

La Lune

Le système Terre-Lune

Notions utilisées :

- 1. Introduction
- 2-3. Structure de la matière
- 7. Mécanique classique
- 56. La Lune I

Pour une meilleure compréhension,
certaines explications pourront être
légèrement simplifiées/tronquées

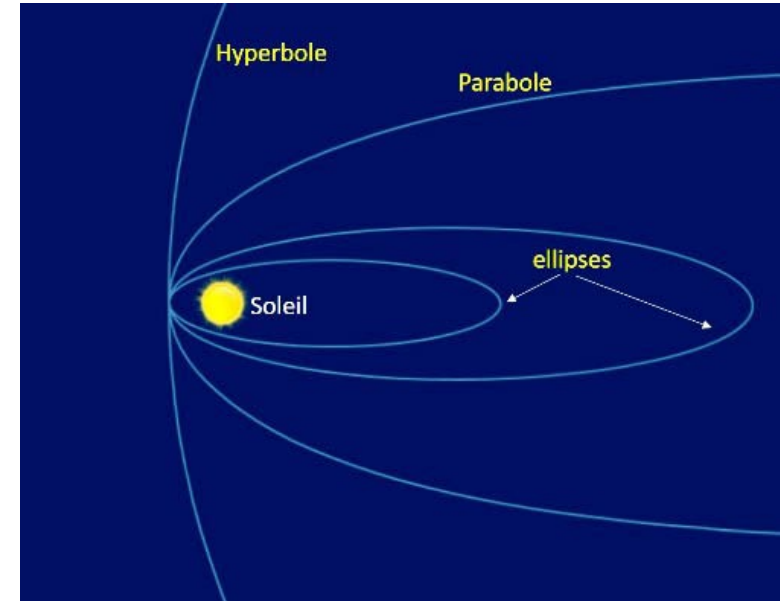
Images : Wikipédia sauf mention contraire



La Terre depuis l'orbite lunaire capturée par l'astronaute William Anders lors de la mission Apollo 8 en décembre 1968.

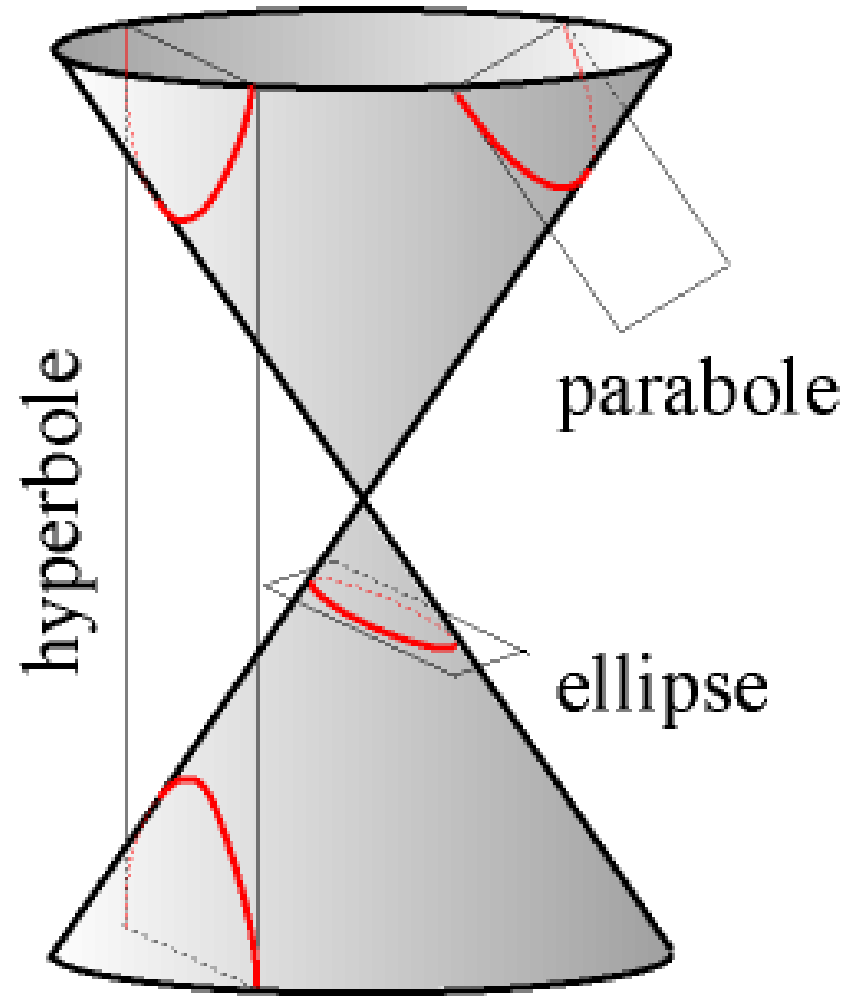
La première loi de Kepler

- Les lois de Kepler sont des lois **empiriques** établies en 1609 et 1618
- Les planètes du Système solaire décrivent des **trajectoires elliptiques** dont le Soleil occupe l'un des **foyers**
 - une ellipse est définie par son **excentricité** (pour la Terre, $e = 0,016$, $\sim$ cercle)
- Plus généralement des « **coniques** » dont le Soleil est un foyer
 - Dans le cas des comètes notamment, on peut même avoir des trajectoires **non fermées**, **paraboliques** ou **hyperboliques**



Les coniques

- = courbes planes **intersections entre un cône de révolution et un plan**
- Décrivent la **trajectoire des planètes** : l'**orbite « képlérienne »** d'un corps est une conique dont un des foyers coïncide avec le centre de masse du système
- 3 courbes :
 - **Ellipse** (dont cercle)
 - **Parabole** (également **balistique**)
 - **Hyperbole**

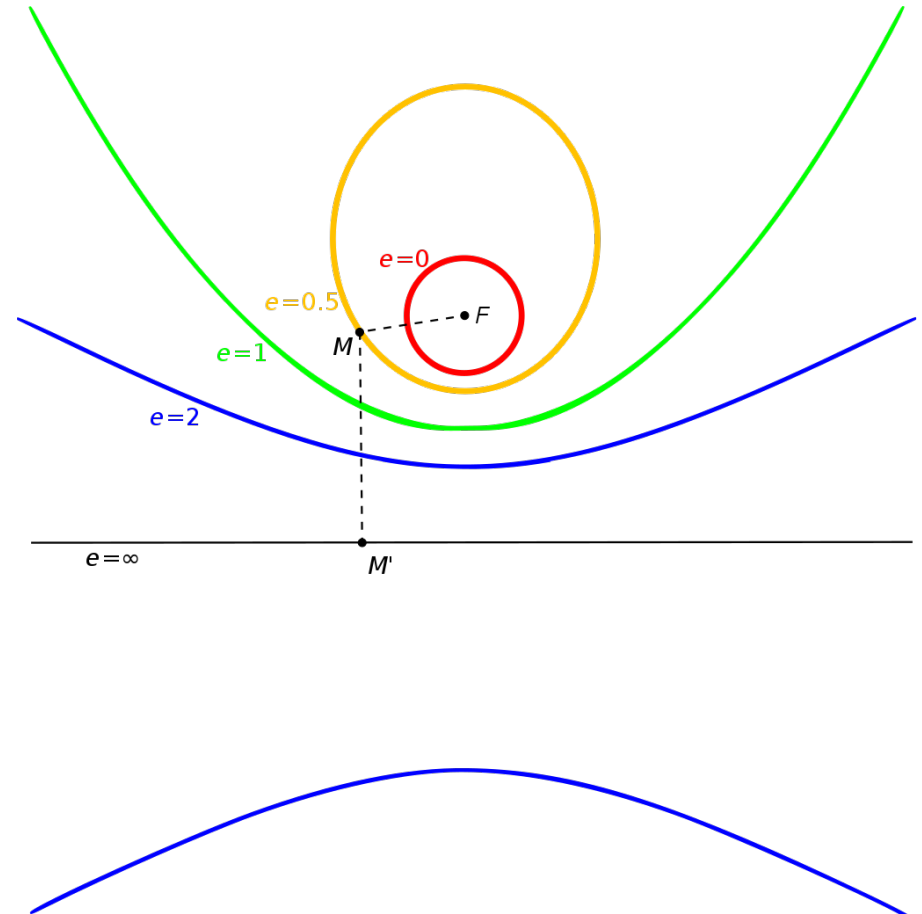


L'excentricité (orbitale)

Énergie totale = énergie cinétique + énergie potentielle

réf : $E_{\infty, v=0} = 0$

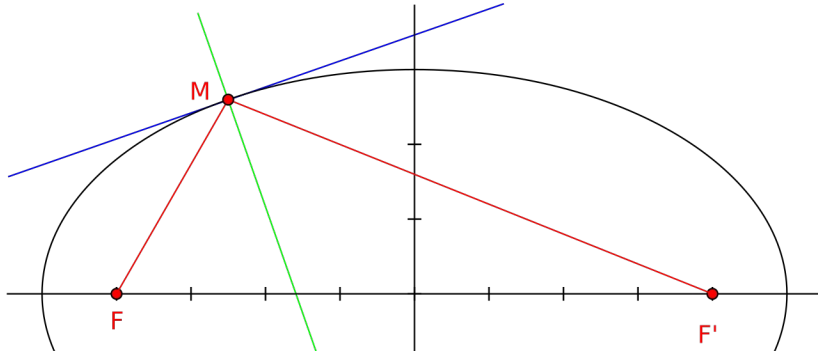
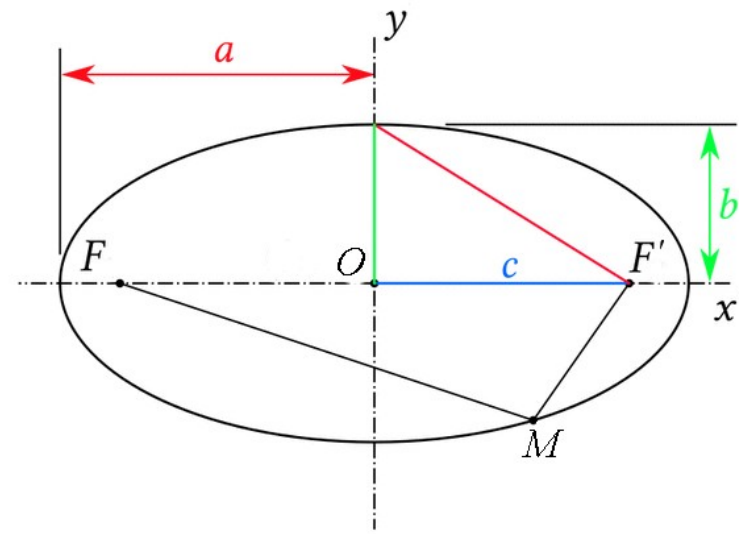
- Trajectoire « liée »
 - $E_{\text{tot}} < 0$: la vitesse du corps ne lui permet pas de s'échapper
 - $e < 1$: **ellipse** (cercle pour $e = 0$)
 - Le corps « central » est sur un des **foyers**
- Vitesse nulle à l'infini
 - $E_{\text{tot}} = 0$
 - $e = 1$: **parabole**
- Trajectoire non liée
 - $E_{\text{tot}} > 0$: la vitesse du corps est suffisante pour échapper à l'attraction gravitationnelle
 - $e > 1$: **hyperbole**



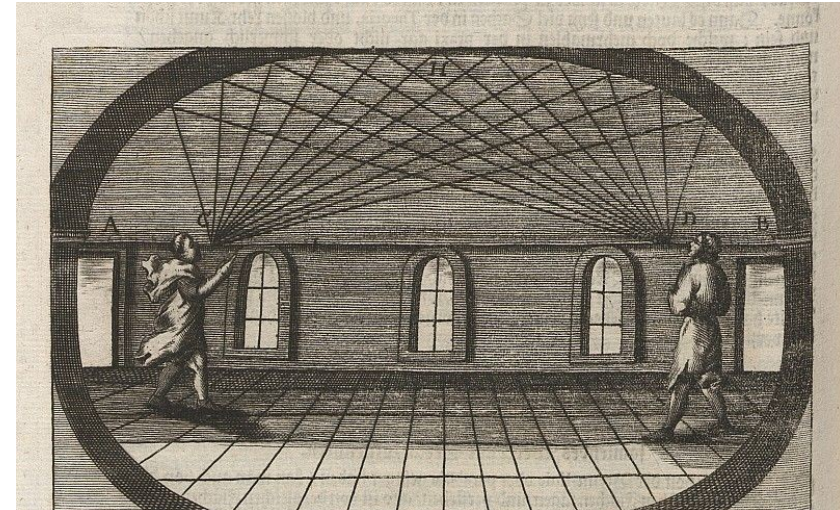
Propriétés d'une ellipse

Ensemble des points dont la **somme des distances à deux points fixes (« foyers »)** est **constante** → tracée avec une ficelle et 2 clous

$$MF + MF' = 2a \quad \text{Équation cartésienne : } \frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$$



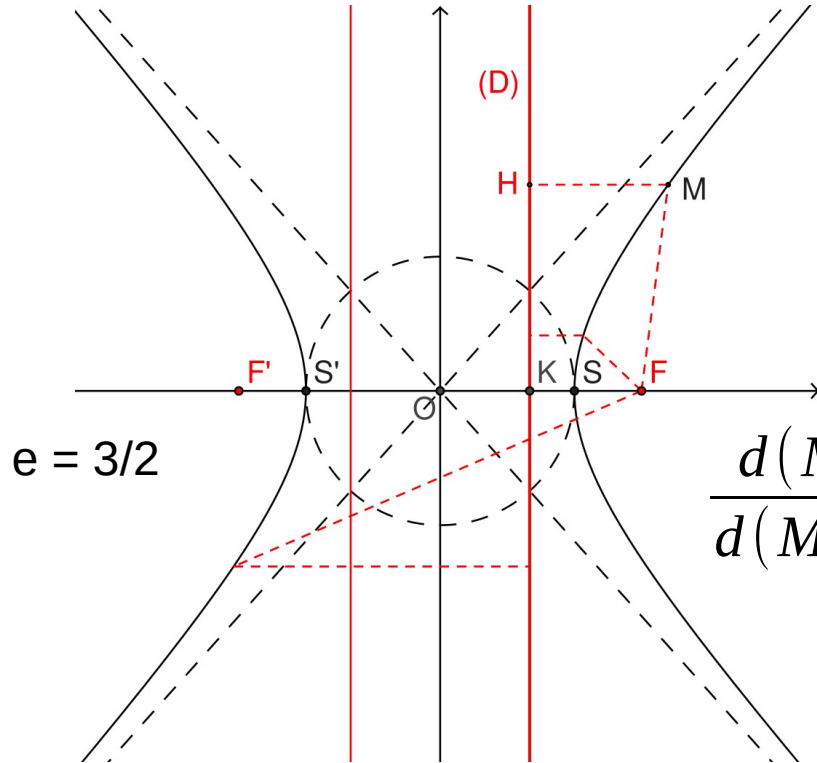
- La **bissectrice** du secteur angulaire formé par **les droites reliant un point de l'ellipse M aux foyers** est **perpendiculaire** à la **tangente** en ce point
→ un « rayon » émis à un foyer passe par l'autre foyer



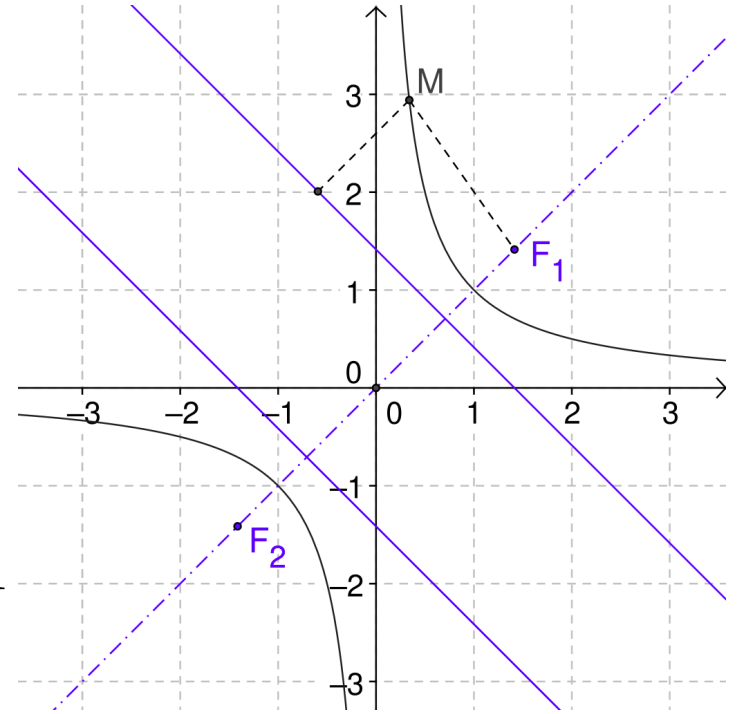
Chambre à écho, gravure de Friedrich Schultes

Propriété d'une hyperbole

- À part permettre de manger de l'hypersoupe...
- On considère une **droite (D)** = directrice et un **point F** n'appartenant pas à (D) = foyer



$$\frac{d(M, F)}{d(M, (D))} = \frac{MF}{MH} = e > 1$$

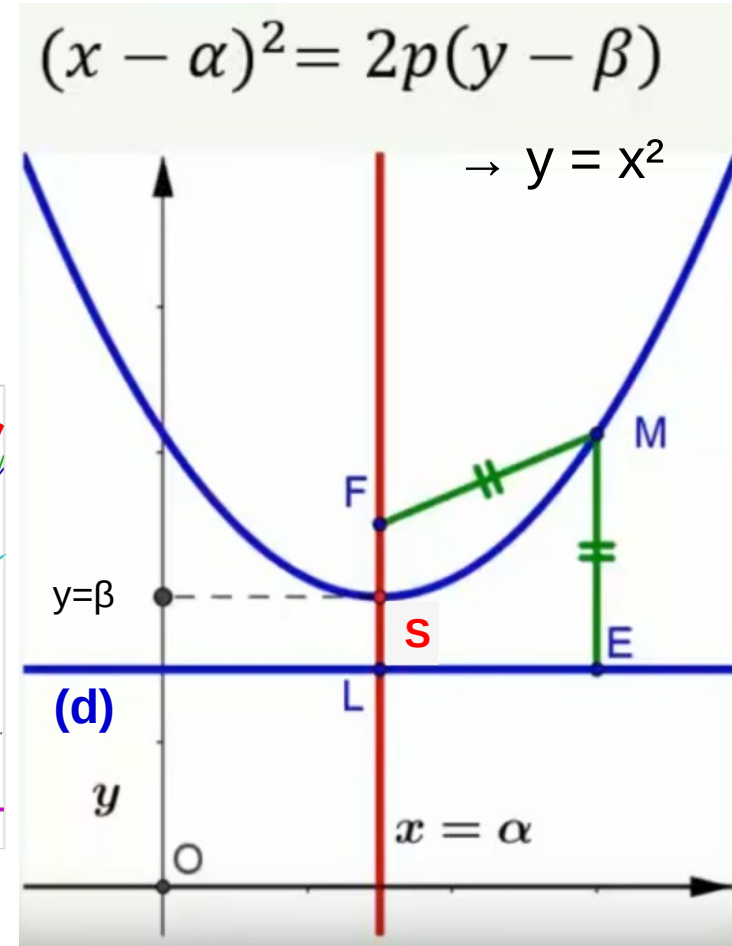
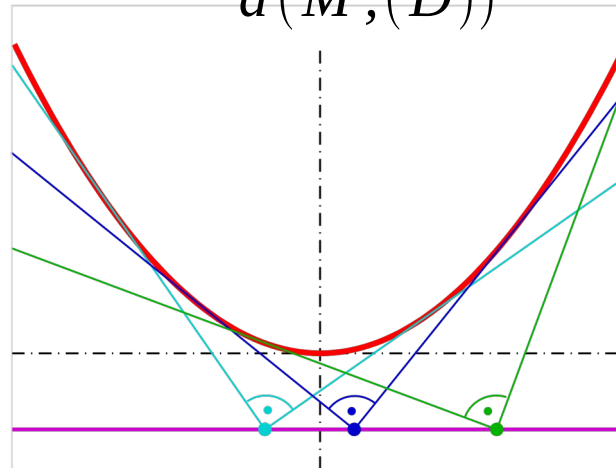
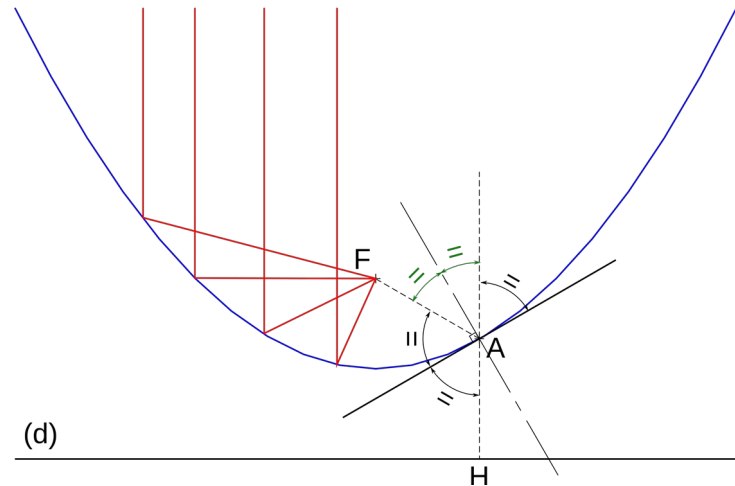


Fonction inverse : $y = 1 / x$ 6

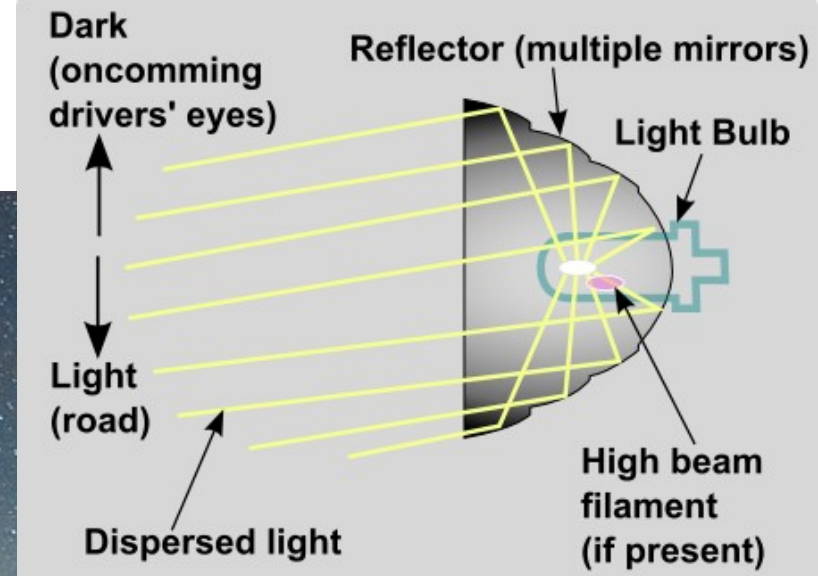
Propriétés d'une parabole

- Ensemble des points **équidistants** du foyer F et de la droite directrice (d)
- Propriétés :
 - les rayons arrivant le long de l'axe de symétrie sont réfléchis **en direction du foyer**
 - Parabole toujours vue sous **un angle droit** depuis sa droite directrice

$$\frac{d(M, F)}{d(M, (D))} = 1$$



Utilisation

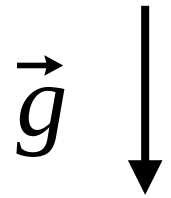


Antennes du réseau « ALMA » au Chili. Visibles, les petit et grand nuages de Magellan.

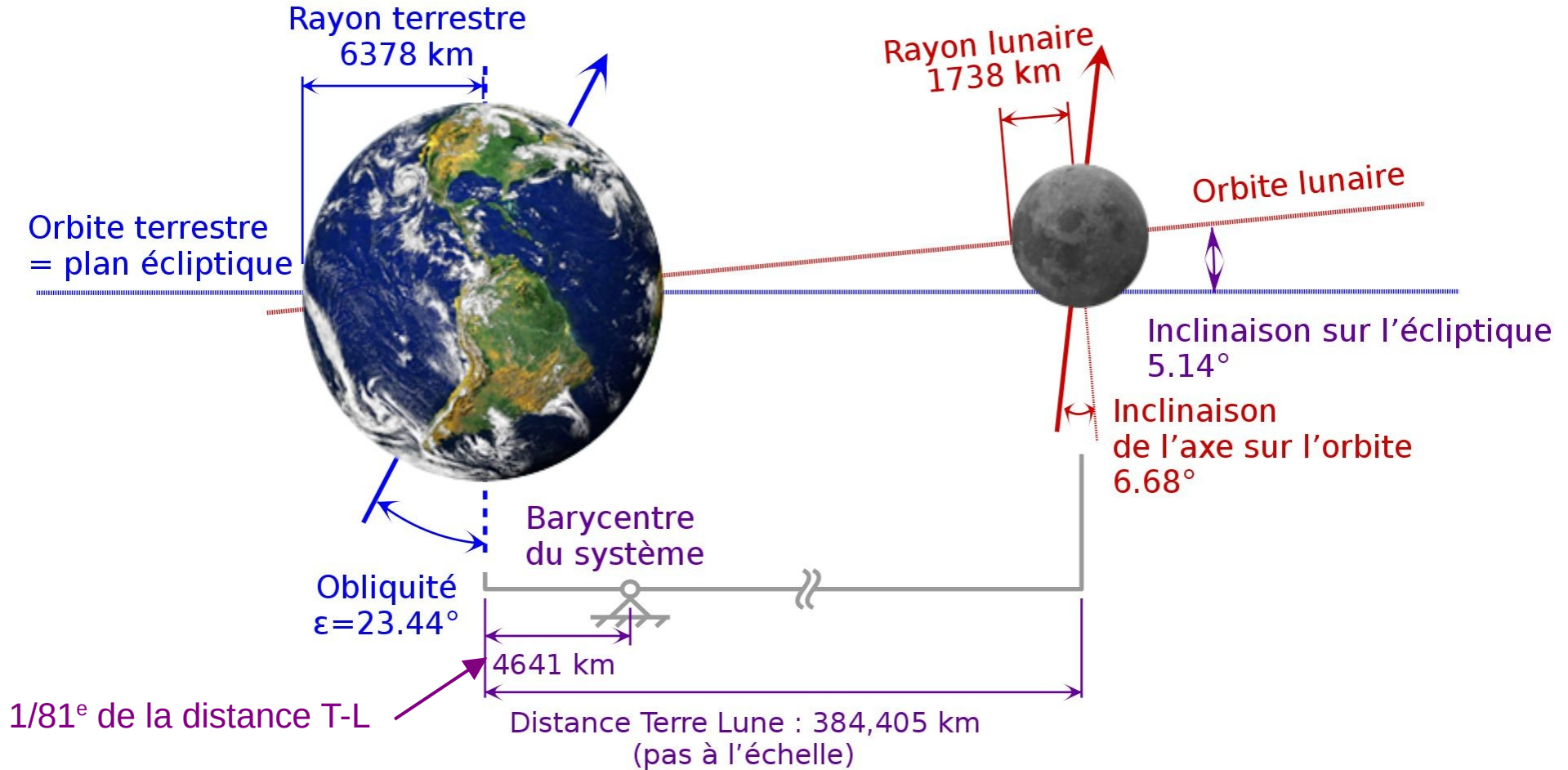


Balistique

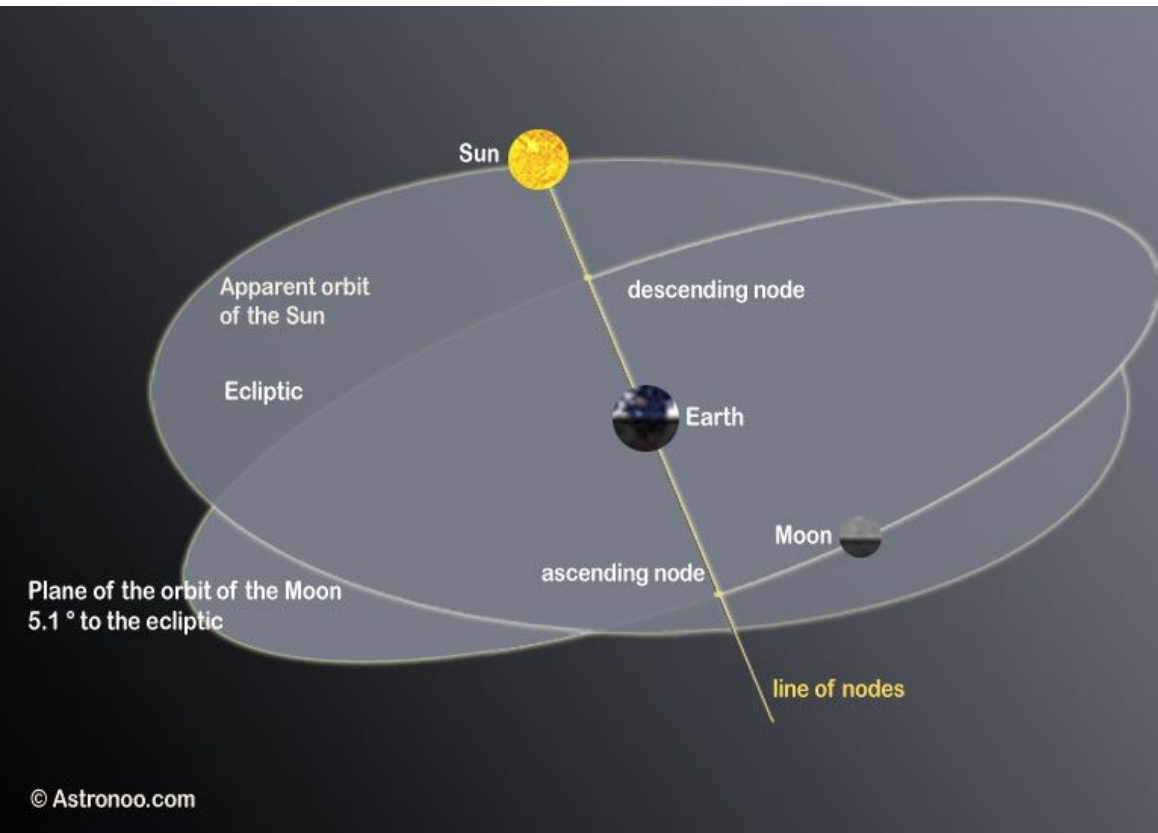
La trajectoire d'un objet **uniquement soumis à la gravité** (c'est-à-dire si on néglige les frottements) est une **parabole**



Orbite de la Lune (1)

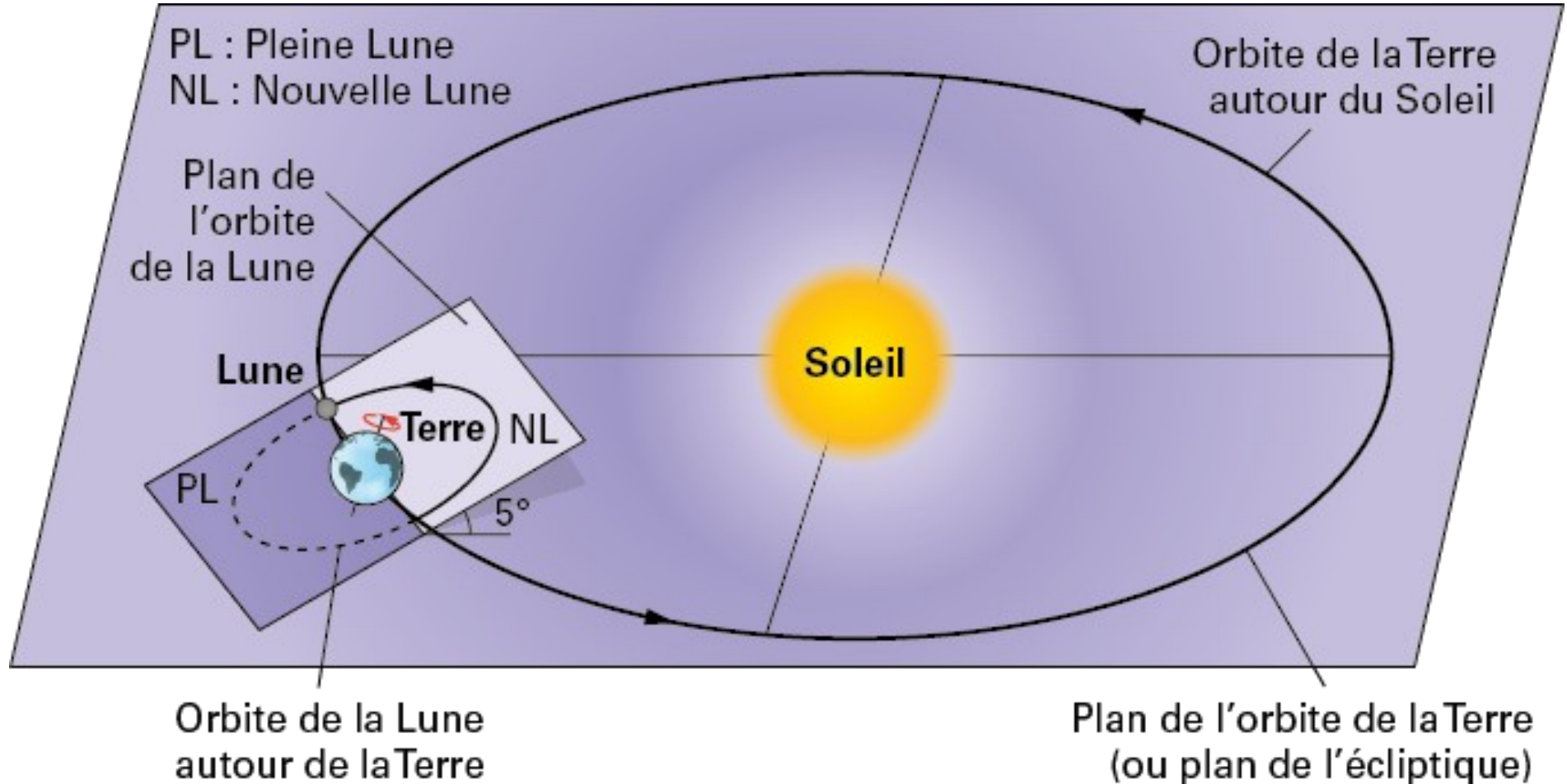


Orbite de la Lune (2)



- Plan de l'orbite incliné de $5,1^\circ$ par rapport au plan de l'écliptique
 - Points de rencontres = « **nœuds** »
- Période : 27,3 j
- Distance moyenne : 384 400 km = 1,27 sec. lum.
- $v = 3\,680 \text{ km/h} \approx 1 \text{ km/s}$
- Orbite **elliptique** d'excentricité moyenne 0,055
 - Entre 0,025 et 0,077 car
 - **perturbations gravitationnelles** des autres corps
 - **inhomogénéités** de la Lune et la Terre

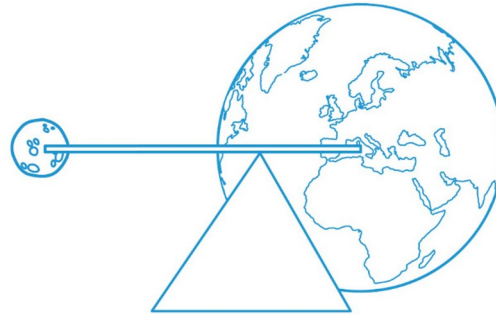
Vue d'ensemble



Le barycentre Terre-Lune

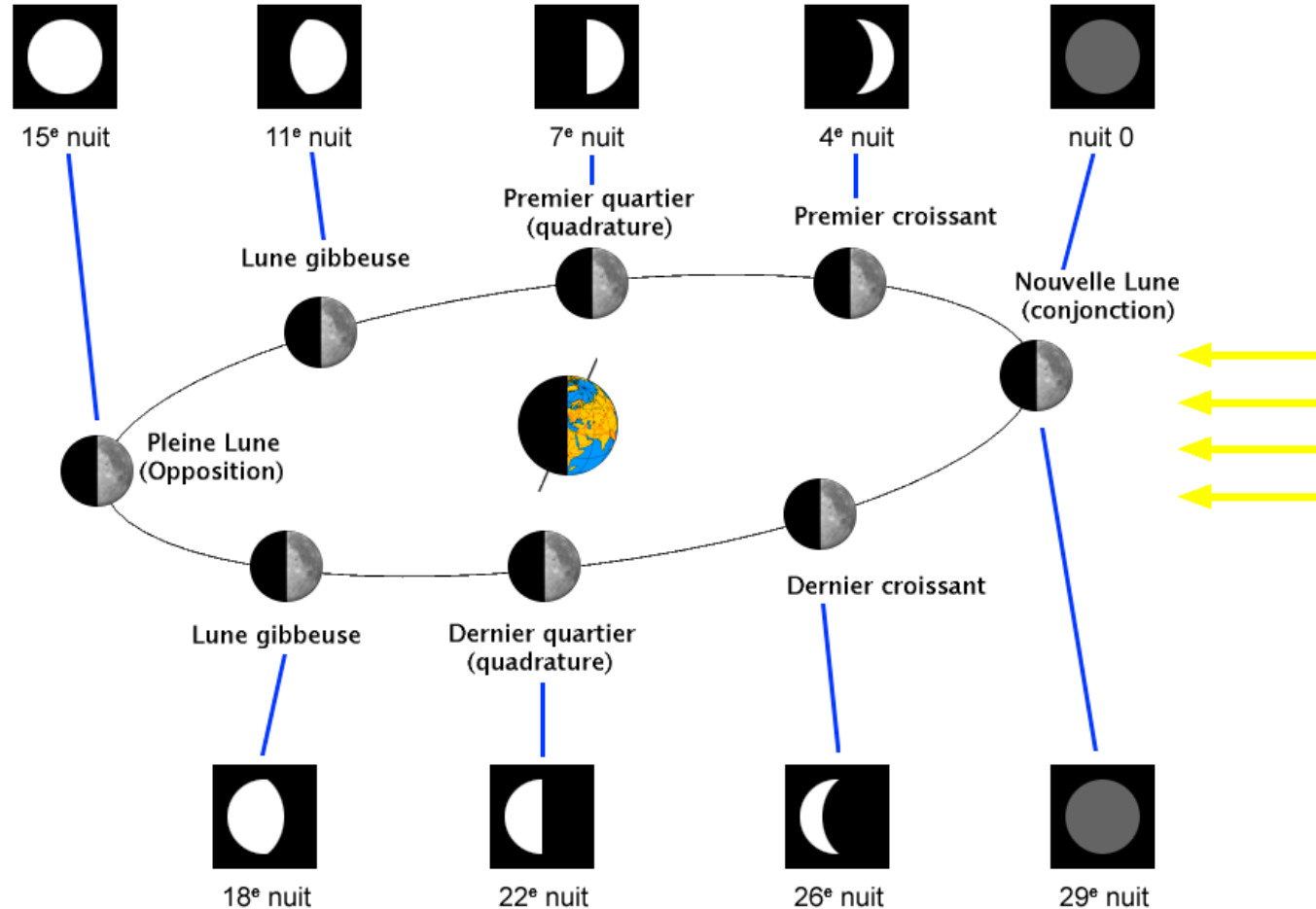
- En réalité, la Lune tourne **autour du barycentre T-L**
- Et la Terre aussi... : elle en fait le tour une fois par mois sidéral, à $1/81^e$ de la vitesse de la Lune ($v \approx 40 \text{ km/h}$), $a \approx 4700 \text{ km}$
- Mouvement superposé à la révolution autour du Soleil : $v \approx 30 \text{ km/s} \gg 40 \text{ km/h}$

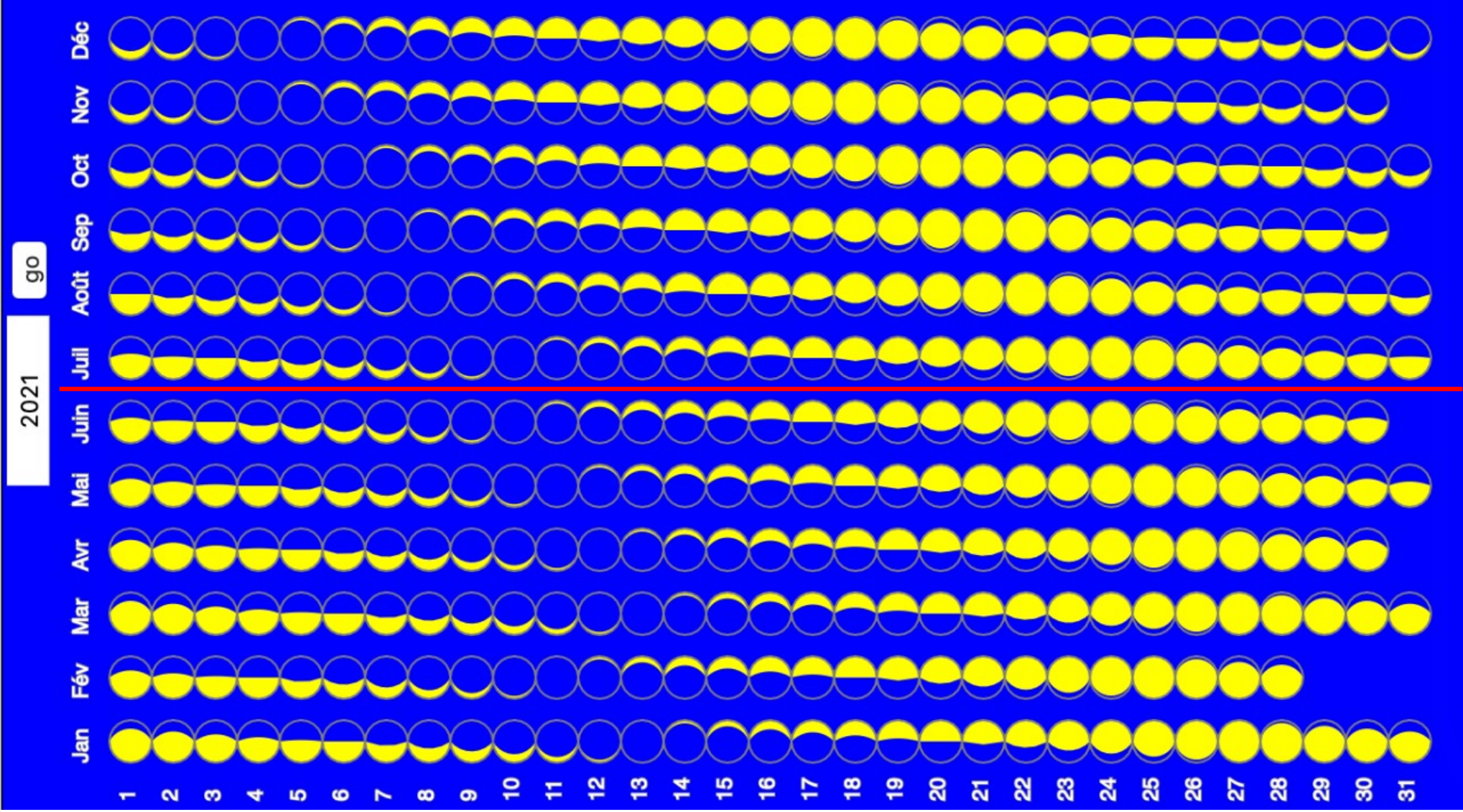
- La Terre représente $81/82 = 98,8 \%$ de la masse totale du système et en est donc quasiment au (bary)centre
- Le barycentre du système T-L se situe à 1700 km sous la surface de la Terre



Les phases de la Lune

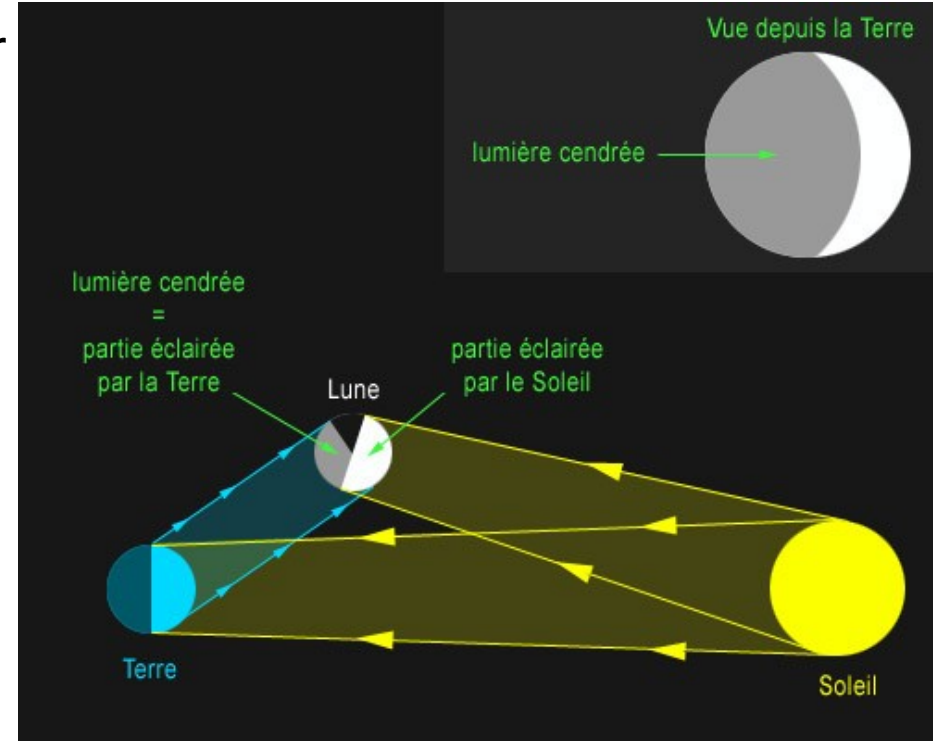
- **Syzygie** = alignement de trois corps célestes (ex : Lune, Terre et Soleil).
- Au sens strict, seules les **éclipses** sont des **syzygies** (alignements parfaits)
- Par extension, on nomme également syzygies les cas où Lune, Terre et Soleil sont presque alignés.





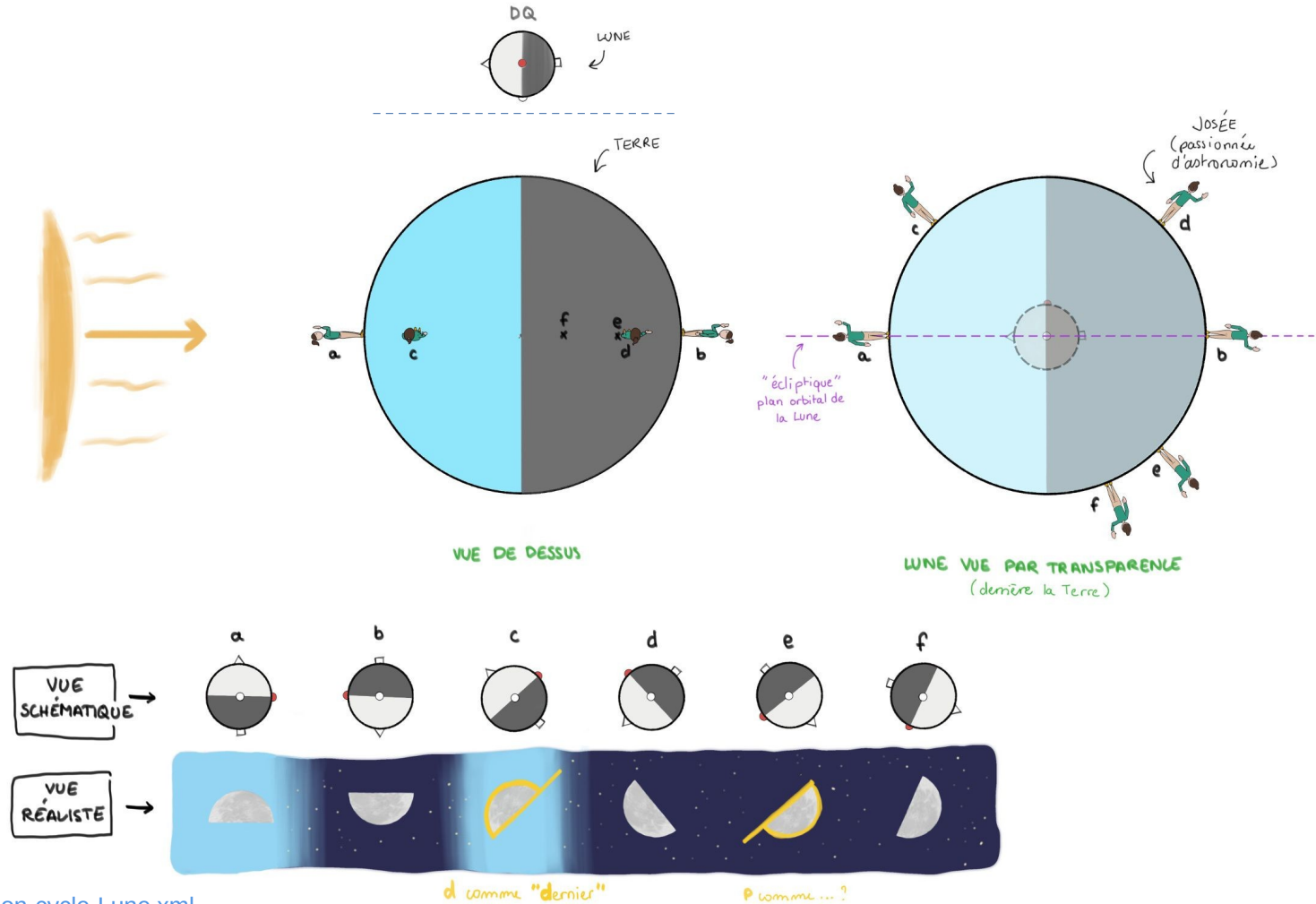
- Phénomène visible dans les jours qui suivent/précèdent la Nouvelle Lune :
 - Présence d'un croissant de Lune
 - Reste de la Lune visible car éclairé par la **lumière réfléchiée par la Terre** (« **cendrée** ») et car croissant pas très lumineux = « **clair de Terre** »

Lune cendrée



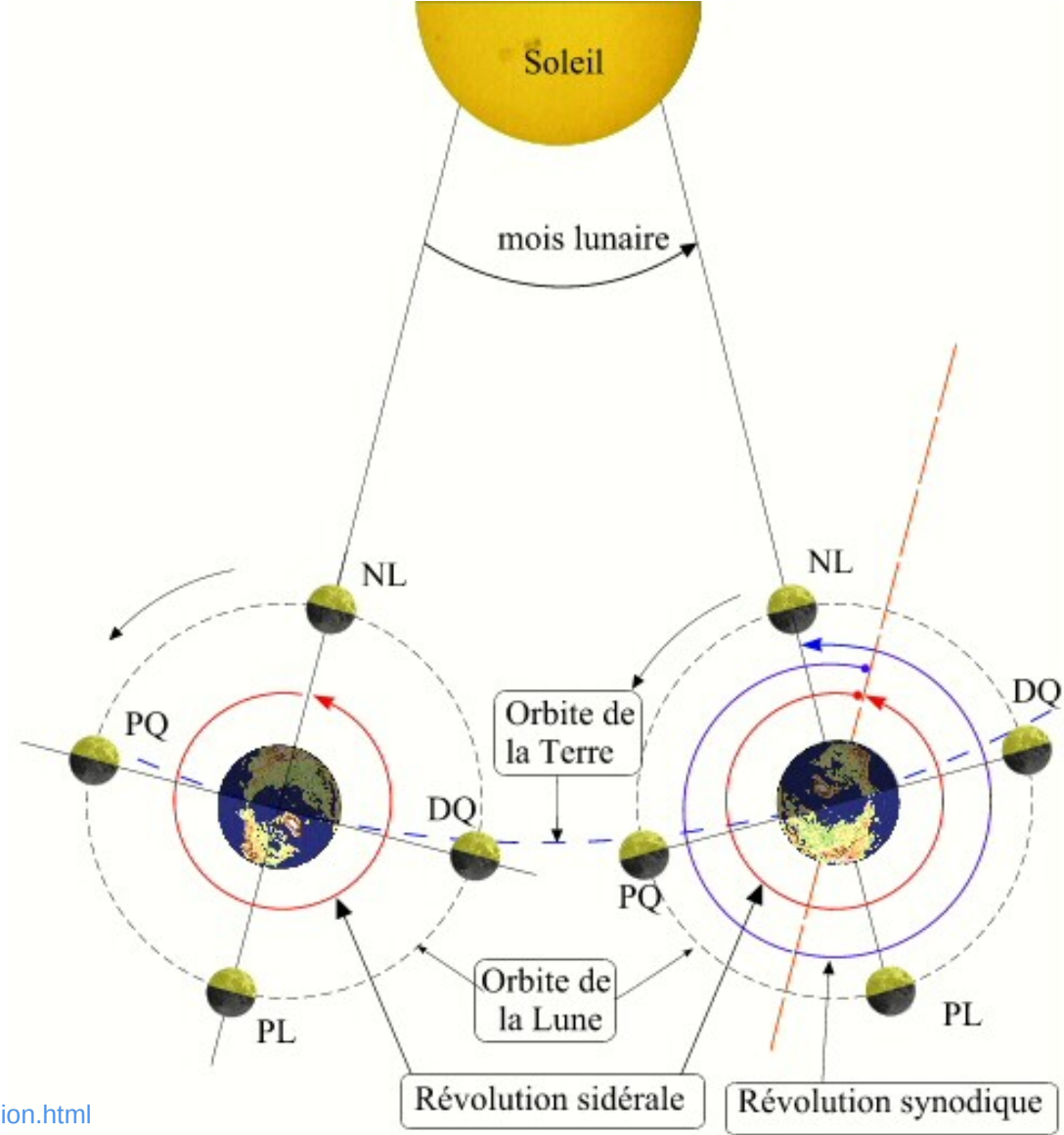
Vision terrestre de la Lune

L'angle sous lequel on voit la Lune, et donc la **forme** qu'elle prend dans le ciel, dépend de notre position sur la Terre (ronde)



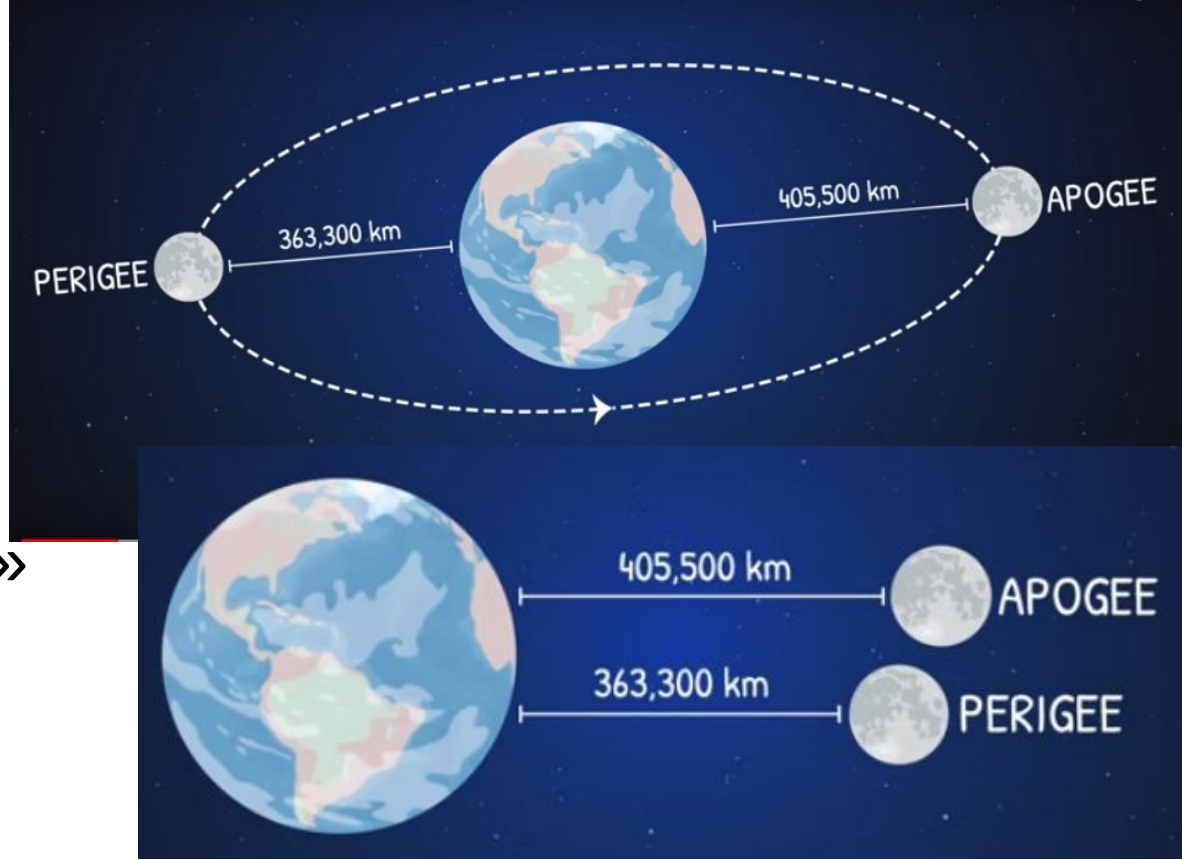
Mois sidéral et mois synodique

- **Mois sidéral** = temps mis par la Lune pour faire une révolution autour du centre de la Terre = retrouver la même position p.r. à des étoiles fixes
- **Mois synodique** = intervalle entre deux nouvelles lunes consécutives
- **Révolution de la Terre** autour du Soleil => durées différentes (27,3 j et 29,5 j)



Apogée et périgée

- Excentricité non nulle de l'orbite de la Lune
→ ellipse → **variation de la distance Terre-Lune**
→ « **apogée** » et « **périgée** »



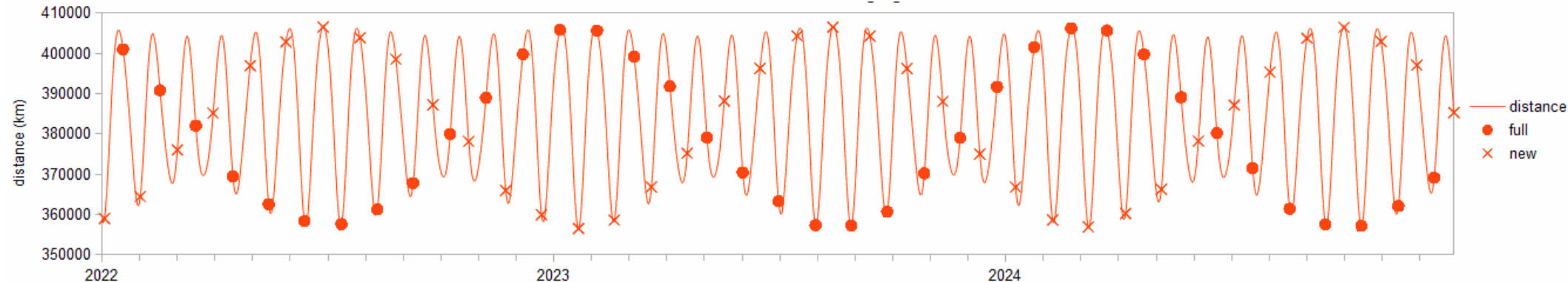
- La taille apparente de la Lune varie → « **super lune** » (= pleine lune pendant le périgée)

Super lunes

- Composition entre la **phase lunaire** et la **révolution de la Lune autour de la Terre**
 - Les super lunes sont les points marqués le plus près du bas du graphique

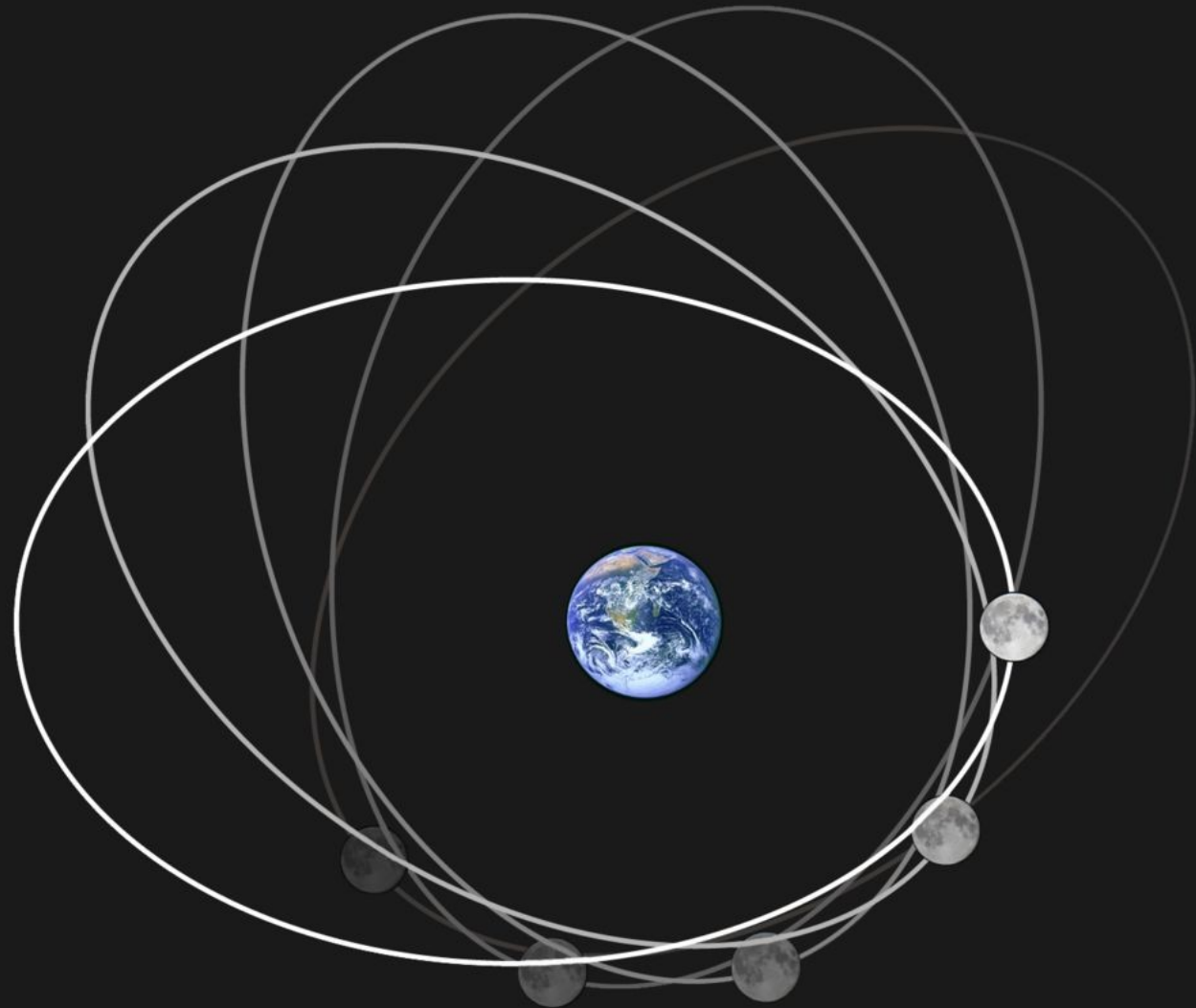


« Super lune » du 19 mars 2011 (à droite), comparée à une lune plus moyenne du 20 décembre 2010 (à gauche), vue de la Terre.



Précession du péricée

- L'axe de l'orbite change avec le temps = « **précession** »
- La **ligne des apsides** (péricée-apogée) tourne dans le même sens que la Lune = **mouvement direct**
- Causes : effets relativistes, moments quadrupolaires (=écart / sym. sphérique), marées, autres planètes
- Période $T = 8,85$ ans



Mois lunaires

- Mois sidéral :

- Temps mis par la Lune pour effectuer une **révolution complète** (dans un référentiel fixe) = temps que met la Lune pour **retrouver la même position** (vue de la Terre) par rapport aux étoiles sur la sphère céleste
- De même que jour sidéral = 23 h 56 min 4 s

- Mois synodique (« lunaison ») :

- **intervalle entre 2 nouvelles lunes consécutives**
- Plus long qu'un mois sidéral, car système Terre-Lune en orbite autour du Soleil : il faut 2,2 jours de plus pour que la Lune retrouve sa position **apparente** par rapport au Soleil

- Mois anomalistique :

- **Intervalle de temps entre deux périgées de la Lune**, c'est-à-dire le point de son orbite le plus proche de la Terre (car précession du périgée)

Mois	
	Jours
Mois draconitique	27,212 20
Mois tropique	27,321 58
Mois sidéral	27,321 66
Mois anomalistique	27,554 64
Mois synodique	29,530 588

- Mois tropique

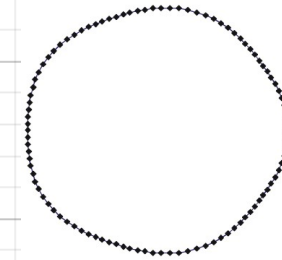
- Temps mis par la Lune pour retrouver la **même longitude** écliptique
- Plus court que mois sidéral en raison de la **précession des équinoxes** de la Terre

- Mois draconitique

- Période entre **deux passages de la Lune au même nœud** de son orbite
- Plus court que mois sidéral à cause de la **précession des nœuds lunaires**

Trajectoire « **héliocentrique** »

- = Trajectoire de la Lune autour du Soleil
- = superposition de la trajectoire Terre/Soleil et Lune/Terre :
 - $T = 365,25 \text{ j}$, $R = 150 \text{ M km}$
 - $T = 27,3 \text{ j}$, $r = 384\,000 \text{ km}$
- Cas très particulier de la Lune : trajectoire en tout point **concave**, sans **points d'inflexion** (67) ou de **rebroussement** (68)



Terre
Lune

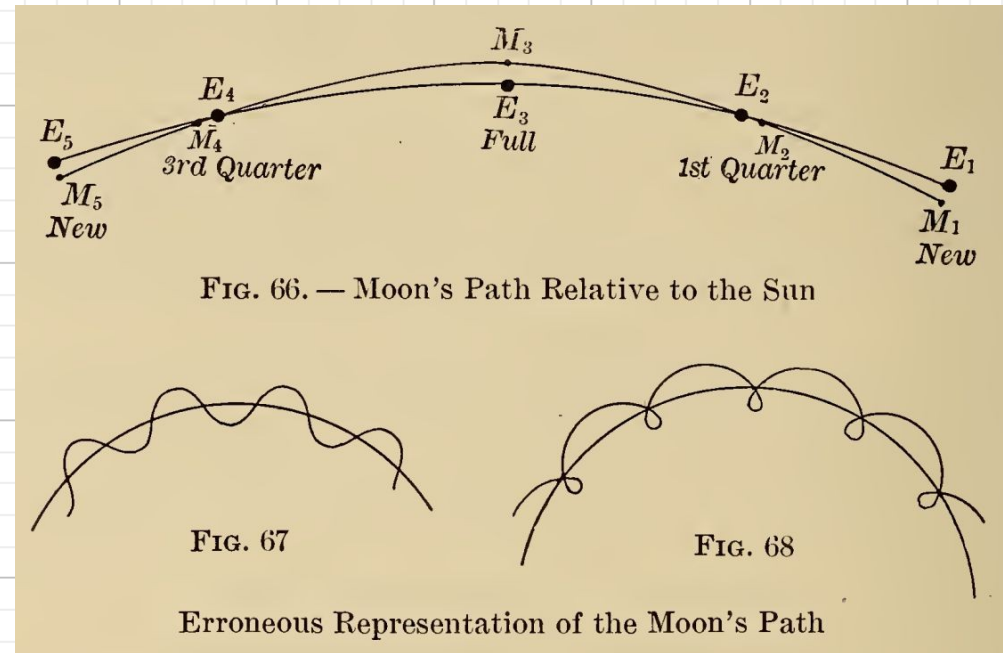


FIG. 66. — Moon's Path Relative to the Sun

FIG. 67

FIG. 68

Erroneous Representation of the Moon's Path