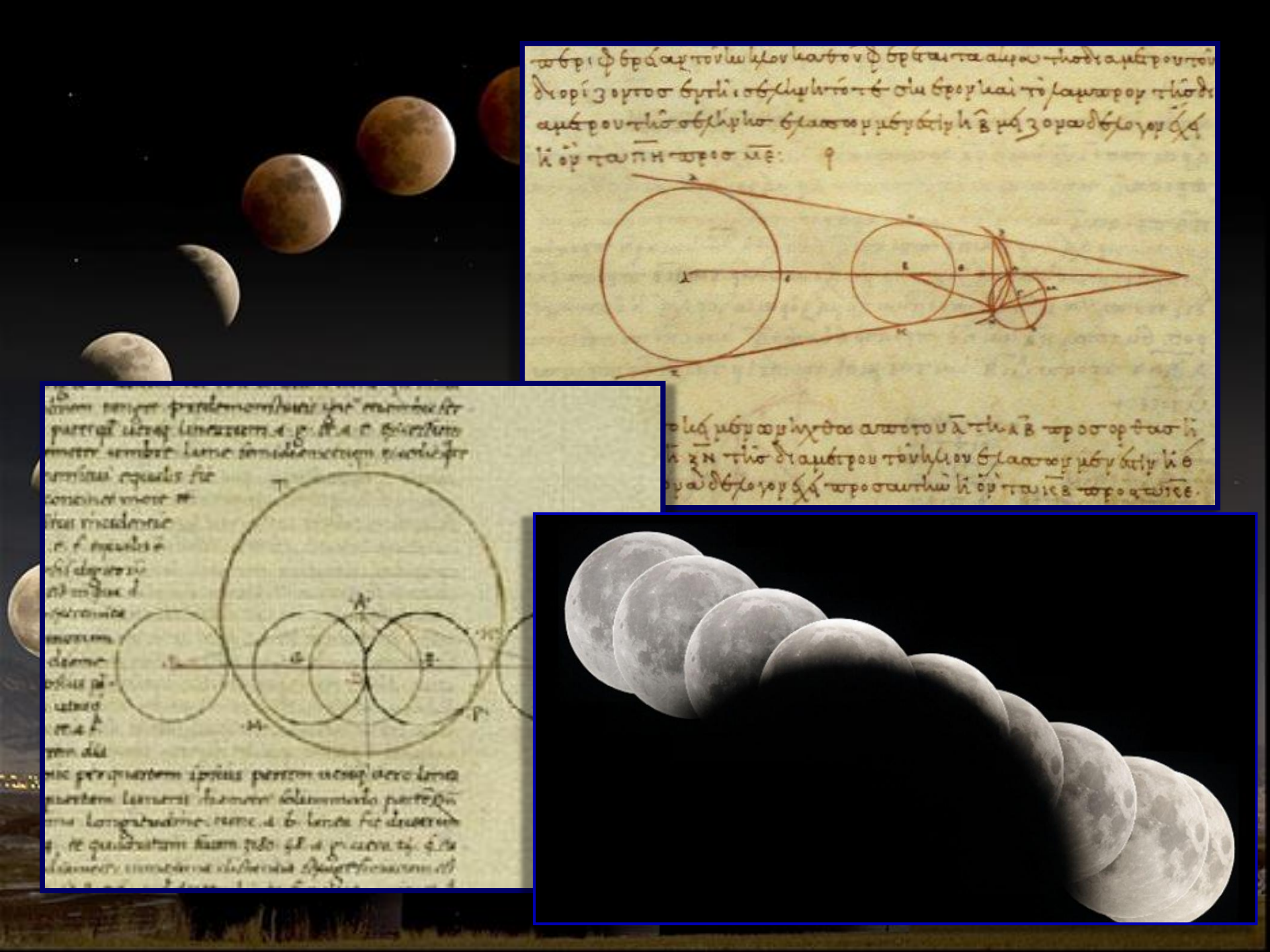
L'ÉCLIPSE DE SOLEIL

- Souvenons-nous des véritables proportions…



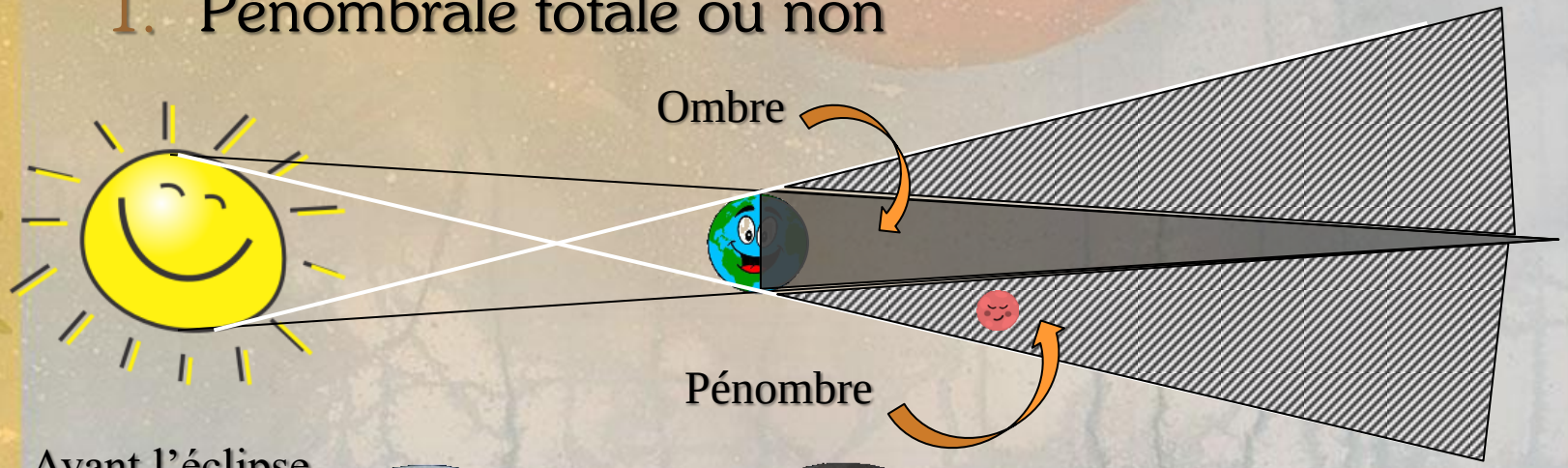
L'ÉCLIPSE DE LUNE

- La géométrie
  - La largeur du cône d'ombre de la Terre au niveau de la Lune :
    - Mesurée par **Aristarque** de Samos au IIIe siècle AEC



L'ÉCLIPSE DE LUNE

- Les types d'éclipses lunaires
  1. Pénombrale totale ou non

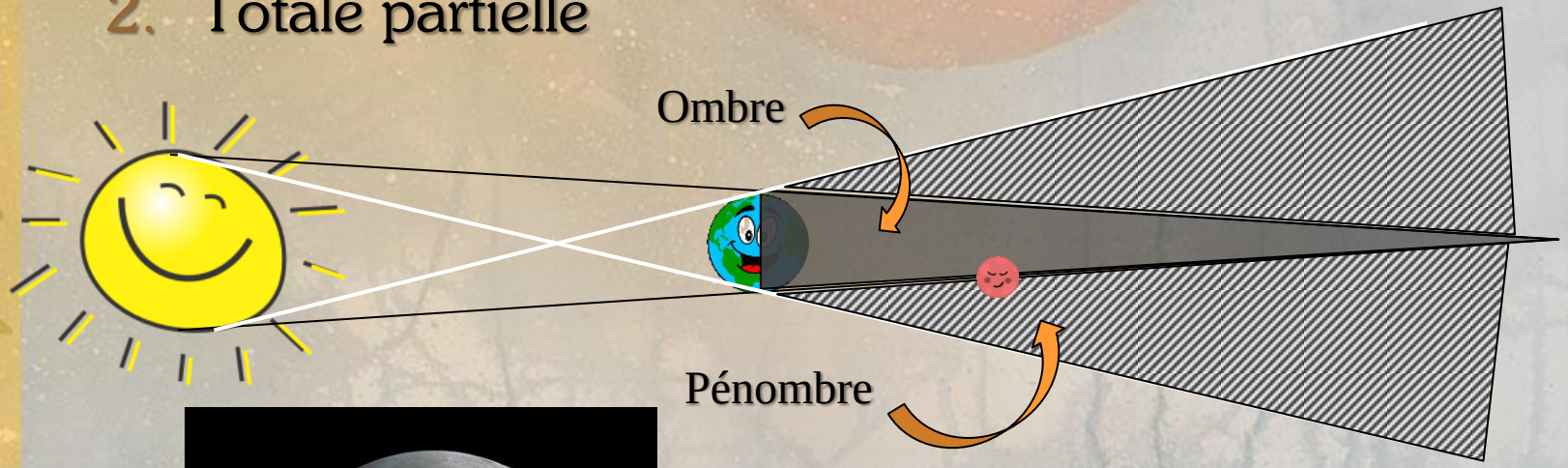


Avant l'éclipse

Pendant l'éclipse

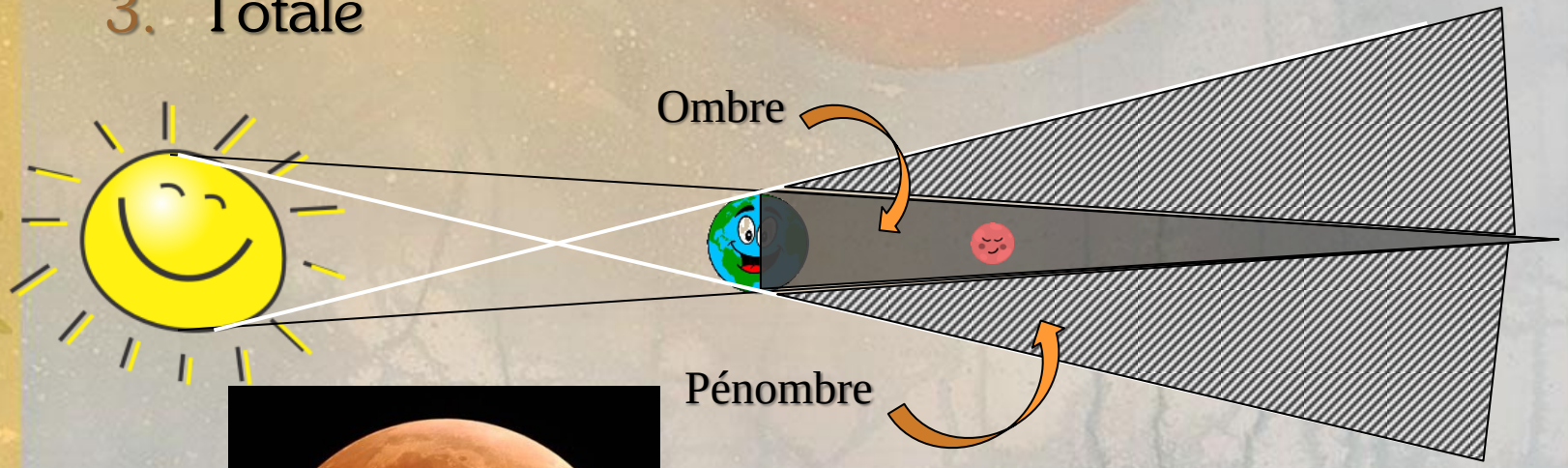
L'ÉCLIPSE DE LUNE

- Les types d'éclipses lunaires
  2. Totale partielle



L'ÉCLIPSE DE LUNE

- Les types d'éclipses lunaires
  3. Totale



L'ÉCLIPSE DE LUNE

- Éclipse totale de Lune
  - La Lune reste **bien visible** au cours de la période de totalité de l'éclipse.
  - Elle prend alors une teinte cuivrée ou rougeâtre.

On parle de ***Lune de sang***

L'ÉCLIPSE DE LUNE

- Éclipse totale de Lune
  - Le Soleil se changera en ténèbres,
  - Et la Lune en sang,
  - Avant l'arrivée du jour de l'Éternel,
  - De ce jour grand et terrible.

    Livre de Joël 2,31

On parle de ***Lune de sang***

L'ÉCLIPSE DE LUNE

- Éclipse totale de Lune

WHEN THE SAINTS GO MARCHING IN

When the Moon turns red with blood
Oh Lord I want to be in that number
When the Saints go marching in.

On parle de ***Lune de sang***

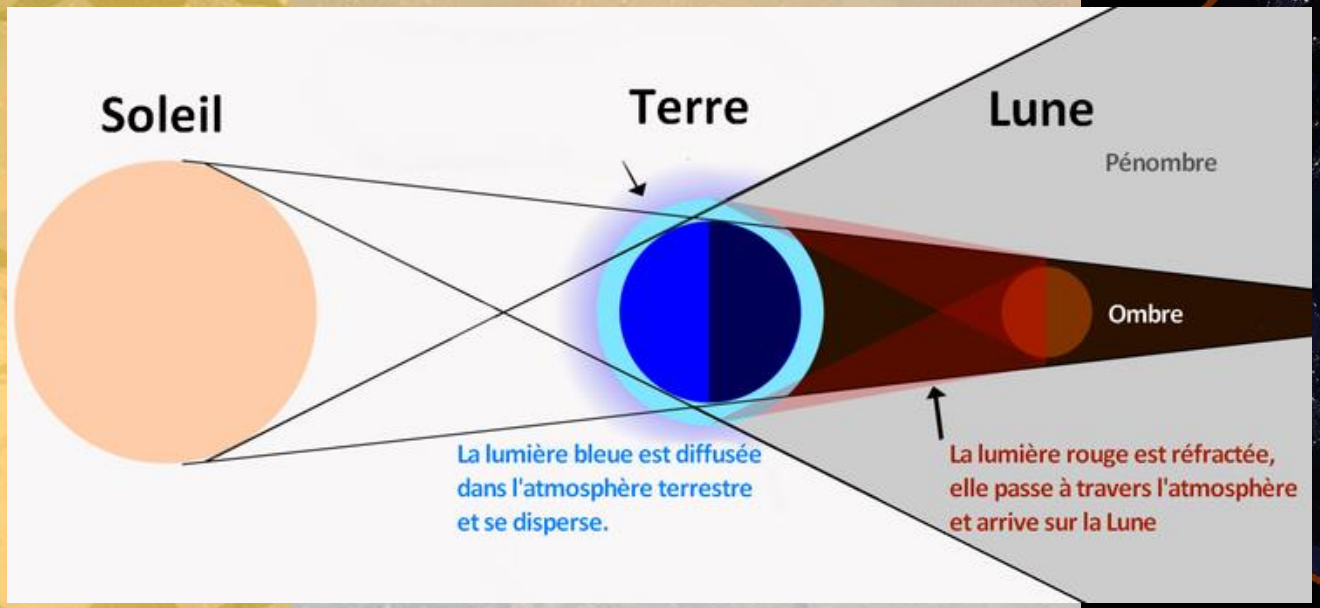
L'ÉCLIPSE DE LUNE

- Éclipse totale de Lune
  - Diffusion et réfraction par l'atmosphère terrestre de la lumière du Soleil.
  - Et la Lune se colore de tous les couchers de Soleil du monde.

On parle de ***Lune de sang***

L'ÉCLIPSE DE LUNE

- Éclipse totale de Lune



On parle de ***Lune de sang***

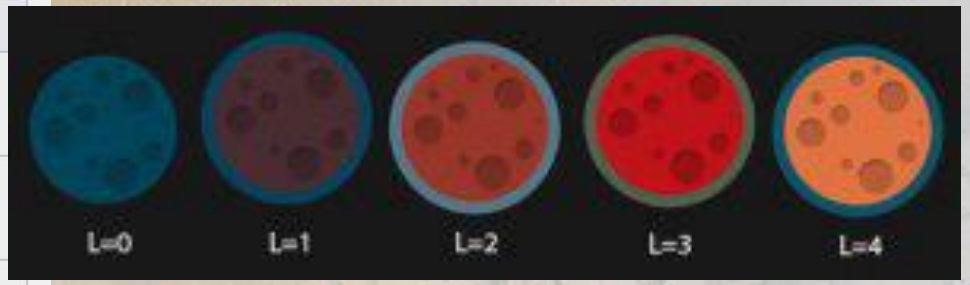
L'ÉCLIPSE DE LUNE

- Éclipse totale de Lune
  - La teinte varie selon la composition de l'atmosphère.
    - Nuages
    - Poussières

L'ÉCLIPSE DE LUNE

- Éclipse totale de Lune
  - Échelle de Danjon

L	Description
0	Éclipse très sombre. Lune presque invisible, particulièrement au milieu de la totalité.
1	Éclipse sombre, et de couleur grise ou brunâtre. Les détails sont difficilement distinguables.
2	Éclipse rouge sombre ou de couleur rouille. Ombre centrale très foncée, tandis que la zone extérieure de l'ombre est plus claire.
3	Éclipse rouge brique. L'ombre est souvent bordée d'une zone jaune ou grise.
4	Éclipse de couleur cuivre ou orange très brillant. La zone extérieure est bleuâtre et très brillante.



L'ÉCLIPSE DE LUNE

- Qu'elle est la durée maximale de la totalité d'une éclipse de Lune ?

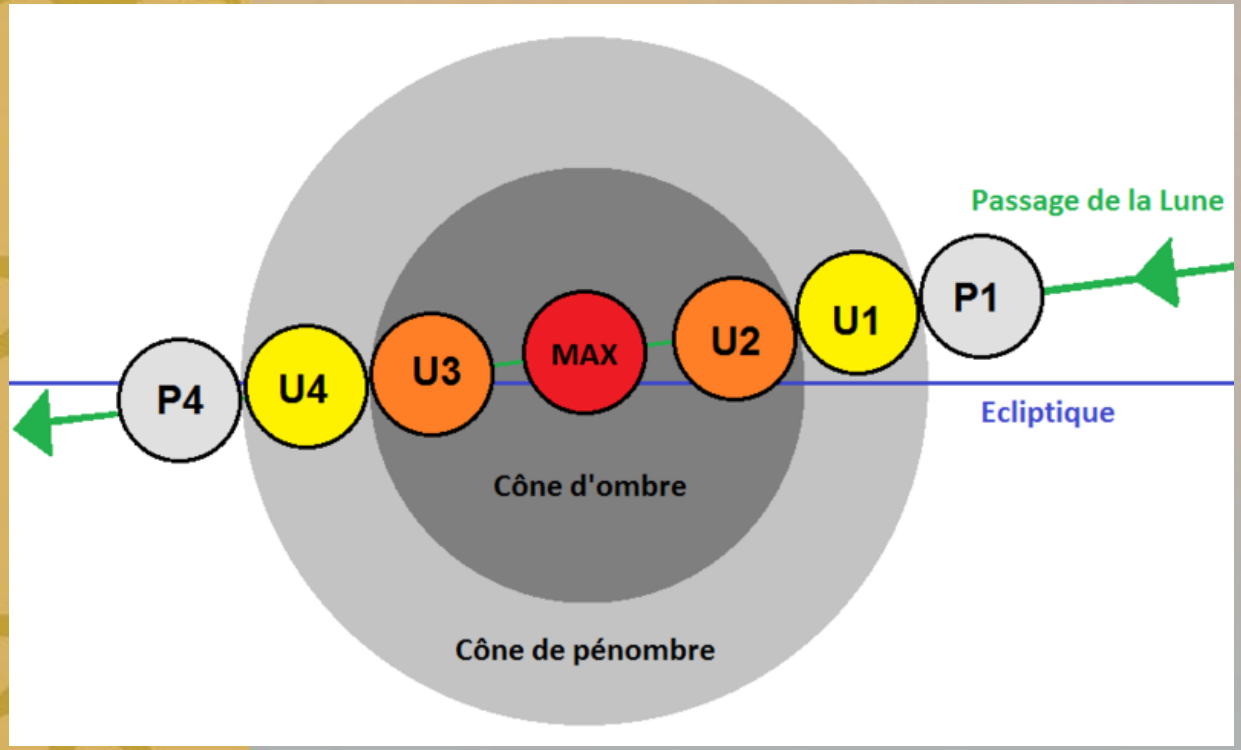
$$T_{éclipse\ totale} = \frac{D_O - D_L\ km}{v_L\ {}^{km}/_{s}}$$

Où, D_O = 9214 km
D_L = 3 474 km
R_T = 6 378 km
v_L = 1,023 km/s

- La durée de la totalité d'une éclipse centrale est de 93 minutes ou 1 heure 33 minutes.
  - 1 heure 40 minutes à l'apogée

L'ÉCLIPSE DE LUNE

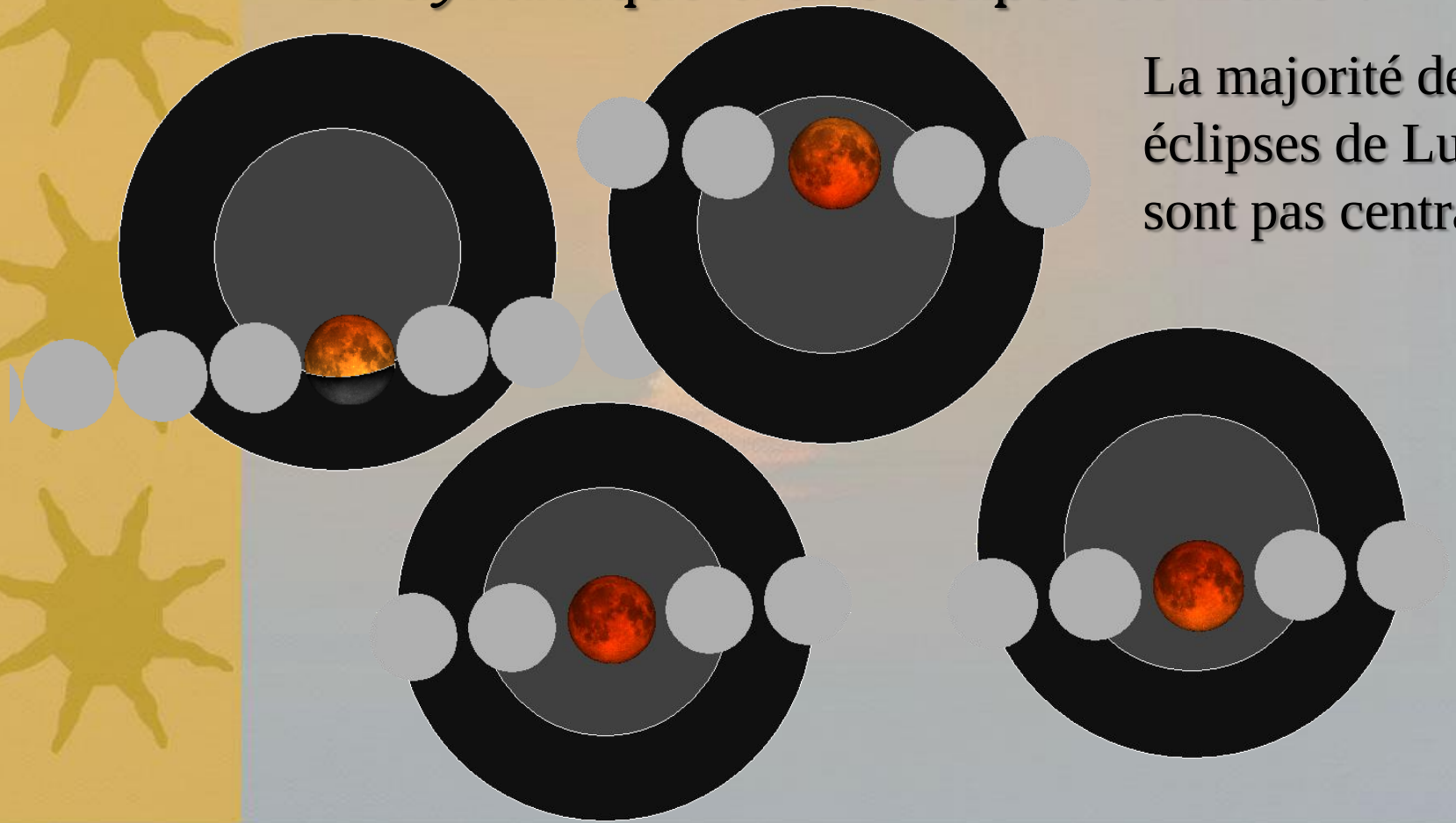
- La dynamique d'une éclipse de Lune ?



La majorité des éclipses de Lune ne sont pas centrales.

L'ÉCLIPSE DE LUNE

- La dynamique d'une éclipse de Lune ?



La majorité des éclipses de Lune ne sont pas centrales.

L'ÉCLIPSE DE LUNE

- La dynamique d'une éclipse de Lune ?

L'ÉCLIPSE DE LUNE

- La visibilité de l'éclipse de Lune ?
  - L'éclipse est visible pour tous les habitants situés sur la face nocturne de la Terre.

  - Donne l'impression que les éclipses de Lune sont plus fréquentes que les éclipses de Soleil.
    - Ce n'est pas le cas.

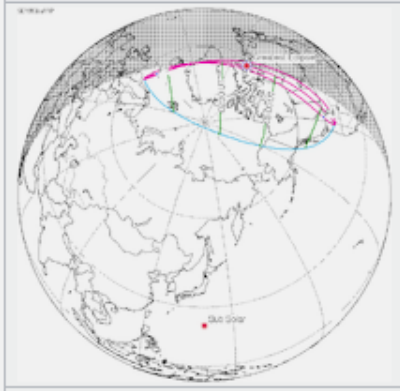
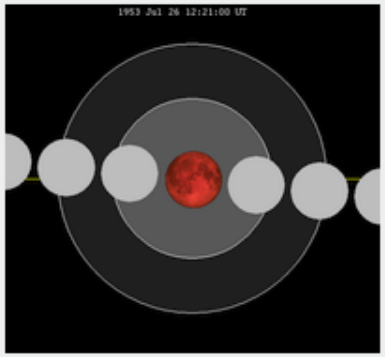
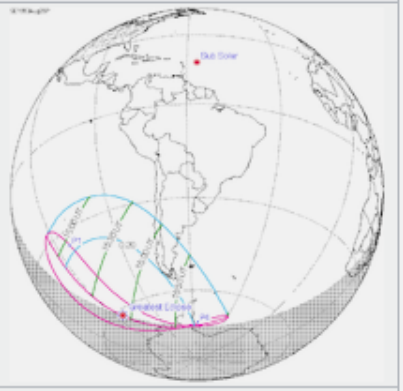
L'ÉCLIPSE DE LUNE

- La chronologie des éclipses de Lune ?
  - Suit le cycle du Saros.
  - Les éclipses de Lune se produisent au cours de la saison des éclipses (pendant ± 35 jours aux ~ 173 jours – soit ½ année draconitique).
    - Il se produit au moins 1 à 2 éclipses lunaires par année.
    - Possibilité de 5 éclipses de Lune au cours d'une seule année.

L'ÉCLIPSE DE LUNE

- La chronologie des éclipses de Lune ?
  - Au cours d'une saison d'éclipses (± 35 jours), les éclipses surviennent souvent en salves de 3.
    - Une éclipse de Lune encadrée de 2 éclipses de Soleil.

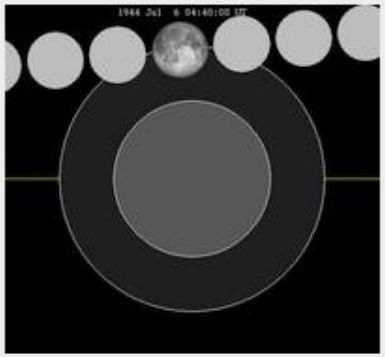
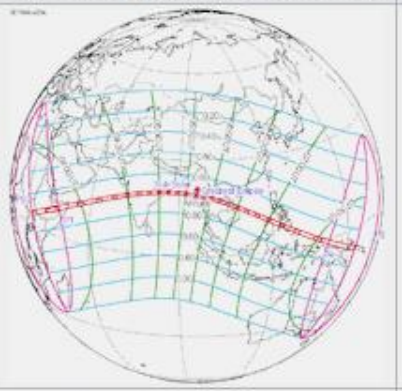
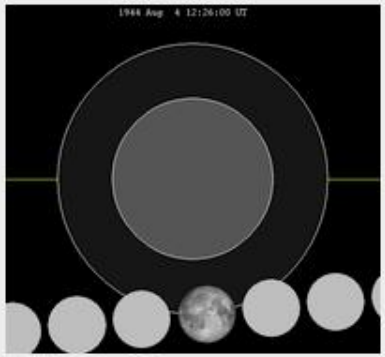
Eclipse season of July/August 1953

July 11th Descending Node (New Moon)	July 26th Ascending Node (Full Moon)	August 9th Descending Node (New Moon)
		
Partial solar eclipse Solar saros 116	Total lunar eclipse Lunar saros 128	Partial solar eclipse Solar saros 154

L'ÉCLIPSE DE LUNE

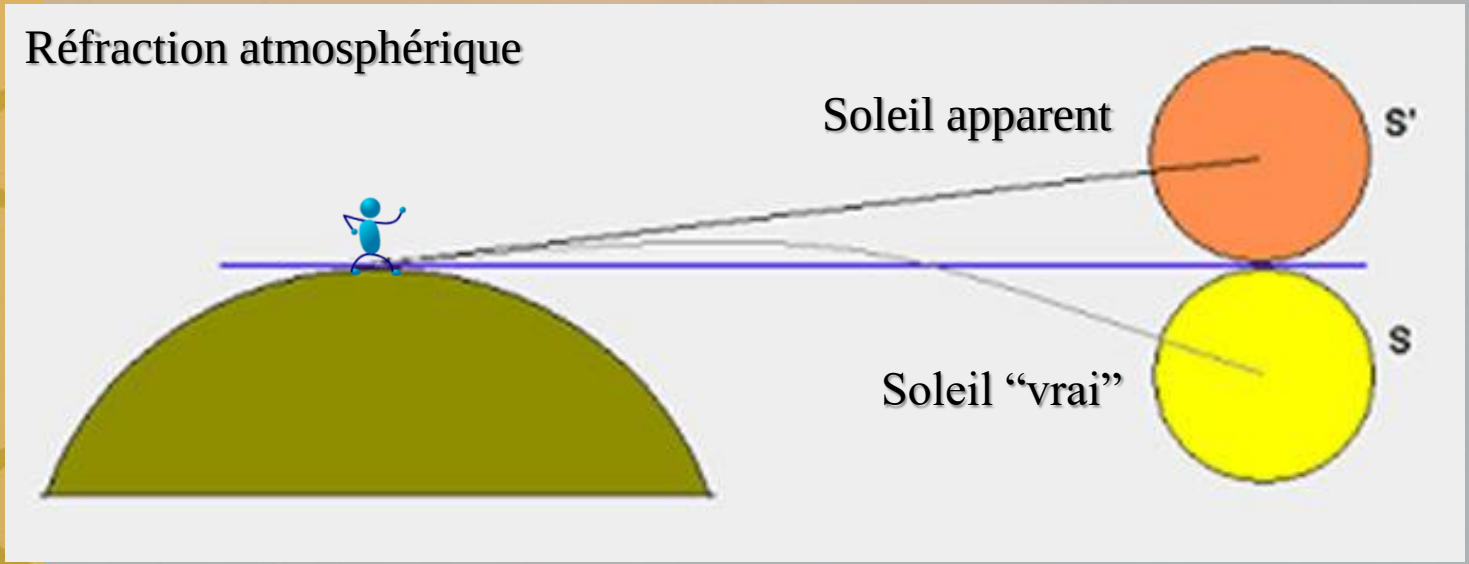
- La chronologie des éclipses de Lune ?
  - Au cours d'une saison d'éclipses (± 35 jours), les éclipses surviennent souvent en salves de 3.
    - Une éclipse de Soleil encadrée de 2 éclipses de Lune.

Eclipse season of July/August 1944

July 6th Descending Node (Full Moon)	July 20th Ascending Node (New Moon)	August 4th Descending Node (Full Moon)
		
Penumbral lunar eclipse Lunar saros 109	Annular solar eclipse Solar saros 135	Penumbral lunar eclipse Lunar saros 147

L'ÉCLIPSE DE LUNE

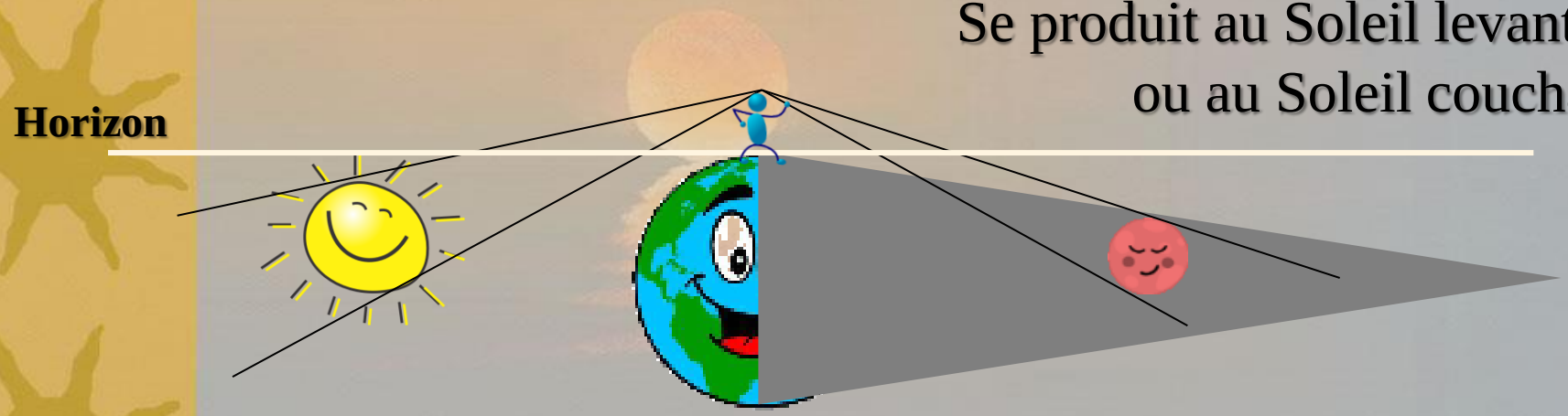
- Sélénélion
  - Quand le Soleil rencontre une Lune éclipsée



L'ÉCLIPSE DE LUNE

- Sélénélion
  - Quand le Soleil rencontre une Lune éclipsée

Se produit au Soleil levant
ou au Soleil couchant



L'ÉCLIPSE DE LUNE

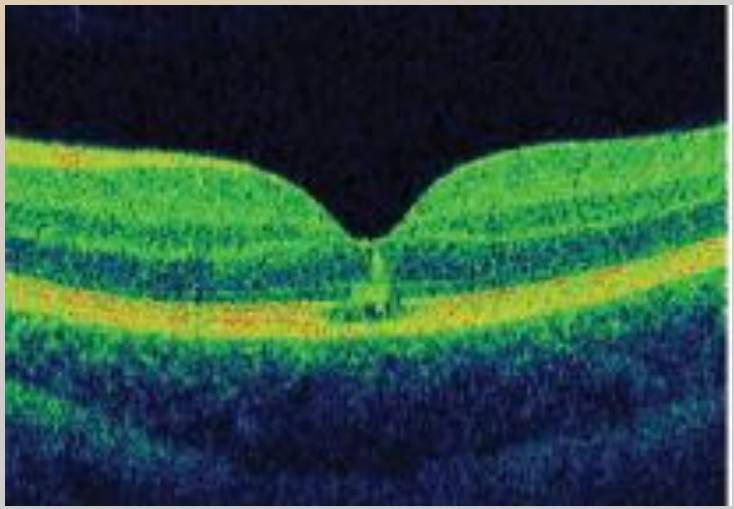
- Sélénélion
  - Quand le Soleil rencontre une Lune éclipsée

L'OBSERVATION DES ÉCLIPSES

- L'observation directe ou aux instruments des éclipses de ***Lune*** ne représente aucun danger pour la santé humaine.
- Il en va tout autrement pour l'observation des éclipses de ***Soleil***.
  - L'observation du Soleil, **même fugace**, peut entraîner des brûlures irréversibles à la rétine avec cécité secondaire permanente.
  - Cette destruction rétinienne est souvent indolore. On ne se rend compte du dommage rétinien que lorsqu'il est **trop tard**.

L'OBSERVATION DES ÉCLIPSES

- En théorie, l'observation d'une éclipse de Soleil serait sécuritaire au cours de la période de totalité, mais ce n'**est pas recommandé**.
  - Le Soleil peut revenir soudainement au moment où la pupille est toujours dilatée par l'obscurité.



L'OBSERVATION DES ÉCLIPSES

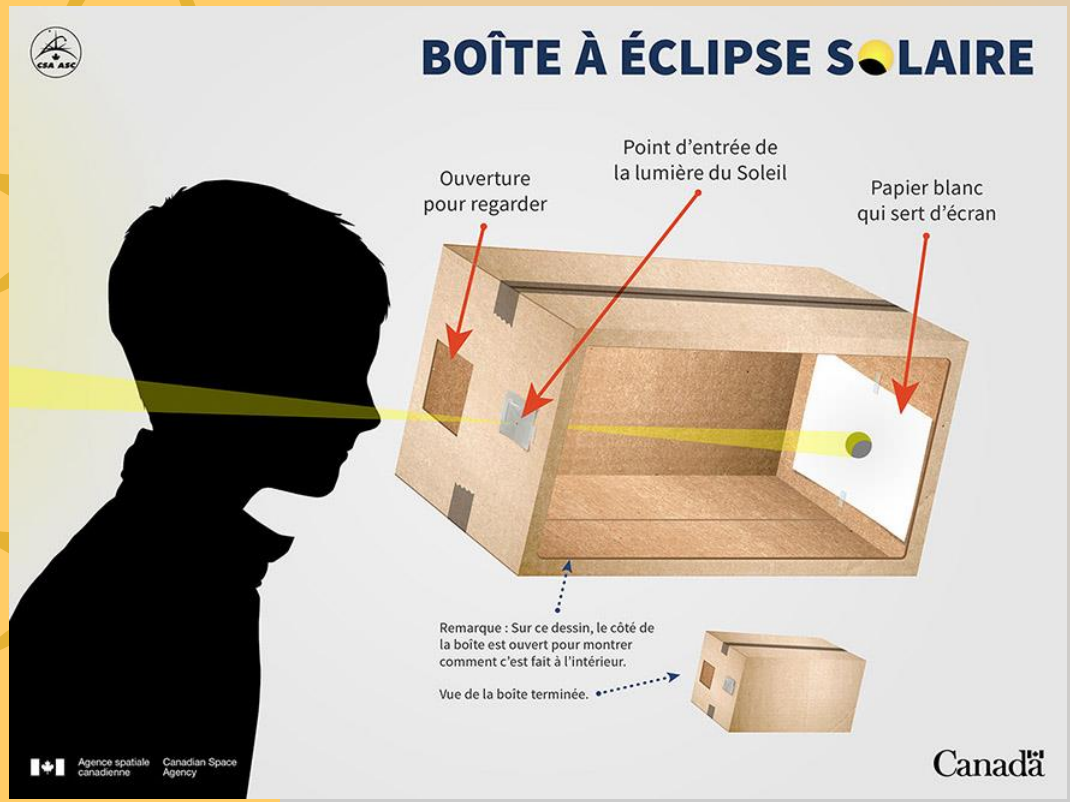
- Filtres pour l'observation solaire :
  - N'utilisez que des filtres spécifiquement conçus à cette fin.

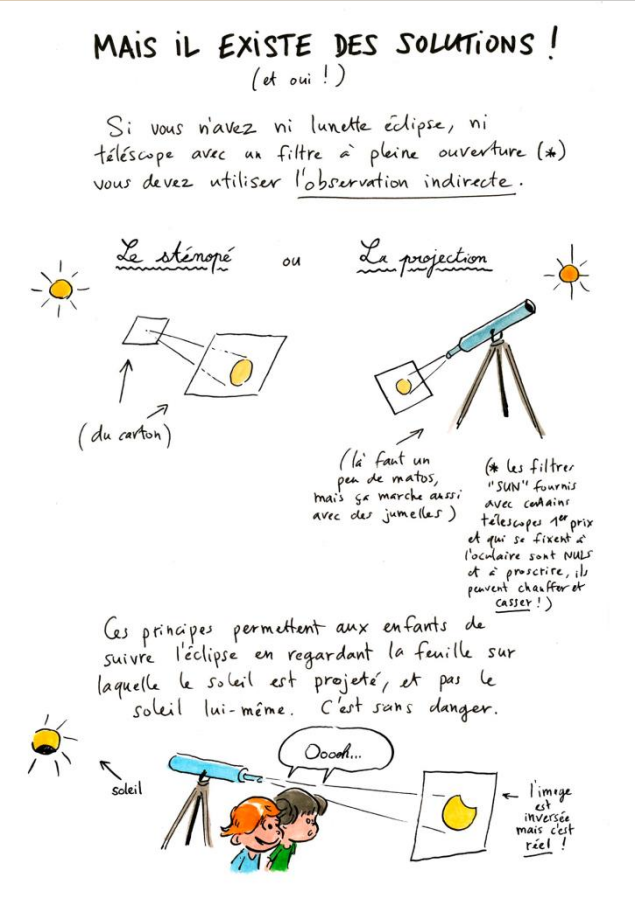
L'OBSERVATION DES ÉCLIPSES

- Filtres pour l'observation solaire :
  - N'utilisez que des filtres spécifiquement conçus à cette fin.

L'OBSERVATION DES ÉCLIPSES

- Filtres pour l'observation solaire :
  - Méthodes indirectes





L'OBSERVATION DES ÉCLIPSES

- Filtres pour l'observation solaire :
  - Sur un instrument d'optique ➡ filtres à l'**objectif**

L'OBSERVATION DES ÉCLIPSES

- Filtres pour l'observation solaire :
  - Sur un instrument d'optique ➡ filtres à l'**objectif**

L'OBSERVATION DES ÉCLIPSES

- Filtres pour l'observation solaire :
  - **Jamais** à l'**oculaire**

  - Autres "**patentes**" à proscrire

L'OBSERVATION DES ÉCLIPSES

- Filtres pour l'observation solaire :
  - **Jamais** à l'**oculaire**

  - Autres "**patentes**" à proscrire

MESSAGES CLÉS

- Les éclipses résultent d'un alignement parfait ou quasi parfait d'un système à trois corps dont l'un d'entre eux est une source lumineuse.
- Dans le système Soleil-Terre-Lune, l'éclipse porte le nom du corps éclipsé de la perspective terrestre.
- L'orbite lunaire est complexe et elle est le métronome de la survenue des éclipses. Les éclipses reviennent selon un cycle nommé Saros. Il représente 6 585,32 jours ou 223 mois synodiques.
- On parle de « saison des éclipses » pour décrire une période de ± 35 jours qui revient aux 173,3 jours et durant laquelle les éclipses se produisent.

MESSAGES CLÉS

- Comme ce cycle des « saisons des éclipses » n'est pas un multiple de l'année tropique, les éclipses surviennent finalement à tout moment du calendrier.
- En raison de la longueur des cônes d'ombre de la Lune et de la Terre, les éclipses totales de Soleil ne couvrent qu'une étroite bande sur la Terre, alors que les éclipses de Lune peuvent être vues de tous les habitants de la Terre situés sur sa face nocturne.
- L'observation à l'œil nu (sans protection) des éclipses de Lune est sans danger. Par contre, l'observation d'une éclipse de Soleil exige impérativement l'utilisation d'une protection appropriée.

RÉFÉRENCES

- Astronomie et Astrophysique, 2e édition
  Séguin M, Villeneuve B
  Éditions du Renouveau Pédagogique Inc., 2002

- Sur les mouvements de la Lune
  - http://www.astrosurf.com/luxorion/sysol-lune2.htm
  - http://www.astrosurf.com/toussaint/dossiers/Lunatique/lunatique07.htm

- Site de la NASA sur les éclipses
  https://eclipse.gsfc.nasa.gov/eclipse.html

RÉFÉRENCES

- Série « Astronomy 3 Motion of the Moon » par Michel van Biezen sur Youtube https://www.youtube.com/playlist?list=PLX2gX-ftPVXU5N7WsuZUSpjjmUCya-Djj

- Site du Gouvernement du Canada sur la sécurité dans l'observation des éclipses http://www.asc-csa.gc.ca/fra/astronomie/eclipses/eclipses-solaires.asp