

DOSSIER

«On the

Document pédagogique sur quelques points saillants qui peuvent nourrir observations et débats

(Sources : Astronomie – Ciel et Espace – Futura – NASA – Sites divers – Publications sur Géologie et s

SUR LA LUNE

□

QUELQUES DONNEES SCIENTIFIQUES

□

- **Approche générale**
- **Corps**

1. o **Diamètre** équatorial 3474km (Terre700km – 3.7 fois plus petite)
2. o **Masse** 0.012 masse Terre (83 fois plus légère) / densité 3346kg / m³ (faible sans noyau fer)
3. o **Gravité** 0.16g soit (~6 fois moindre que sur Terre)

- **Surface**

1. o **Cratères** : La quasi-totalité des cratères observables sont des cratères d'impact

météoritiques. Les cratères volcaniques tels qu'on les conçoit sur Terre sont rares sur la Lune. De faible relief (100 à 200 m, ce qui ne les rend observables qu'en éclairage rasant maximum), ils sont représentés par des cratères sans bords ou plus généralement par des dômes lunaires de 5 à 15 km de diamètre

2. o**Mers lunaires** : larges et sombres plaines basaltiques, formées par d'anciennes coulées volcaniques et causées par l'impact de très grosses météorites.

3. oMouvements tectoniques et effets de **contraction thermique** : escarpement de failles (failles inverses) et formes lobées relativement jeunes (la Lune aurait perdu 100m de diamètre récemment sur 100 millions d'années)

4. o**Tubes lave** qui peuvent atteindre une taille kilométrique (1 à 5km). Parfois effondrés ils peuvent donner des crevasses de plusieurs centaines de km de long

5. o**Atmosphère**: 10^{-10} Pa – température de la surface $+123^{\circ}$ à -233° (au pôle -238° un des points les plus froid du système solaire)

- **Orbite / Période / Phases / lumière cendrée**

1. o**Période synodique** : phases successives qui reviennent tous les 29,53 jours. Le cycle de révolution synodique est appelé [lunaison](#) . Elle caractérise 2 phases identiques consécutives ou même configuration soleil Terre Lune.

2. o**Période « sidé »** : 27J 7H à le référentiel est le fond d'étoiles (voir synchronisme). Temps que met le Lune pour faire un tour sur elle-même par rapport aux étoiles.

3. o**Phases** : Nouvelle Lune / premier croissant / premier quartier/ Lune gibbeuse / opposition / gibbeuse / dernier quartier/ dernier croissant

4. oRévolutiontrès proche cercle : Distance varie entre 356.000 kilomètres et 406.000 kilomètres

1. o**Vitesse orbitale**: 1km/s (vitesse orbitale Terre ~30km/s et Soleil 230km/s autour centre galactique SgrA .

Pour mémoire l'apex solaire situé entre Hercule et Deneb est le nom donné à un point de la sphère céleste vers lequel se déplace le système solaire tout entier dans son mouvement propre au sein de notre Galaxie. La vitesse apparente de ce déplacement serait de ~20km/s

1. o**Lumière cendrée** : 37 % de la lumière reçue par notre planète repart dans l'espace. Cette lumière cendrée suffit à éclairer faiblement notre satellite lors de la nouvelle Lune

2. o**Orbite lunaire** inclinée 5° (varie 5,28) sur écliptique (plus proche du plan de l'écliptique

que du plan équatorial terrestre). L'axe de rotation de la Lune et son plan orbital subissent un effet de précession identique : ainsi, bien que son axe de rotation ne soit pas fixe par rapport aux étoiles, l'angle entre le plan de l'équateur lunaire et l'écliptique est toujours égal à $1,543^\circ$.

- Les éclipses

1. o**L'ombre de la Terre** s'étend jusqu'à un million et demi de kilomètres dans l'espace. Comme la Lune se trouve à environ 400.000 km de la Terre, il arrive qu'elle rencontre cette ombre et la traverse

2. o**Plusieurs types d'éclipse** : partielle si la Lune passe dans le cône de pénombre, partielle si la Lune passe en partie dans le cône d'ombre (preuve de la rotondité de la Terre – voir théories « ») et totale si la totalité de la Lune passe dans le cône d'ombre. (noter teinte rougeâtre provoquée par le phénomène de réfraction de la lumière solaire sur l'atmosphère terrestre, influencé par la couche nuageuse et la densité des poussières)

3. o**Lumière** soleil nous parvient en- Lune 1.3s

Concepts astronomiques et approfondissement

□ Création

Parmi les modèles explicatifs, celui qui s'impose actuellement associe une collision il y a 4,4 milliards d'années entre notre planète naissante et un petit corps céleste appelé [Théia](#) (taille Mars) . La trajectoire de l'impacteur se présentait sous un angle très oblique. Puis groupement rapide des roches satellisées. Ce modèle est associé aux hypothèses sur l'origine de la présence d'eau sur Terre.

D'autres scénarii ont été établis puis abandonnés. Aucun ne vérifiait complètement les observations.

O Un premier scénario, celui de la fission, (Georges Darwin) supposait que la Terre était une masse liquide en rotation relativement rapide. Du fait de la force centrifuge, notre planète aurait éjecté une fraction de sa masse qui se serait finalement agglomérée pour donner naissance à la Lune.

Mais l'analyse des roches lunaires a montré que leur composition chimique est différente de celle des roches terrestres, en particulier en ce qui concerne la proportion de fer. La Lune ne peut donc pas être uniquement formée de matière arrachée à la Terre. De plus, ce scénario exige une vitesse de rotation excessivement grande que rien ne permet de comprendre.

O Le deuxième scénario était celui de la création simultanée : la Terre et la Lune se seraient formées simultanément à partir de la même source de poussières. Mais ce scénario est incapable d'expliquer pourquoi la Lune possède un noyau beaucoup plus petit que la Terre. De plus ces variations dans la composition de matière prouvent que la Lune n'aurait pas pu naître dans la même région que la Terre.

O Le troisième scénario était celui de la capture, selon lequel la Lune se serait formée dans une région différente du système solaire mais aurait été capturée à un certain moment par le champ de gravité de la Terre. Mais il est extrêmement difficile d'imaginer comment la Terre aurait pu capturer un objet aussi massif que la Lune et l'amener sur une orbite stable.

- Histoire géologique

1. 1.- Peu après la création de la Lune (~4Ma), remontées, lors du refroidissement de l'océan de magma, de cristaux de plagioclase (feldspaths) et enfoncement de matériaux plus denses (olivine et pyroxène), zone d'où proviendront plus tard les remontées de matériaux sombres des mers lunaires.

2. 2.-« Nectarienne » (3,9Ma) avec bombardement de grosses planétoïdes et formations des régions montagneuses par débris d'impacts (couche caillouteuse de 1 à 2km formée par la croute pulvérisée)

3. 3.- Ere « Eratosthé » volcanique provoquée de -3 à -1 Ma par les derniers gros impacts qui brisent la croute avec remplissage des mers et bassins par une lave très fluide. Fractures produites par le poids et l'enfoncement du basalte remonté et solidifié en surface.

4. 4. – Ere récente dernier 1Ma d'érosion par bombardement météoritique. Phénomènes de contraction

5. 5.– Aujourd': Vestiges d'impact constitués de chaînes de montagnes et escarpements

Vestiges volcaniques : mers lunaires, failles tectoniques, cisaillement et fractures de contraction. Les cratères volcaniques sont petits et difficiles à détecter (dômes).

Traces d'anciens conduits de lave effondrés

Sous la croute(~50km) et le manteau (plusieurs centaines de km), lave en fusion vers 1200km

- **Moment cinétique et ralentissement**

La Lune s'éloigne : les marées océaniques se déplacent à la surface de la Terre et ce déplacement s'accompagne d'une dissipation d'énergie. Il en résulte un **ralentissement** de la vitesse de la Terre (la journée s'allonge de 0,002 s par siècle) et l'éloignement de la Lune d'environ 3,5 cm par an. Il y a 2,5 milliards d'années la journée comptait seulement 20 heures.

Un système isolé dans le vide spatial conserve son **moment cinétique** (la "quantité" de mouvement liée à la rotation de l'ensemble des deux globes) selon un principe physique établi : si la Terre ralentit alors augmentation de la période de révolution lunaire et augmentation distance T/L

□

Clarification

Ne pas confondre moment d'inertie et moment cinétique : le patineur sur glace rapproche les bras de son corps pour accélérer sa rotation lors d'une pirouette. Cela a pour effet de diminuer

son moment d'inertie ce qui, par conservation du moment cinétique ou moment angulaire, implique une plus grande vitesse de rotation.

1. oMoment d'inertie : c'est l'analogie de la masse pour un corps en: reflète la «résistance» qu'oppose un corps à sa mise en mouvement (moment inertie J pour énergie cinétique $\frac{1}{2}J\omega^2$),

2. oMoment cinétique ou moment: analogue de la quantité de mouvement pour la translation (produit entre moment inertie J et vitesse angulaire ou produit vectoriel entre position (r) et quantité mouvement (mv))

- Synchronisme

On vient de le voir, l'attraction gravitationnelle entre deux corps produit une force de marée sur chacun d'eux, les étirant dans la direction de l'axe planète-satellite. Ces déformations ralentissent la rotation de la Terre et la distance les séparant augmente de 3,84 cm par an.

Peu à peu, ces forces de marée ont freiné également le mouvement de rotation de la lune qui était plus rapide, jusqu'à ce que celui-ci atteigne un point d'équilibre.

On parle de rotation synchrone lorsqu'un satellite tourne sur lui-même dans le même temps qu'il tourne autour de l'astre autour duquel il est en orbite. C'est-à-dire lorsque sa période de rotation est identique à sa période de révolution.

C'est le cas du système Terre-Lune et d'une grande partie des satellites naturels du système solaire.

De la même façon, les marées soulevées par le satellite sur sa planète vont avoir tendance à synchroniser la rotation de cette dernière avec la révolution de son satellite.

Une synchronisation ultime dans un futur lointain rendra la rotation terrestre égale à la rotation

lunaire, de sorte que la Terre présentera dans ce futur la même face à la Lune.

- **Asymétrie des faces**

Pour certains chercheurs, l'explication de l'asymétrie des faces de la Lune se trouve dans l'influence thermique passée des forces de marée terrestre sur la croûte lunaire, flottant sur son océan de magma au début de sa formation.

Les mouvements de friction générés ont chauffé certaines zones. Dans les régions polaires, où les flexions et le chauffage étaient les plus intenses, la croûte se serait amincie, (jusqu'à 15km dans le bassin du pôle sud Aitken, pour 50km en moyenne) tandis que la croûte la plus épaisse se serait formée dans les régions alignées avec la Terre.

D'où l'épaisseur relativement importante de la croûte lunaire sur sa face cachée.

On ne sait toujours pas pourquoi le même processus ne s'est pas logiquement produit sur la face visible dont la croûte est relativement mince. Il se pourrait que les impacts à l'origine des mers lunaires aient été à l'origine d'une activité volcanique effaçant le renflement de croûte auquel on doit s'attendre sur la face visible.

Des analyses gravimétriques récentes font apparaître que cette différence pourrait être le produit d'une collision entre la Lune et un corps céleste un peu plus petit (taille CERES) il y a plus de 4 Ma.

- **Libration**

Libration longitudinale : La Lune est en rotation synchrone et conserve ainsi toujours la même face tournée vers la Terre.

Du fait de son excentricité orbitale, la vitesse angulaire de la Lune varie au cours d'une

révolution et n'est pas toujours égale à sa vitesse de rotation.

En effet, lorsque la Lune est au périgée, sa vitesse de rotation qui demeure constante, est en quelque sorte rattrapée puis dépassée par la vitesse de son mouvement orbital, ce qui permet d'apercevoir jusqu'à 8° de longitude de la partie orientale de sa face cachée. Réciproquement, à l'apogée, la vitesse orbitale est plus lente, révélant 8° de longitude de sa partie occidentale.

Idem avec l'inclinaison de l'orbite sur l'écliptique et effet de **libration latitudinale** soit 7° de latitude au-delà des pôles.

□

- **Orbite elliptique/ apogée-Périgée** □ **/excentricité / vitesse libération**

1. o**Excentricité** de l'orbite elliptique ($1/2$ G axe a, $1/2$ P axe b à excentricité racine a^2-b^2 /soit 0.055

2. o**Vitesse libération** : 2.4km/s: 11,2km/s pour la Terre, 42,1km/s pour le soleil)

3. o**Kepler** : Corrélation données géométriques de l'orbite et période: Satellite : 3ieme loi Kepler : le cube du $\frac{1}{2}$ grand axe orbital est proportionnel au carré de la durée d'une révolution. (si le corps « fixe » est très massif)

4. o**Gravitation** : Inviter à ne pas confondre G constante fondamentale gravitation (attraction entre 2 corps $F=G.M.m/R^2$) et l'accélération pesanteur terrestre (situation locale de la pesanteur à la surface de la Terre) $F=g.m$ ($g=9.8m/s^2$

pour la Terre $g=G.M/R^2$

avec pour constante universelle de gravitation de Newton. $G = 6,674 \times 10^{-11}$

m^3

kg^{-1}

s^{-2}

)

Cette accélération de la pesanteur terrestre est une valeur moyenne : Sur Terre et suivant le lieu il faut ajouter à l'accélération de la gravité une accélération d'entraînement axifuge, dirigée perpendiculairement à l'axe des pôles.

- Les éclipses de Lune et l'ingéniosité d'Aristarque

Il existe une méthode géométrique simple qui permet de calculer une valeur approchée du diamètre de la Lune. Cette méthode fut trouvée par Aristarque de Samos (-310 à -230 avant JC) en utilisant une éclipse totale de la Lune.

1. oA cette époque, on connaissait grâce à Eratosthène le diamètre de la Terre. 756km)
2. oAristarque supposait que l'ombre de la Terre forme un cylindre, dans lequel pénètre la Lune lors des éclipses totales de Lune (en réalité évidemment, c'est un cône car le Soleil n'est pas infiniment loin).
3. oEn observant le déplacement de la Lune par rapport aux étoiles, il savait également que la Lune parcourt en une heure une distance à peu près égale à son diamètre
4. oUne éclipse totale de Lune dure au maximum 2 heures. La Lune parcourt donc une distance d'environ 2 fois son diamètre bord à bord du cylindre d'ombre
5. oUn dessin très simple montre alors que le diamètre de l'ombre supposé être celui de la terre vaut 3 fois le diamètre de la Lune (en réalité 3.7 fois)

Le groupe photo de Pesco Luno a pu mettre en évidence le rapport des diamètres en prenant le profil de l'ombre de la terre sur la lune lors d'une éclipse partielle de lune.

- Effets sur la planète Terre et sur la vie

1. o**Champ magnétique** terrestre : Véritable bouclier contre les particules à hautes énergies, le champ magnétique d'une planète comme la Terre est produit par des mouvements de fer dans le noyau liquide. Un nouveau modèle induit que l'agitation du noyau liquide serait due aux marées produites par les interactions gravitationnelles entre les astres. Dont l'influence de la Lune. Or ce champ magnétique protecteur est une des conditions de l'apparition de la vie sur Terre

1. o**Vie** : Certains éléments, comme le carbone ou l'azote, apparaissent comme essentiels à l'émergence de la vie. L'origine de ces éléments sur Terre fait encore débat.

Des chercheurs affirment aujourd'hui que ces derniers seraient le résultat d'une collision avec une planète au cœur riche en soufre. (Théia ?)

1. o**Bouclier** partiel contre les géo croiseurs.

1. o**Stabilisation axe rotation Terre** : C'est grâce à l'attraction de la Lune sur la Terre que la précession des équinoxes prend 25 800 ans. Sans cette Lune si massive, l'inclinaison de l'axe de rotation de la Terre serait chaotique, oscillant de façon irrégulière à l'échelle des temps géologiques, quasiment de 0 à 90°. Les climats changeraient du tout au tout, ce qui aurait été très défavorable au développement des formes vivantes évoluées, surtout sur les continents.

Cette stabilisation est due au fait que le moment d'inertie du système Terre-Lune est bien plus grand que celui de la Terre seule.

1. o**Effets de marée** : Des phénomènes expliqués ci-dessous provoquent un renflement des océans sur Terre du côté de la Lune et à son opposé. D'où deux marées hautes et deux marées basse en une journée en France. (Mais une seule par jour au Vietnam et inexistante en certains points de la mer du nord)

Mais l'explication générale des marées est plus complexe qu'il n'y paraît :

- Si on s'en tient à la théorie de **Newton**, plutôt satisfaisante pour l'esprit et de la seule action de la lune et du soleil, (forces d'attraction de ces astres sur un cube d'eau à la surface de la Terre) les effets de marée qui résulteraient de ces seules forces provoqueraient des dénivellations de quelques dizaines de centimètres à peine (le livre « les Marées » d'Odile Guérin cite 70 cm) alors qu'elles peuvent atteindre 17 m sur certaines côtes. Noter que la force d'attraction de la lune est 170 fois plus forte que celle du soleil.

- En fait le véritable « moteur » des marées est lié à une approche dynamique (**Laplace**).

En tournant autour de la Terre en 27 jours environ, la Lune forme avec la Terre un couple en rotation (dont le centre de gravité se trouve dans la Terre à 4600km du centre terrestre) affectant la surface terrestre d'une **force centrifuge** elle significative.

La combinaison de ces deux forces (attraction lunaire et force centrifuge) conduit à une résultante génératrice de forces de marée qui mettent les masses d'eau en mouvement oscillatoire.

Ces phénomènes de déformation sont particulièrement sensibles le long des côtes des mers peu profondes (17m baie Fundy au Canada) sans déformation importante au centre des océans. (qq dizaines de centimètres)

Quelques effets « secondaires » :

- L'onde de marée est en **retard** par rapport au mouvement de la Lune du fait de la déformabilité de l'eau.
- L'irrégularité du décalage dans le temps est liée à l'orbite elliptique de la Lune et au différentiel de vitesse de celle-ci sur son orbite au périée et à l'apogée. (Surfaces balayées par les rayons Terre Lune égales - 2^{ème} loi Kepler)
- L'influence du soleil et de la lune participe avec les **marées de vives eaux**. En particulier en lien avec la position aphélie (2 juillet) et Périhélie (2 janvier) ainsi que l'angle de l'axe de rotation avec l'écliptique : attraction solaire maximale aux équinoxes : le soleil est dans le plan de l'équateur.

Dossier réalisé par Alain Gélis et Michel Reynard

{backbutton}