

La Lune

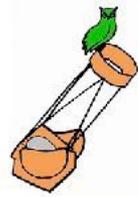


Caractéristiques, exploration,
mouvements, phases, expressions, etc



Ressources bibliographiques

- http://media4.obspm.fr/public/ressources_lu/index.html (Observatoire de Paris-Meudon)
- https://media4.obspm.fr/public/ressources_lu/pages_mouvement-terre-lune/introduction-mouvement-terre-lune.html
- <https://promenade.imcce.fr/fr/pages4/466.html>
- <https://moon.nasa.gov>
- <https://www.lpi.usra.edu/>
- http://obswww.unige.ch/Questions_Reponses/Lune_general.html
- <http://www.astrosurf.com/luxorion/sysol-lune.htm>
- <http://villemin.gerard.free.fr/Science/Lune.htm>
- <http://lesenfantsdesetoiles.over-blog.com/2016/03/la-libration-lunaire.html>
- <http://www.ac-nice.fr/clea/>
- <https://journals.openedition.org/bibnum/85>
- Animations ici : <http://astro.unl.edu/animationsLinks.html>



I - Caractéristiques principales

La Lune, seul satellite naturel
de la Terre

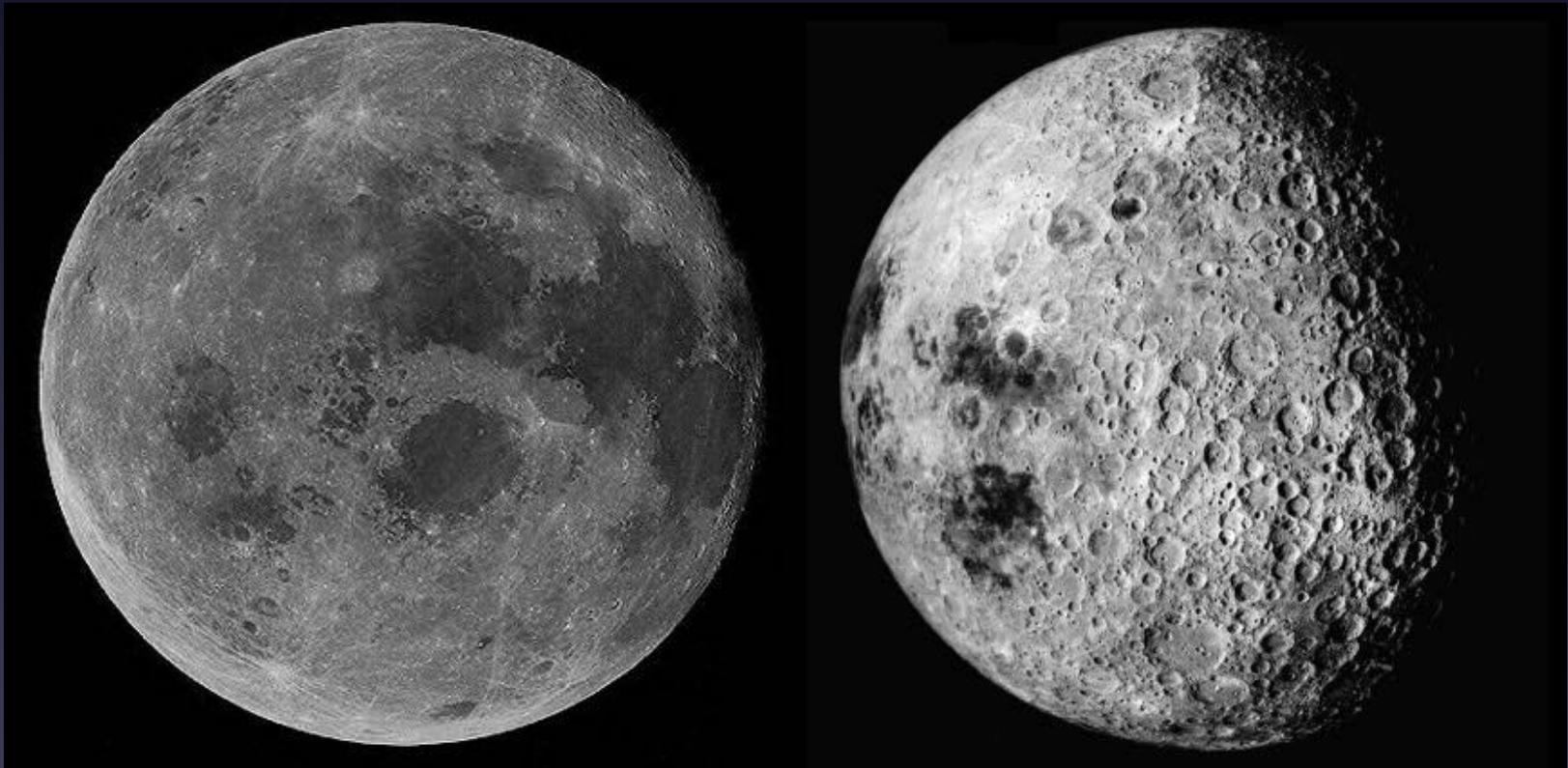
Lever de terre sur la lune - Crédit: Apollo 8/NASA



La lune, astre familier

Un astre se détachant sur notre ciel

- le diamètre apparent nous permet d'y distinguer des détails.
- on en voit toujours la même face.



Crédit : Apollo 16/NASA



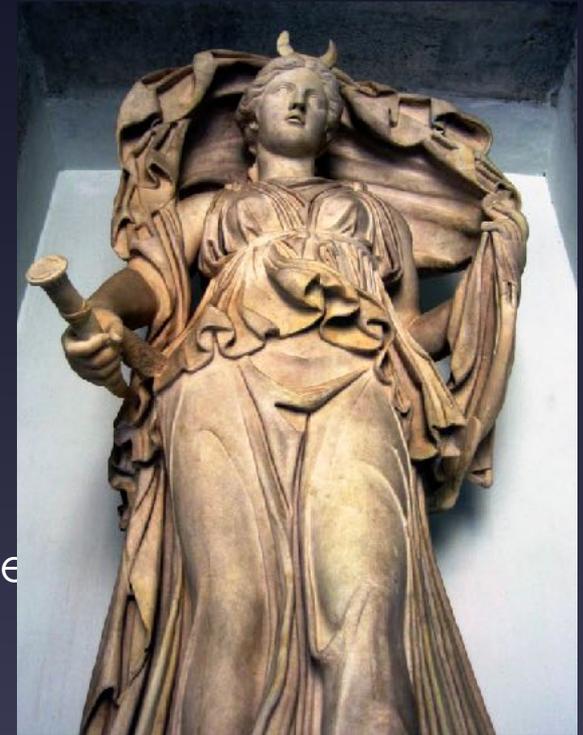
La lune, astre familier

- Origine et Mythologie

- du latin «Luna», racine indo-européenne qui veut dire briller, éclairer.
- La déesse romaine de la Lune, Luna, est de peu d'importance. Elle a rapidement été assimilée à Diane.



- La mythologie grecque a personnifié la Lune (la pleine lune) sous le nom de Séléné, fille d'Hypérion et Théia, soeur d'Hélios, représentée comme une jeune femme parcourant le ciel sur un char d'argent.
Deux autres déesses : Hécate et Artémis.





Le couple Terre-Lune

Mariner 10, 3 novembre 1973

2,6 millions de km



NASA

un couple exceptionnel
dans le système solaire
=> système binaire



Dimensions

En comparaison avec la terre



Diamètre équatorial (Terre=1)	0,27	Plus grande que Pluton !!
Diamètre équatorial	3474,8 km	
Aplatissement	0	
Volume	22 x 10 ⁹ km ³	Volume 50 fois plus petit !!
Volume (Terre=1)	0,02	
Masse (Soleil=1)	3,694 x 10 ⁻⁸	
Masse (Terre=1)	0,0123	
Densité (Terre=1)	0,6	
Densité (Eau=1)	3,34	
Gravité à la surface (Terre=1)	0,17	$V_L = \sqrt{\frac{2GM}{R}}$
Vitesse de libération	2370 m/s	



Surface lunaire

Aucune atmosphère

- Importants écarts de température entre le jour lunaire et la nuit lunaire (une journée lunaire vaut 14j 18h environ)

Température de surface	-173°/ +117°C
------------------------	------------------

- toutes les météorites atteignent son sol => criblé d'impacts.
- Netteté des images
- Disparition soudaine des étoiles



Crédit: Thierry Legault

Radiation	Lune	Terre
Dose moyenne totale	0.22 - 1.27 mGy/ jour	1 - 2 mGy/ an
RAYONS COSMIQUES	± 95 % du total	30 % du total

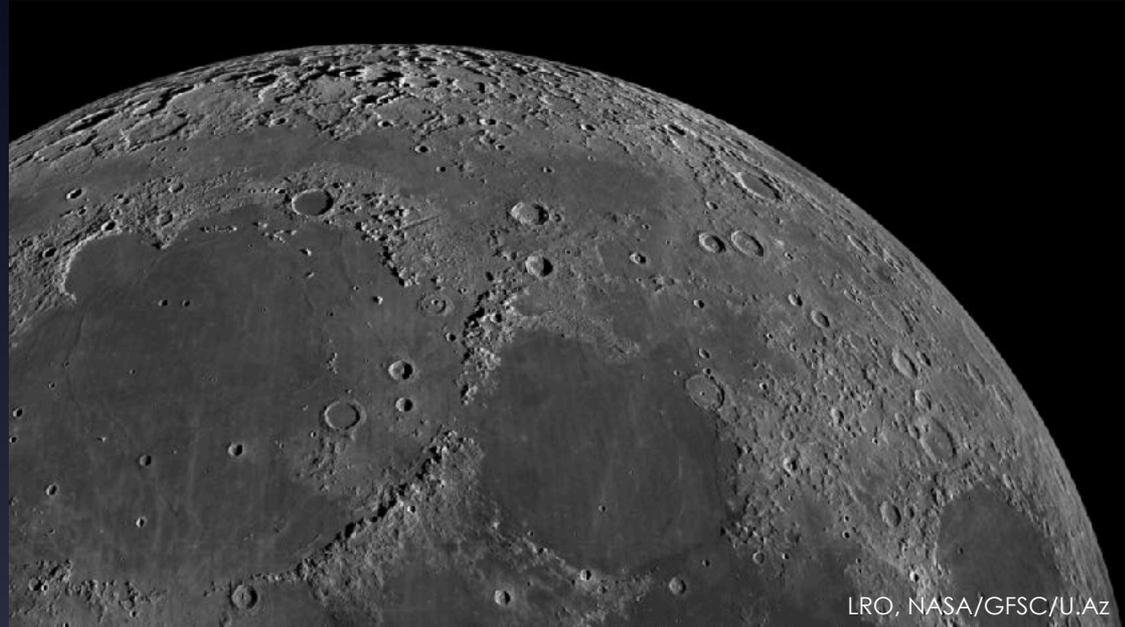


Surface lunaire

Aspect de la surface

Criblée de cratères,
fissurée, érodée

Montagnes, bassins,
traces de coulées
volcaniques, « mers »

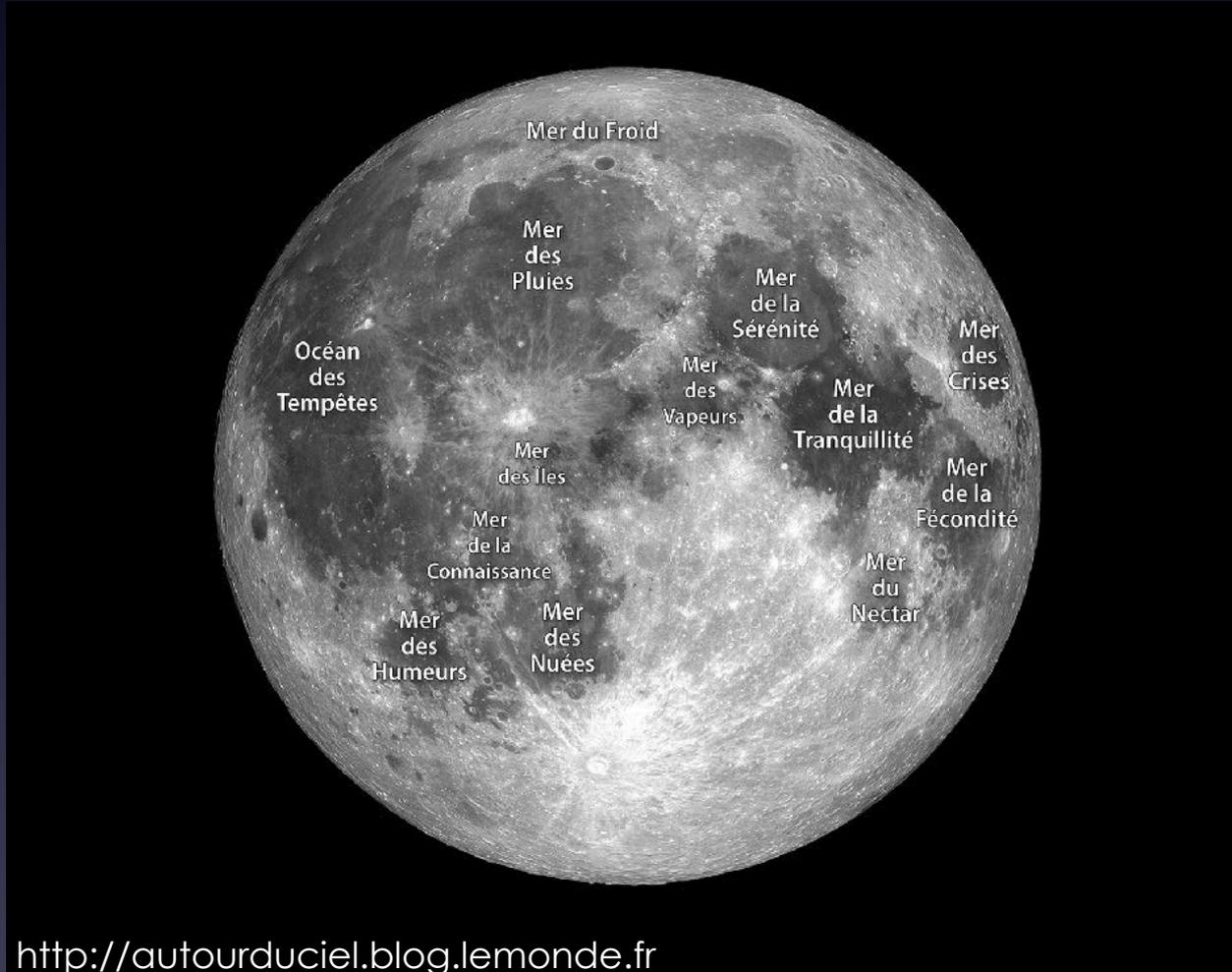


Magnitude visuelle	-12,7
Réflectivité (albédo géométrique)	0,12
Sommet le plus élevé	7500 m
Fosse la plus profonde	5600 m
Nature de la surface	roches basaltiques



Surface lunaire

Les taches sombres des mers lunaires

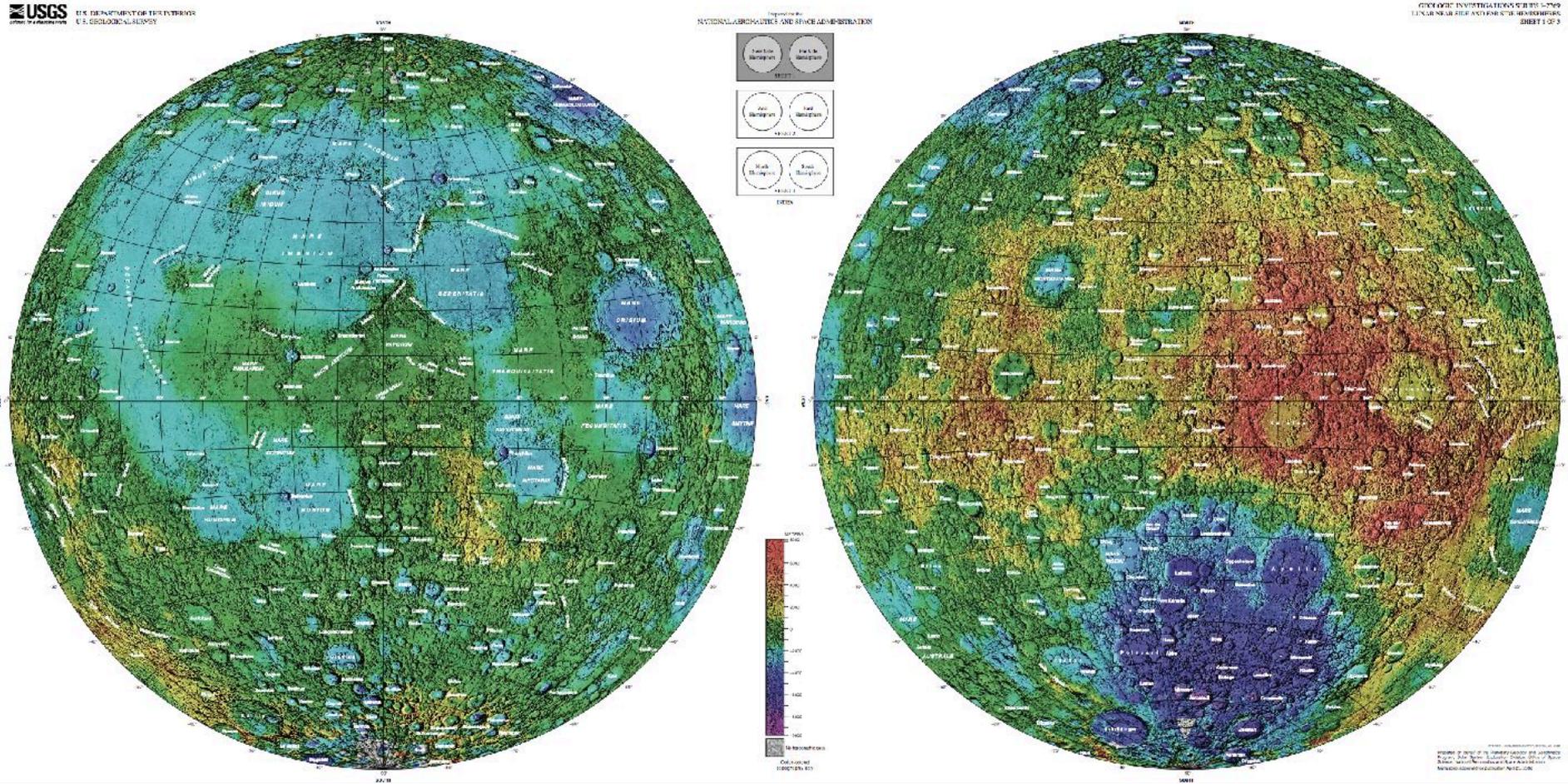




Surface lunaire

Carte précise du relief lunaire

US Geological survey



Mission Clementine, 1994



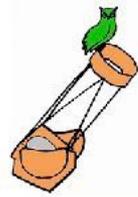
Rotation de la lune

Face visible, face cachée

- la Lune tourne sur elle-même
- On en voit toujours la même face
 - ⇒ période de rotation (tour sur elle-même)
 - =
 - période de révolution (autour de la terre)
- phénomène de résonance gravitationnelle



une rotation de la Lune autour de son axe vue depuis la sonde LRO (Lunar Reconnaissance Orbiter)



Allo, allo, ici la
Terre... Allo, j'appelle
fusée lunaire...
Allo? Allo?...

II - exploration



© Wallace & Gromit 'A Grand Day Out' © 1989 NFTS



De l'imaginaire ...

Le rêve d'artistes

Ile siècle : Lucien de Samosate, première histoire de science-fiction lunaire connue

1634 Johannes Kepler : *Somnium*, des hommes sont transportés jusqu'à la lune

moyens de transports variés (tempête, oiseaux démons, rosée ou métal « magique »...)



1865 **Jules Verne** écrit : "De la terre à la lune"

1902 "Le voyage dans la Lune", film de **Georges Méliès**

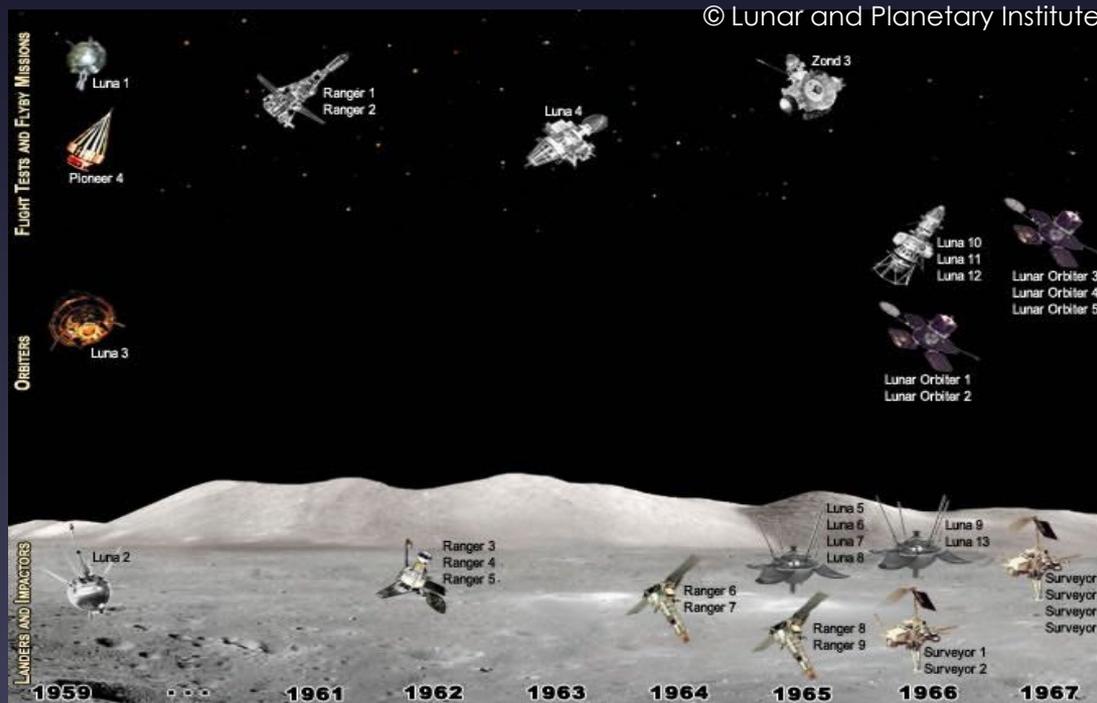




... à la réalité

Les premières tentatives et réussites

- 1959 Luna 2 (« impacteur ») : s'écrase sur la lune
Luna 3 : 1eres images de la face cachée
- 1962 Ranger 4 (« impacteur ») : s'écrase sur la Lune
- 1966 Luna 9 et Luna 13 se posent sur la lune et transmettent des images
Surveyor 1 se pose sur la lune et transmet des données





Missions habitées et rovers

1968 Apollo 8 : première mission habitée

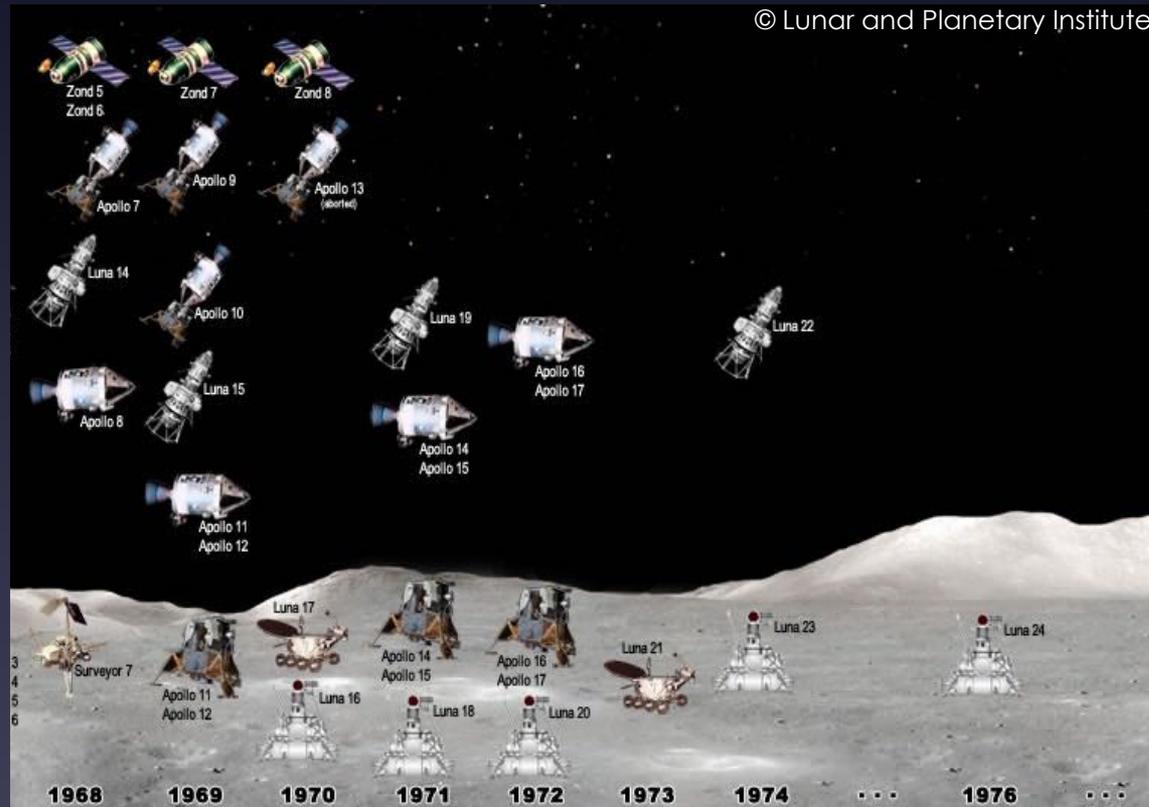
1969 Apollo 11 : 2 hommes sur la lune - Apollo 12 : pareillement

1970 Luna 16 : se pose sur la lune, ramène des échantillons

Lunokhod 1 : 1er rover contrôlé à distance sur une surface extraterrestre

1971-2 Quatre autres missions Apollo, les 3 dernières avec des rovers

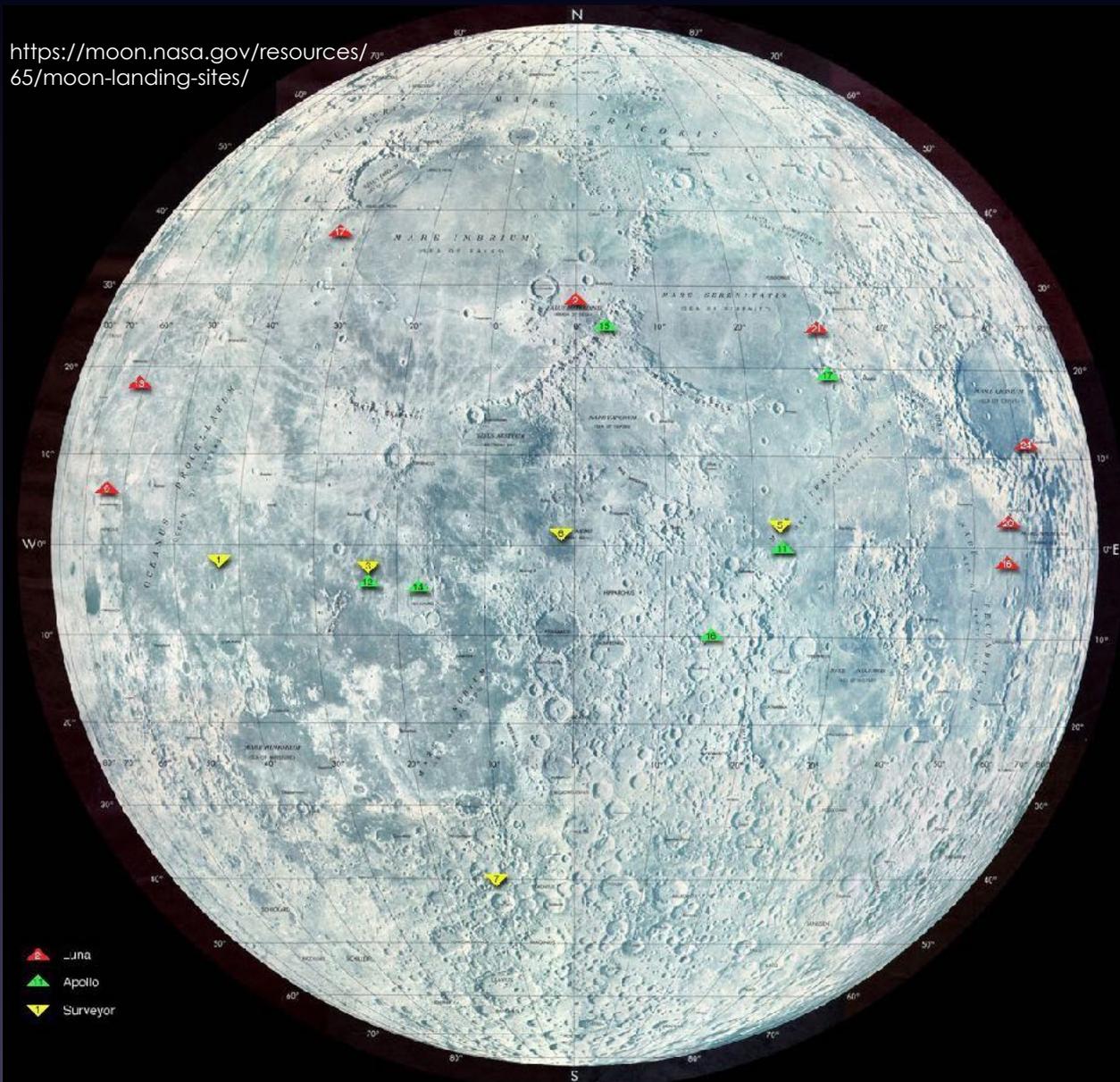
1973 Lunokhod 2





Lieux d'atterrissage sur la lune

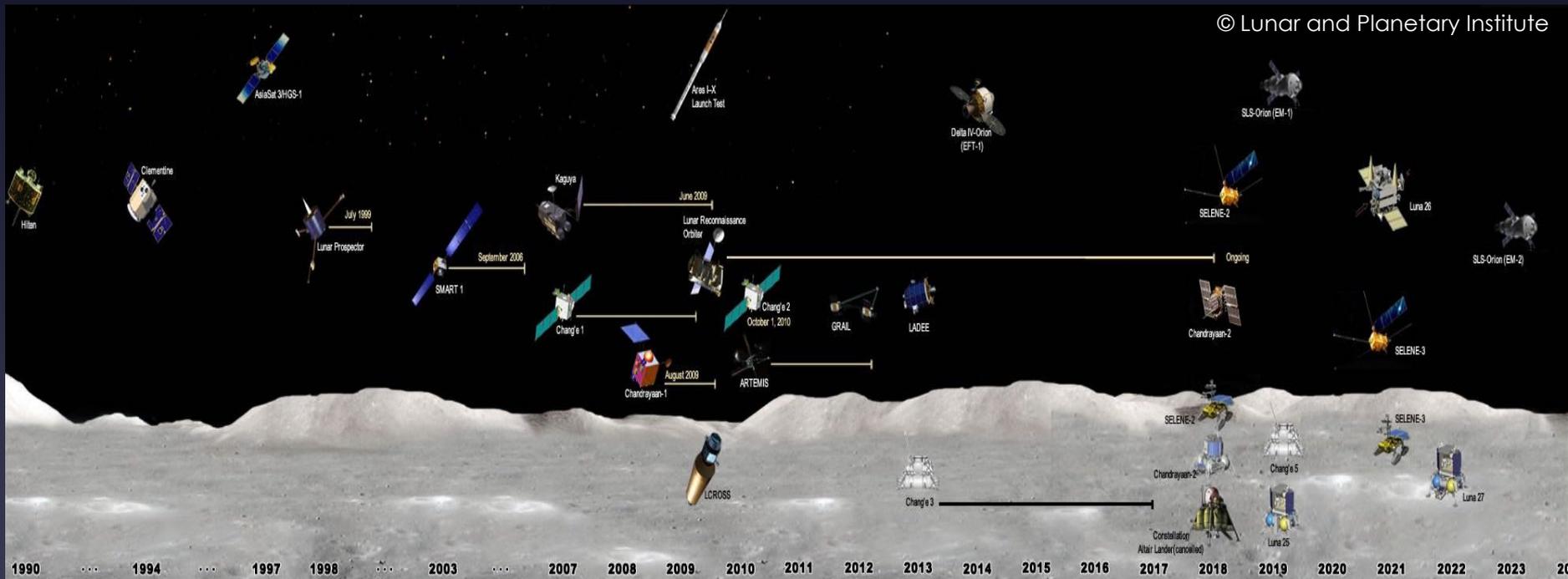
<https://moon.nasa.gov/resources/65/moon-landing-sites/>





De 1990 à nos jours

- 1993 Hiten, mission japonaise, s'écrase sur la lune
- 2006 SMART-1 orbiter européen, en orbite depuis 2004, s'écrase sur la lune (traces 2017)
- 2008 Chandrayaan-1, sonde indienne, MIP, impacteur, idem
- 2009 LCROSS (US) s'écrase dans un cratère; panache analysé
- 2013 Chang'e 3 se pose à la surface : déploiement d'un rover

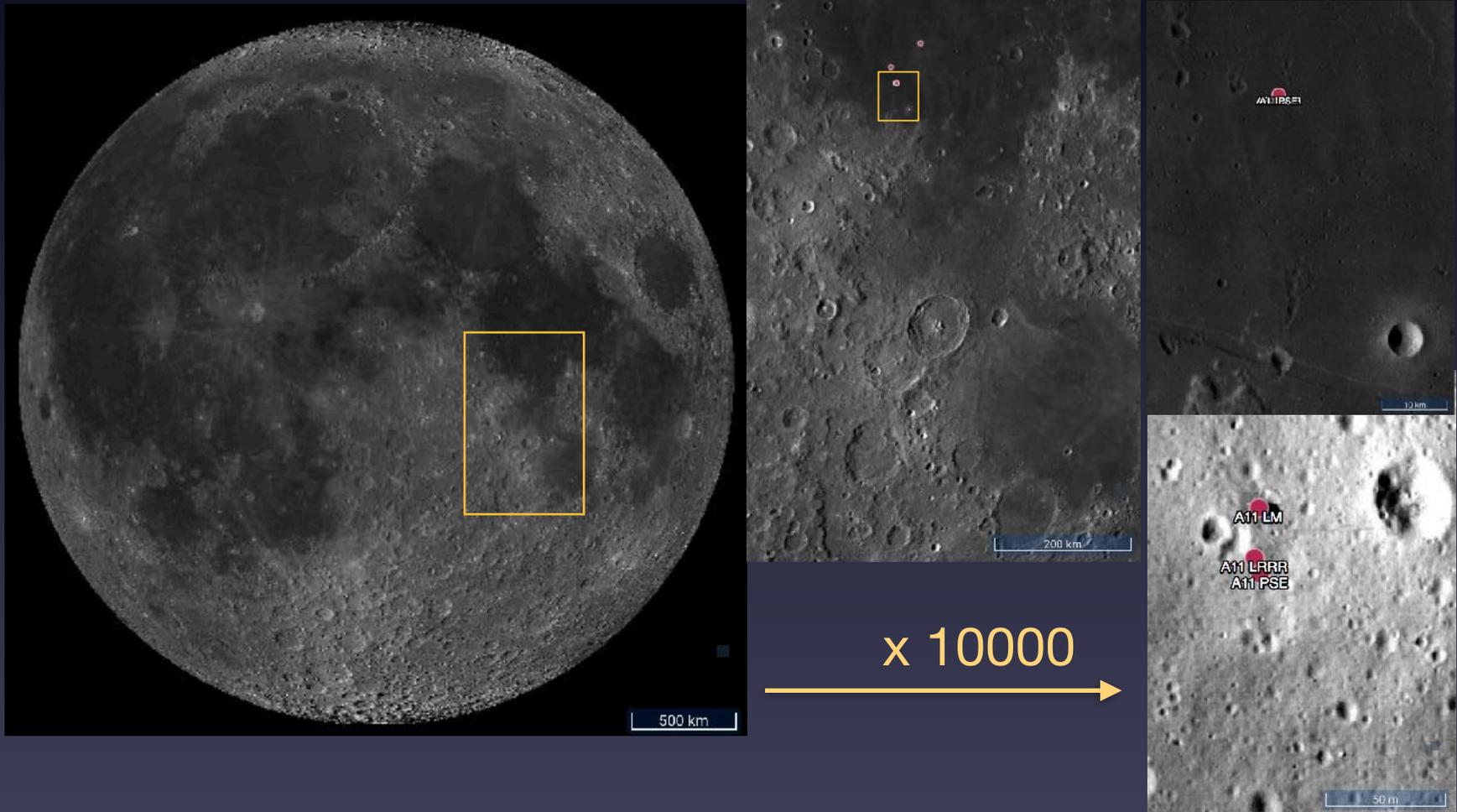


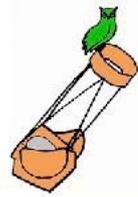
2019 : Chang'e 4, 1er atterrissage sur la face cachée de la lune
 Bereshit, sonde israélienne, privée - orbite + atterrissage (crash hier !)



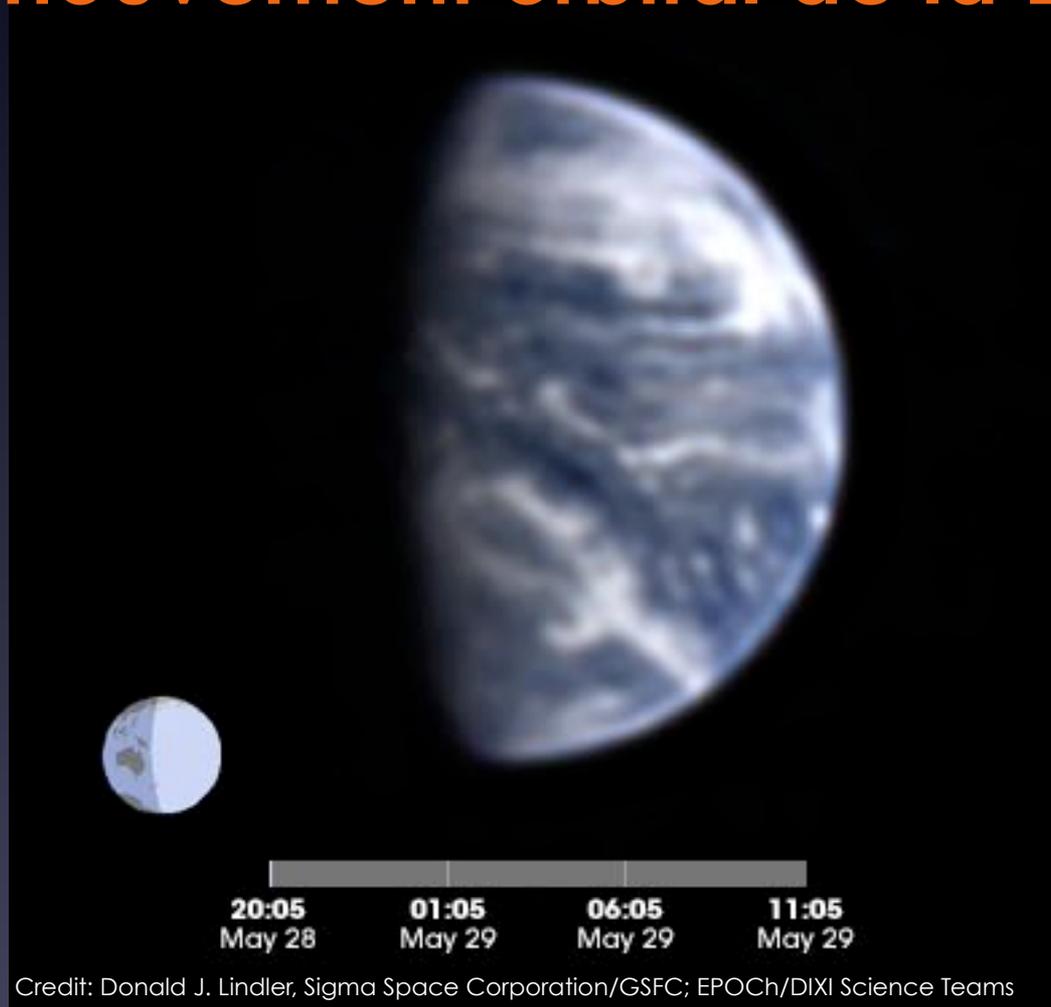
La carte haute résolution

A voir absolument... <http://target.lroc.asu.edu/q3/>





III - mouvement orbital de la Lune



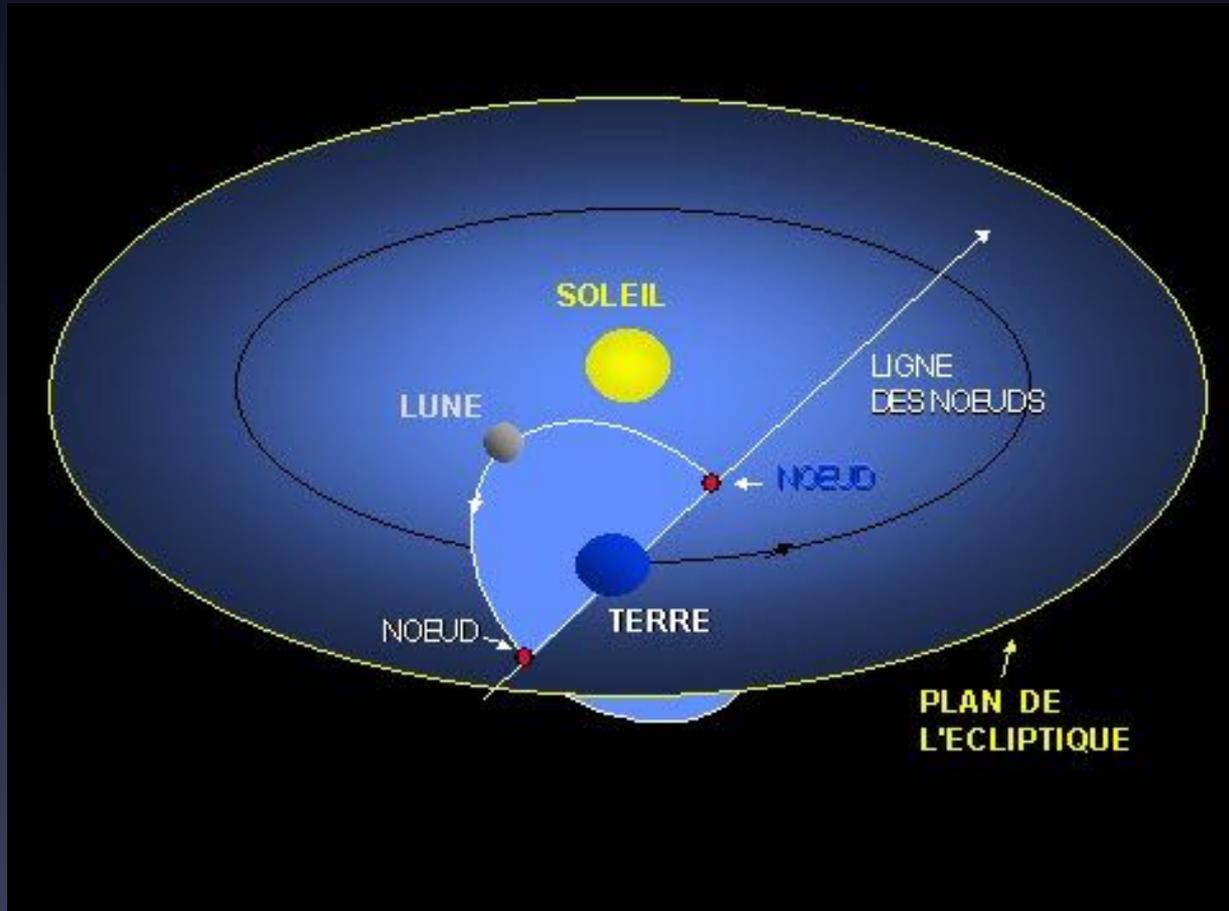
Transit de la Lune devant la Terre du 28 au 29 mai 2008 capturé par la mission EPOXI, à 50 millions de km.



Orbite lunaire

Plan de l'orbite lunaire \neq plan éclipse

- Le plan de l'orbite lunaire n'est pas confondu avec le plan de l'orbite terrestre : valeur moyenne de l'angle = $5^{\circ},1567$

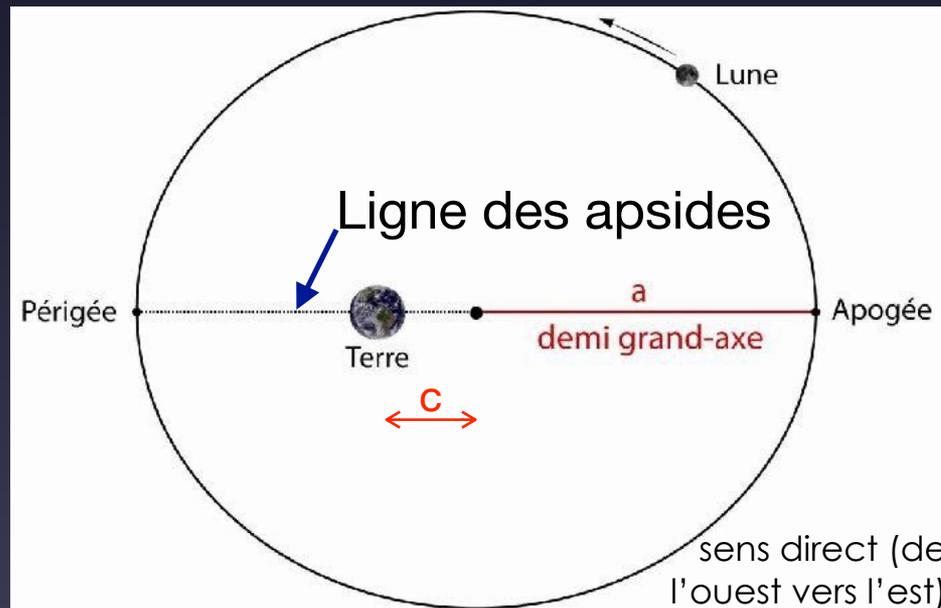




Orbite elliptique

Paramètres de l'ellipse

- Demi grand axe : 383 397 km
- Excentricité (c/a) moyenne : 0,05555
- Variation de distance entre le centre de la Terre et le centre de la Lune : environ 50000 km entre apogée et périgée



Ellipse très très exagérée

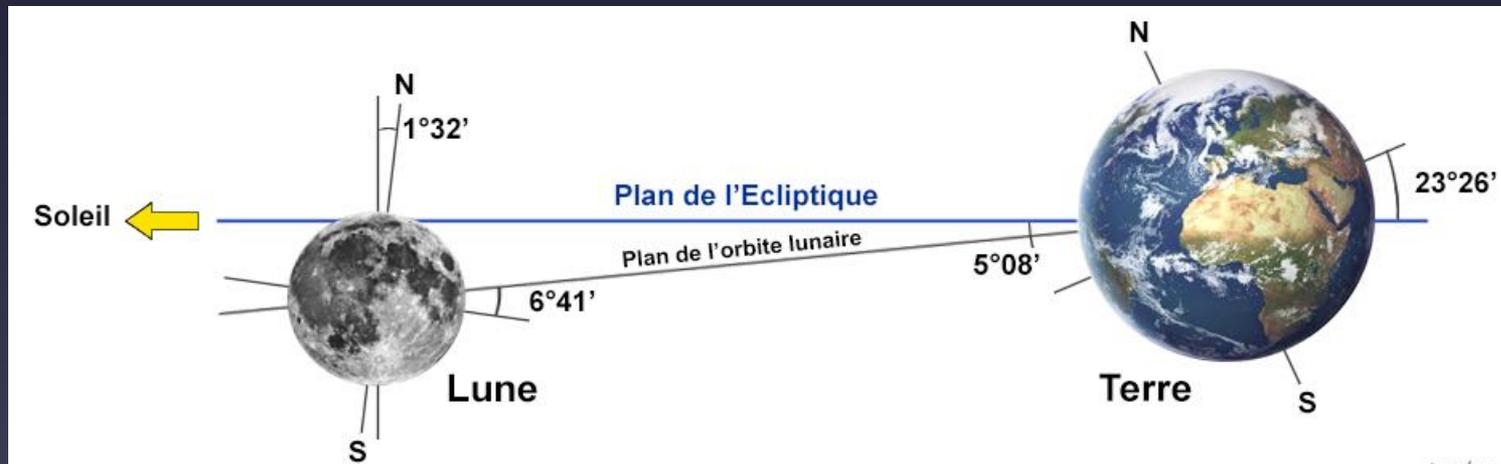
de 56 à 63,8 rayons terrestres selon que la Lune est à son périgée ou à son apogée (la distance moyenne est de 60 rayons terrestres).



Paramètres de l'orbite lunaire

Valeurs moyennes

Caractéristiques	Valeurs
Demi-grand axe en km	383 398km
Excentricité de l'orbite	0,05555
Inclinaison de l'orbite sur l'écliptique	5°,1567
Inclinaison de l'équateur sur l'écliptique	1°,543
Vitesse orbitale	1 km/s





Un problème complexe

Plus complexe qu'un problème à trois corps

- Première approximation du mouvement de la Lune : résolution d'un problème à trois corps (Soleil, Terre et Lune)
- solution complète tient compte de très nombreuses perturbations
- les éléments elliptiques se présentent sous la forme de séries semi-analytiques comportant plusieurs milliers de termes
 - environ 35000 pour la solution ELP2000 (Éphéméride Lunaire Parisienne), Jean Chapront, Michelle Chapront-Touzé, Bureau Des Longitudes
 - Réflecteurs laser déposés sur la lune => recalcule des paramètres orbitaux



Systèmes de Référence Temps-Espace

**Introduction dans ELP 2000-82B
de nouvelles valeurs des paramètres orbitaux
de la Lune et du barycentre Terre-Lune**

**Jean Chapront, Michelle Chapront-Touzé et Gérard Francou
1999**

Nous donnons, dans ce document, trois systèmes de valeurs des paramètres orbitaux de la Lune et du barycentre Terre-Lune, provenant, pour le premier, de l'ajustement de la solution semi-analytique ELP 2000-2B sur l'intégration numérique DE403 du Jet Propulsion Laboratory et, pour les deux suivants, de l'ajustement de la solution mixte ELP 2000-96 directement sur les observations du laser-Lune.



SYRTE – Observatoire de Paris
UMR 8630 – CNRS
Paris Observatory Lunar Analysis Center

61 avenue de l'Observatoire
75014 Paris, France



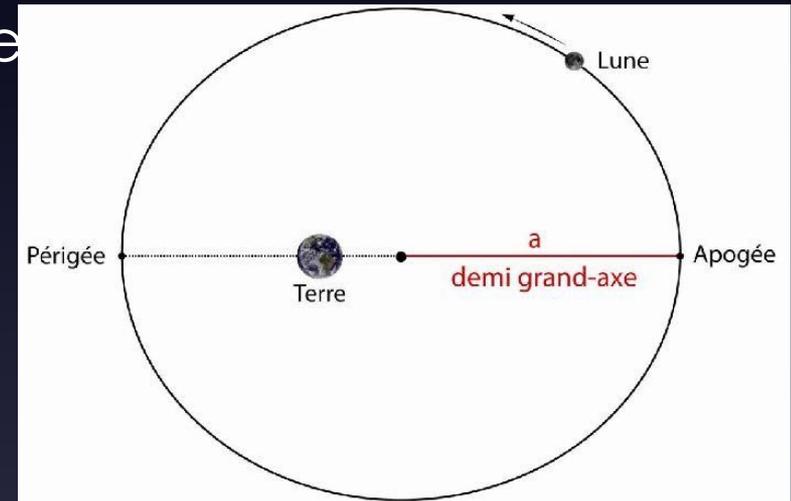
CNRS
CENTRE NATIONAL
DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE



Variation des paramètres de l'orbite

Variation rapide des paramètres de l'ellipse

- trajectoire du centre de la lune
 - sur quelques heures, arc d'ellipse
- excentricité
 - perturbations solaires \Rightarrow varie entre 0,0255 et 0,0775.
 - Les deux variations principales ont une période de 29,53 jours et 205,9 jours.
 - variation au rythme de 29,53 jours : liée à la position de la Lune sur son orbite par rapport au Soleil
 - La variation au rythme de 205,9 jours : liée à l'orientation de l'orbite lunaire elle-même.

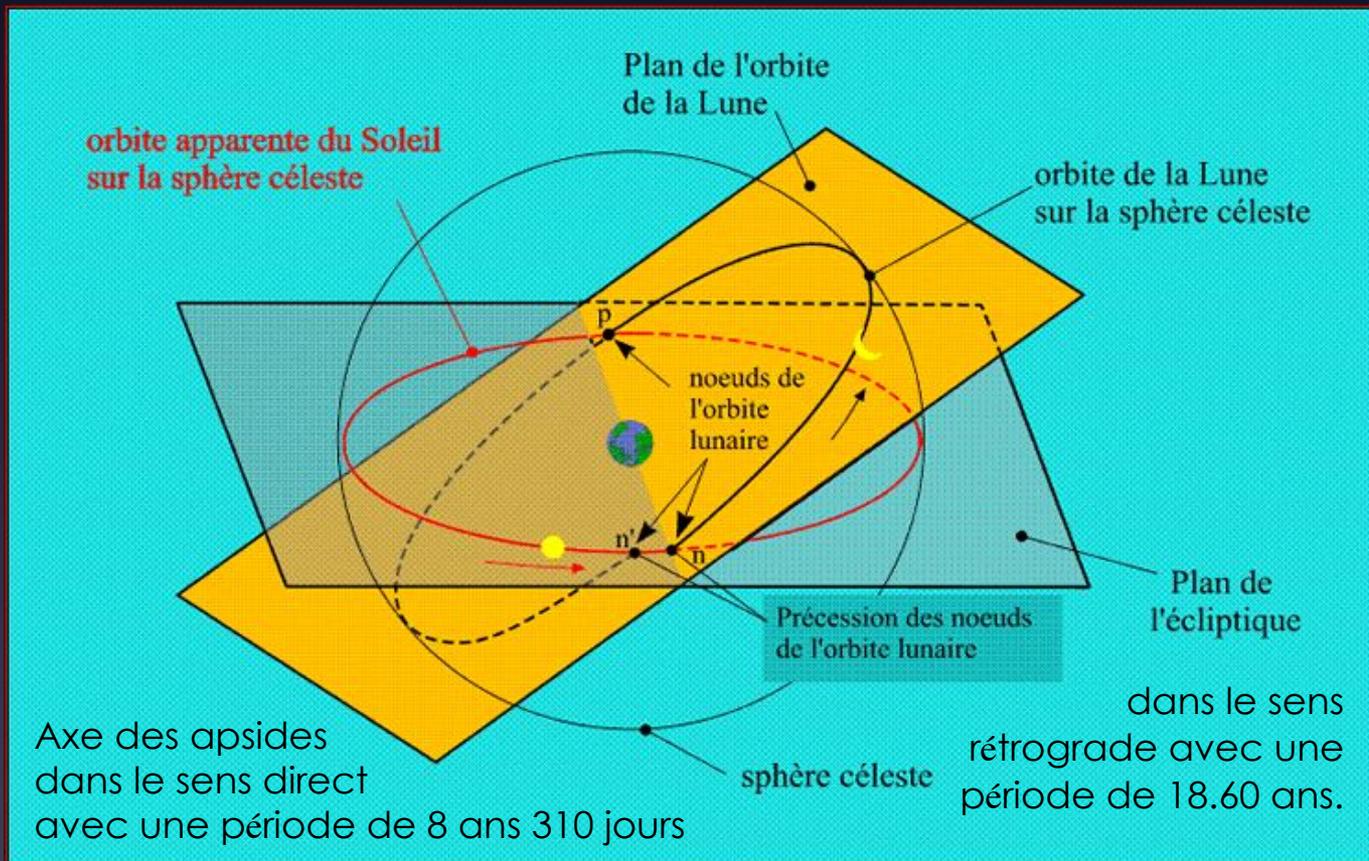




Variation des paramètres de l'orbite

Mouvements circulaires des axes

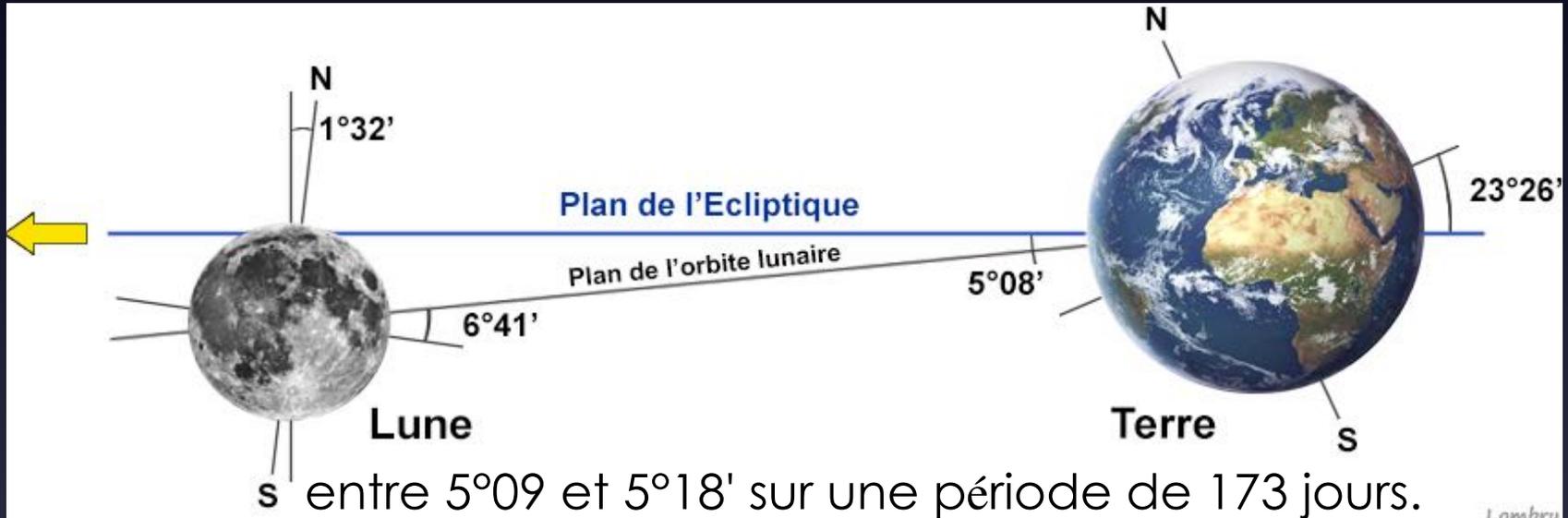
ligne des noeuds et ligne des apsides animées de mouvements circulaires *non uniformes*.





Variation des paramètres de l'orbite

Variation de l'inclinaison de l'orbite lunaire



Le célèbre astronome anglais Edmond Halley (1656- 1742) rapporte avoir entendu Newton dire que le mouvement lunaire « lui donnait mal à la tête et le tenait éveillé si souvent qu'il souhaitait n'y plus penser ».



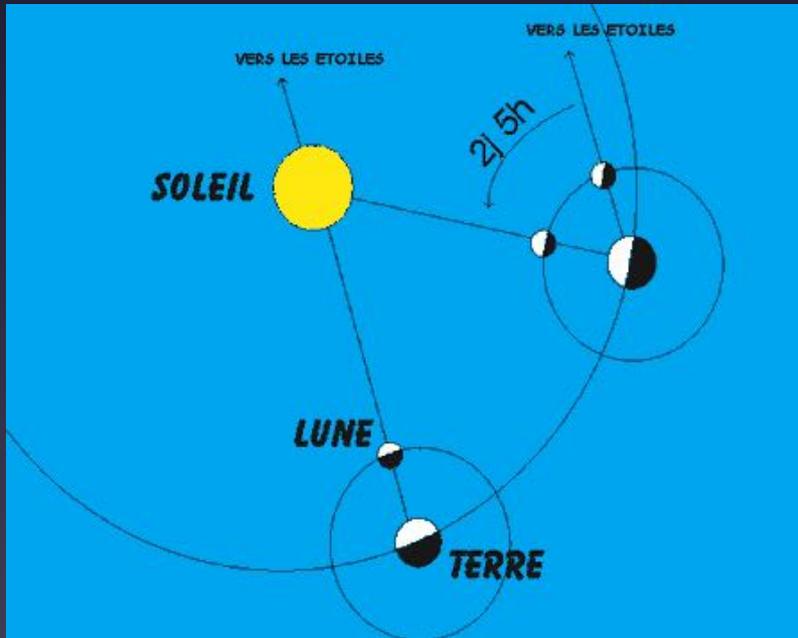
Révolutions

Révolution sidérale

tour complet sur son orbite, même position par rapport aux étoiles : 27,32 jours solaires moyens
déplacement vers l'est, $\sim 13^\circ/\text{jour}$

Révolution synodique (ou lunaison)

Intervalle de temps entre 2 phases identiques : 29,53 jours



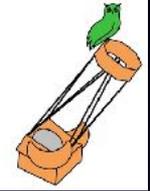
Déplacement vers l'Est $\sim 12^\circ/\text{jour}$ par rapport au Soleil

T période (année) sidérale de la terre

S durée d'une révolution synodique

R durée d'une révolution sidérale

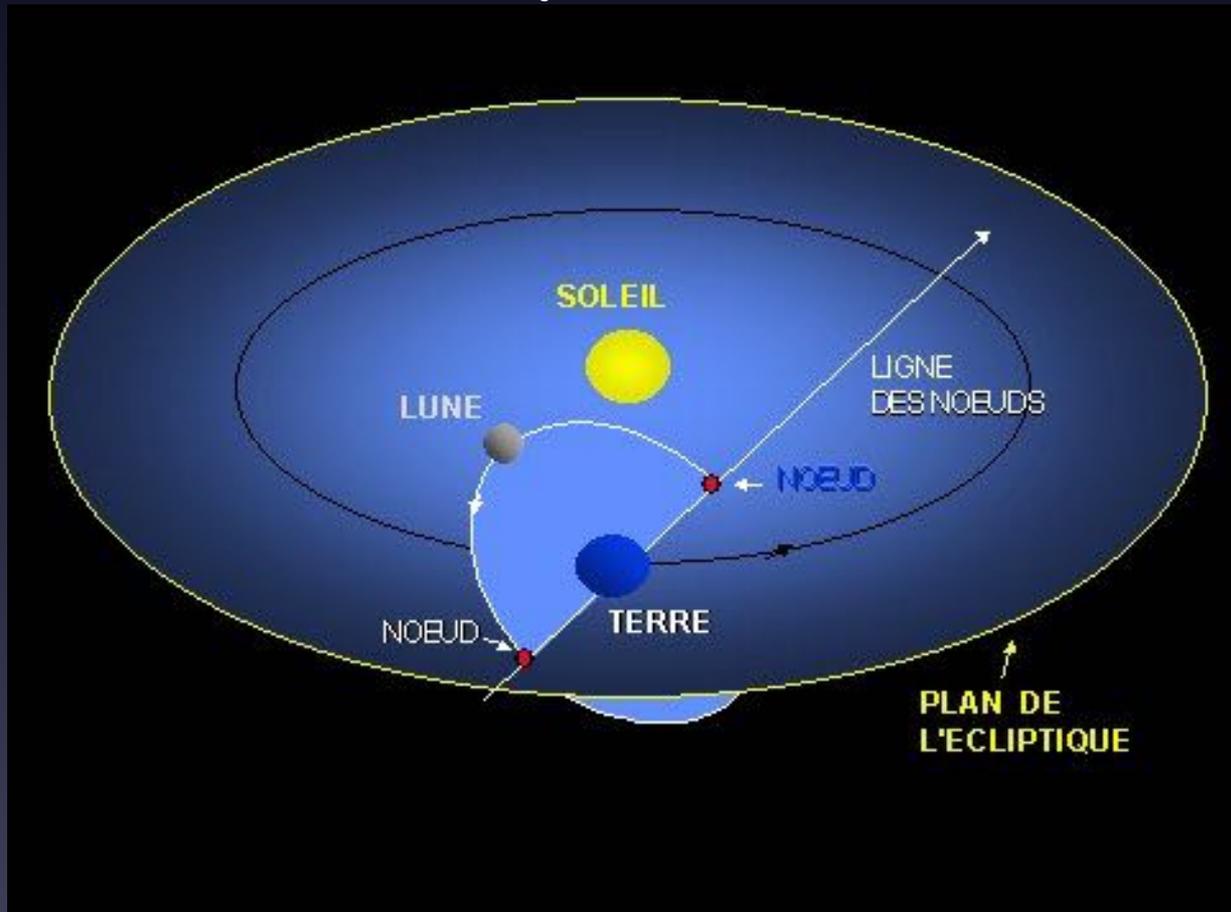
$$\frac{1}{S} = \frac{1}{R} - \frac{1}{T}$$



Révolutions

Révolution draconitique

intervalle de temps entre deux passages de la Lune au même nœud de son orbite : 27,21 jours.





Révolutions

Révolution anomalistique

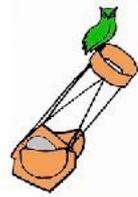
intervalle de temps entre deux passages de la Lune au périégée de son orbite : 27,55 jours.

Révolution tropique

Entre deux passages de la lune par la direction de l'équinoxe

Périodes de révolutions moyennes

Nom de la période	Durée en jours	Définition
période sidérale	27,321 661 547 27 j 7 h 43 min.	retour dans la même direction par rapport aux étoiles
période anomalistique	27,554 549 878 27 j 13 h 19 min.	retour au périégée de l'orbite
période synodique	29,530 588 853 29 j 12 h 44 min.	retour de la même phase lunaire
période draconitique	27,212 220 817 27 j 5 h 6 min.	retour par le même noeud de l'orbite
période tropique	27,321 582 249	retour par la direction de l'équinoxe.



IV - Observation de la lune depuis la terre



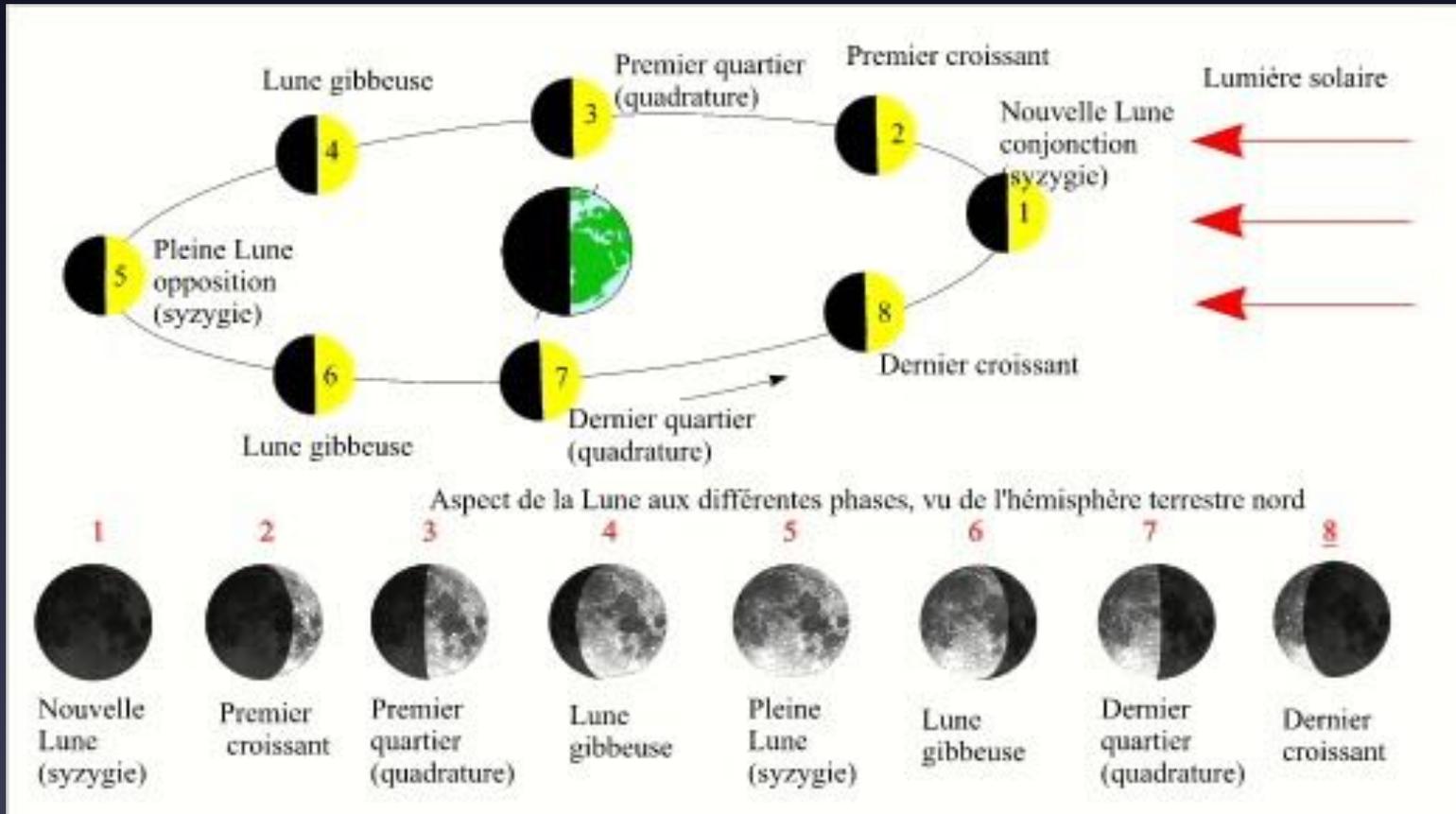
Crédit : Hugues Levert



Phases de la lune

Visibilité de la partie éclairée

Au cours de sa révolution, depuis la Terre, on ne voit pas la partie éclairée de la Lune sous un même angle : phases de la Lune.

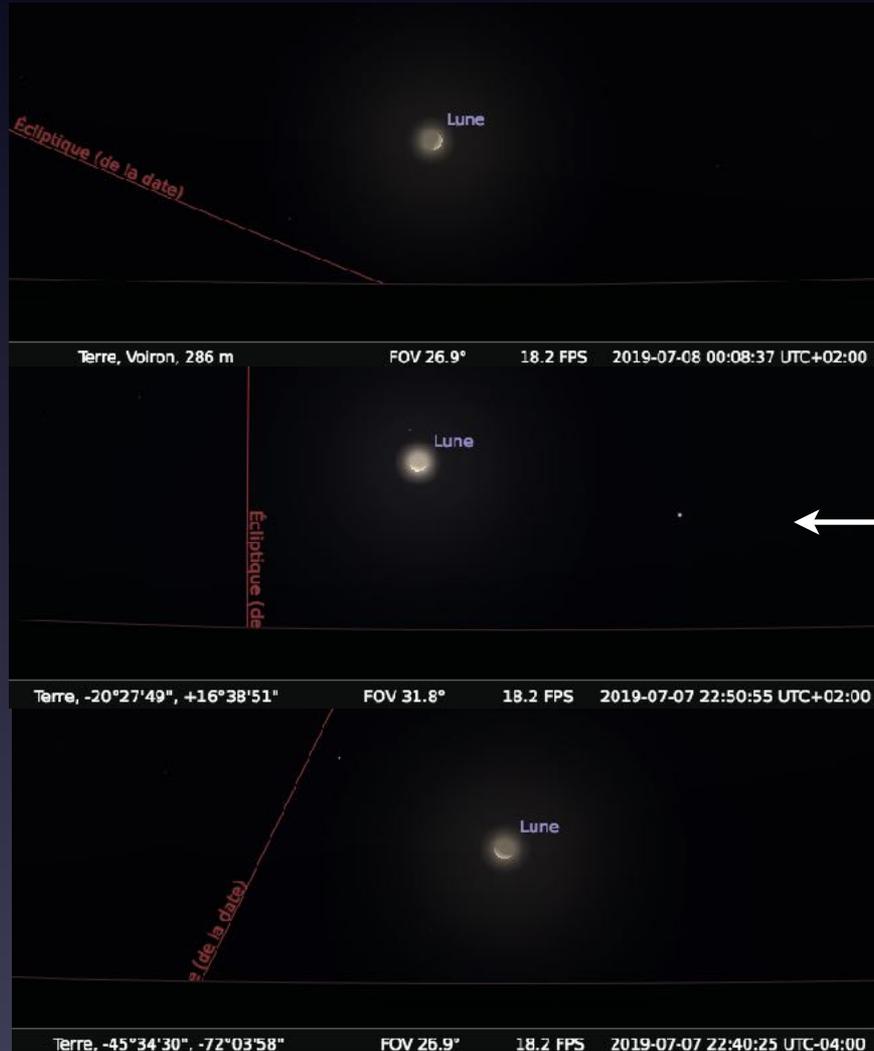




Phases de la lune

Position de l'observateur

coucher du croissant de lune



Voiron



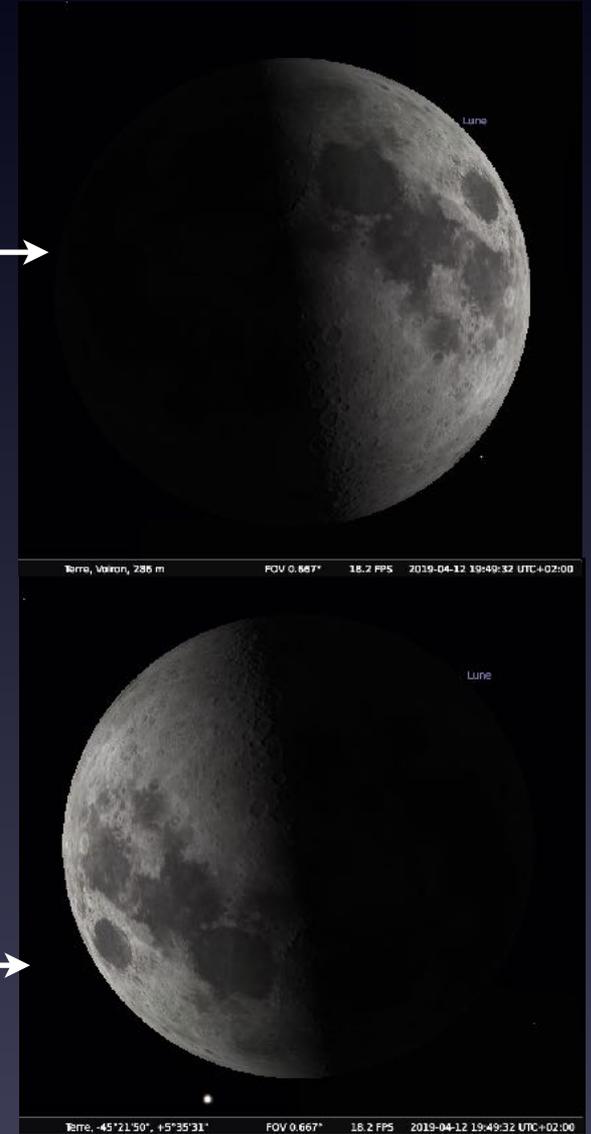
20° Sud



45° Sud



Images
Stellarium





Phases de la lune

Nouvelle lune et pleine lune.

- Lune et Soleil même longitude : en conjonction
⇒ **nouvelle Lune**
 - Lune « devant » le Soleil, se lève et se couche presque en même temps que lui.
 - lever de lune uniquement de jour
- Longitude de la Lune à 180° de celle du Soleil : en opposition
⇒ **pleine Lune**
 - Lune à l'opposée du Soleil, elle se lève lorsqu'il se couche et elle se couche lorsqu'il se lève.
 - lever de lune la nuit.

La pleine Lune et la nouvelle Lune portent également le nom de **syzygies**.



Lunaison

Lune croissante :

de la Nouvelle Lune (éclat minimum)
à la Pleine Lune (éclat maximum).

Lune décroissante :

de la Pleine Lune à la Nouvelle Lune

Durée variable des lunaisons

grandes irrégularités du
mouvement de la Lune

⇒ de 29 jours 7 heures

jusqu'à 29 jours 20 heures ⇒ variation, de 13 heures !

Cycle lunaire (de Meton)

235 mois synodiques = 19 années tropiques + 1 h 27 mn 33s

⇒ au bout de 19 ans, les mêmes dates de l'année
correspondent presque aux mêmes phases de la Lune.

Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi	Dimanche
1	2	3	4	5 Nouvelle	6	7
8	9	10	11	12	13	14
15	16	17	18	19 Pleine	20	21
22	23	24	25	26	27	28
29	30					

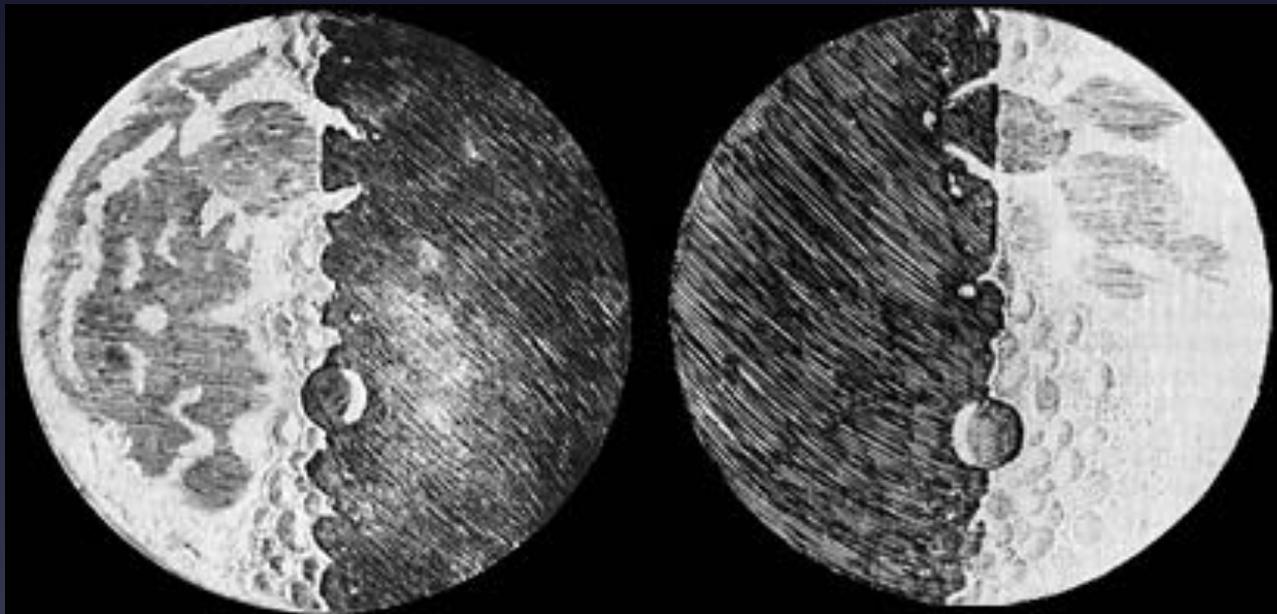
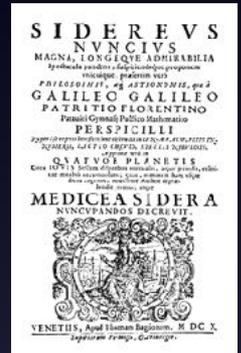


Observation au fil des phases

Reliefs mis en valeur

Eclairage rasant au terminateur

Galilée constate (et écrit...) que la surface lunaire n'est pas parfaitement lisse



<https://images.math.cnrs.fr/Il-y-a-quatre-cents-ans-Sidereus.html>



Observation au fil des phases

Observation des reliefs au fil des phases

<https://svs.gsfc.nasa.gov/4442>





A l'apogée, au périgée

Conséquences de l'orbite elliptique

- Diamètre apparent varie d'environ de 12 à 14%, donc surface apparente : 30%



- Variation de la vitesse angulaire de la Lune (2eme loi de Kepler)
14% plus rapide à son périgée qu'à son apogée.

Animation



A l'apogée, au périgée

Closest Approach (Perigee)

Date	Local Time	Distance in km	Distance in miles
21 jan	20 h 59	357.342 km	222.042 mi
19 fév	10 h 02	356.761 km	221.681 mi
19 mar	20 h 47	359.377 km	223.306 mi
17 avr	00 h 04	364.205 km	226.306 mi
13 mai	23 h 52	369.009 km	229.291 mi
8 juin	01 h 15	368.504 km	228.978 mi
5 juil	07 h 00	363.726 km	226.009 mi
2 août	09 h 11	359.398 km	223.319 mi
30 août	17 h 53	357.176 km	221.939 mi
28 sep	04 h 24	357.802 km	222.328 mi
26 oct	12 h 38	361.311 km	224.508 mi
23 nov	08 h 40	366.716 km	227.867 mi
18 déc	21 h 25	370.265 km	230.072 mi

* Distances are approximate. Closest Approach (Perigee) is highlighted.

Furthest Apart (Apogee)

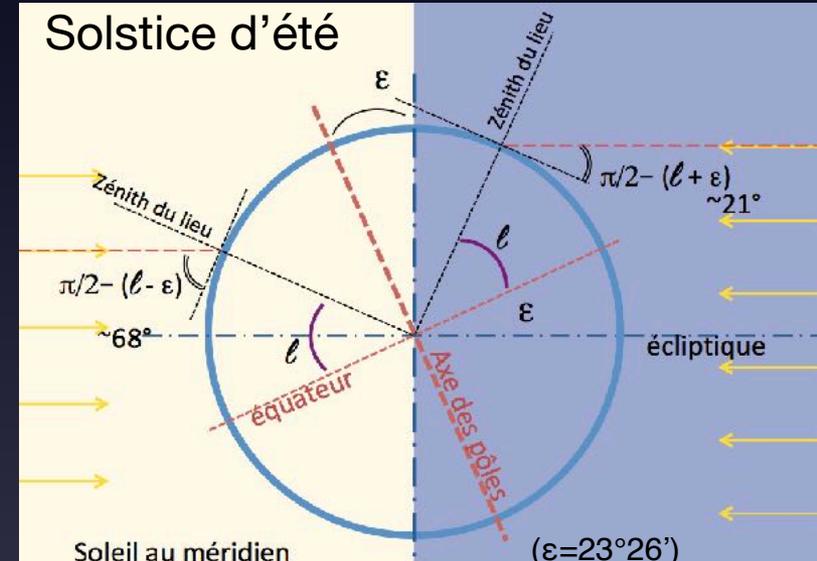
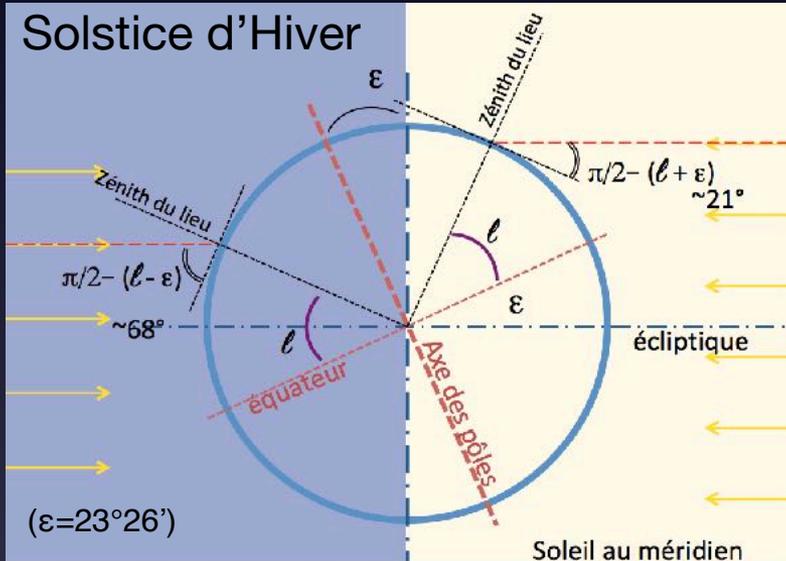
Date	Local Time	Distance in km	Distance in miles
9 jan	05 h 28	406.117 km	252.350 mi
5 fév	10 h 28	406.555 km	252.622 mi
4 mar	12 h 26	406.391 km	252.519 mi
1 avr	02 h 13	405.577 km	252.014 mi
28 avr	20 h 19	404.582 km	251.396 mi
26 mai	15 h 27	404.138 km	251.120 mi
23 juin	09 h 49	404.548 km	251.375 mi
21 juil	01 h 58	405.481 km	251.954 mi
17 août	12 h 49	406.244 km	252.429 mi
13 sep	15 h 32	406.377 km	252.511 mi
10 oct	20 h 28	405.899 km	252.214 mi
7 nov	09 h 35	405.058 km	251.691 mi
5 déc	05 h 08	404.446 km	251.311 mi

* Distances are approximate. Furthest Apart (Apogee) is highlighted.



Passage de la lune au méridien

Pleine lune culmine plus haut l'hiver que l'été



A Voiron $l = 45^\circ 21'$

Animation Stellarium :
altitude de la pleine lune au méridien au cours de 2019



« Retard » quotidien

Passage au méridien

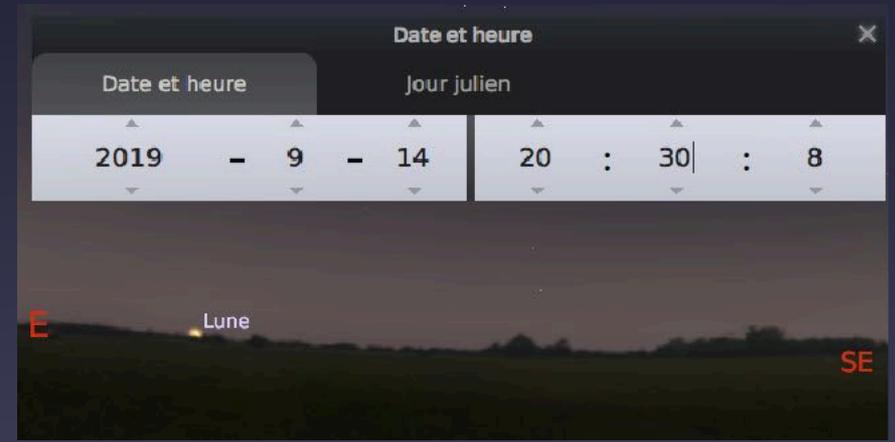
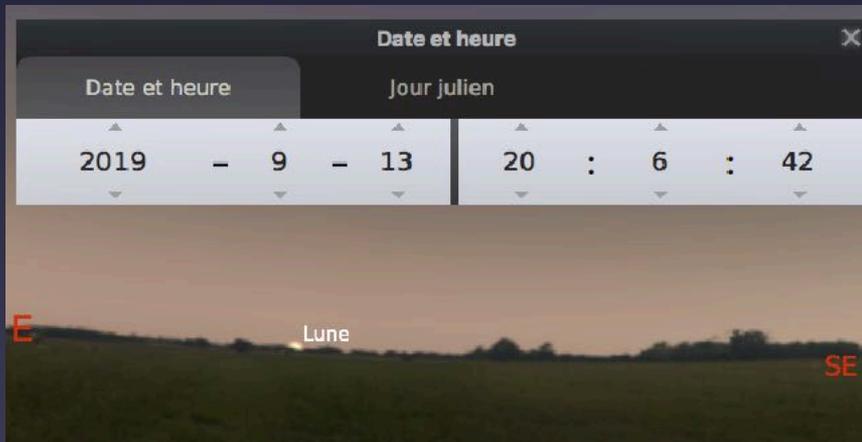
retard moyen de 50mn sur la veille, retard vrai +/- 15mn.

Animation Stellarium :

altitude de la lune au méridien au mois d'avril

lever ou coucher de la Lune

retard soumis à des fluctuations encore plus grandes, par suite des variations de sa déclinaison

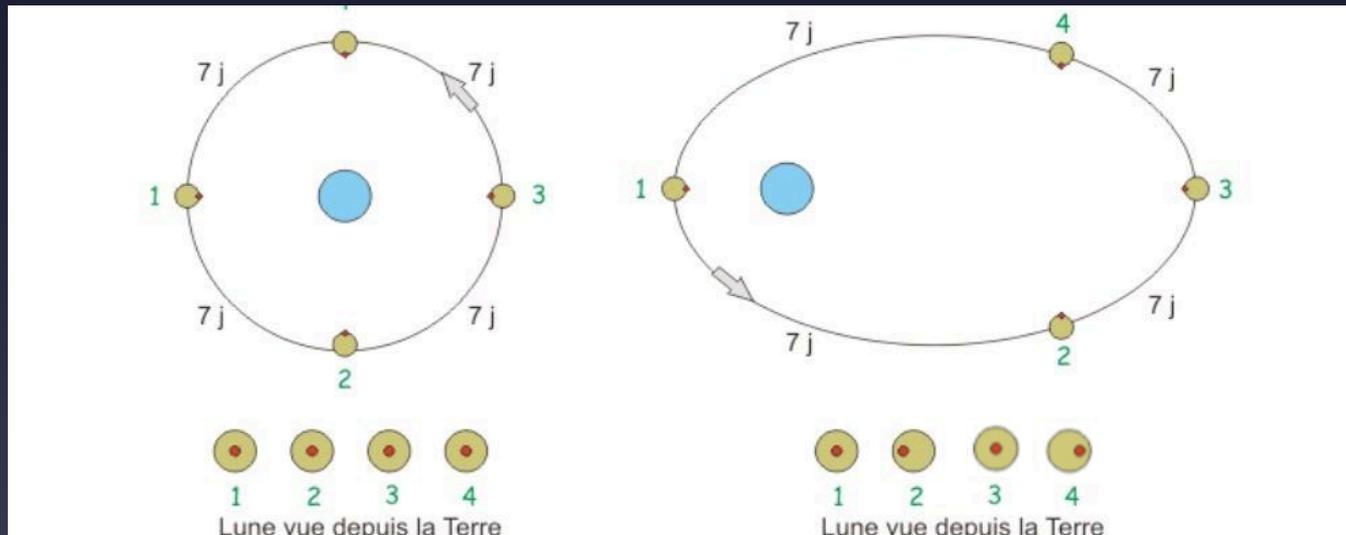




Phénomènes de libration

Libration en longitude

- Rotation de la Lune sur son axe synchrone avec sa révolution autour de la Terre
- Vitesse constante de rotation de la Lune.
- Vitesse de révolution variable sur l'orbite elliptique de la Lune.
 - À son apogée, la Lune ralentit - À son périgée, elle accélère.



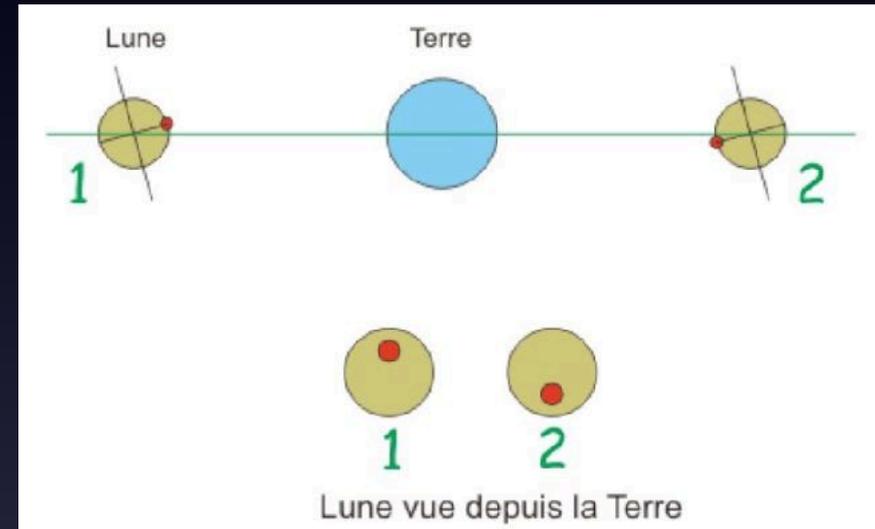
- Création d'un effet de balancement vers l'est et vers l'ouest. $\sim 7^{\circ} 54'$



Phénomènes de libration

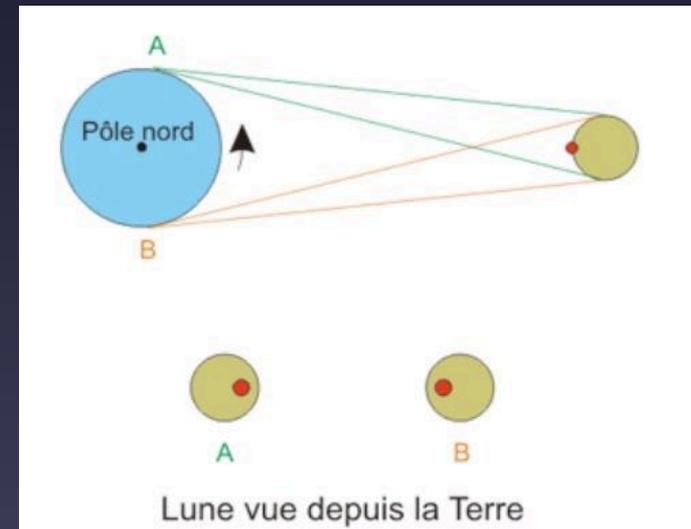
• Librations en latitude

- Inclinaison de l'axe de rotation de la lune / orbite terrestre
- Suivant la position de la Lune sur son orbite, dévoile ses régions polaires. $\sim 6.8^\circ$



• Librations parallaxiques

- phénomène purement optique
- dû aux positions respectives de la Lune et de l'observateur à la surface du sol. $\sim 1^\circ$





Phénomènes de libration

Surface totale visible : 59%

41 % qui restent visibles en permanence

18 % qui sont successivement dévoilés par la libration au cours des lunaisons

41 % qui ne sont jamais visibles depuis la Terre



<https://solarsystem.nasa.gov/resources/2233/moon-phase-and-libration-2019/>



Eclipses

Eclipse Occultation de Soleil

Lorsque la Lune passe devant le Soleil

Toujours lieu au voisinage de la conjonction (nouvelle Lune)

Ne sont visibles en un lieu donné que le jour

Eclipse de Lune

Lorsque la Lune passe dans l'ombre de la Terre.

Toujours lieu au voisinage de l'opposition (pleine Lune).

Ne sont visibles en un lieu donné que la nuit.



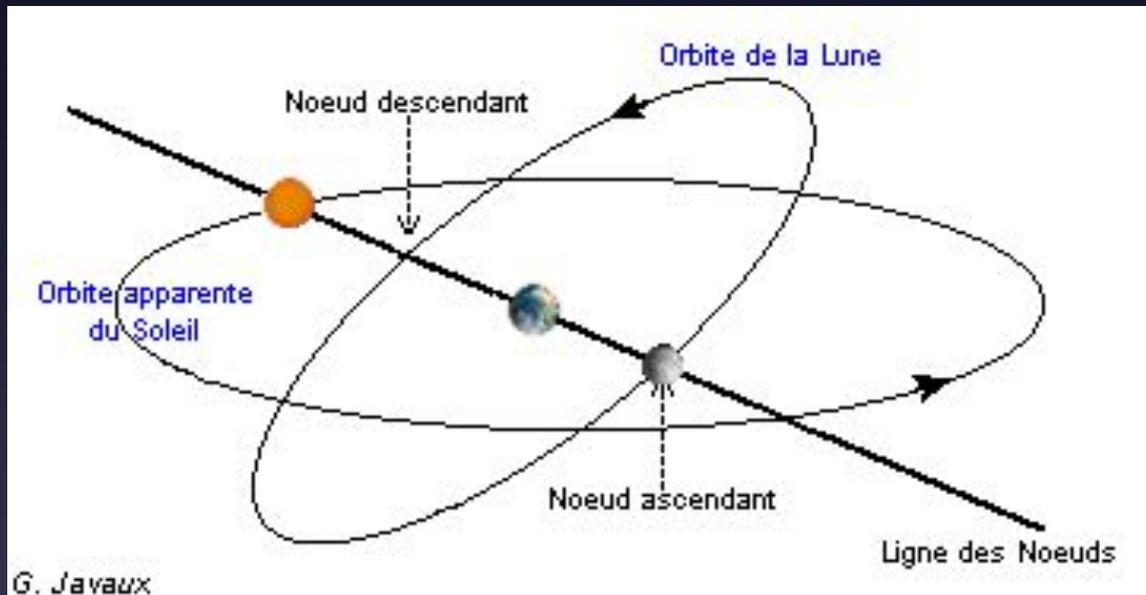
L'éclipse totale de Lune du 21 janvier 2019.
© JL Dauvergne



Circonstances d'une Eclipse

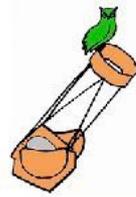
Position particulière de la lune

Si l'orbite de la Lune était dans le plan de l'orbite du Soleil apparent autour de la Terre (écliptique) il y aurait **des éclipses de Soleil à chaque nouvelle Lune et des éclipses de Lune à chaque pleine Lune.**



Du fait de l'inclinaison de $5^{\circ}17'$ sur l'écliptique, une éclipse de Lune ne peut avoir lieu que si la Lune est suffisamment proche d'un noeud.

Le saros= période de 6 585,321 jours, soit 18 ans, 11 jours (10 jours si l'intervalle contient 5 années bissextiles) 7 heures et 43 minutes



V - mots et expressions





Dico lunaire

- lunaire : relatif à la lune, ou qui présente des caractères rappelant certains aspects de la lune
- Sélénites : les habitants de la Lune dans la science-fiction.
- sélénite (sélène) : ce qui a rapport à la Lune.

- Régolithe lunaire : la poussière fine qui recouvre abondamment le sol lunaire.
- lune gibbeuse : (gibbosité) un peu avant/après la pleine lune

- alunir : se poser sur la lune. terme (ainsi que alunissage) blâmé par l'Académie française et par l'Académie des sciences qui préconisent atterrir (atterrissage). <http://www.cnrtl.fr> <http://atilf.atilf.fr/tlf.htm>

- Lunette : le mot vient de « lune », en raison de sa forme ronde.
- Lundi : issu du latin lunae dies signifiant « jour de la Lune »



Dénominations particulières

Lune des moissons

permettait aux fermiers de continuer à travailler jusque tard dans la nuit pour récolter leurs dernières moisson



The Harvest Moon

George Hemming Mason 1872

Lune Rousse

Mauvaise réputation ! Accusée de roussir les jeunes pousses
Pleine lune de fin Avril-début mai.

Lune Cendrée

(lumière cendrée)

Dans les jours qui précèdent ou suivent la nouvelle Lune: fin croissant + reste du disque lunaire légèrement éclairé par la lumière solaire réfléchié dans l'espace par la Terre.





Dénominations particulières

Super lune

Quand la lune est pleine alors qu'elle est à son périgée.
Les super-lunes tiennent beaucoup de l'autosuggestion

Lune bleue

Désigne une deuxième pleine lune dans le même mois
29j entre deux pleines lunes => 13 pleines lunes dans l'année =>
superstitions => blue moon.
Pas de rapport avec la couleur, mais avec le blues...

Super lune bleue

lune bleue, et au périgée

Super lune bleue de sang

Une lune de sang royal ?

Non, lune bleue, au périgée... et en plus, y'a éclipse !

31 janvier 2018, mais pas visible sous nos latitudes





Dénominations particulières

Lune montante (ascendante), descendante

notion plus ambiguë, car diverses versions existent !

- se réfère au changement de position de la Lune dans le ciel au fil des jours, fixée par l'orbite de la Lune autour de la Terre et par l'obliquité de l'écliptique.
- Au fil du cycle lunaire, la Lune monte ou descend en déclinaison (distance angulaire par rapport à l'équateur céleste)

Animation Stellarium : altitude de la lune au méridien au cours d'avril 2019, de la nouvelle lune à la pleine lune

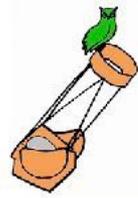


Quelques expressions courantes

- être lunatique, mal luné
- être dans la lune
- vouloir décrocher la lune, demander la lune, promettre la lune
- (vouloir) prendre la lune avec les dents
- faire voir, montrer la lune en plein midi.
- tomber de la lune
- lune de miel
- il y a des lunes, vieilles lunes
- hurler (aboyer) à la lune
- loger à l'enseigne de la lune

Plus quelques autres

(voir une longue liste ici : <http://www.cnrtl.fr/definition/lune>)



VI - Conséquences des interactions du couple terre-lune

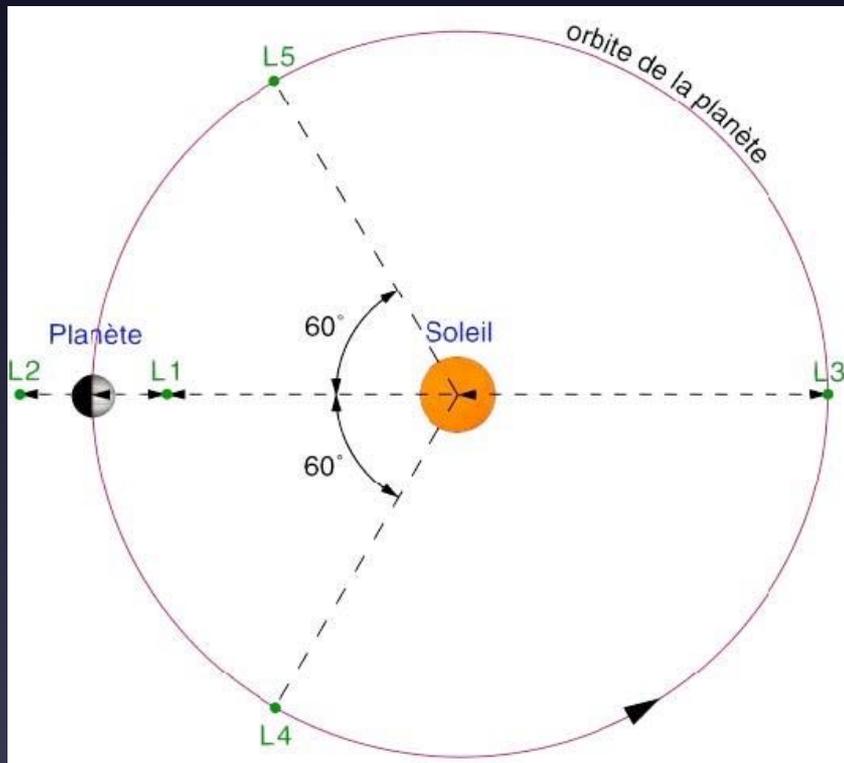




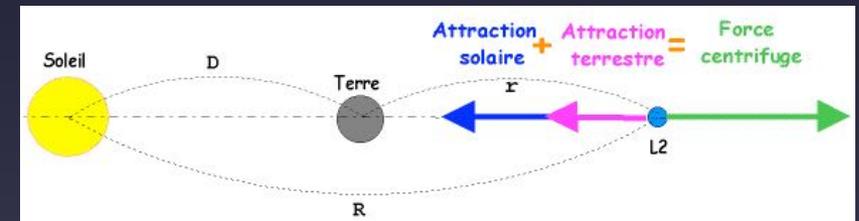
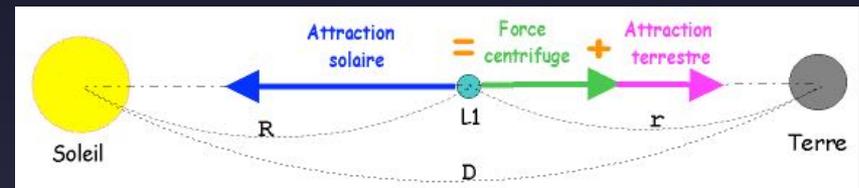
Points de Lagrange

Points d'équilibre dynamique

cas particulier du problème à trois corps, lorsque l'un des trois corps est de masse négligeable par rapport aux deux autres.



Les points L1 - L2 - L3



points d'équilibre instable

en L1 : Soho

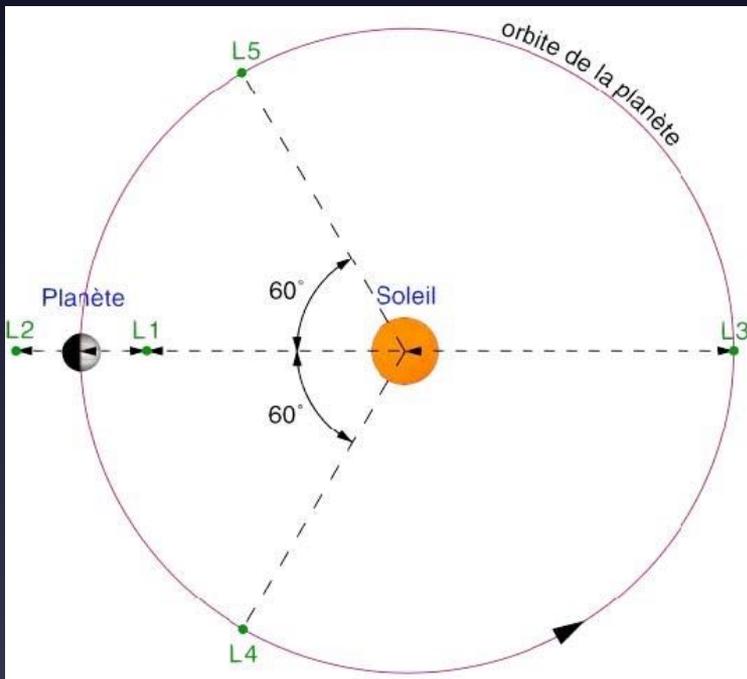
en L2 : Planck, puis Gaia



Points de Lagrange

Points d'équilibre dynamique

cas particulier du problème à trois corps, lorsque l'un des trois corps est de masse négligeable par rapport aux deux autres.



Les points L4 - L5

points d'équilibre stable si $m \ll M$
 $M_s, M_T, L_4 (L_5)$: triangles équilatéraux
système solaire:

Plusieurs milliers d'astéroïdes
(les Troyens) situés en L4 et L5
du système Soleil-Jupiter.

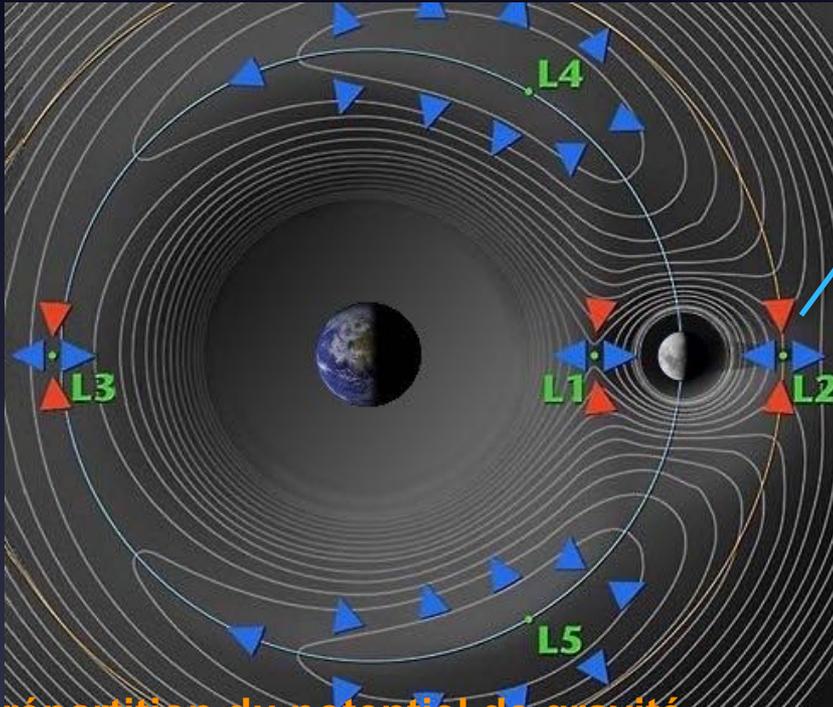
Saturne-Téthys : 2 Troyens (Télesto
et Calypso)

Soleil-Terre : un astéroïde troyen au point de Lagrange L4 : 2010 TK₇
En avance / terre



Points de Lagrange

Système Terre-Lune



répartition du potentiel de gravité

Observés pour la première fois en 1961 par l'astronome polonais, Kazimierz Kordylewski, mais théorisés quelques années auparavant.

Des scientifiques hongrois auraient observé (oct 2018) ces nuages.

Sujet à controverse...

satellite de télécommunications,
Queqiao en orbite autour de L2,
relais pour Chang'e 4
65.000 kilomètres de la Lune

Nuages de Kordylewski :
grandes concentrations de
poussière pouvant exister aux
points de Lagrange L4 et L5.



Mécanique des marées

Force d'attraction Lune/Soleil

Attraction sur objet de masse μ

$$F_L = \frac{GM_L \mu}{R_L^2}$$

$$F_S = \frac{GM_S \mu}{R_S^2}$$

l'effet gravitationnel de la Lune sur une masse terrestre est d'environ $1/180^e$ de celui du Soleil !
paradoxe ??

Anders Persson

URL : <http://bibnum.revues.org/678>

$$r_X \ll R_X$$

$$\Delta F_X = \frac{GM_X \mu 4r}{R_X^3}$$

rapport de 2.15

La Lune a plus d'influence sur les marées que le Soleil car l'effet de marée est en $1/R^3$ (gradient de la force de Newton), et non en $1/R^2$ (force de Newton).

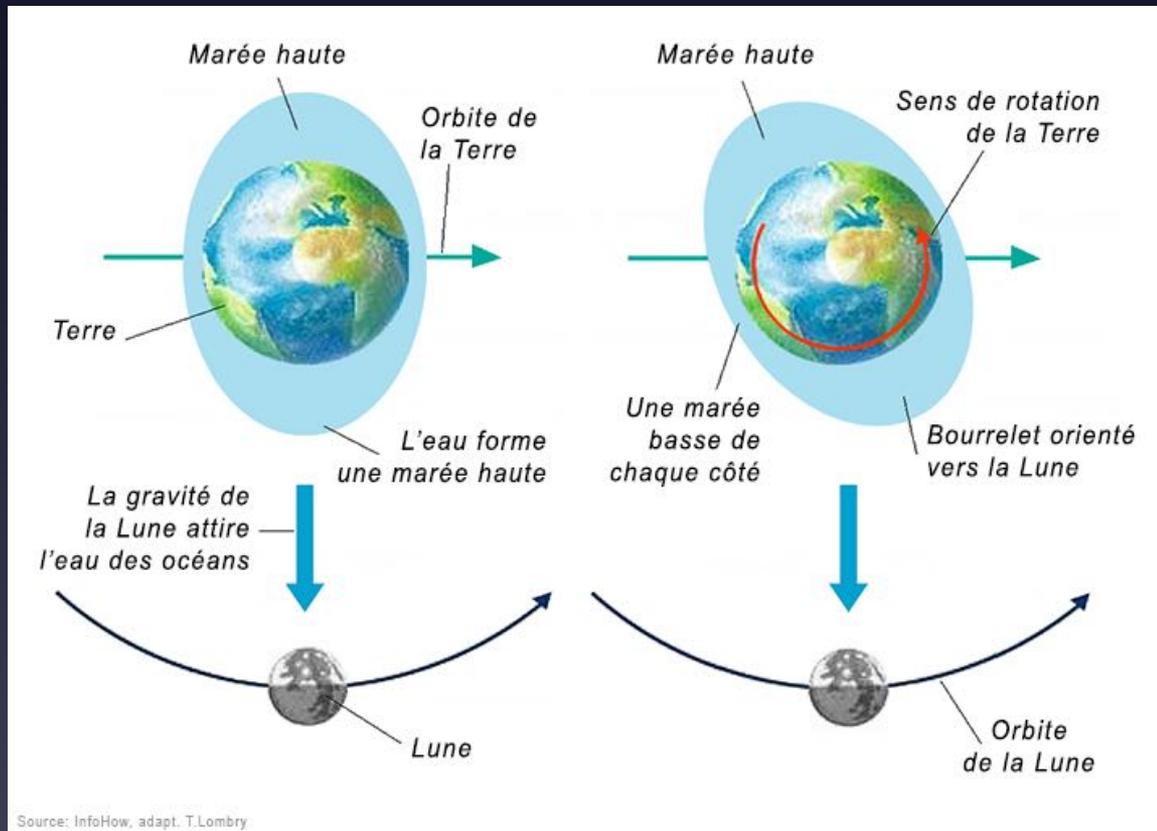


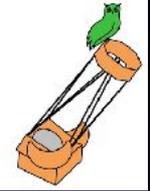
Phénomène de marée

Effets combinés

force centrifuge

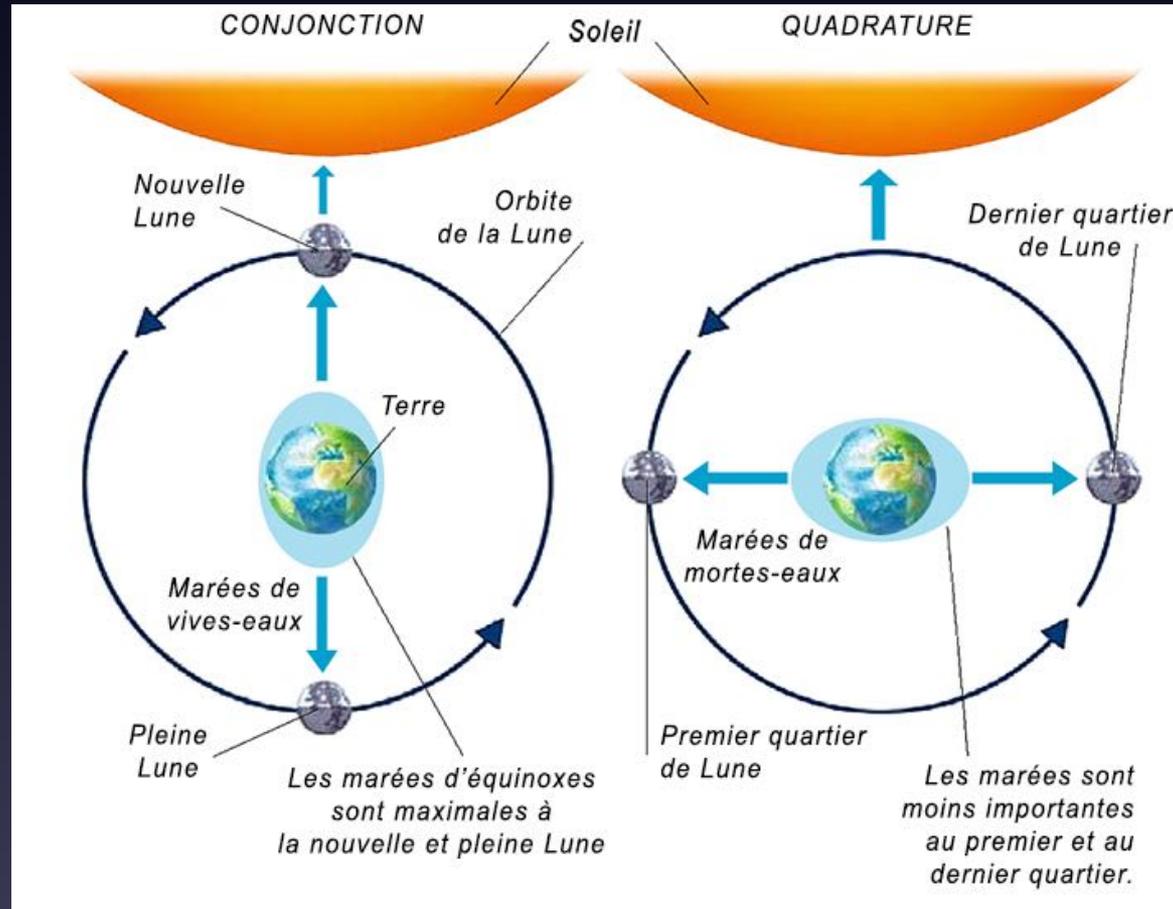
rotation de la terre





Phénomène de marée

Effets des positions relatives soleil/terre/lune



<http://astro.unl.edu/classaction/animations/lunarcycles/tidesim.html>

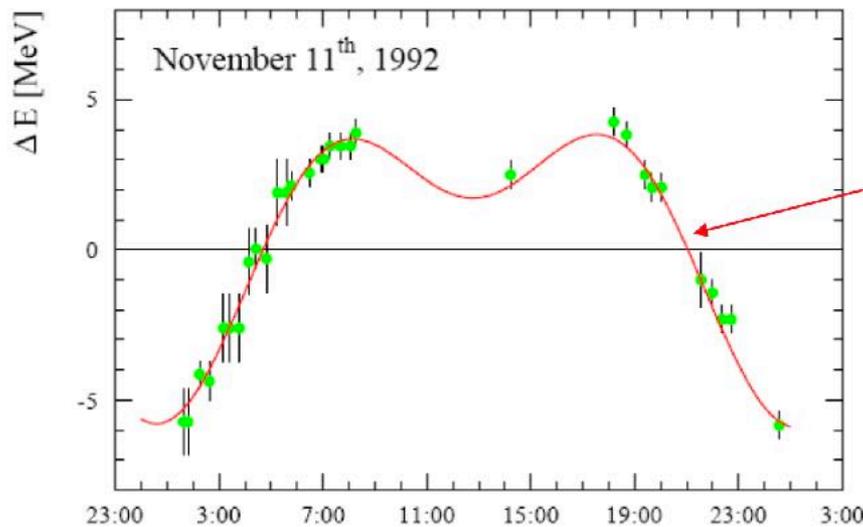


Phénomène de marée

Sur la croute terrestre

Energie du LEP

Mesure de l'énergie sur 24h



Effet des marées terrestres !
(calcul géophysique)
Variation de la longueur du LEP de 1mm/27km !!!
→ 10MeV d'erreur ...

Sur la lune

déforme la Lune le long de l'axe qui l'unit à la Terre - Lobe de Roche



La lune nous abandonne...

Eloignement de la lune

Marrées : frottements, déformations => freinage de la rotation de la terre
+ Conservation du moment cinétique du système T-L

=> la lune s'éloigne

à la vitesse de 10^{-9} m/s, soit 3-4 cm/an.

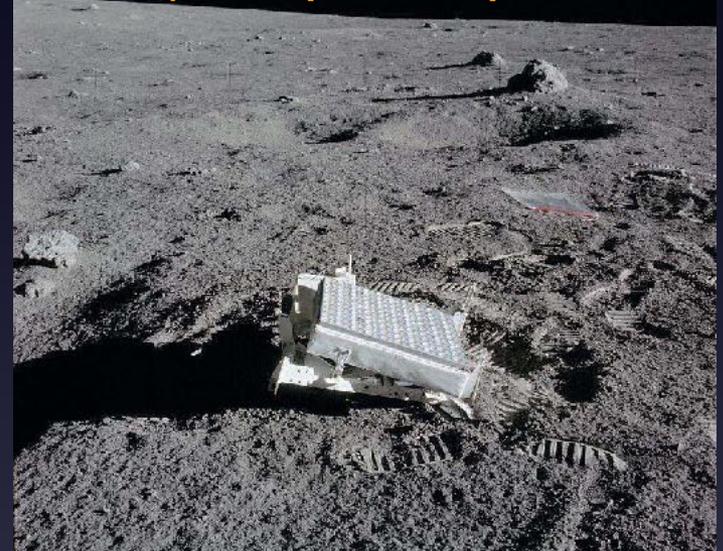
=> diamètre angulaire de la Lune diminue.

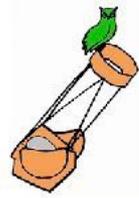
Un jour se produira donc la dernière éclipse totale...

Delaunay (1816-1872) :

Les forces perturbatrices auxquelles sont dues les oscillations périodiques de la surface des mers (phénomène des marées), en exerçant leur action sur les intumescences liquides qu'elles occasionnent, déterminent un ralentissement progressif du mouvement de rotation de la Terre, et produisent ainsi une accélération apparente sensible dans le moyen mouvement de la Lune

Le réflecteur laser LLR (Lunar Laser Ranging Experiment) déposé sur le sol lunaire par la mission Apollo 14 (février 1971)





Pour terminer



Le lune le 12 Juillet 2019



Moon Phases 2019
Including Libration and Position Angle



Merci de
votre
attention !

Time	12 Jul. 2019 19:00 UT
Phase	83.4% (9d 23h 44m)
Diameter	1859.7 arcseconds
Distance	385388 km (30.25 Earths)
Position	16h 02m 15s, 16° 49' 57"S
Subsolar	0.009°N 53.027°E
Sub-Earth	4.844°S 6.009°E
Pos. Angle	10.195°