



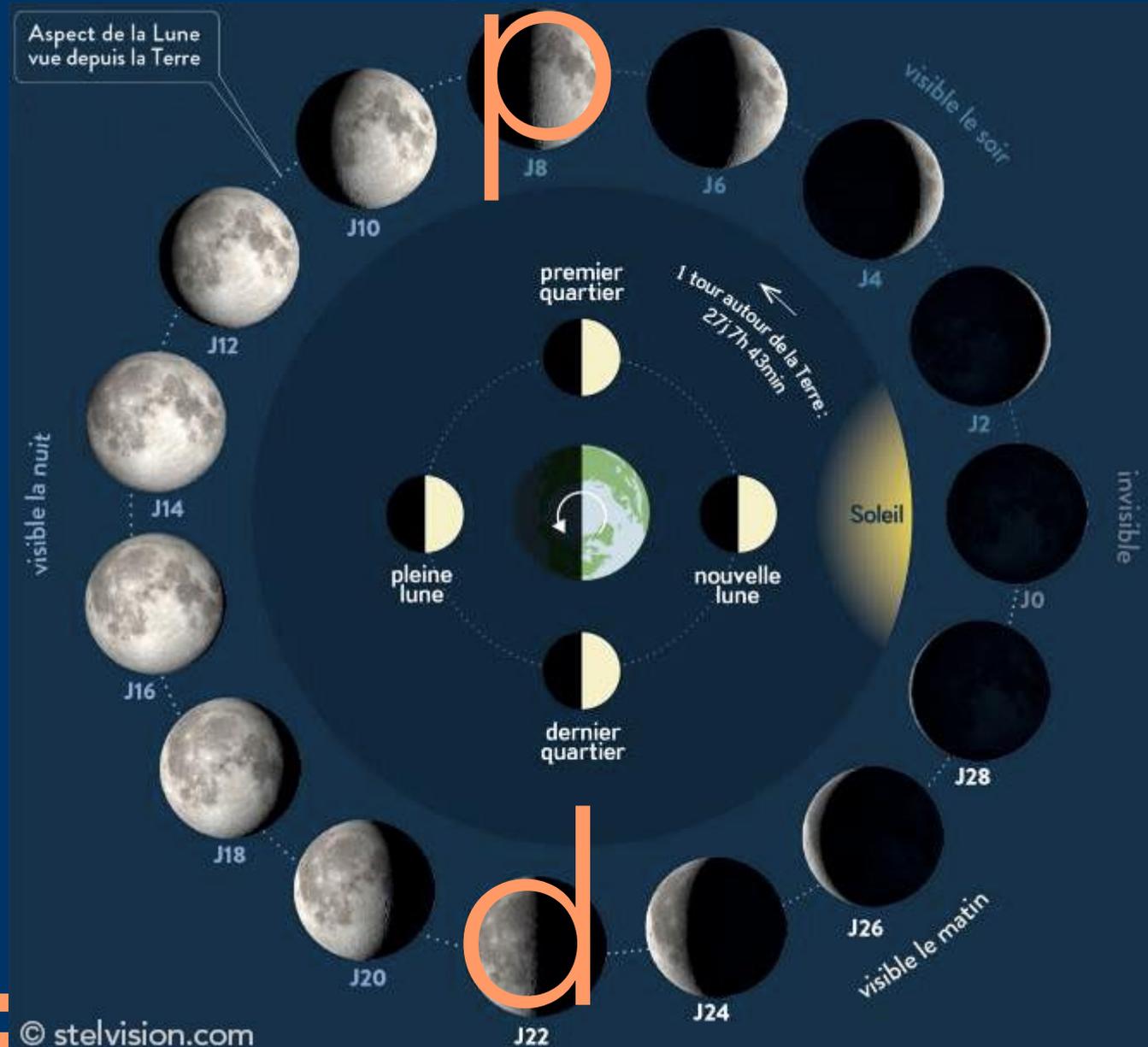
La Lune : une simplicité apparente

Vue du côté pôle "Nord de la Terre.

Lune gibbeuse (gibbum : arrondie) croissante et décroissante de chaque côté de la pleine Lune.

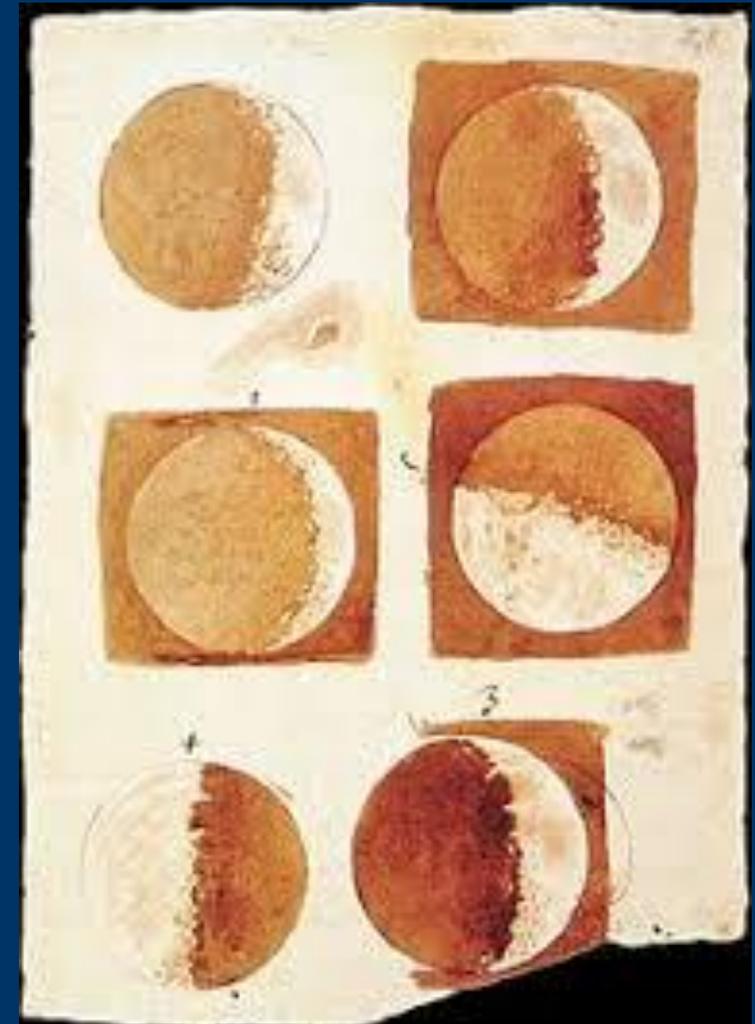
Elle se décale de jour en jour de 50minutes vers l'Est.

La Lune décrit son orbite en 27,3 jours mais pour l'observateur situé sur la Terre, l'intervalle de temps entre deux phases semblables : le mois lunaire est égal à 30 jours.





L'anglais Thomas Harriot 1560-1621 est reconnu aujourd'hui comme le premier astronome à avoir cartographié en juillet 1609



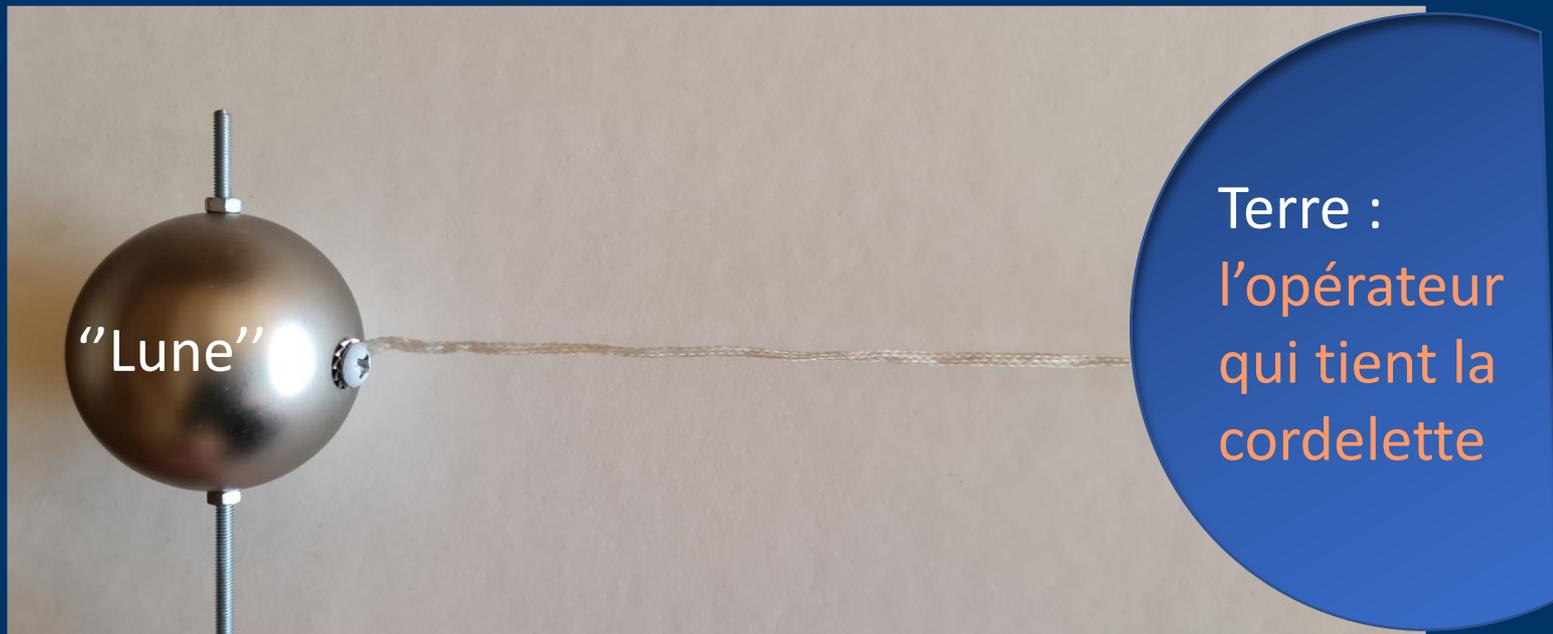
Phases de la Lune dessinées par Galilée en 1616

La tentation est grande d'en déduire que la Lune tourne autour de la Terre sans tourner sur elle-même ?

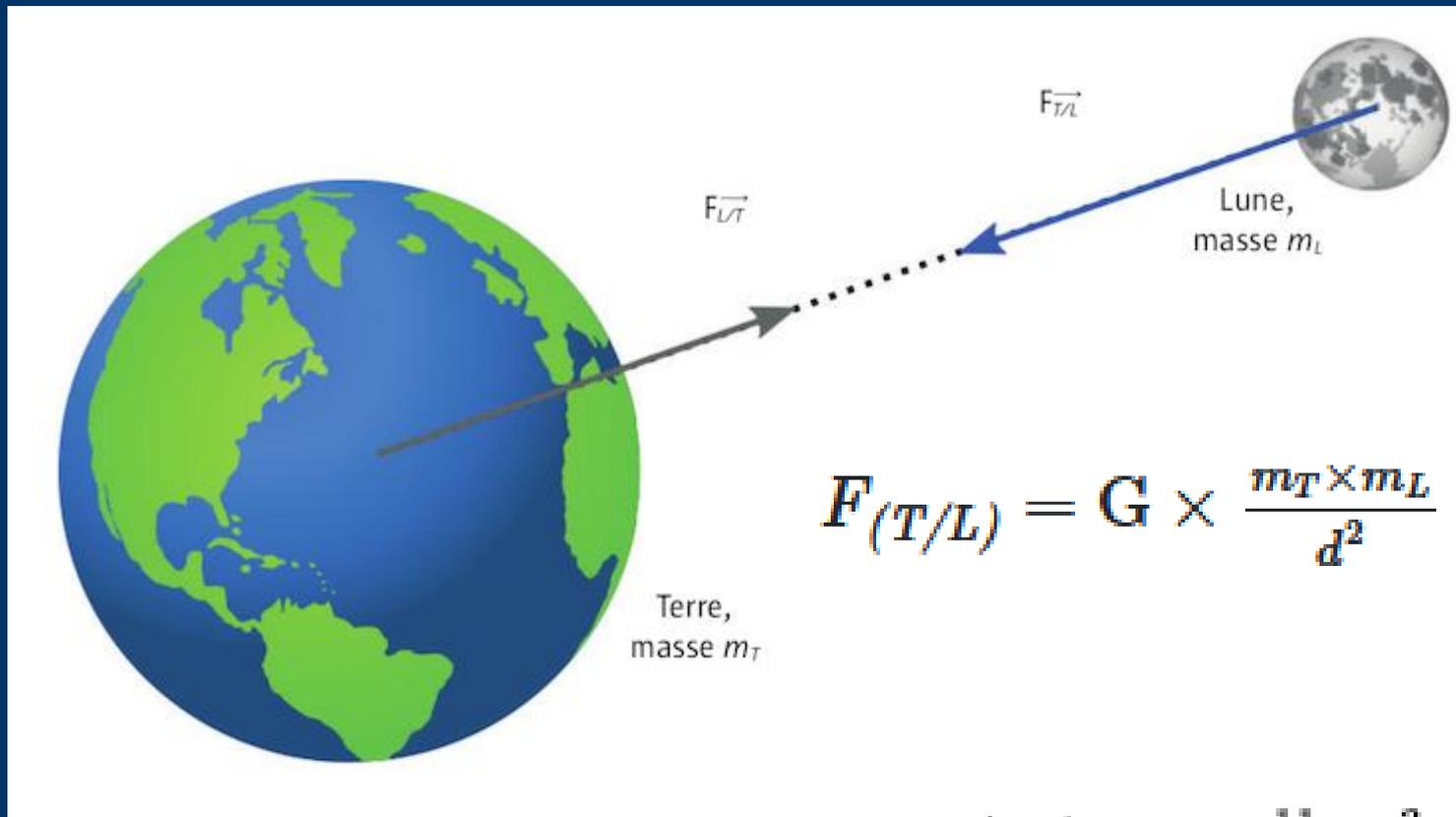
Tentation géocentrique bien humaine : notre Terre est le centre de tout...

Petite simulation avec une Lune de 5 cm de diamètre, mise en rotation au bout d'une cordelette attachée au milieu d'une face qui est de ce fait orientée vers l'opérateur.

Arrêt de la rotation, par exemple, aux 4 points cardinaux : force est de constater que la « Lune » tourne autour de son axe vertical - sinon on verrait défiler sa surface...



La cordelette simule l'attraction gravitationnelle et empêche la force centrifuge de projeter la boule, ce qui arrive si l'opérateur lâche le lien.

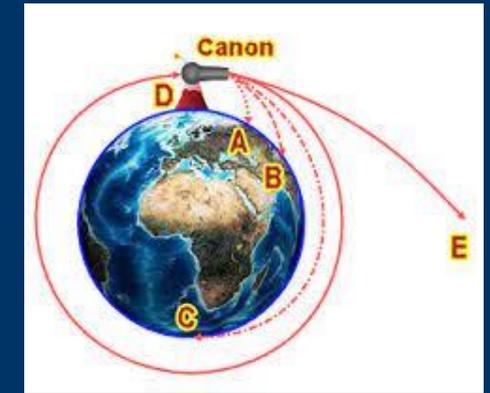
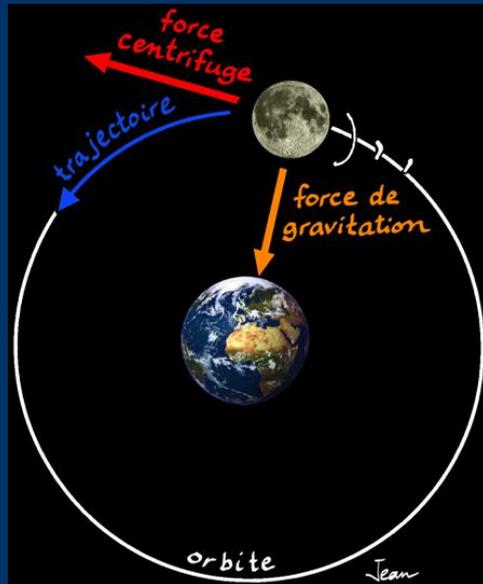


G constante gravitationnelle

$$G = 6,674\,30(15) \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$$

La force d'attraction Terre (masse = $6 \cdot 10^{24}$ kg) - Lune (masse = $7,3 \cdot 10^{22}$ kg) est considérable : $2 \cdot 10^{20}$ N – capable de faire accélérer une masse de $2 \cdot 10^{20}$ kg à 1 m/s soit $2 \cdot 10^{14}$ tonnes à 3600 km/h

Puisque la gravité existe : pourquoi la Lune ne tombe-t-elle pas sur la Terre ? Il y a équilibre avec la force centrifuge. Canon de Newton.



vitesse de satellisation minimale autour de la Terre
environ 28 000 km/h - tour de la Terre 90 min

Rotation de la Lune en 27,3 jours
Vitesse : 3 700 km/h

La théorie newtonienne est bien utile, mais, problème tous les corps tombent de la même façon dans un champ de gravitation, quelles que soient leurs masses. Albert Einstein prend en compte de cette anomalie dans la Théorie de la relativité générale qui fait intervenir la courbure de l'espace-temps. Actuellement, la physique quantique propose une particule le graviton comme responsable de la gravitation.



Barycentre **ou** centre de gravité :

le point d'application du poids.

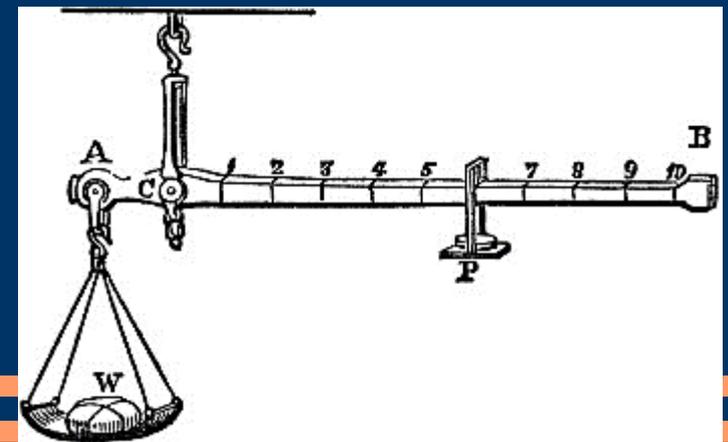
la barymétrie est la mesure de la pesanteur

la barysphère est le noyau central de la Terre en nickel-fer



Pour que la balance soit en équilibre,
il faut que les moments $m_1 \cdot OA \cdot g$ et $m_2 \cdot OB \cdot g$ soient égaux
Si la masse m_1 est 4 fois plus importante que la masse m_2 ,
il faudra que la longueur OA soit 4 fois plus petite que la longueur OB .

$$m_1 \overrightarrow{OA} + m_2 \overrightarrow{OB} = \overrightarrow{0}$$



Car la masse de la Terre égale
81 fois la masse de la Lune,
le barycentre est situé à 1 700 km
sous la surface terrestre.



Ainsi :

La Lune et la Terre tournent autour de leur centre de gravité commun.

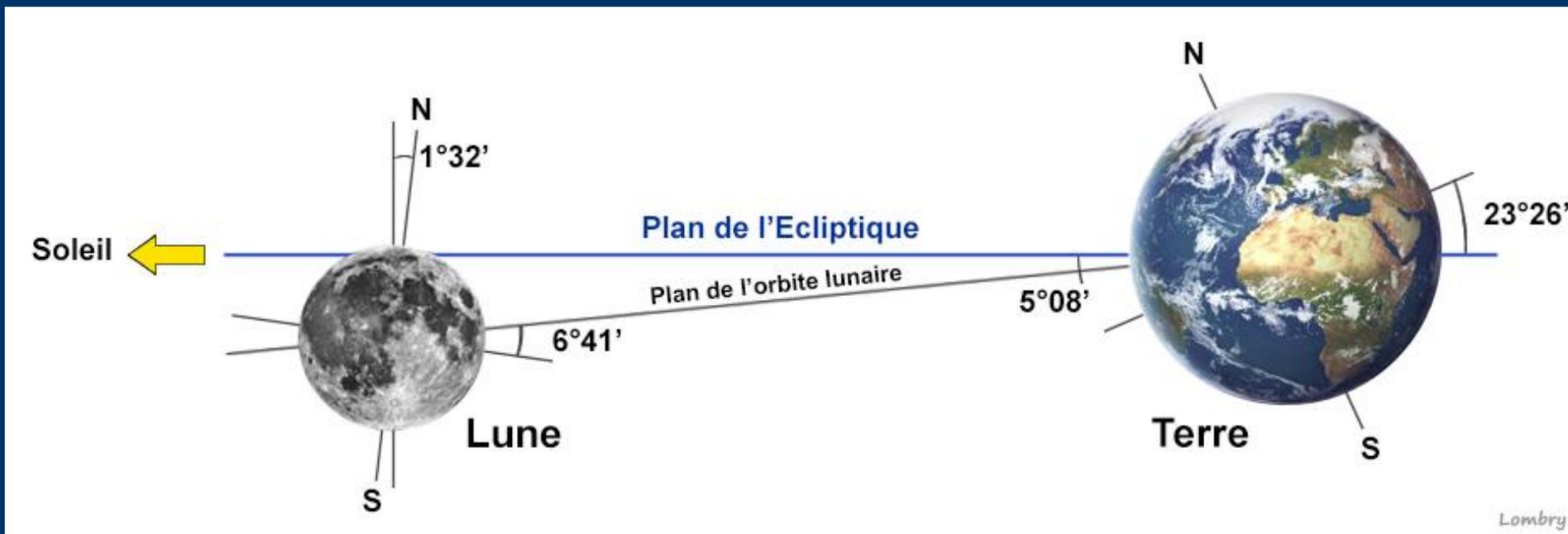
La Lune est très proche de la terre 380 000 km : 30 fois le diamètre terrestre.
A une échelle de 1 milliardième, cette distance correspond à 38 cm,
Alorsqu'à la même échelle, le Soleil est à 150 m.



Rotation dans le sens inverse des aiguilles d'une montre, comme toutes les planètes du système solaire.

Propriétés de la rotation lunaire :

*elle s'effectue selon un axe presque perpendiculaire au plan de l'orbite,
elle est de même sens et exactement de même période que le mouvement de
révolution, soit 27,3 jours...*

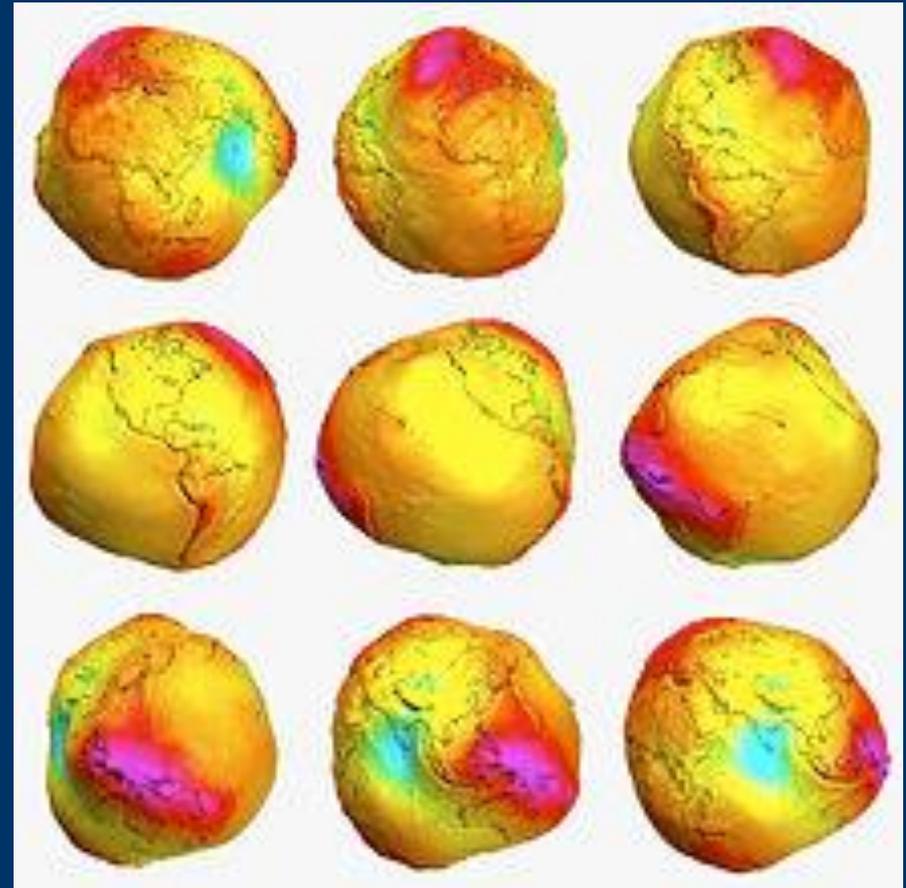


Cette égalité des périodes de rotation et de révolution n'est pas le fait du hasard,
On la retrouve pour de nombreuses lunes du système solaire comme Charon-Pluton.

Les planètes et leurs gros satellites ne peuvent pas être considérés comme ponctuels.

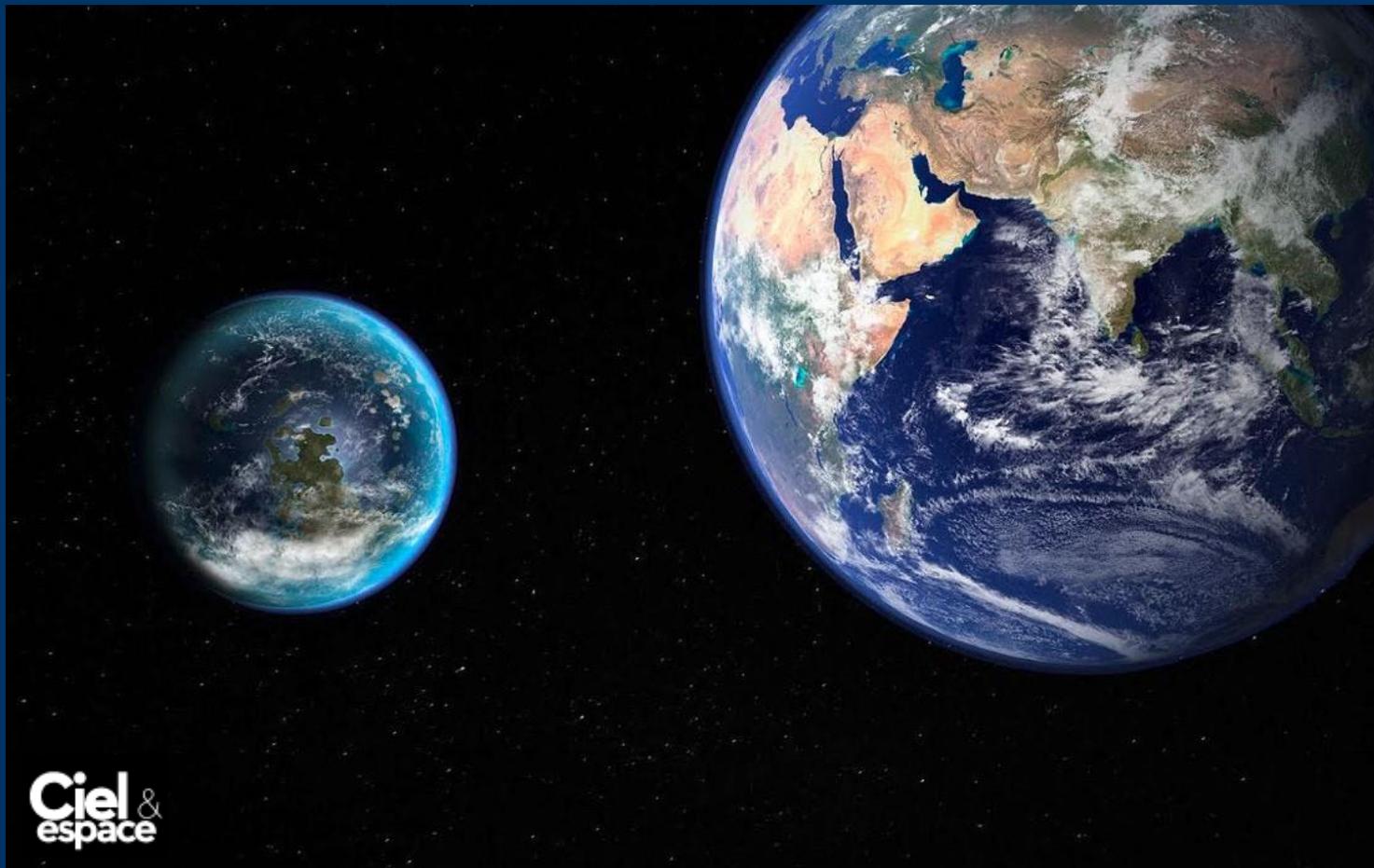
Les différents champs gravitationnels orientent la Terre et la Lune jusqu'à un équilibre rotationnel.

Variations du champ de gravitation terrestre mesurées par les satellites GRACE (*Gravity Recovery And Climate Experiment*) 2002 et 2018



Les forces de marées créent un synchronisme gravitationnel : ainsi la Lune présente toujours la même face à la Terre.

On a avancé que ces forces de marée furent **extrêmement** puissantes à une époque proche de la formation de la Terre et de la Lune (4 milliards d'années), alors que la Lune était alors, comme la Terre, couverte d'eau.

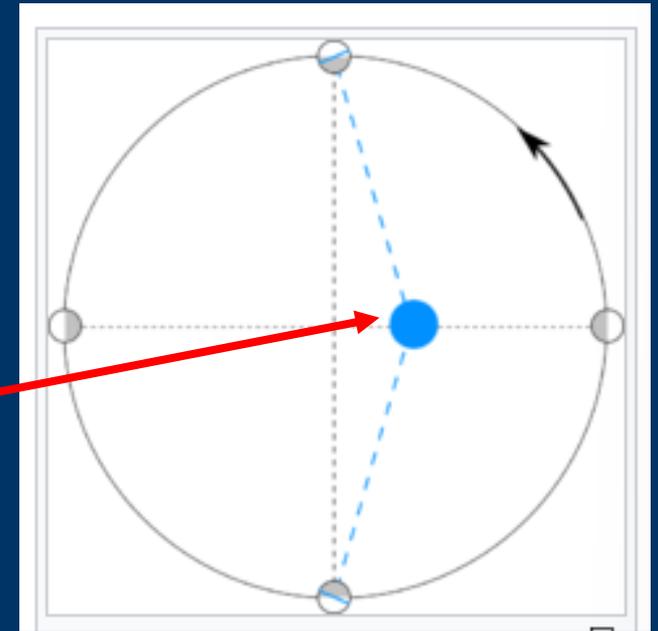


Si à un instant donné, on peut 50% de la surface lunaire, en échelonnant les observations, il est possible d'augmenter ce pourcentage jusqu'à 59% par les phénomènes de **libration**.

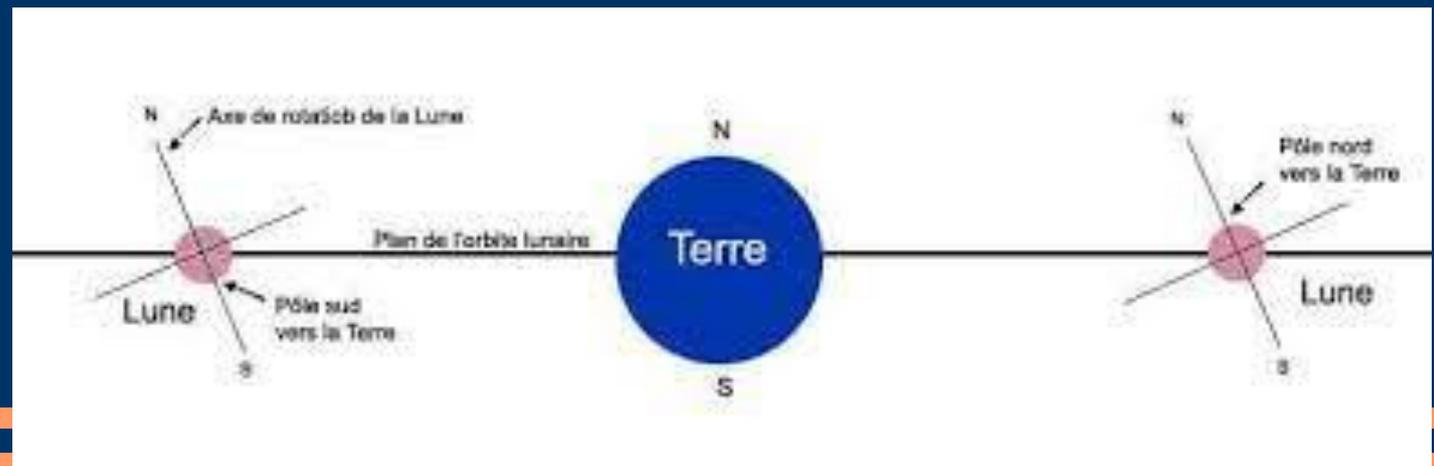
2 principales.

1 – La libration en longitude par excentricité de l'orbite lunaire autour de la Terre

Au premier quartier, la Lune laisse voir une mince bande supplémentaire de son bord Est (vu de la Terre). Bord Ouest au dernier quartier.

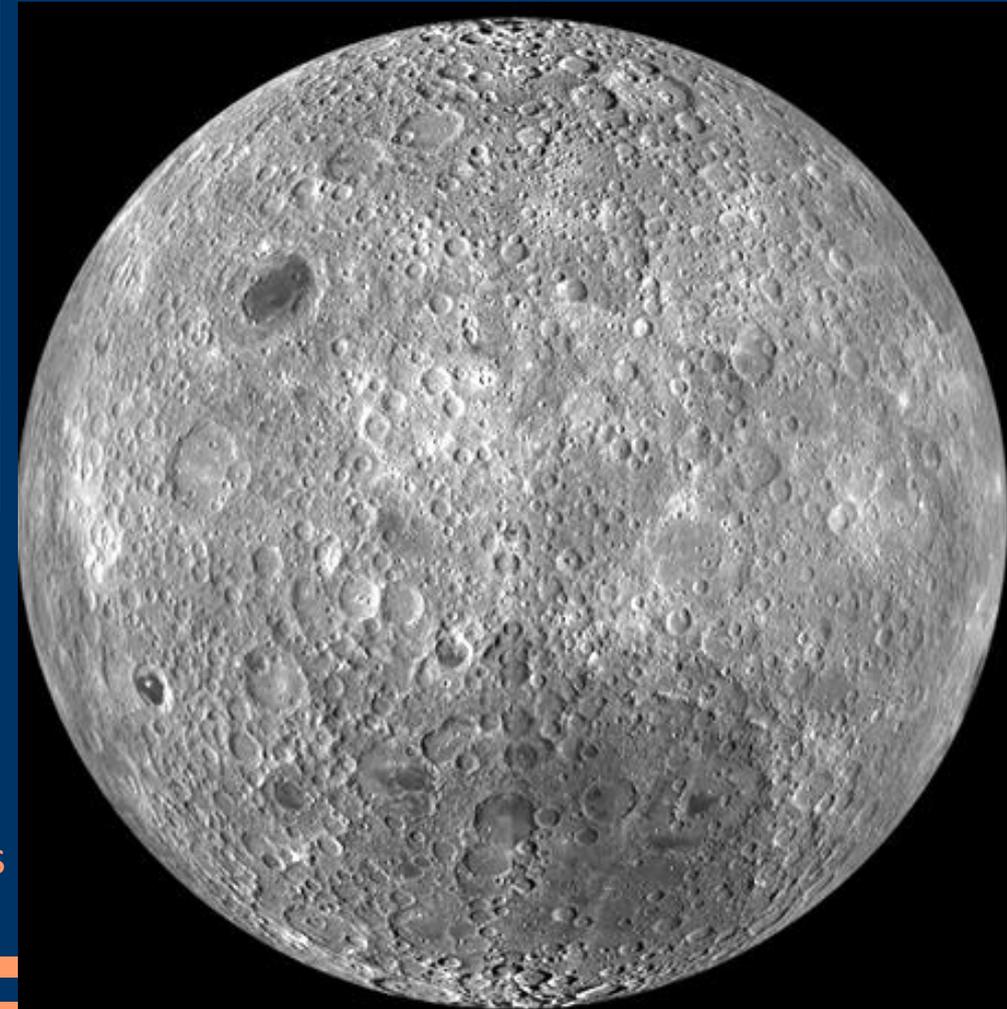


2 – La libration en latitude car l'axe de rotation de la Lune fait un angle de 5° avec son orbite, L'observateur peut voir alternativement au-delà des pôles.





Mais le synchronisme rotationnel n'explique pas la différence marquée D'aspect et de structure des 2 faces lunaires...

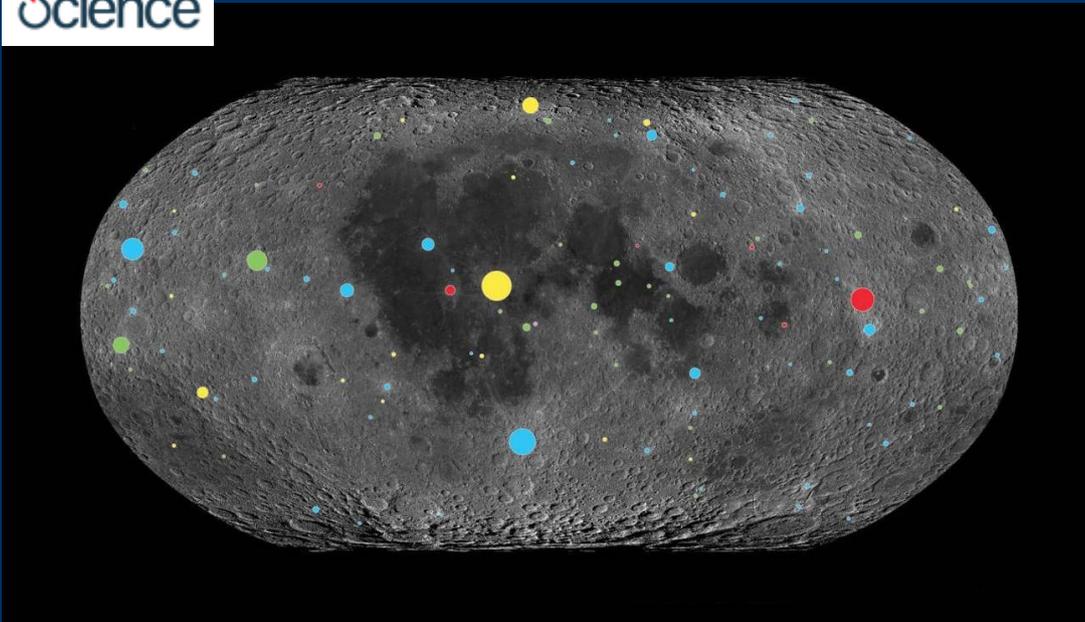


Les premiers Hommes **qui** ont pu observer directement la **face** cachée de la **Lune** sont les membres de l'équipage d'Apollo 8 (1968).

2 théories sont avancées :

1. Avant synchronisation : l'ensemble de la surface lunaire était exposée aux impacts de météorites de façon homogène. Après synchronisation, la face orientée vers la Terre se trouve protégée des astéroïdes. Les vieux et grands cratères de la face visible (le mers) subsistent, ceux de la face cachée ont disparu par le fort bombardement météoritique.
2. Un corps en orbite tend à synchroniser sa vitesse de rotation sur sa vitesse orbitale pour montrer sa face la plus sphérique ce qui expliquerait que le relief de la face cachée est beaucoup plus important que celui de sa face visible.

Pour la
Science

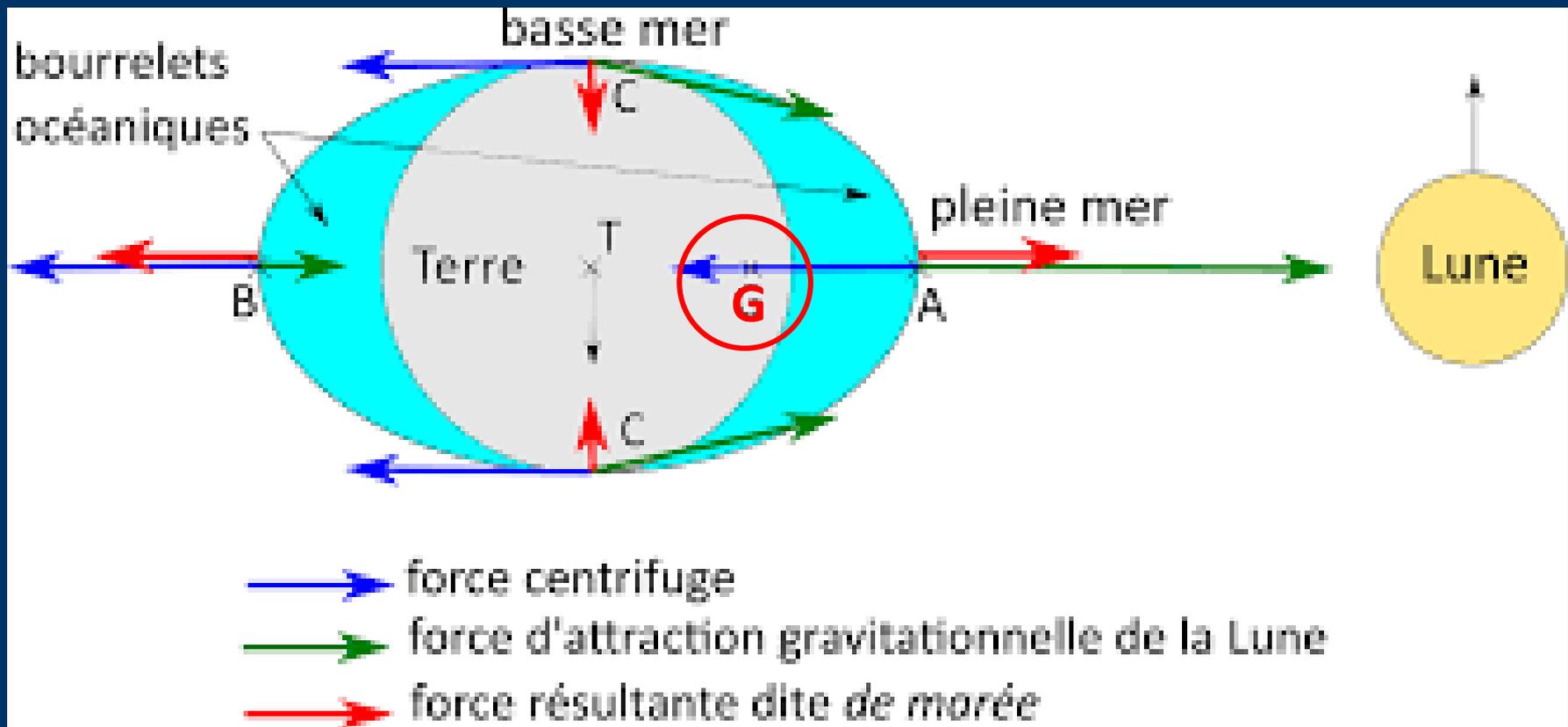


Les impacts de la Lune vieux de moins de un milliard d'années sont représentés en taille et en âge par des pastilles de couleur. Les bleus, les plus nombreux, ont moins de 290 millions d'années.

Nasa/LRO/USGS/Université de Toronto/S. Mazrouei et al.

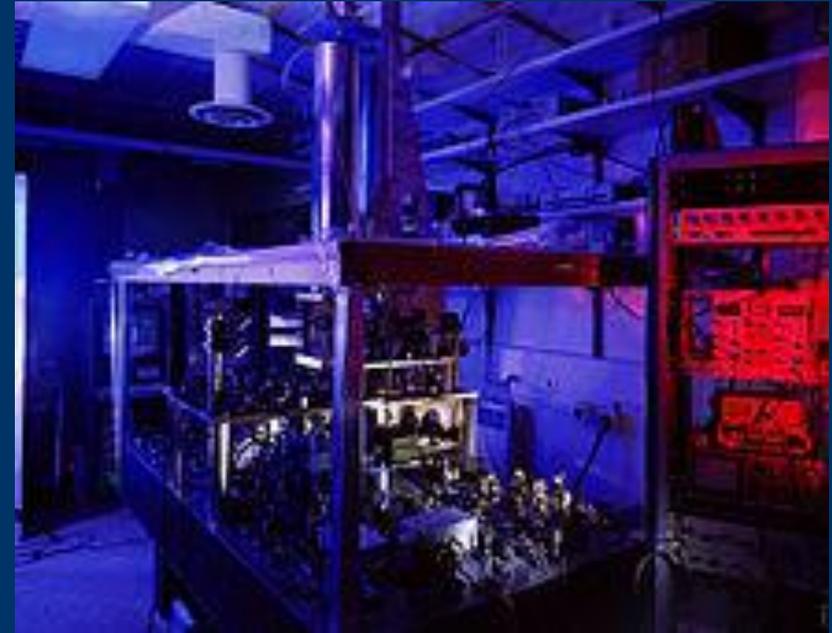


Conséquence de la position "intra-terrestre" du centre de gravité **G** : le bourrelet de marée s'exerce des deux côtés de la Terre.



Autres conséquences : la journée terrestre s'allonge

La conservation du moment cinétique conduit la rotation de la Terre à ralentir. Une journée terrestre s'allonge d'environ $23 \mu\text{s}$ par an.



Horloge atomique du NIST Colorado

et la Lune s'éloigne de la Terre...

La rotation de la Terre ralentit en raison des effets de marée causés par l'attraction lunaire. Mais le moment cinétique total du système Terre-Lune doit rester constant. La Lune s'éloigne de la Terre de $3,8 \text{ cm/an}$.

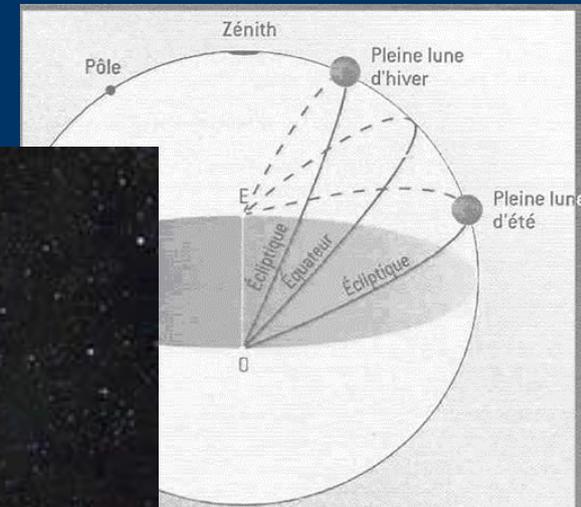
Observatoires permettant de mesurer la distance Terre-Lune au moyen de faisceaux lasers



Observatoire géophysique et astronomique
Goddard capable de calculer avec précision la
distance Terre-Lune / Crédit NASA

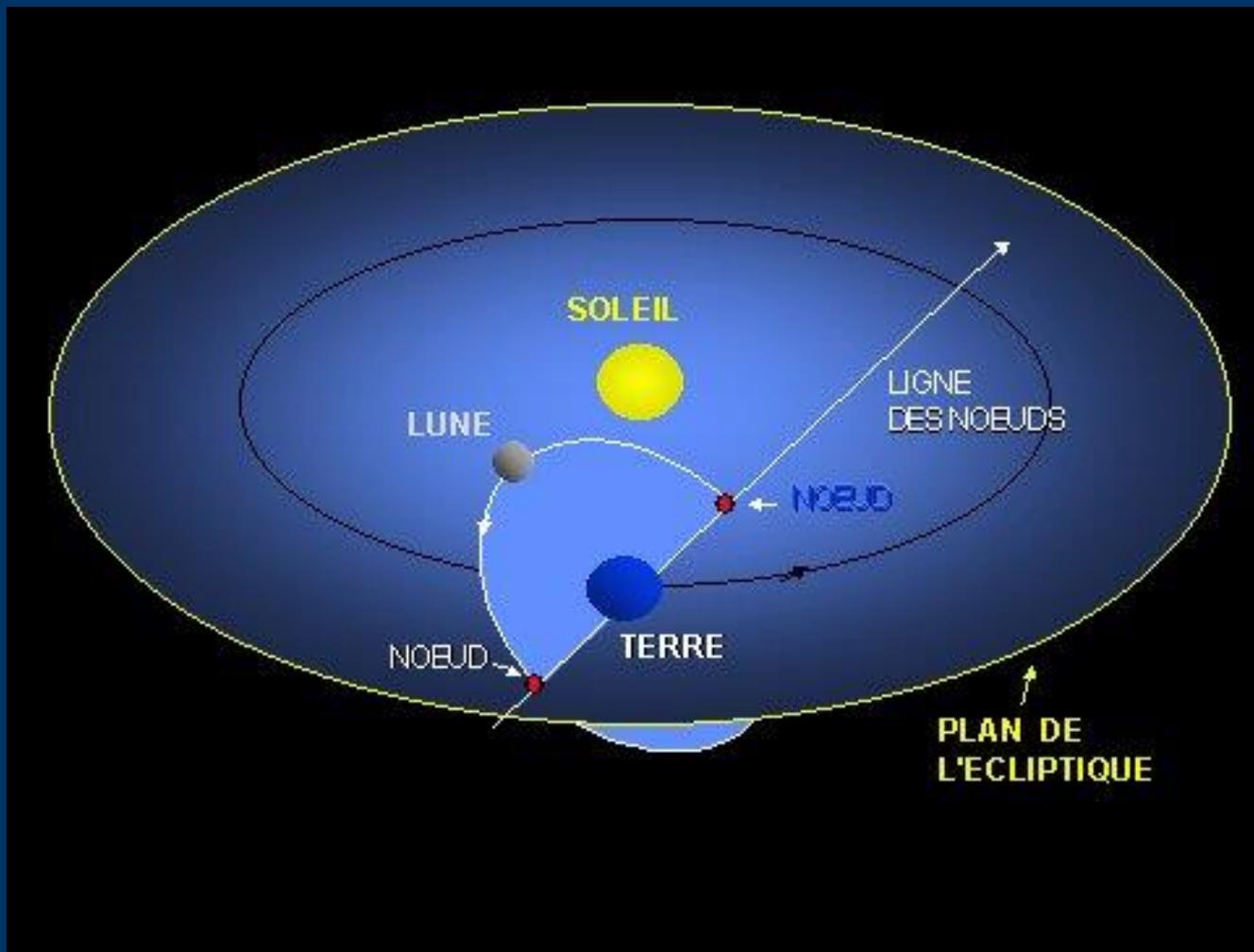


La Lune croise le méridien à des hauteurs variables dans le ciel :
en hiver, la pleine Lune culmine haut dans le ciel et
en été, elle est très basse.



Photos ASCT Toussaint
76400 - Fécamp





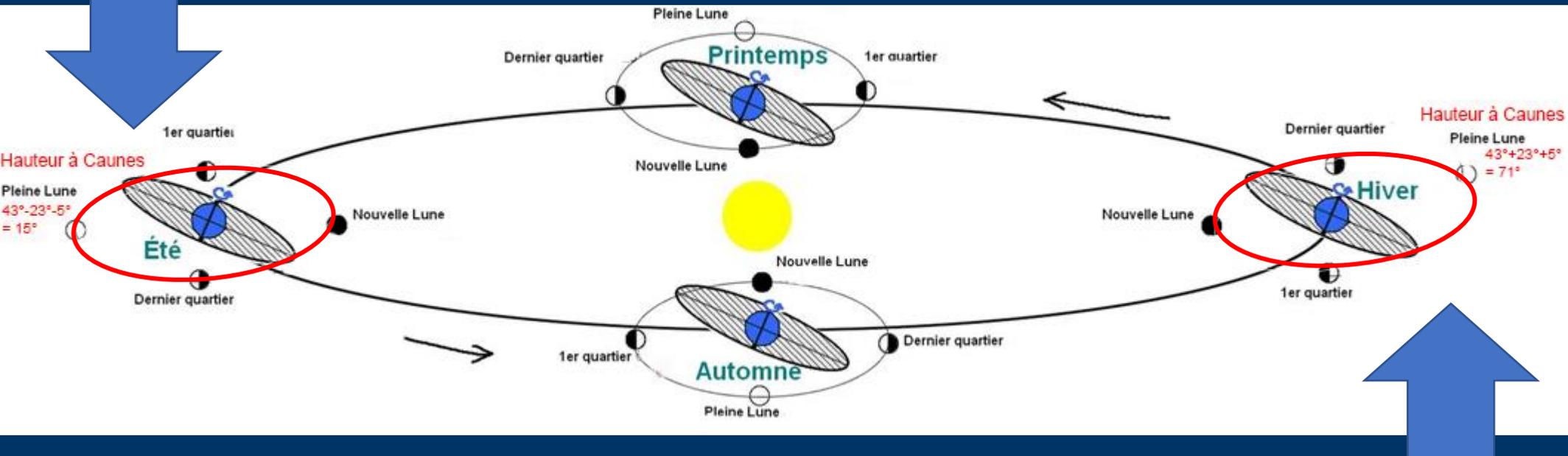
La **déclinaison** de la Lune dans le ciel a une valeur maximale égale à la somme de :

- l'angle de l'écliptique, inclinaison de l'axe de la Terre / plan orbite terrestre : 23°
- l'angle de l'inclinaison lunaire : 5° soit un total de 28° .

En coordonnées locales - intervention de la latitude : la **hauteur** = $43^\circ \pm 28^\circ = 71$ et 15° . Amplitude solaire au méridien 20° , l'hiver et 66° l'été. (calculs arrondis au degré)

Pourquoi la pleine Lune **au méridien** est basse en été, et culmine en hiver ?

Puisque la Lune est pleine, elle se trouve dans la direction, opposée au Soleil sur l'écliptique, et donc en été sous l'équateur céleste : la pleine lune d'été **au méridien** est basse : **12° à Caunes** !



En hiver, la pleine Lune **au méridien** est au dessus de l'équateur céleste : **71° à Caunes**.

La Lune : une simplicité seulement apparente ;

ainsi nous avons abordé synchronisme gravitationnel et librations, mais pudiquement évité le calcul des éléments elliptiques de l'orbite lunaire : il comporte plusieurs milliers de termes...