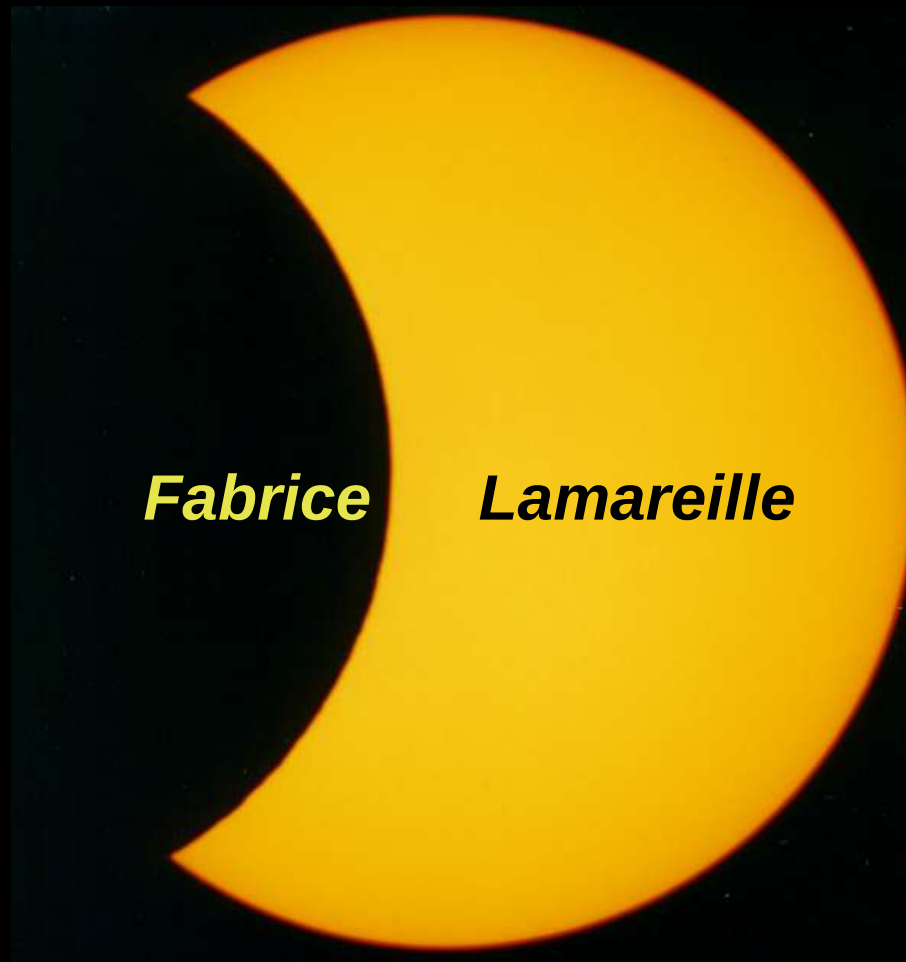


Les éclipses du Soleil et de la Lune



Les éclipses du Soleil et de la Lune

- Le mécanisme des éclipses
- Petit historique
- Images d'éclipses
- Quelques applications
- La prochaine éclipse de Soleil

Le mécanisme des éclipses

Le système Terre-Lune

Le mécanisme des éclipses

Le système Terre-Lune



La Lune:

- Rayon: 0,27 rayons terrestres
- Distance à la Terre: 60 rayons terrestres
- Période de rotation: 27,32 jours
- Période de révolution: 27,32 jours

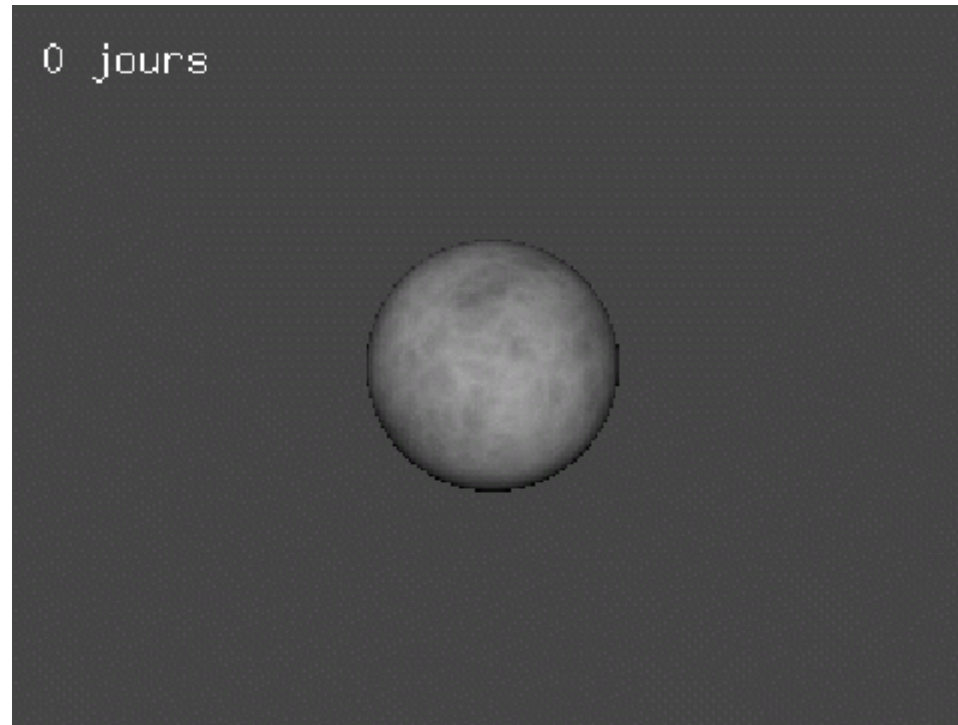
La Terre:

- Rayon: 6380 km
- Distance au Soleil: 149 millions km
- Période de rotation: 1 jour
- Période de révolution: 365,256 jours

Le mécanisme des éclipses

Le système Terre-Lune

Les phases de la Lune:

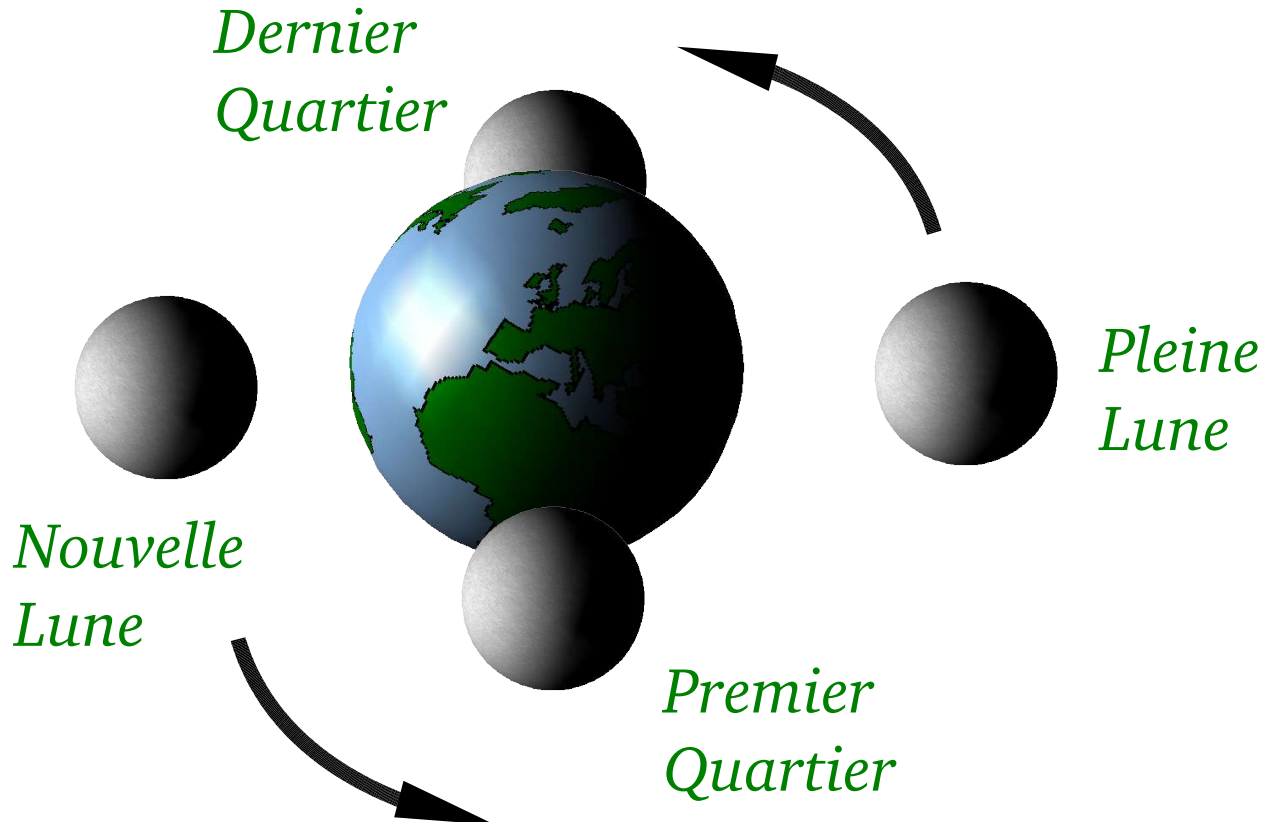
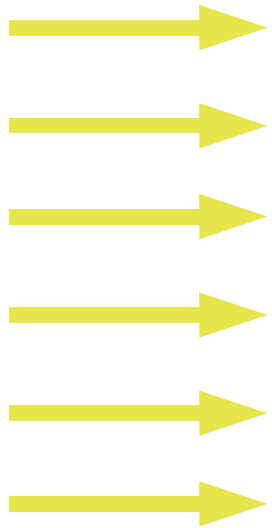


Le mécanisme des éclipses

Le système Terre-Lune

Les phases de la Lune:

lumière
solaire



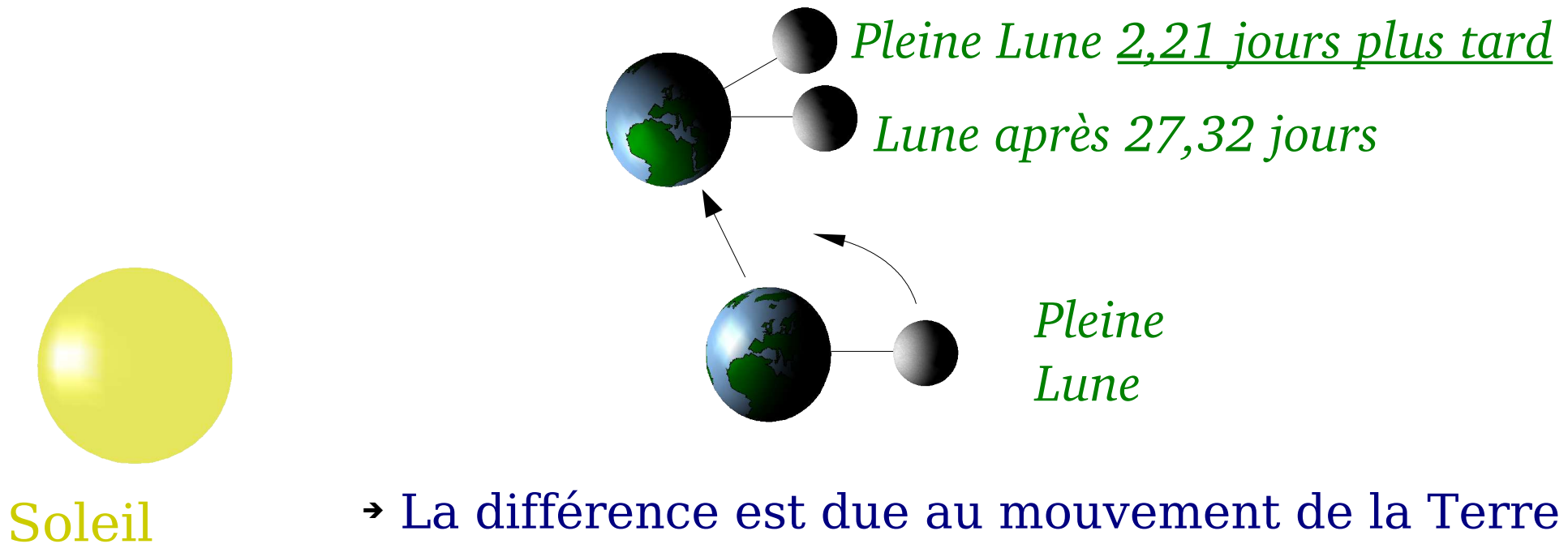
Le mécanisme des éclipses

Le mois synodique

Le mécanisme des éclipses

Le mois synodique

- La Lune accomplit une révolution autour de la Terre en 27,32 jours.
- Pourtant l'intervalle de temps entre deux Pleines Lunes est de 29,53 jours: **le mois synodique**.



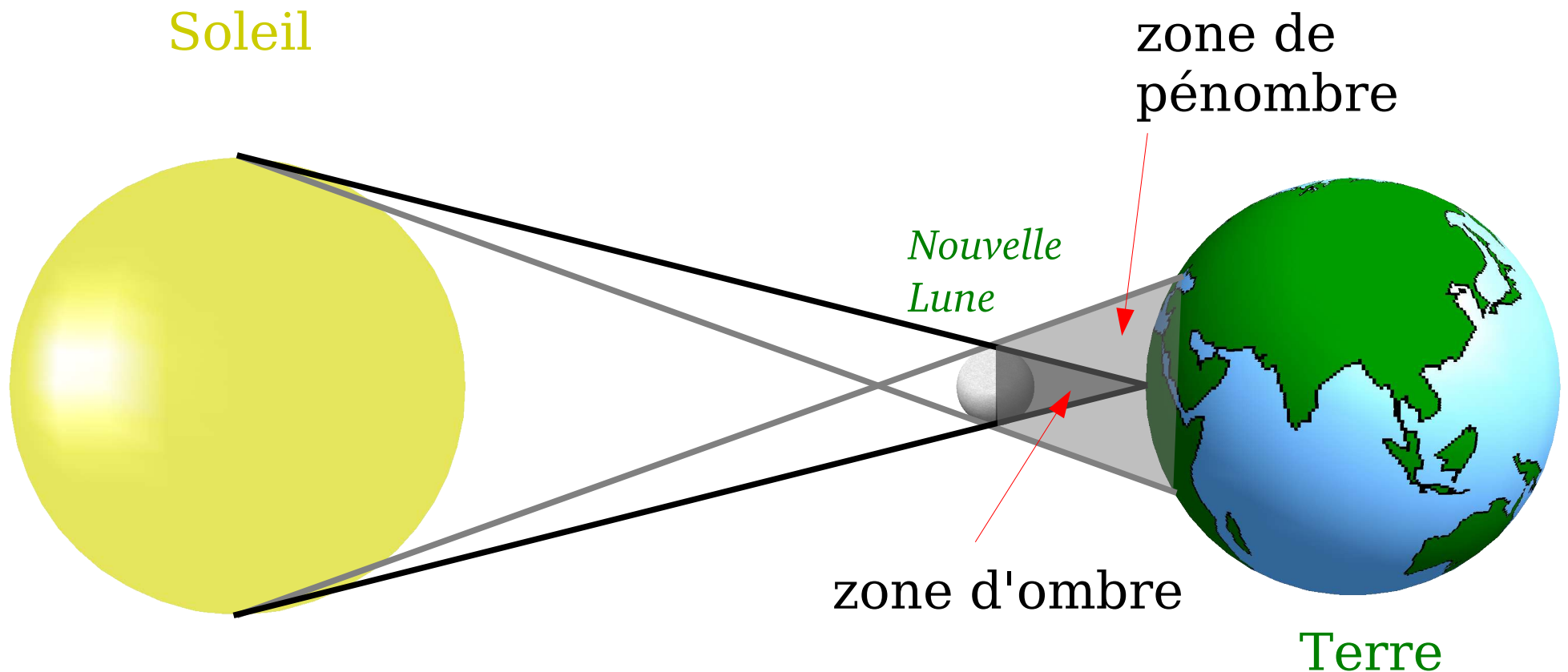
Le mécanisme des éclipses

Ombre et pénombre

Le mécanisme des éclipses

Ombre et Pénombre

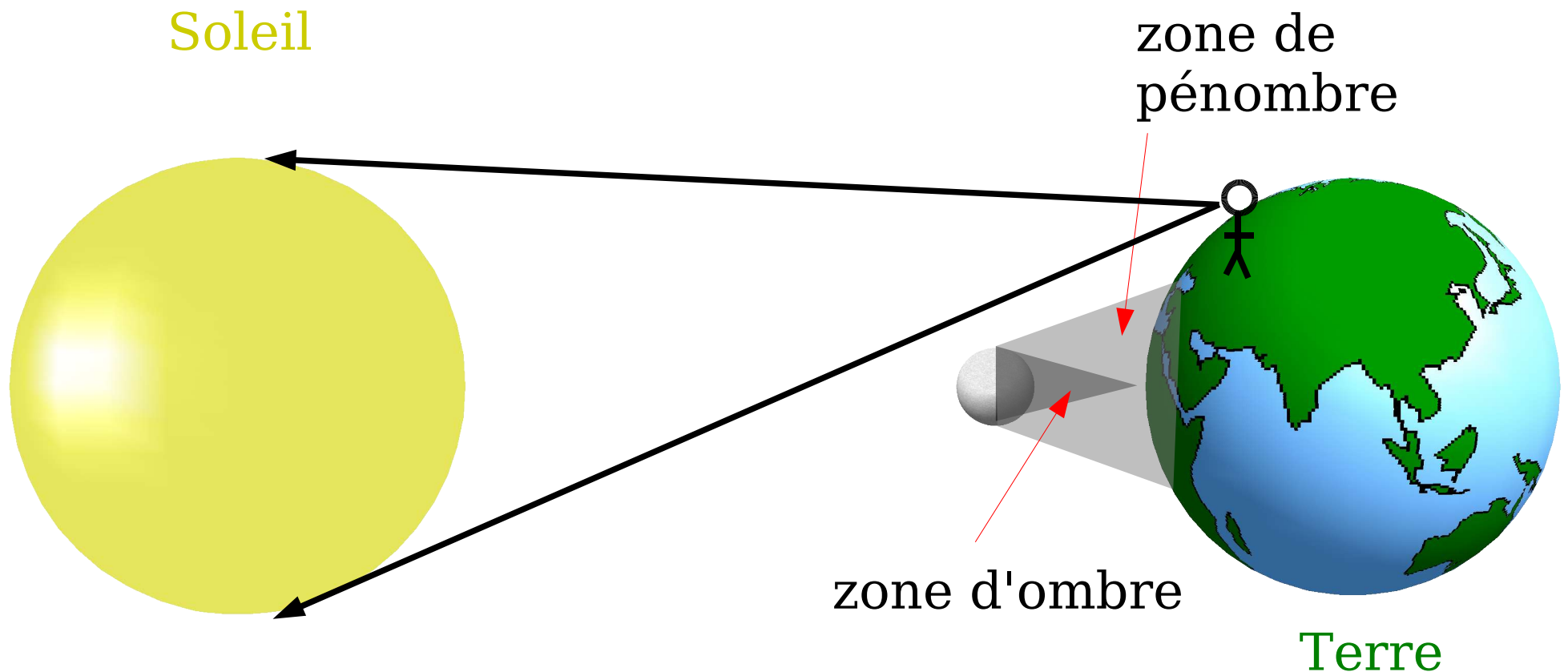
Une éclipse de Soleil se produit lors d'un alignement
Soleil-Lune-Terre : **la Nouvelle Lune**



Le mécanisme des éclipses

Ombre et Pénombre

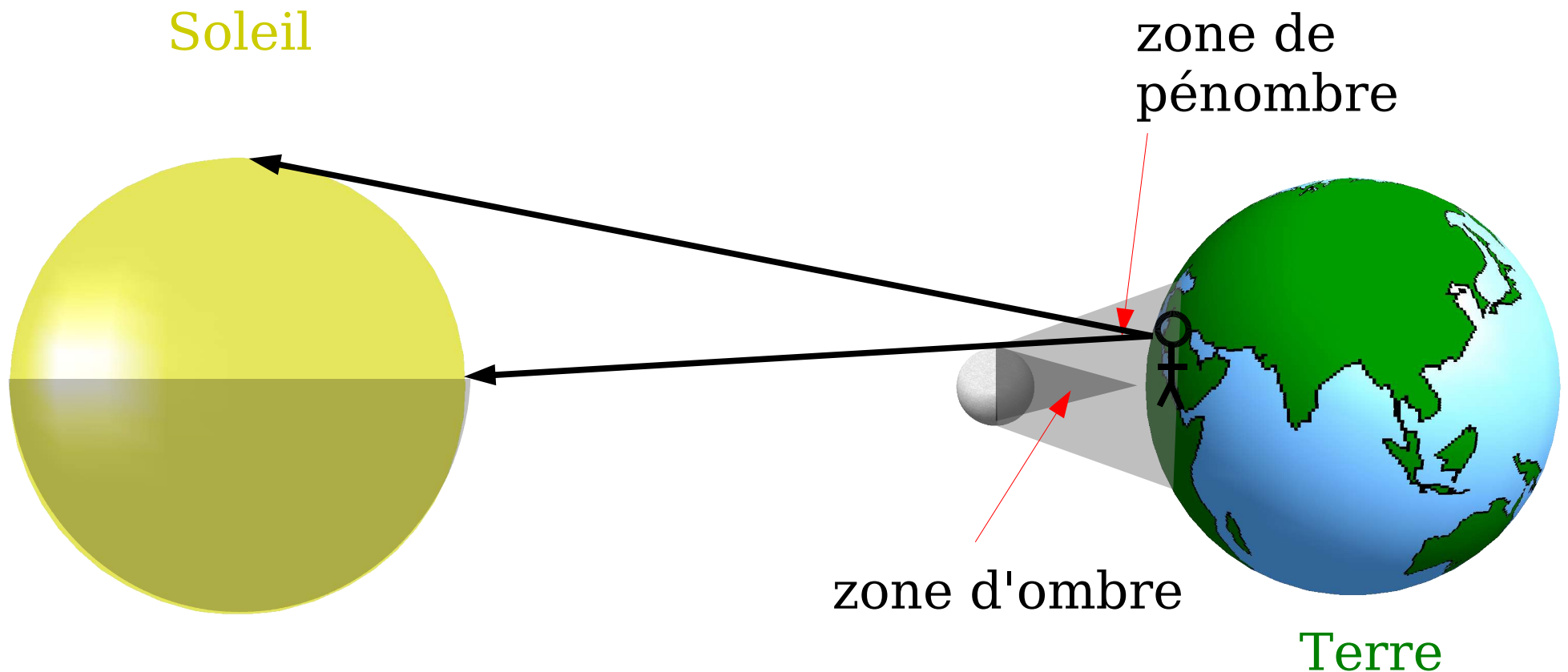
Un observateur situé hors des zones d'ombre et de pénombre voit la *totalité du disque solaire*: **il n'y a pas d'éclipse.**



Le mécanisme des éclipses

Ombre et Pénombre

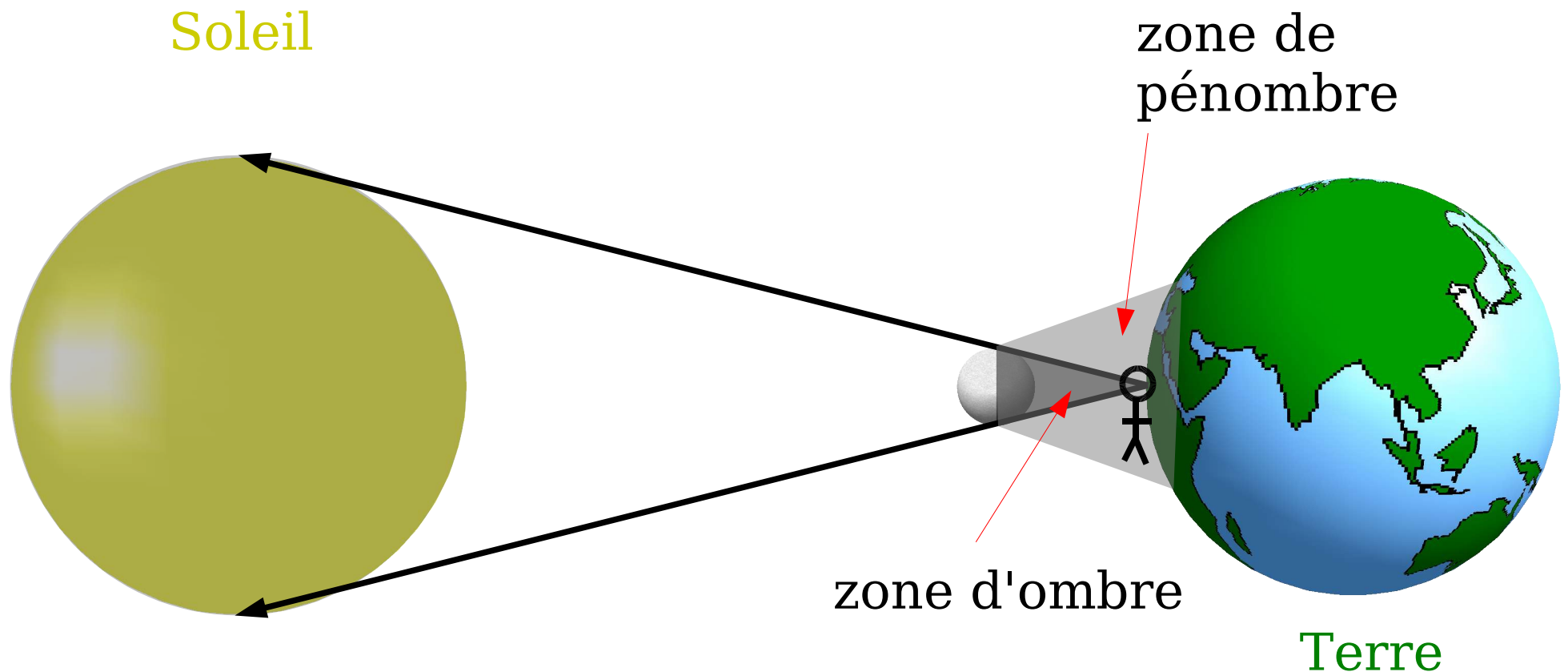
Un observateur situé dans la zone de pénombre
voit *une partie du disque solaire*: **il y a éclipse partielle.**



Le mécanisme des éclipses

Ombre et Pénombre

Un observateur situé dans la zone d'ombre
*ne voit pas le disque solaire: il y a **éclipse totale**.*



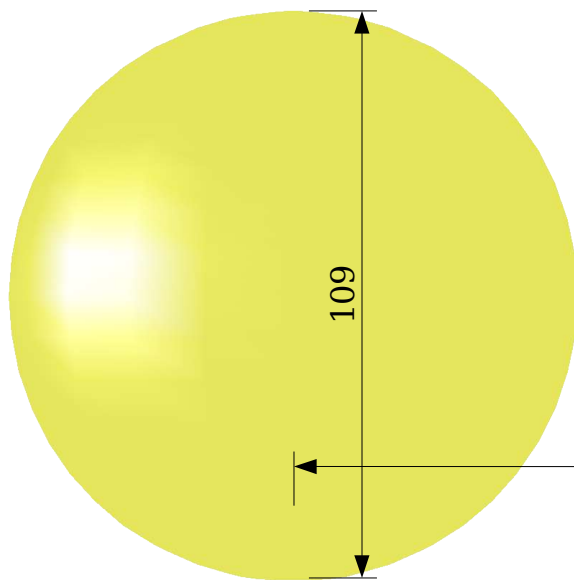
Le mécanisme des éclipses

Ombre et Pénombre

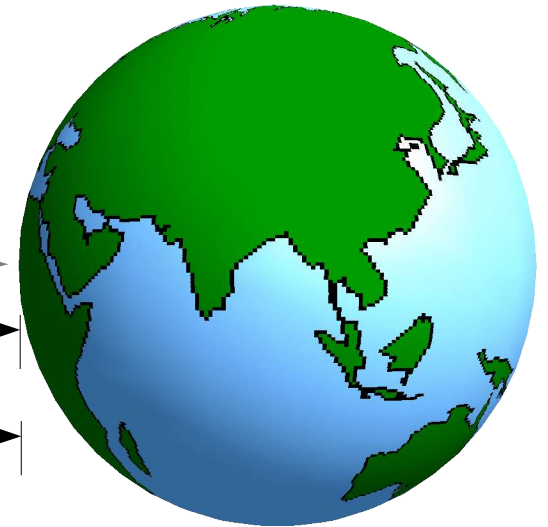
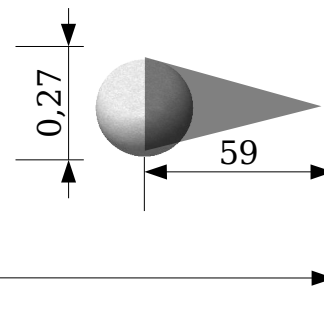
Une propriété intéressante de la Lune et du Soleil:

- la Lune est 400 fois plus près que le Soleil
- mais elle est aussi 400 fois plus petite.
- la Lune et le Soleil ont donc **la même taille apparente**

Soleil



distances en
rayons terrestres:



Terre

$$\begin{aligned} 0,27 \times 400 &= 108 \\ 59 \times 400 &= 23600 \end{aligned}$$

Le mécanisme des éclipses

Ombre et Pénombre

La Lune et le Soleil ont la même taille apparente

→ **la Lune peut éclipser parfaitement le Soleil.**

Soleil



Lune

diamètre apparent:
environ $0,5^\circ$

minimum: $31'28''$
maximum: $32'32''$

diamètre apparent:
environ $0,5^\circ$

minimum: $29'18''$
maximum: $33'30''$

Le mécanisme des éclipses

Ombre et Pénombre

La Lune et le Soleil ont la même taille apparente

→ **la Lune peut éclipser parfaitement le Soleil.**

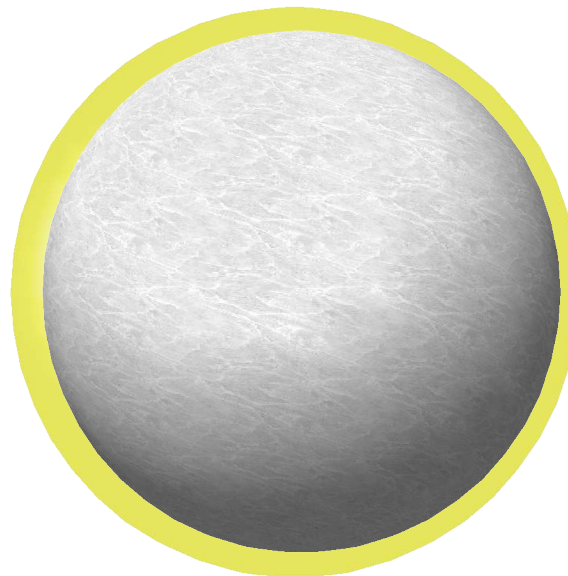
→ *mais il arrive que la Lune paraisse plus petite: c'est une **éclipse annulaire***

Soleil

Lune

diamètre apparent:
environ 0,5°

minimum: 31'28"
maximum: 32'32"



diamètre apparent:
environ 0,5°

minimum: 29'18"
maximum: 33'30"

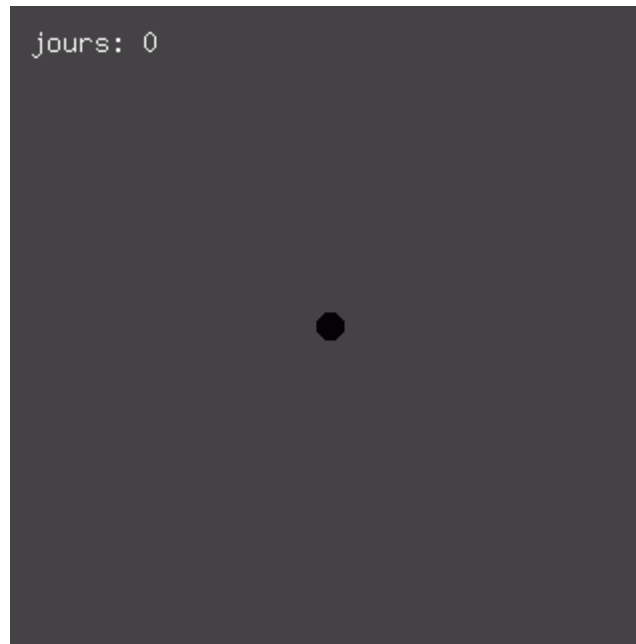
Le mécanisme des éclipses

Pourquoi n'y a-t-il pas d'éclipse à chaque Nouvelle Lune ?

Le mécanisme des éclipses

Pourquoi n'y a-t-il pas d'éclipse à chaque Nouvelle Lune ?

succession des Nouvelles Lunes à partir
d'une éclipse totale:

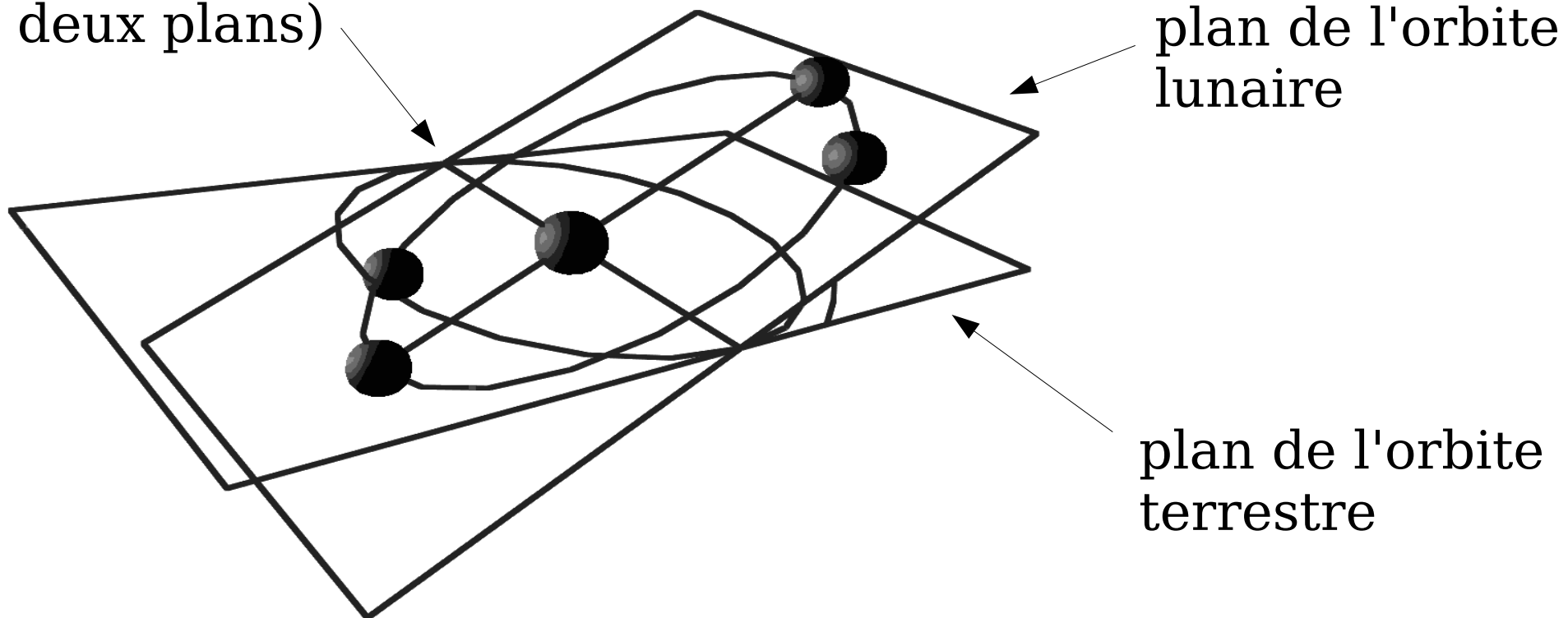


Le mécanisme des éclipses

Pourquoi n'y a-t-il pas d'éclipse à chaque Nouvelle Lune ?

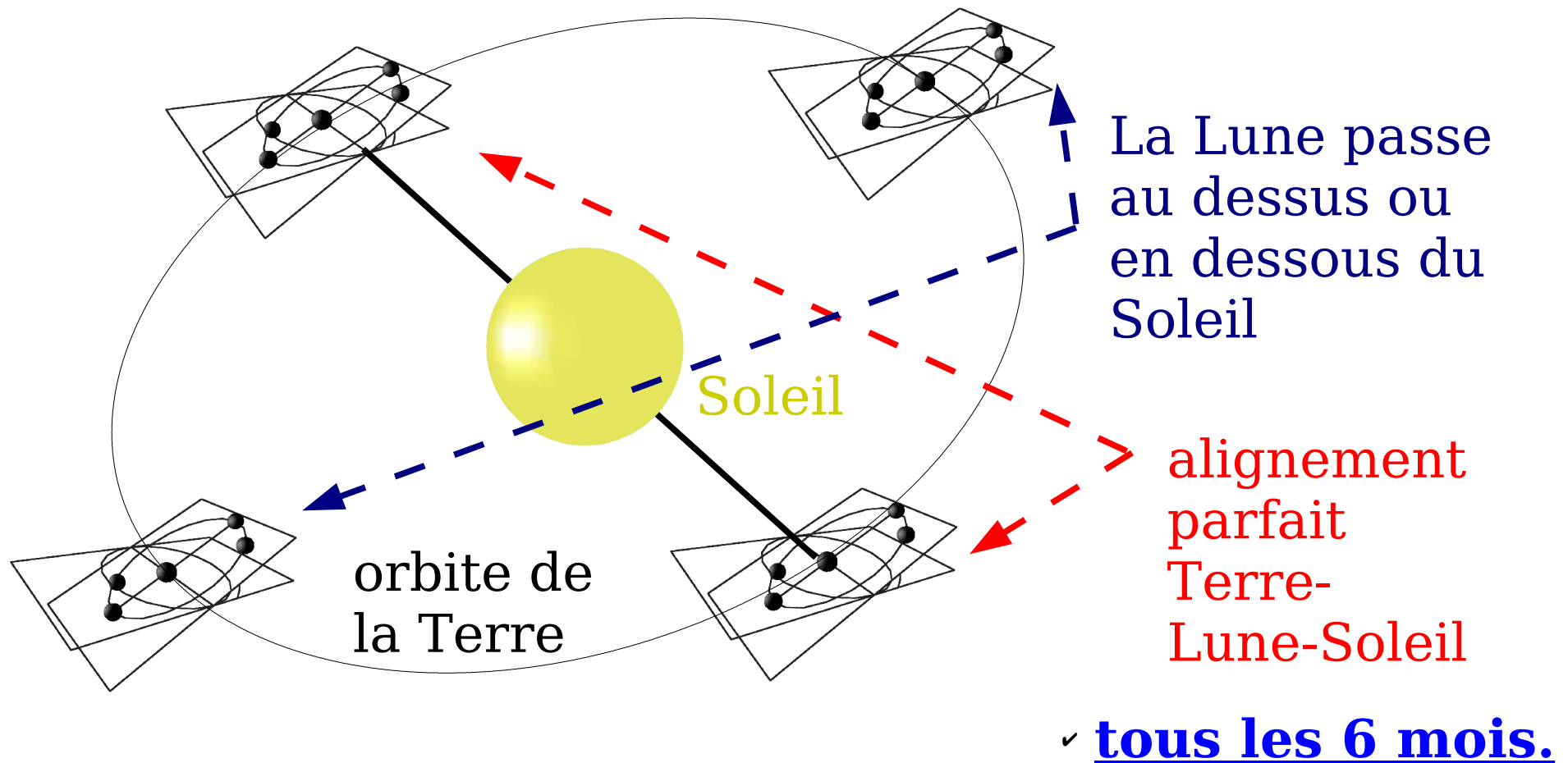
Réponse: l'orbite de la Lune est inclinée de 5°

ligne des noeuds (intersection
des deux plans)



Le mécanisme des éclipses

Pourquoi n'y a-t-il pas d'éclipse à chaque Nouvelle Lune ?



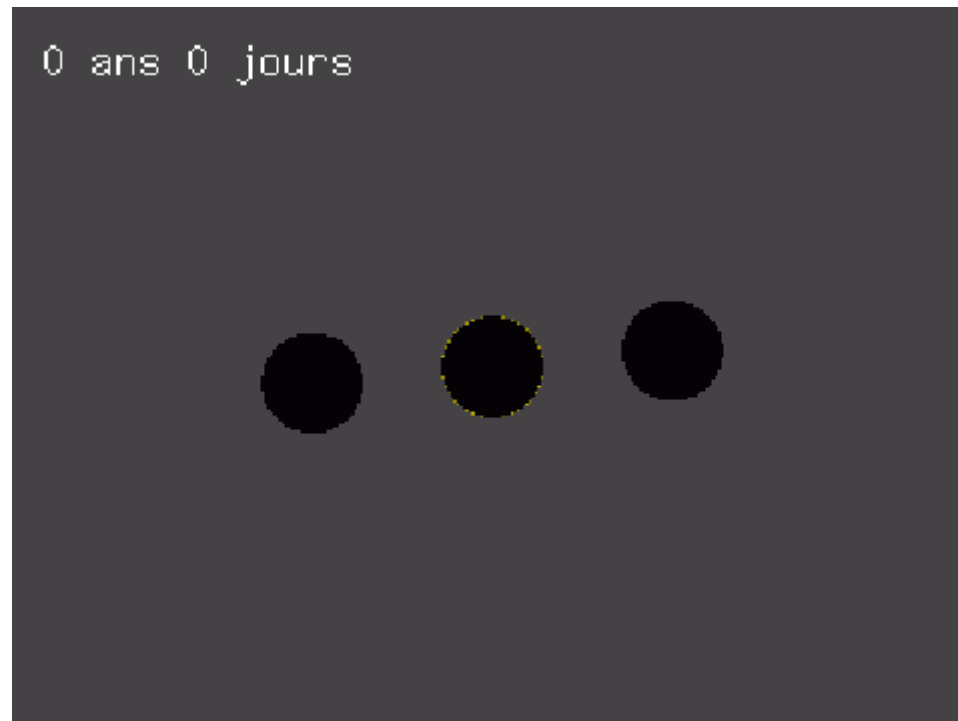
Le mécanisme des éclipses

Pourquoi n'y a-t-il pas d'éclipse totale tous les 6 mois ?

Le mécanisme des éclipses

Pourquoi n'y a-t-il pas d'éclipse totale tous les 6 mois ?

succession des éclipses en un
point donné de la Terre



Le mécanisme des éclipses

Pourquoi n'y a-t-il pas d'éclipse totale tous les 6 mois ?

Les deux conditions pour une éclipse totale sont:

- On est en phase de Nouvelle Lune
→ tous les 29,53 jours (mois synodique)
- La Lune passe par la ligne des noeuds
→ tous les 13,61 jours (demi-mois draconitique)

Le mécanisme des éclipses

Pourquoi n'y a-t-il pas d'éclipse totale tous les 6 mois ?

- ✓ 6 mois synodiques correspondent à 177,18 jours soit 13,02 demi-mois draconitiques
- ✓ Il y a un décalage de 0,63 jours entre la Nouvelle Lune et la passage sur la ligne des noeuds
 - l'alignement Terre-Lune-Soleil est imparfait
 - **l'éclipse suivant une éclipse totale est partielle.**

Le mécanisme des éclipses

Le cycle du Saros

Le mécanisme des éclipses

Le cycle du Saros

- Il existe un cycle de 18 ans 11 jours et 8 heures après lequel les éclipses se reproduisent à l'identique.
- On appelle cette durée le Saros.
- ➔ C'est le plus petit commun multiple des mois synodiques et draconitiques:
 - 1 Saros = 223 mois synodiques = 242 mois draconitiques
 - Il correspond donc à 223 Nouvelles Lunes et 484 passages sur la ligne des noeuds successifs

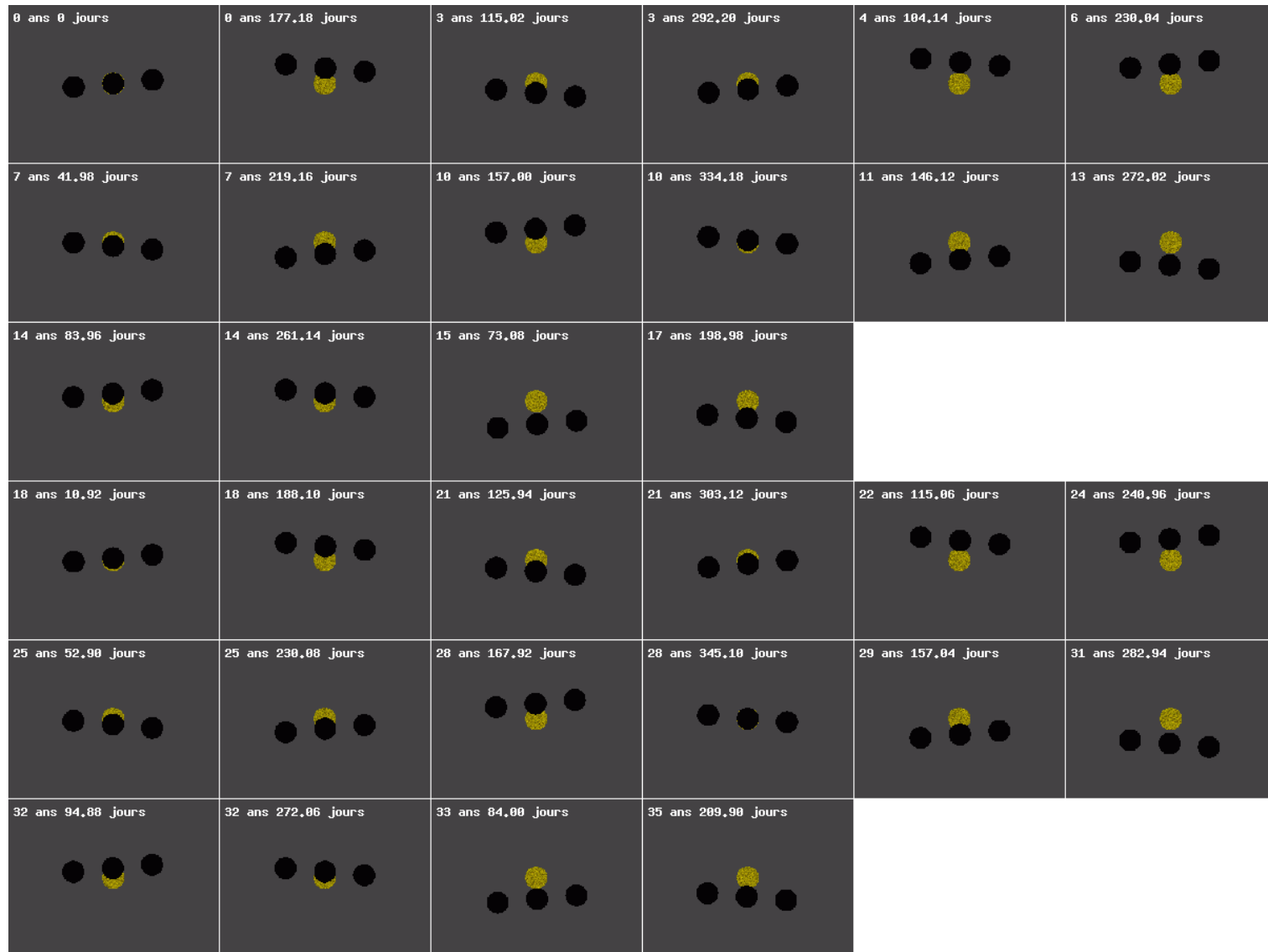
Le mécanisme des éclipses

Le cycle du Saros

1^{er} cycle
d'éclipses

1 Saros →

2^{ème} cycle
d'éclipses



Le mécanisme des éclipses

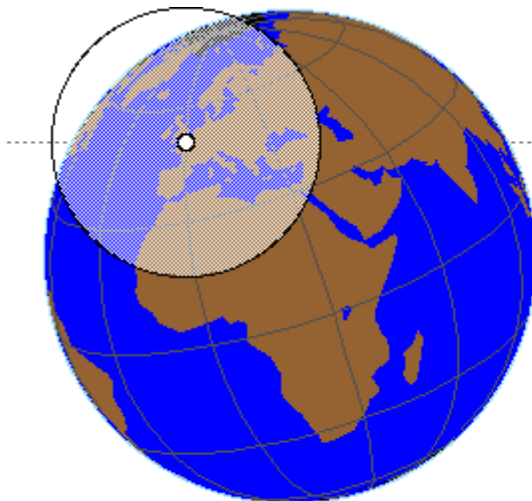
**Alors pourquoi n'y a-t-il pas
d'éclipse totale tous les 18 ans ?**

Le mécanisme des éclipses

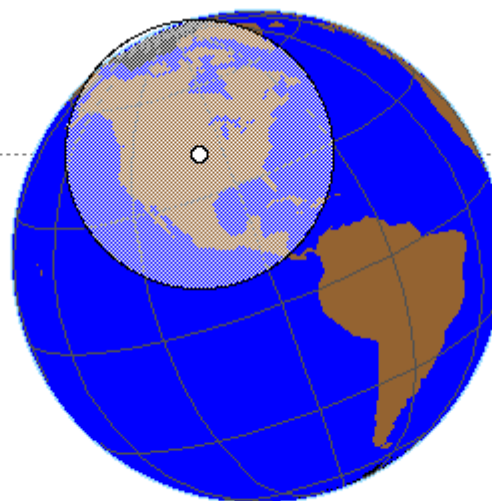
Alors pourquoi n'y a-t-il pas d'éclipse totale tous les 18 ans ?

Réponse: Il faut tenir compte de la rotation de la Terre

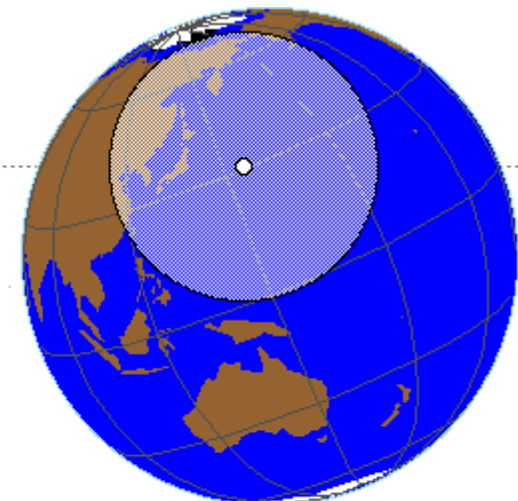
- Un Saros correspond à 18 ans 11 jours **et 8 heures.**
- La Terre a donc fait $\frac{1}{3}$ de tour lorsque l'éclipse totale se produit
 - Elle n'est plus visible dans la même zone géographique



11 août 1999



21 août 2017



2 septembre 2035

Le mécanisme des éclipses

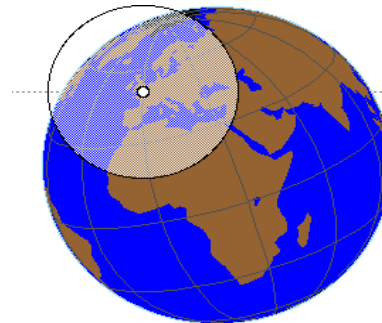
Enfin, finalement y a-t-il une éclipse totale tous les 54 ans ?

Le mécanisme des éclipses

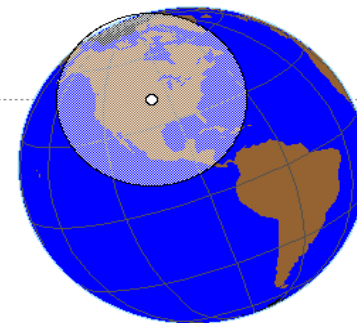
Finalelement y a-t-il une éclipse totale tous les 54 ans ?

Réponse: non

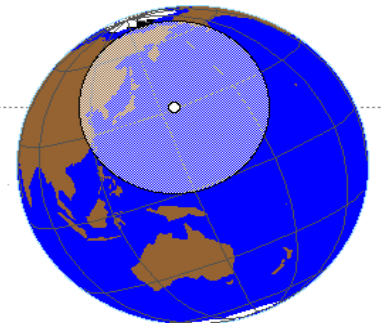
- Il y a un décalage de 34 jours dans la position de l'axe de rotation de la Terre !
- Une éclipse totale de Soleil a lieu en un même point tous les 370 ans en moyenne !



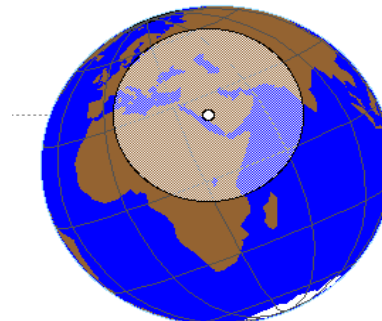
11 août 1999



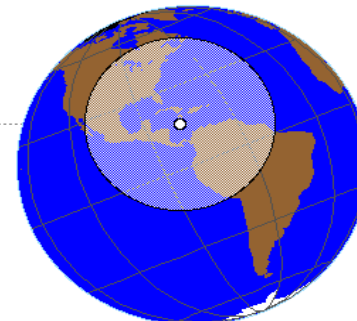
21 août 2017



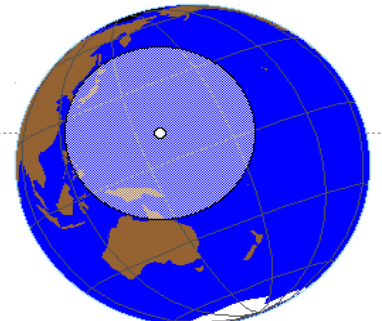
2 septembre 2035



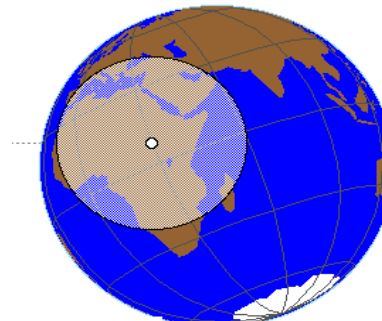
12 septembre 2053



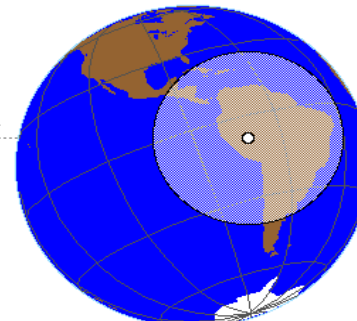
23 septembre 2071



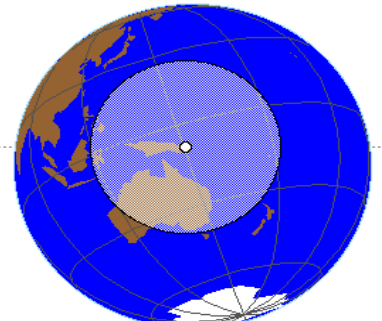
4 octobre 2089



16 octobre 2107



26 octobre 2125



7 novembre 2143

Le mécanisme des éclipses

Finalelement y a-t-il une éclipse totale tous les 54 ans ?

Réponse: non... MAIS

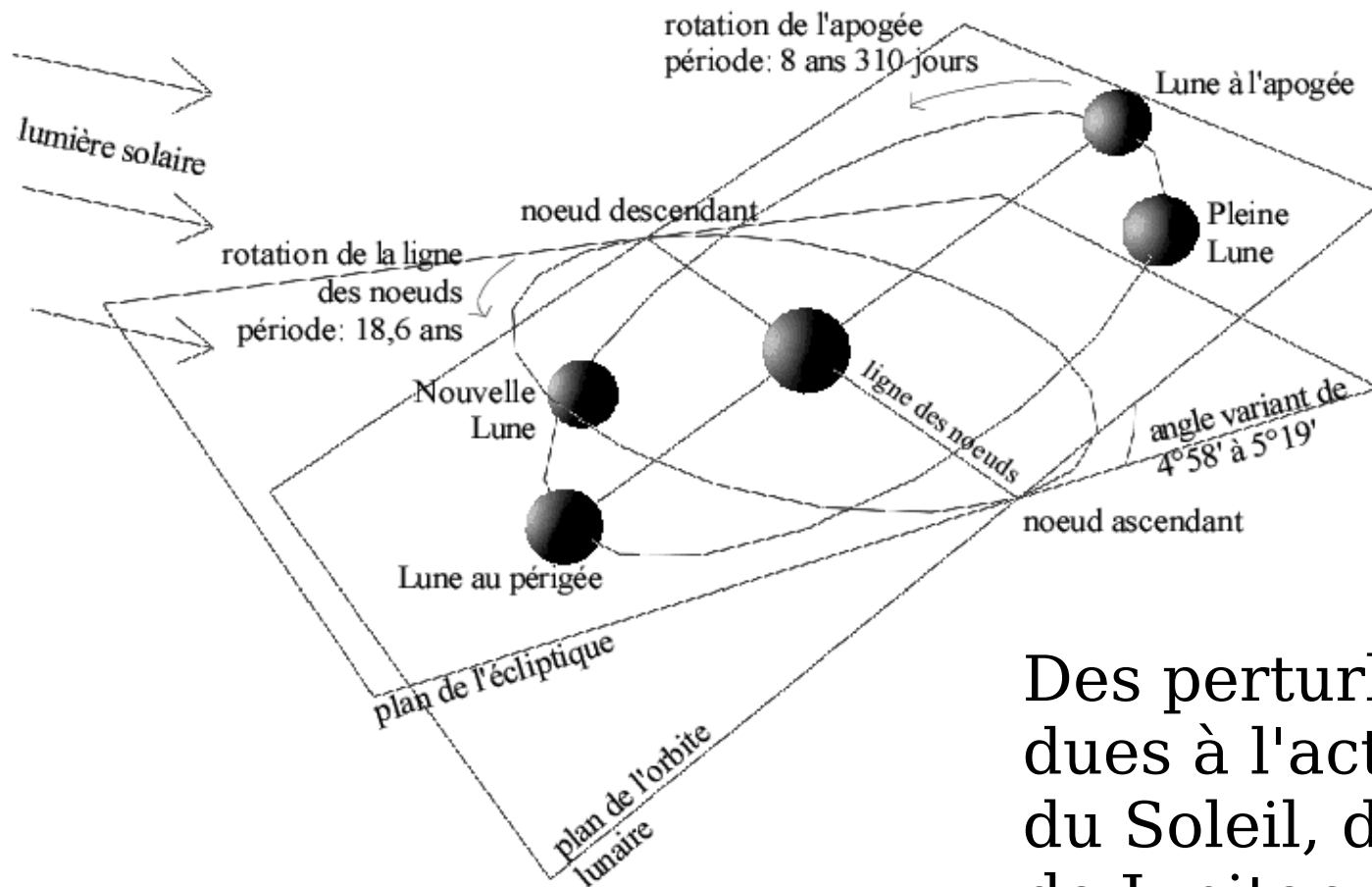
- Il se produit en moyenne 42 éclipses de Soleil dans un cycle de Saros
- dont 14 éclipses totales se produisant à des endroits différents.
- Le hasard peut amener deux éclipses différentes à passer au même endroit: exemple les éclipses totales du 21 juin 2001 et 4 décembre 2002 en Angola.

Le mécanisme des éclipses

Les irrégularités de l'orbite lunaire

Le mécanisme des éclipses

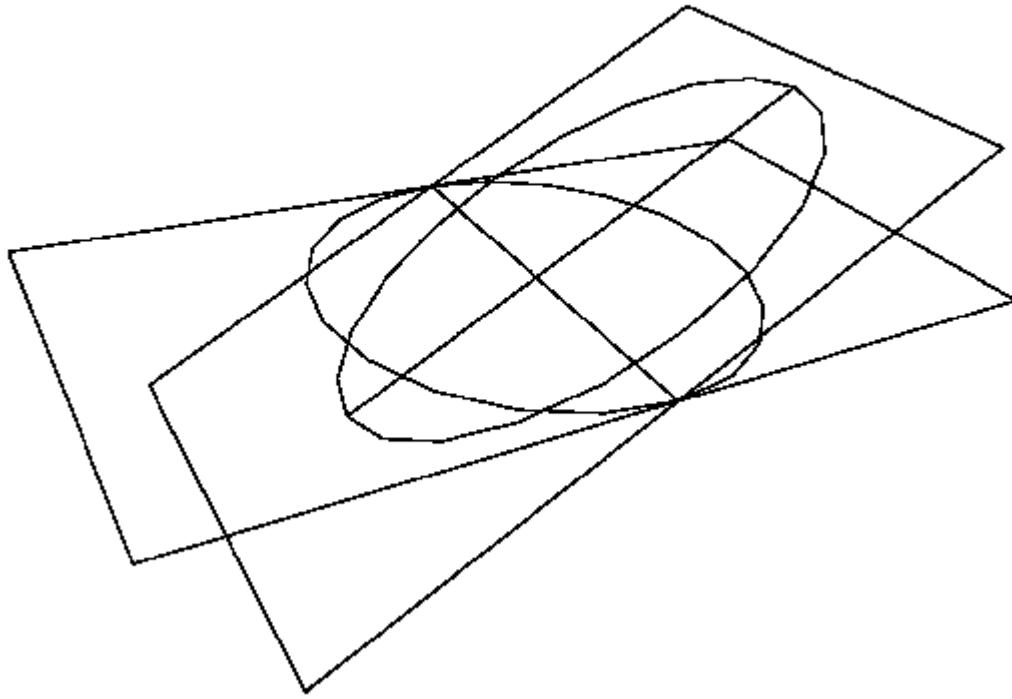
Les irrégularités de l'orbite lunaire:



Des perturbations sont dues à l'action conjuguée du Soleil, de la Terre et de Jupiter

Le mécanisme des éclipses

Les irrégularités de l'orbite lunaire:



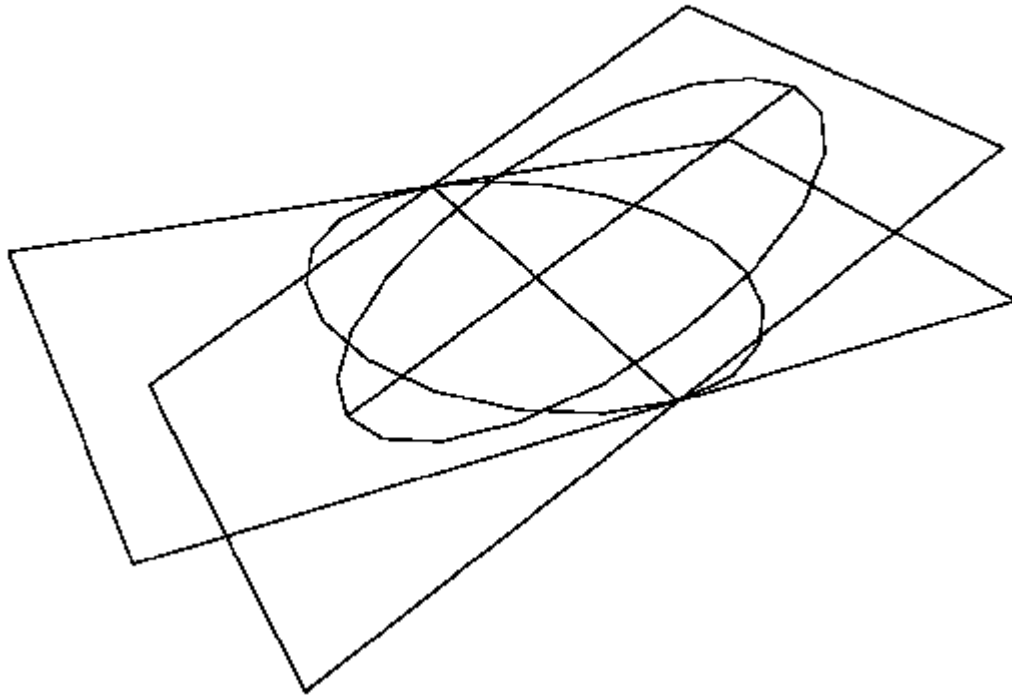
Rotation de la ligne
des noeuds:

période:
18 ans 219 jours 3 heures

mois draconitique:
27,21 jours
(intervalle entre deux
passages à un noeud)

Le mécanisme des éclipses

Les irrégularités de l'orbite lunaire:



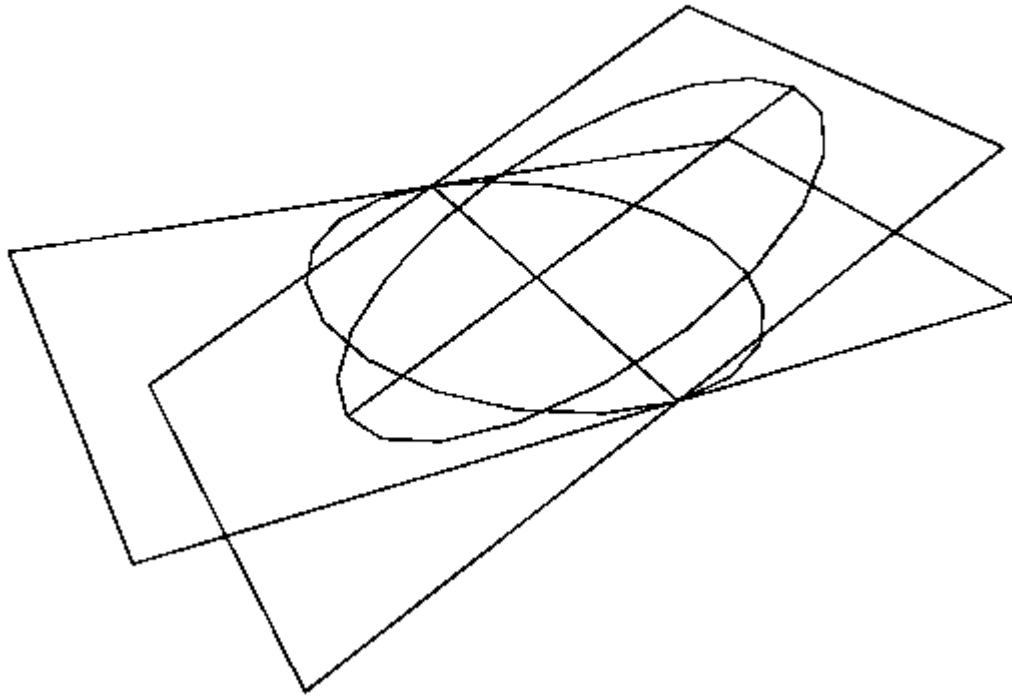
Rotation de l'axe de l'orbite:

période:
8 ans 310 jours

mois anomalistique:
27,55 jours
(intervalle entre deux passages à l'apogée)

Le mécanisme des éclipses

Les irrégularités de l'orbite lunaire:



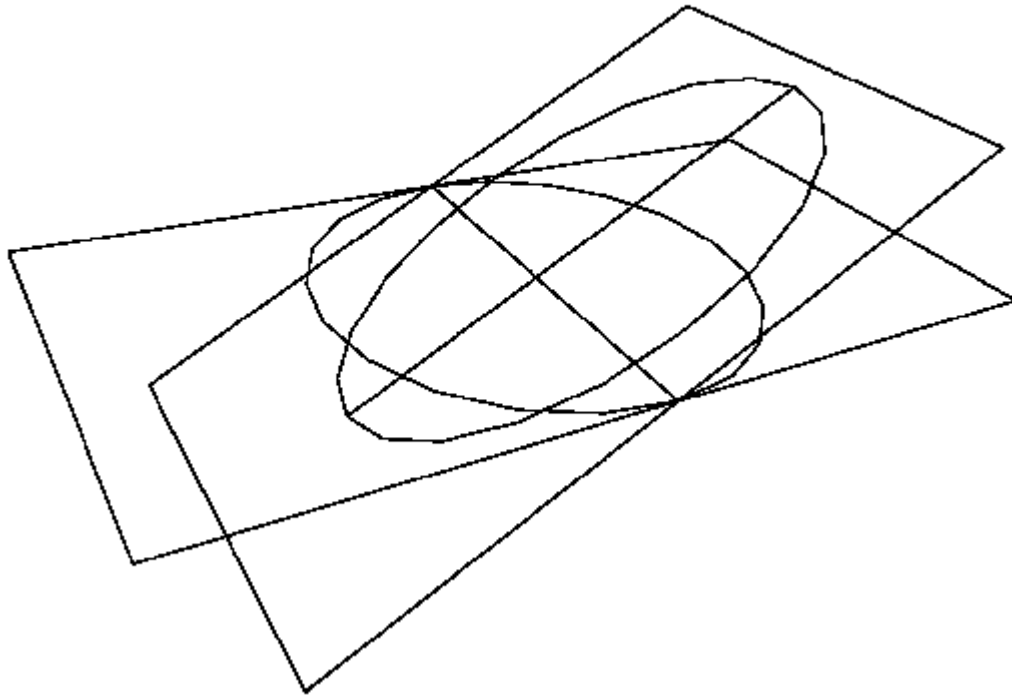
Changement de l'angle
d'inclinaison:

période:
173 jours

valeurs extrêmes:
minimum: $4^{\circ}58'$
maximum: $5^{\circ}19'$

Le mécanisme des éclipses

Les irrégularités de l'orbite lunaire:



Changement de
l'excentricité

période:
412 jours

valeurs extrêmes:
minimum: 0.044
maximum: 0.067

Le mécanisme des éclipses

Les irrégularités de l'orbite lunaire:

Toutes ces perturbations rendent extrêmement complexe le calcul précis des éclipses !

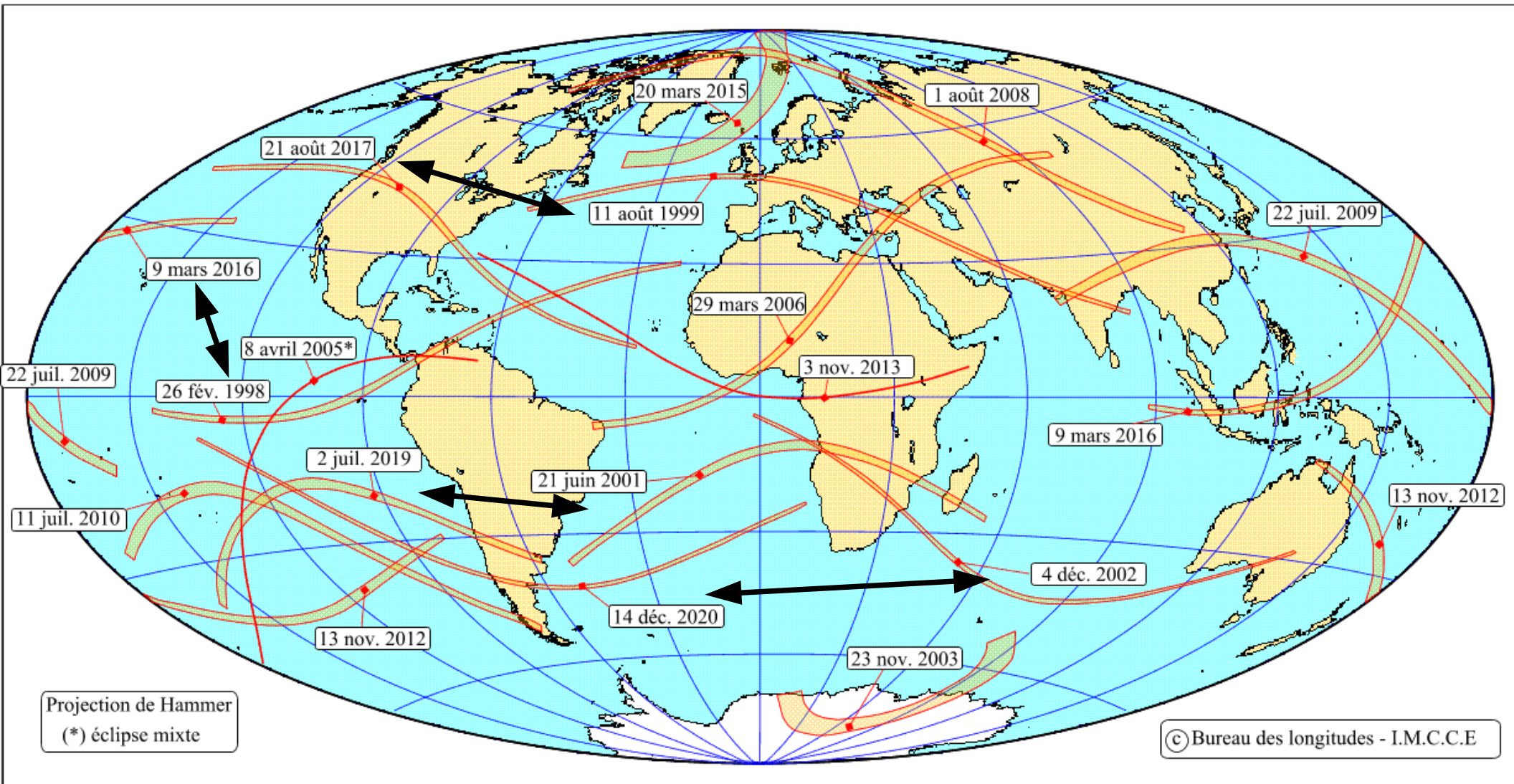
- Il faut aussi considérer le même type de perturbations pour l'orbite Terrestre...
- Des perturbations **imprévisibles** rendent impossible la prédiction à long terme (exemple: séisme du 26 décembre à Sumatra).

Le mécanisme des éclipses

**Les éclipses totales de Soleil de
1998 à 2020**

Le mécanisme des éclipses

Éclipses totales de Soleil de 1998 à 2020



Le mécanisme des éclipses

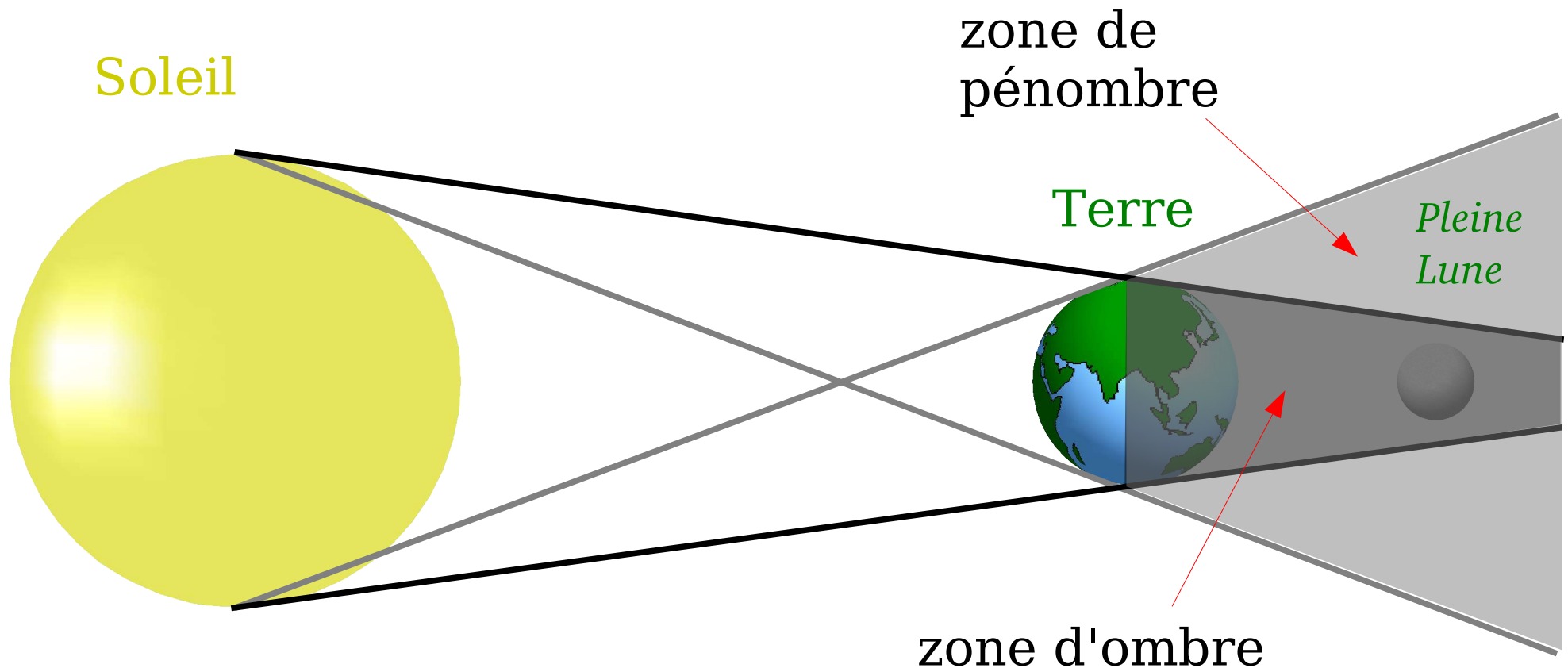
Les éclipses de Lune

Le mécanisme des éclipses

Les éclipses de Lune

Une éclipse de Lune se produit lors d'un alignement

Soleil-Terre-Lune : **la Pleine Lune**

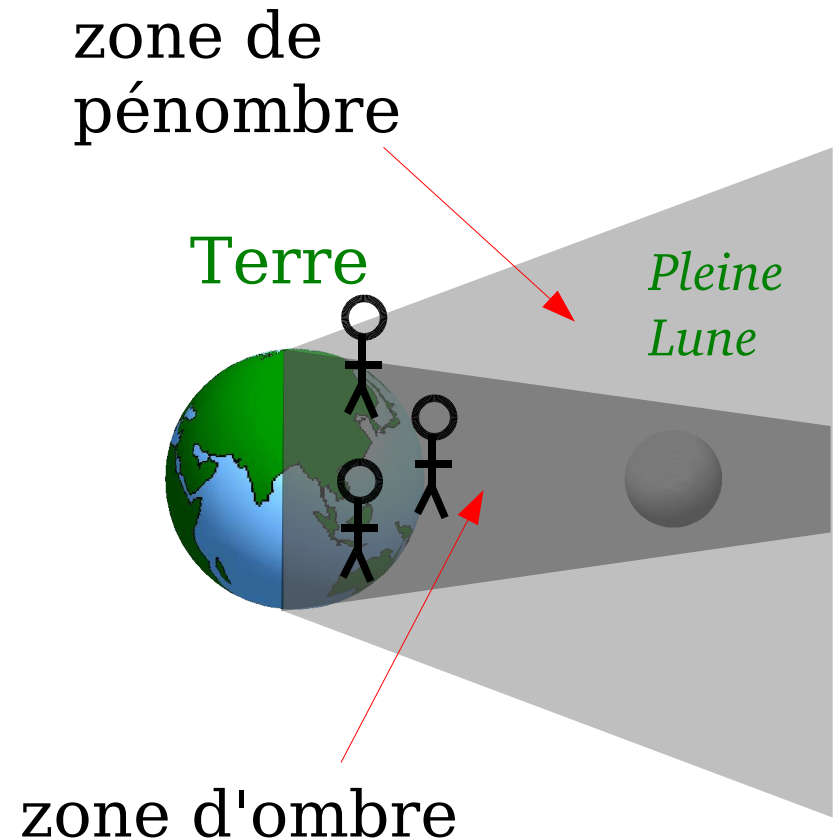
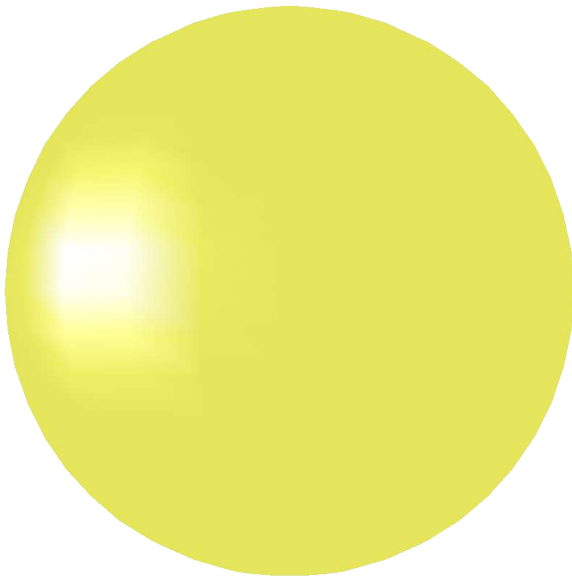


Le mécanisme des éclipses

Les éclipses de Lune

Une éclipse de Lune est visible pour un observateur situé
n'importe où dans la zone nuit

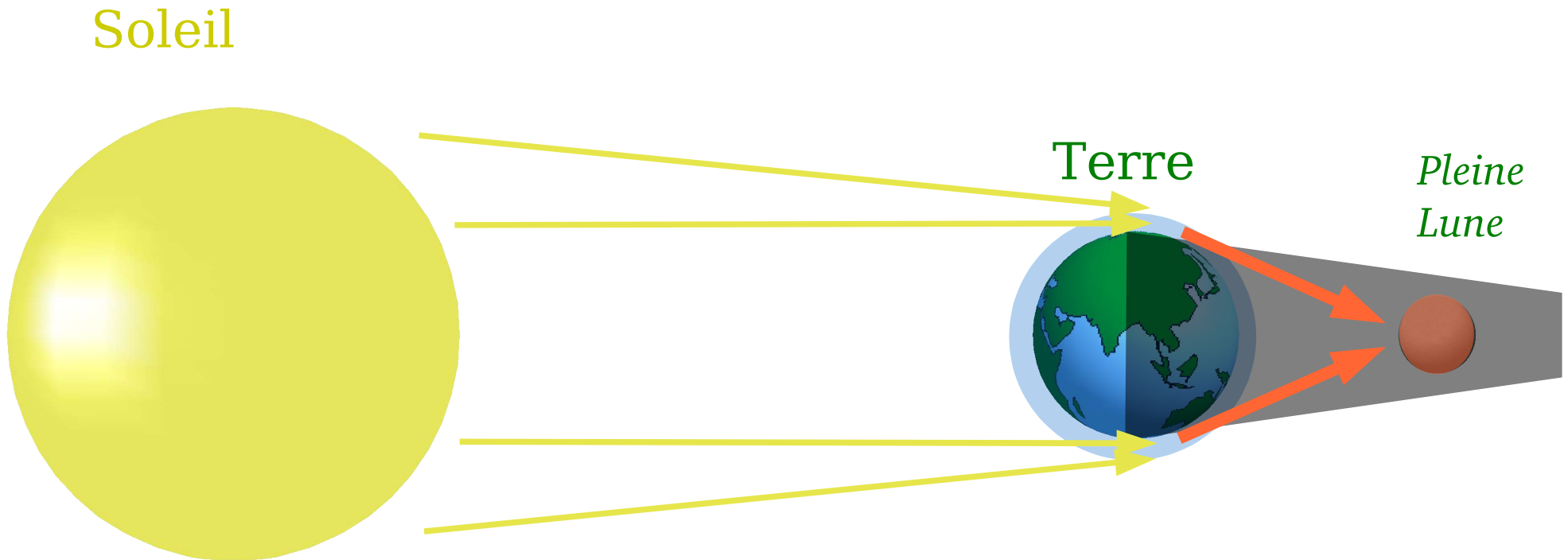
Soleil



Le mécanisme des éclipses

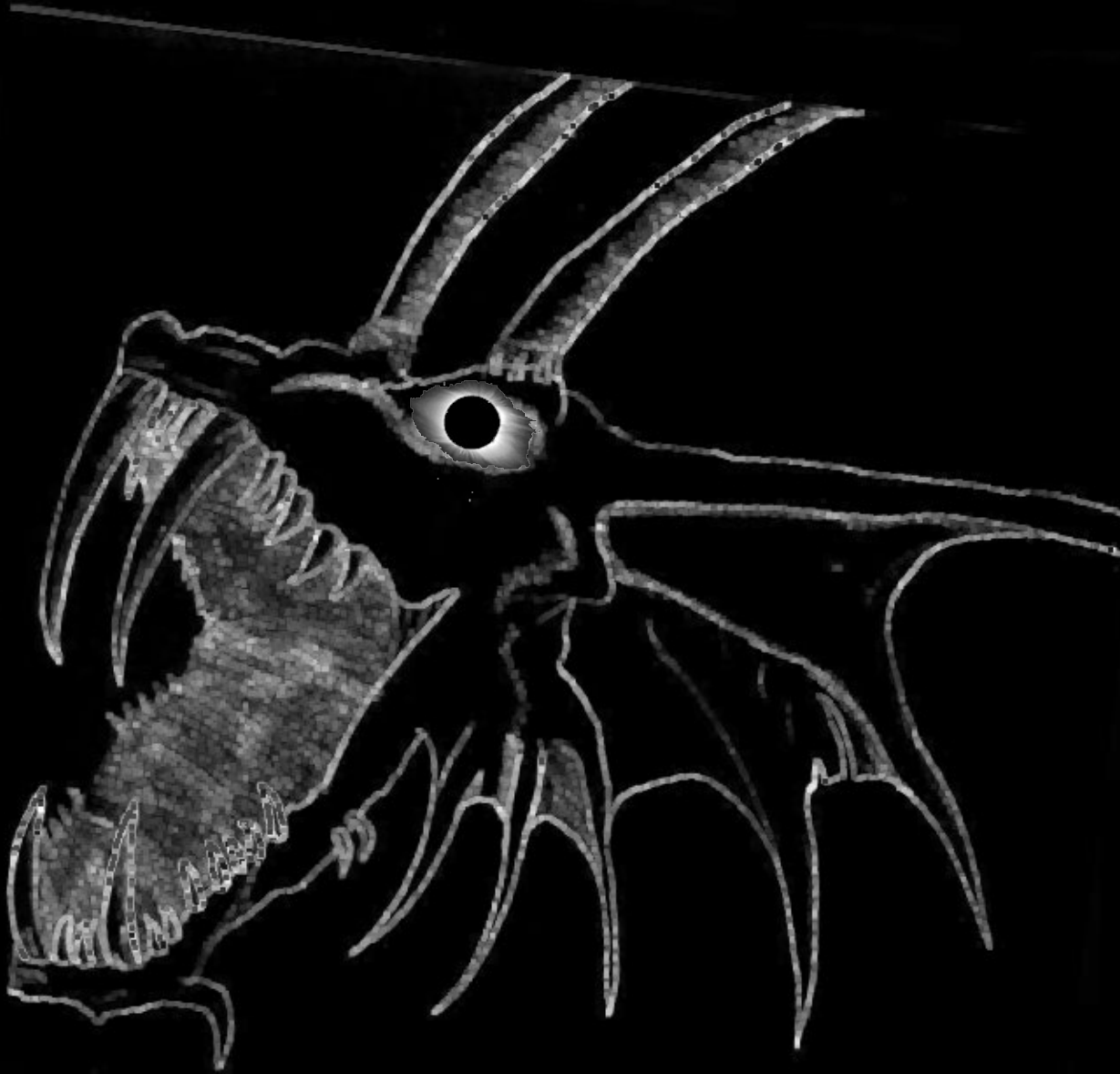
Les éclipses de Lune

La «Lune rouge» est due à la réfraction de la lumière solaire par l'atmosphère terrestre: **coucher de Soleil**



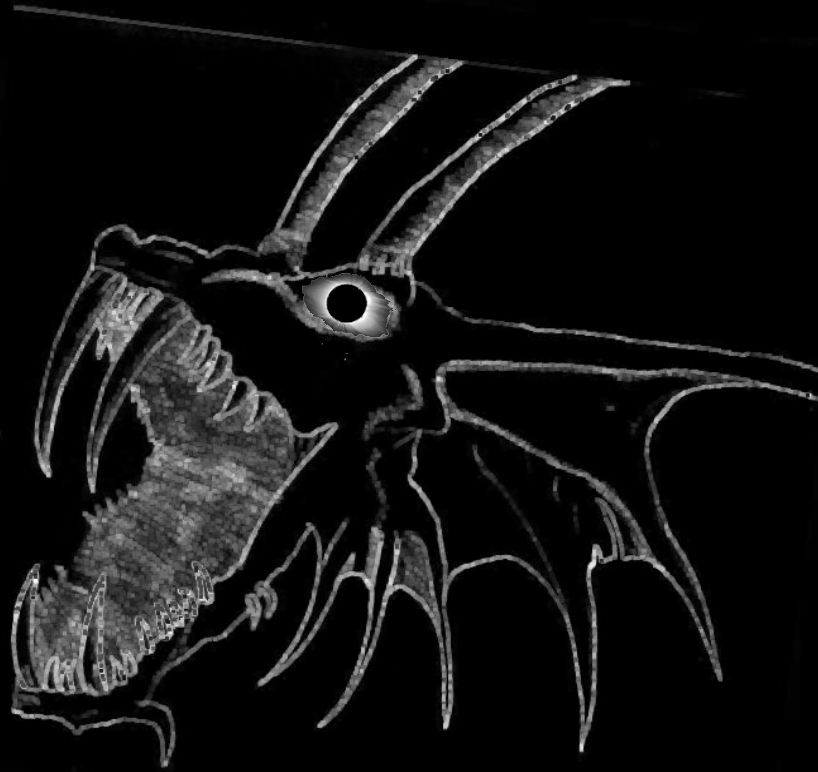
Petit historique

Petit historique



- Dans la plupart des croyances primitives (Chine, Inde, Europe, Amérique, Afrique) les éclipses de Soleil sont assimilées à un dragon qui essaie de manger le Soleil et la Lune.
- Les méthodes employées pour le faire fuir vont du vacarme (Chine) au sacrifice humain (Amérique)

Petit historique



- Les anciens savaient déjà que ce dragon n'apparaissait que sur la ligne des noeuds (d'où le nom du mois draconitique)
- Ils savaient aussi que l'événement ne se produisait qu'en période de Nouvelle Lune
- Chez les Mayas on procédait à des sacrifices préventifs pendant les périodes à éclipse

Petit historique

- vers 300 avant J.C. les **Babyloniens** pouvaient déjà prédire avec précision les positions de la Lune et du Soleil
- Mais il faut attendre le grec **Géminos** (50 après J.C.) pour une vraie compréhension des éclipses: il s'agit du passage de la Lune devant le Soleil



Petit historique



- au II^e siècle, **Ptolémée** publie l'Almageste
- non seulement on peut prédire la visibilité d'une éclipse en un lieu donné
- mais on peut aussi calculer précisément l'instant du début, sa durée et l'instant de la fin

Petit historique

- en 1715, **Halley** établit pour la première fois une carte de visibilité globale d'une éclipse de Soleil
- au XIXe siècle **Bessel** met au point la méthode encore utilisée de nos jours



Images d'éclipses

Images d'éclipses

Eclipse totale de Lune du 4 avril 1996

- la Lune est dans la pénombre
- l'ombre de la Terre arrive en bas à gauche



Images d'éclipses

Eclipse totale de Lune du 4 avril 1996

- la Lune est dans la pénombre
- l'ombre de la Terre arrive en bas à gauche



Images d'éclipses

Eclipse totale de Lune du 4 avril 1996

- la Lune est dans la pénombre
- l'ombre de la Terre arrive en bas à gauche



Images d'éclipses

Eclipse totale de Lune
du 4 avril 1996

- la Lune est maintenant éclipsée à 50%



Images d'éclipses

Eclipse totale de Lune du 4 avril 1996

- la Lune est maintenant éclipsée à 50%
- En sur-exposant l'image, on voit apparaître la partie sombre de la Lune



Images d'éclipses

Eclipse totale de Lune du 4 avril 1996

- la Lune est presque entièrement éclip­sée



Images d'éclipses

Eclipse totale de Lune du 4 avril 1996

- la Lune est presque entièrement éclip­sée



Images d'éclipses

Eclipse totale de Lune du 4 avril 1996

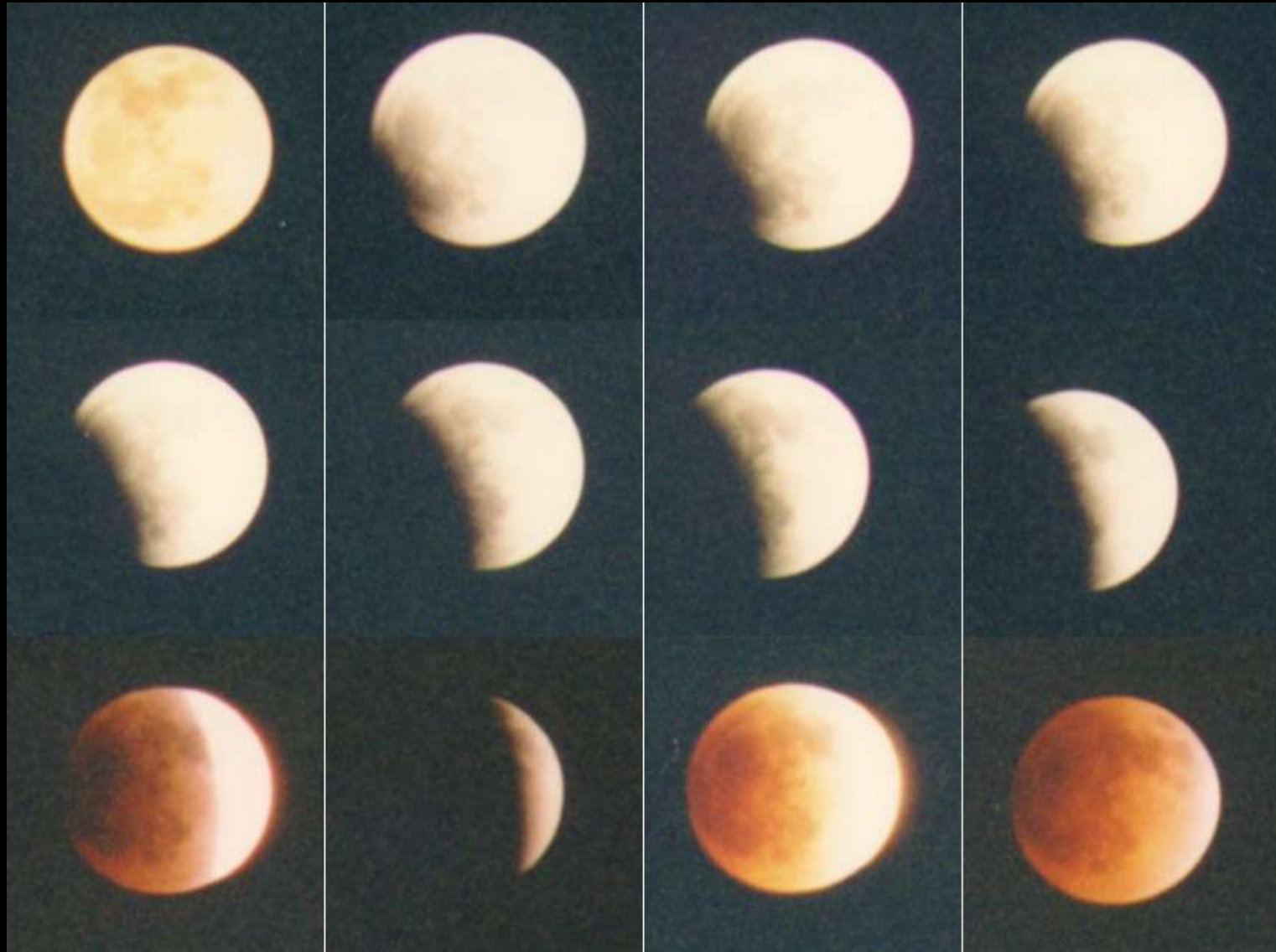
- pendant la phase de totalité, la Lune est éclairée par l'atmosphère terrestre
- la lumière solaire est diffractée comme lors d'un coucher de Soleil



Images d'éclipses

Eclipse totale
de Lune
du 4 avril 1996

- récapitulatif



Images d'éclipses

Eclipse totale de Lune du 9 janvier 2001

- la météo est peu clémentine ce soir là
- les nuages laissent apparaître la Lune pendant la phase de totalité



Images d'éclipses

Eclipse totale de Lune
du 9 janvier 2001

- pendant la totalité, les étoiles sont très facilement détectables à proximité de la Lune



Images d'éclipses

Eclipse totale de Lune
du 9 janvier 2001

- l'ombre de la Terre commence à se retirer



Images d'éclipses

Eclipse totale de Lune
du 9 janvier 2001

- l'ombre de la Terre commence à se retirer



Images d'éclipses

Eclipse totale de Lune
du 9 janvier 2001

- en réduisant le temps de pose on laisse apparaître le côté dans la pénombre



Images d'éclipses

Eclipse totale de Lune
du 9 janvier 2001

- les nuages produisent une auréole de lumière
- la Lune rouge est encore visible à gauche



Images d'éclipses

Eclipse totale de Lune
du 9 janvier 2001

- la Lune est éclairée à 50%



Images d'éclipses

Eclipse totale de Lune du 9 janvier 2001

- la Lune est éclairée à 50%
- l'ombre de la Terre est trois fois plus grande que la Lune



Images d'éclipses

Eclipse totale de Lune
du 9 janvier 2001

- l'éclipse touche à sa fin
mais la Lune est encore
dans la pénombre



Images d'éclipses

Eclipse totale de Lune
du 9 janvier 2001

- l'éclipse touche à sa fin
mais la Lune est encore
dans la pénombre



Images d'éclipses

Eclipse partielle de Soleil
du 12 octobre 1996

- l'éclipse commence lorsque la Lune fait son apparition devant le disque solaire



Images d'éclipses

Eclipse partielle de Soleil
du 12 octobre 1996

- le disque solaire est grignoté peu à peu



Images d'éclipses

Eclipse partielle de Soleil
du 12 octobre 1996

- le disque solaire est grignoté peu à peu



Images d'éclipses

Eclipse partielle de Soleil
du 12 octobre 1996

- le disque solaire est grignoté peu à peu



Images d'éclipses

Eclipse partielle de Soleil
du 12 octobre 1996

- l'éclipse partielle est maintenant à son maximum



Images d'éclipses

Eclipse partielle de Soleil
du 12 octobre 1996

- en zoomant, on peut voir les irrégularités de la surface lunaire



Images d'éclipses

Eclipse partielle de Soleil
du 12 octobre 1996

- la Lune se retire,
l'éclipse prend fin



Images d'éclipses

Eclipse totale de Soleil
du 11 août 1999

- un éclipse totale de Soleil correspond à un alignement parfait de la Lune et du Soleil



Images d'éclipses

Eclipse totale de Soleil du 11 août 1999

- ce 11 août 1999 il y avait beaucoup de nuages dans la zone de totalité



Images d'éclipses

Eclipse totale de Soleil
du 11 août 1999

- les anciens pouvaient observer ce croissant solaire lorsqu'une éclipse se produisait au Soleil couchant



Images d'éclipses

Eclipse totale de Soleil
du 11 août 1999

- même éclipsé aux $\frac{3}{4}$ le Soleil est encore extrêmement brillant et un filtre est nécessaire



Images d'éclipses

Eclipse totale de Soleil
du 11 août 1999

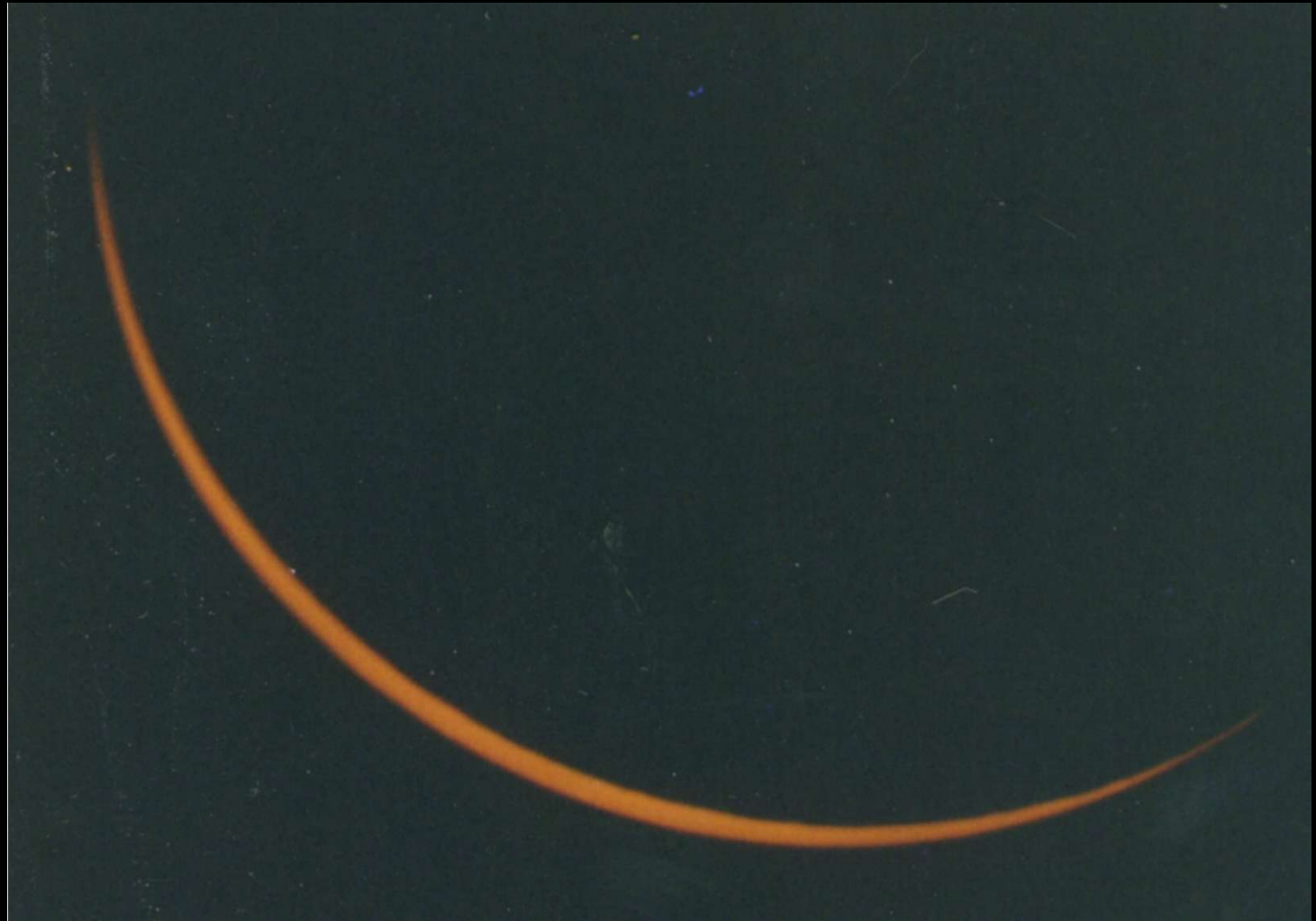
- l'éclipse est presque totale mais à l'oeil nu il faut toujours parfaitement jour



Images d'éclipses

Eclipse totale de Soleil
du 11 août 1999

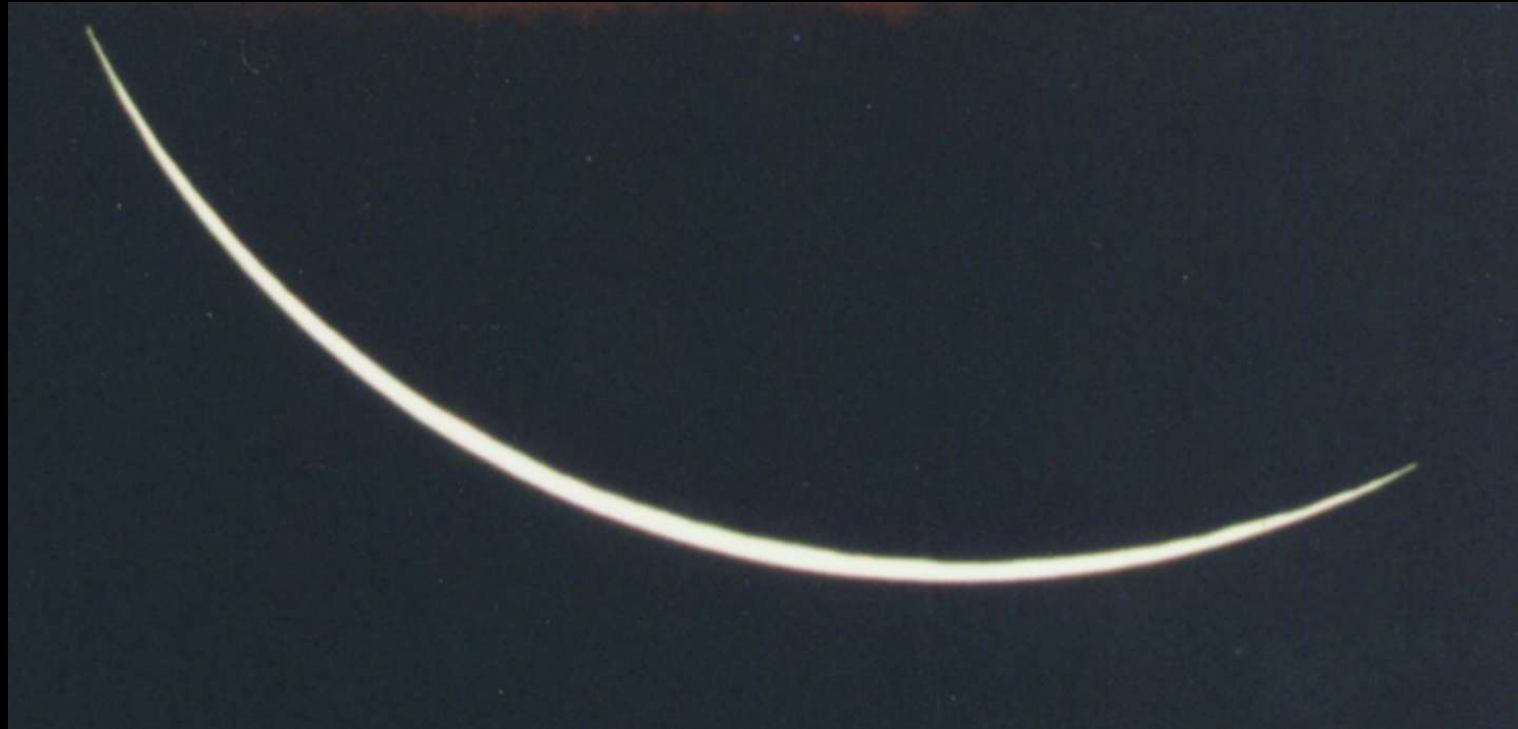
- les derniers rayons de Soleil disparaissent lentement mais sûrement



Images d'éclipses

Eclipse totale de Soleil
du 11 août 1999

- les derniers rayons de Soleil disparaissent lentement mais sûrement



Images d'éclipses

Eclipse totale de Soleil
du 11 août 1999

- le ciel s'assombrit...



Images d'éclipses

Eclipse totale de Soleil du 11 août 1999

- l'éclipse de Soleil est totale
- la couronne solaire et les protubérances sont visibles à l'oeil nu



Images d'éclipses

Eclipse totale de Soleil du 11 août 1999

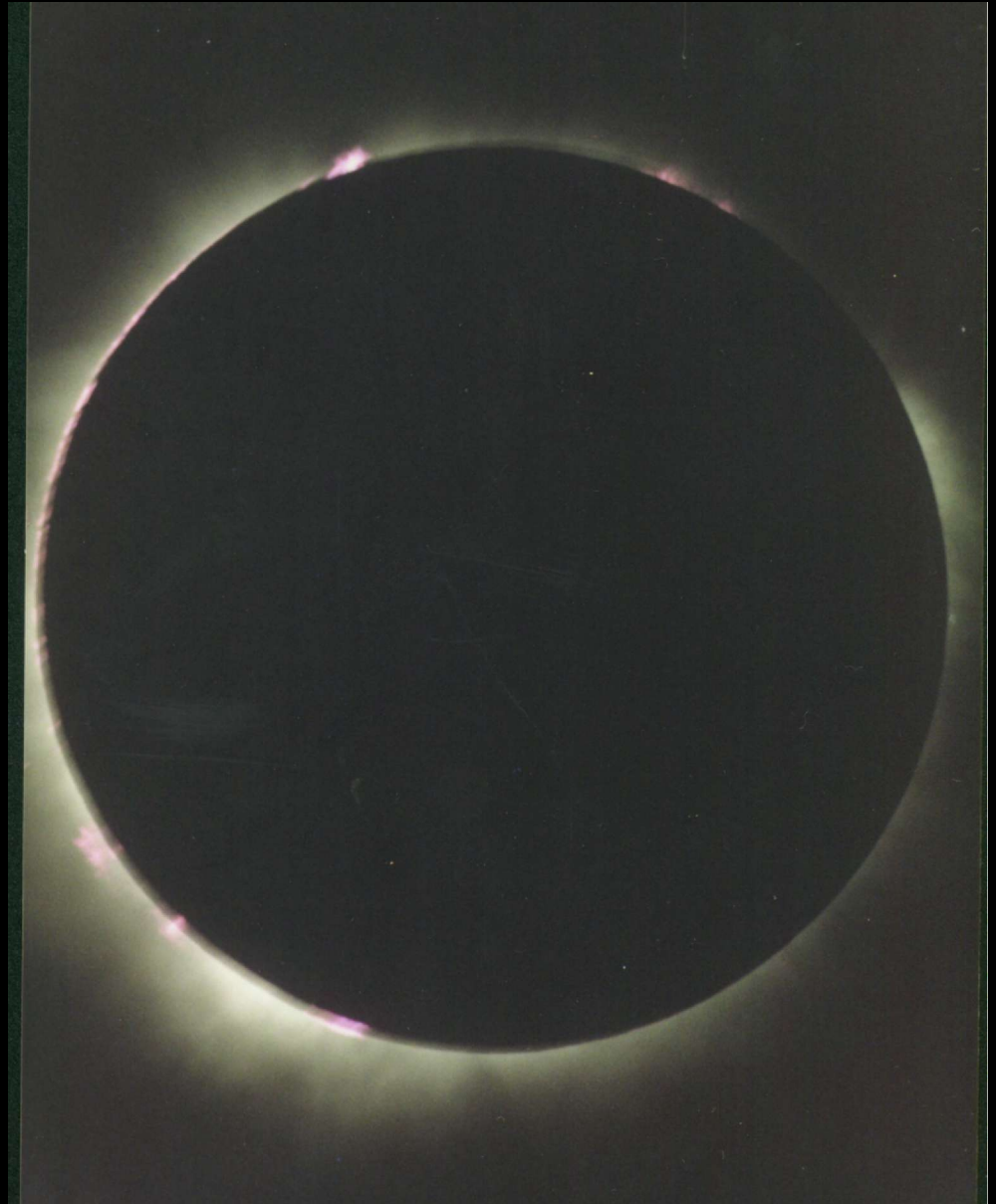
- l'éclipse de Soleil est totale
- la couronne solaire et les protubérances sont visibles à l'oeil nu



Images d'éclipses

Eclipse totale de Soleil du 11 août 1999

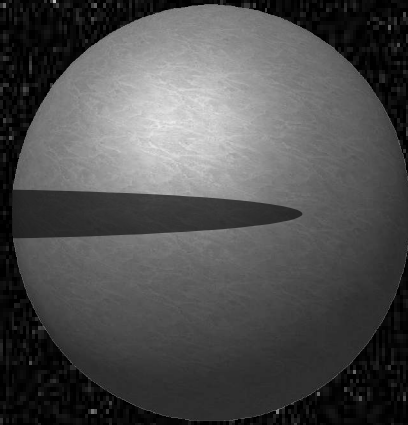
- l'éclipse de Soleil est totale
- la couronne solaire et les protubérances sont visibles à l'oeil nu



Quelques applications

Quelques applications

La forme de la Terre:

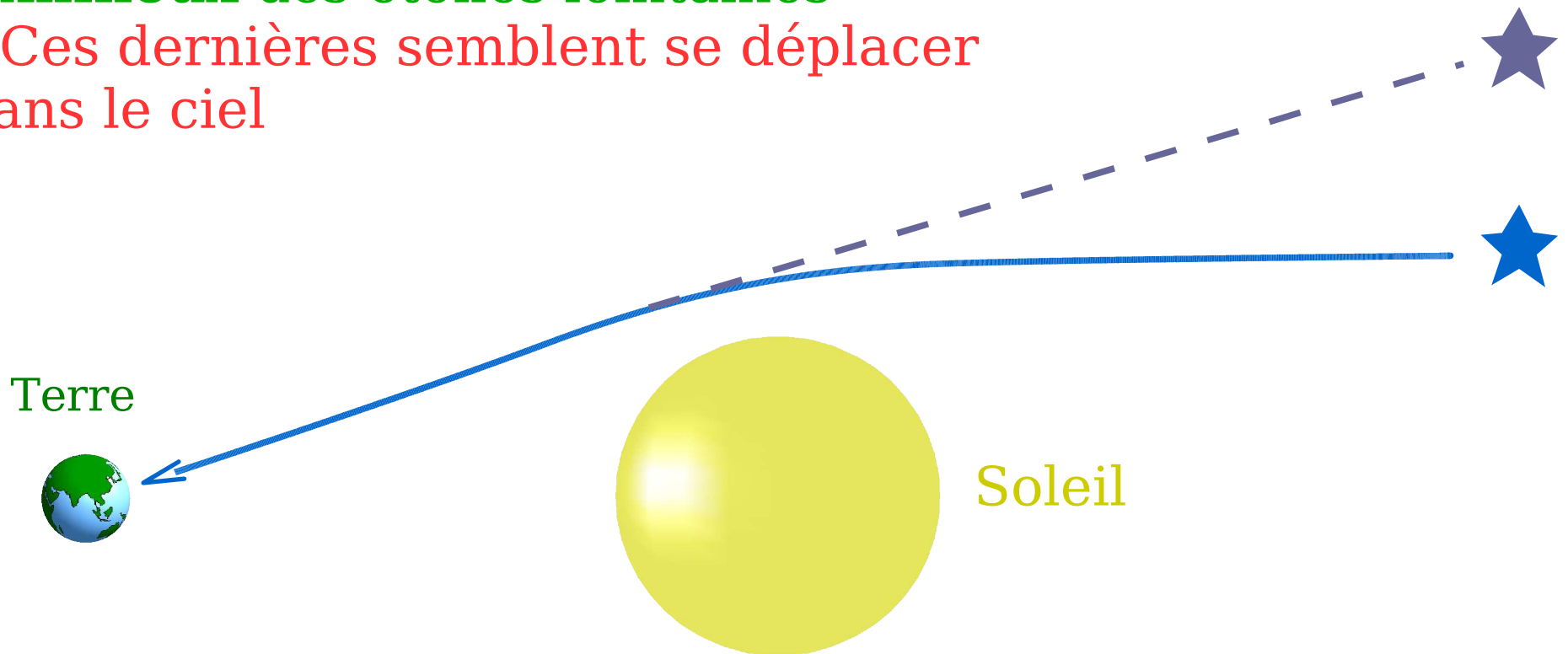


- Lors d'une éclipse de Lune **l'ombre de la Terre est ronde.**
- Aristote en déduisit que la Terre devait être ronde
- Une Terre plate produirait une ombre très différente

Quelques applications

Vérification de la relativité générale:

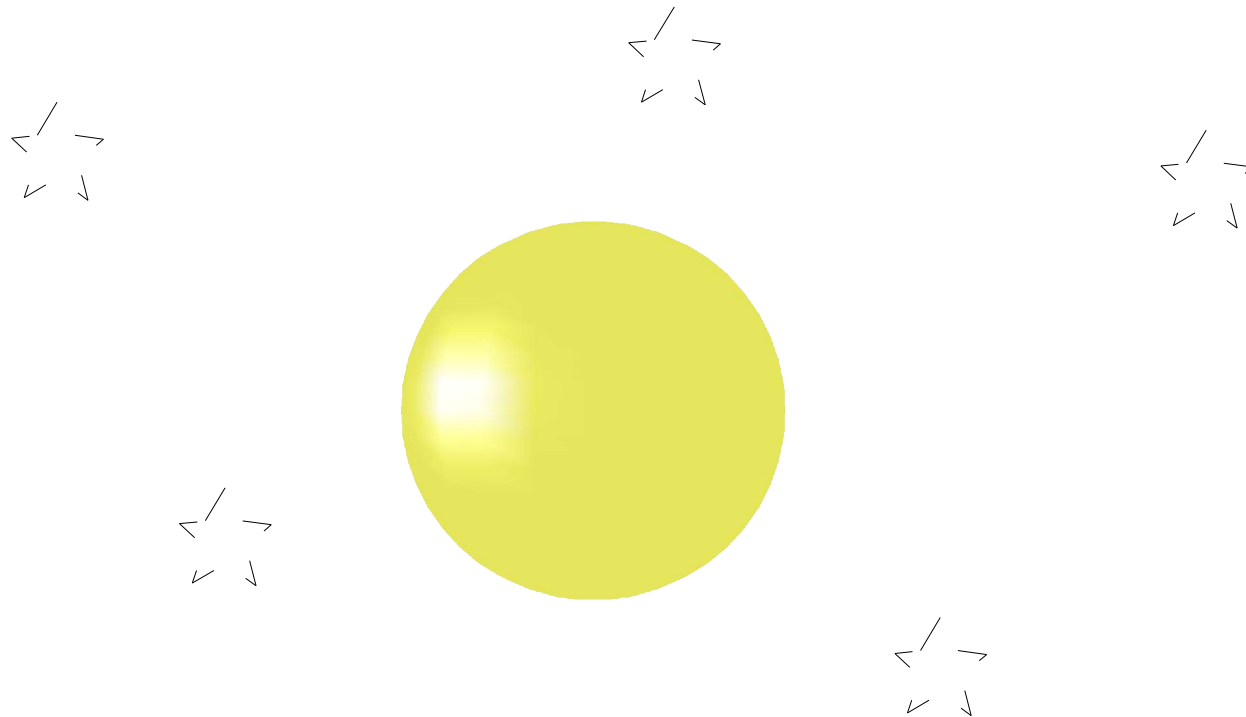
- La masse du Soleil **dévie les rayons lumineux** des étoiles lointaines
- Ces dernières semblent se déplacer dans le ciel



Quelques applications

Vérification de la relativité générale:

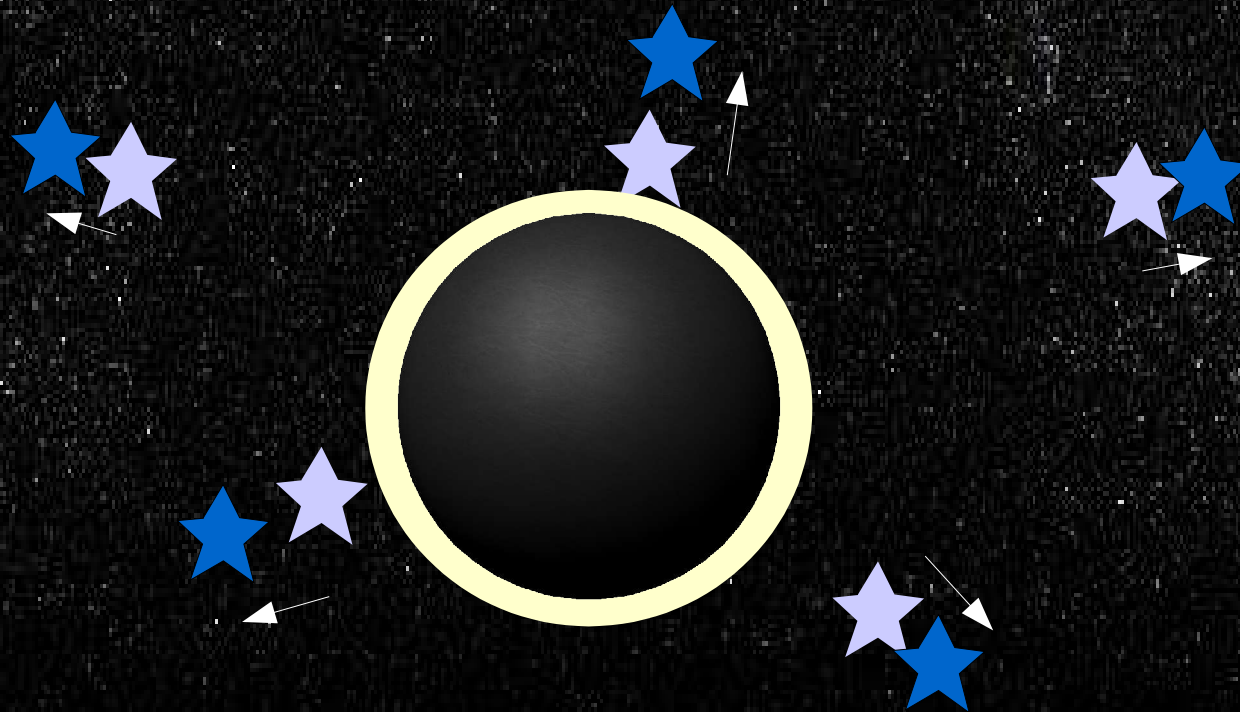
- Mais en plein jour les étoiles situées dans la même direction que le Soleil sont **invisibles** !



Quelques applications

Vérification de la relativité générale:

- Une éclipse de Soleil permet de les révéler
- ...et de constater une déviation par rapport à leur position habituelle



Quelques applications

Vérification de la relativité générale:

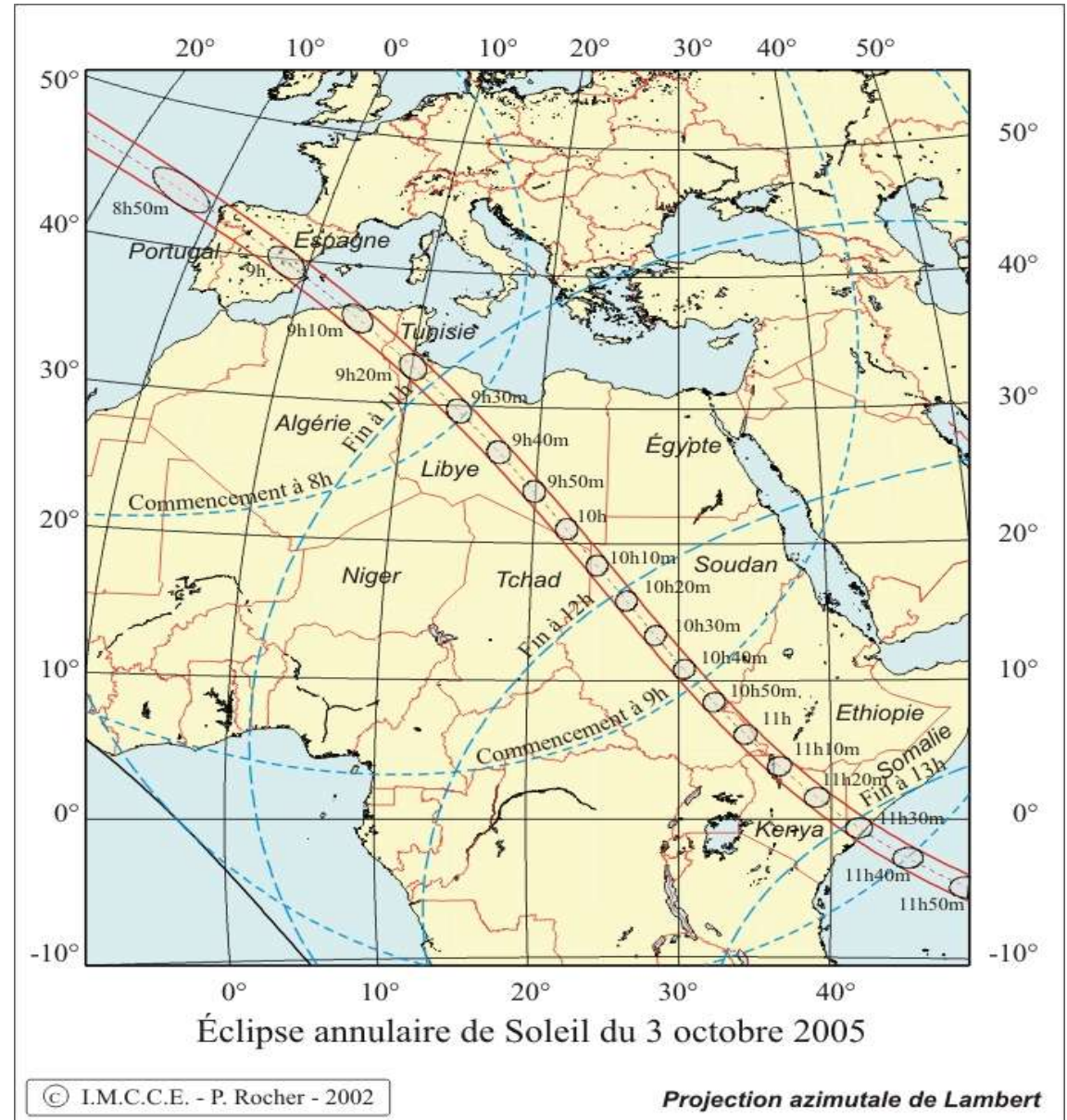


- Lors de l'éclipse totale du 29 mai 1919, visible en Amérique du sud, l'astronome anglais **Eddington** mesure une déviation de 0,0005 degrés au voisinage du Soleil.
- ✓ Ses mesures confirment la relativité générale
- ✓ C'est le début de la gloire pour **Einstein** (physicien allemand).

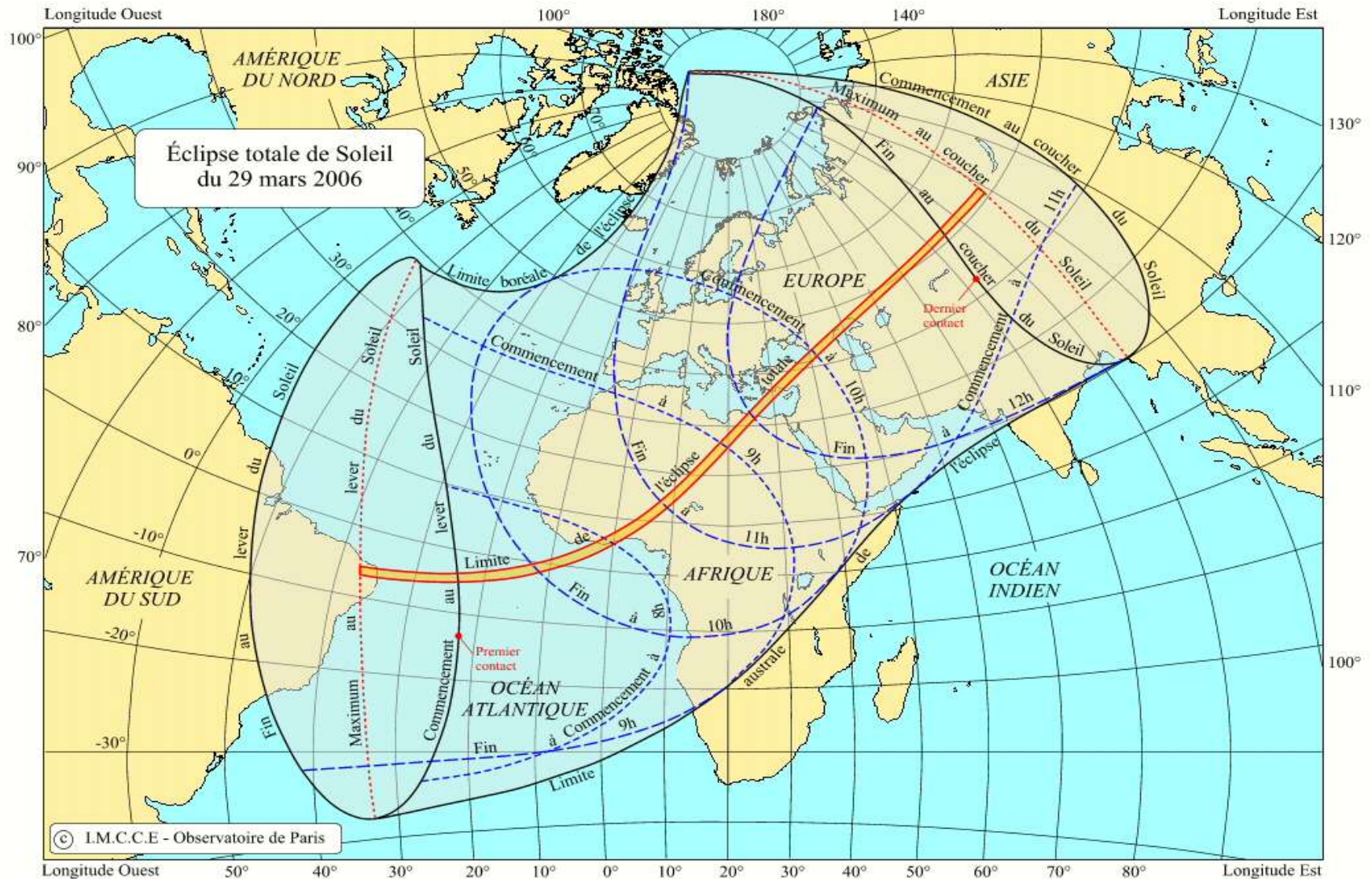
La prochaine éclipse de Soleil

La prochaine éclipse de Soleil

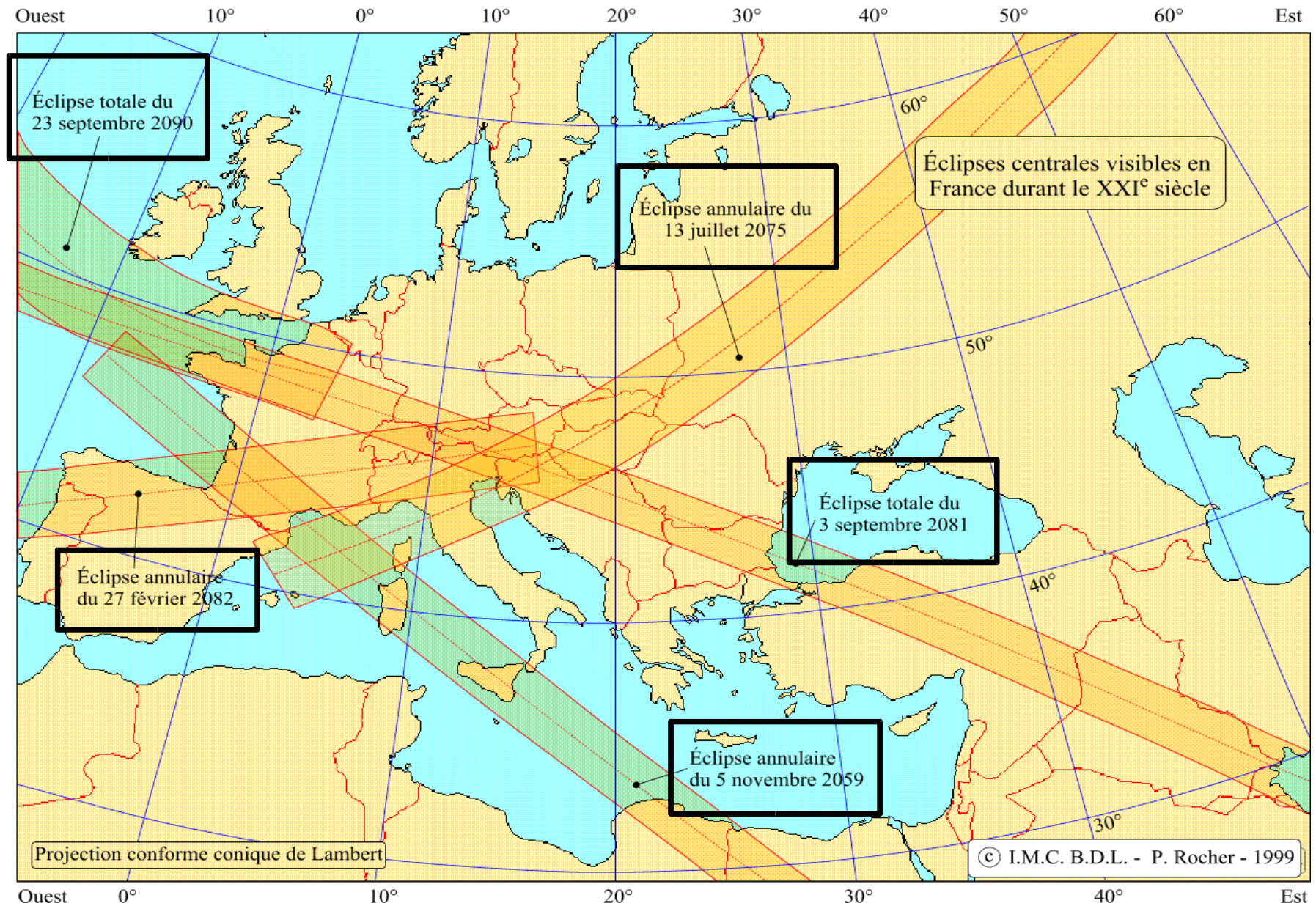
- Le 3 octobre prochain:
éclipse annulaire visible
 - au Portugal
 - en Espagne
 - en Algérie
 - en Tunisie
 - en Libye
 - au Soudan
 - au Kenya
- éclipse partielle en France vers 9h



La prochaine éclipse de Soleil



La prochaine éclipse de Soleil



Fin

