



# MAIS COMMENT S'EST FORMÉE LA LUNE ?



## Du 19<sup>e</sup> s jusqu'à la fin de la première moitié du 20<sup>e</sup> s : trois hypothèses sur l'origine de la Lune

**Théorie de la fission** : Présentée par Georges Darwin (1845–1912, astronome et mathématicien anglais), la théorie de la fission dit que la Lune serait un morceau détaché de la Terre sous l'effet de la force centrifuge due à la rotation très rapide de la planète originelle.

**Formation simultanée** : Une grosse masse de poussières se serait agglomérée pour former la Terre, alors qu'une autre, plus petite, dans le voisinage de la Terre, aurait donné naissance à la Lune. Les deux objets auraient alors adopté une orbite autour de leur centre de gravité commun. La masse de la Lune étant seulement de 0,0123 fois celle de la Terre, le centre de gravité Terre-Lune se situe à l'intérieur de la Terre.

**Capture** : Cette théorie propose qu'un corps formé dans une autre région du système solaire aurait été capturé par la gravité de la Terre. Cela expliquerait la différence de composition chimique entre la Terre et la Lune et la rareté du fer sur la Lune.

Toutes ces explications présentent des lacunes importantes qui ne rendent pas compte des spécificités de la Lune : inclinaison de l'orbite, composition et densité, taille par rapport à la Terre, etc.

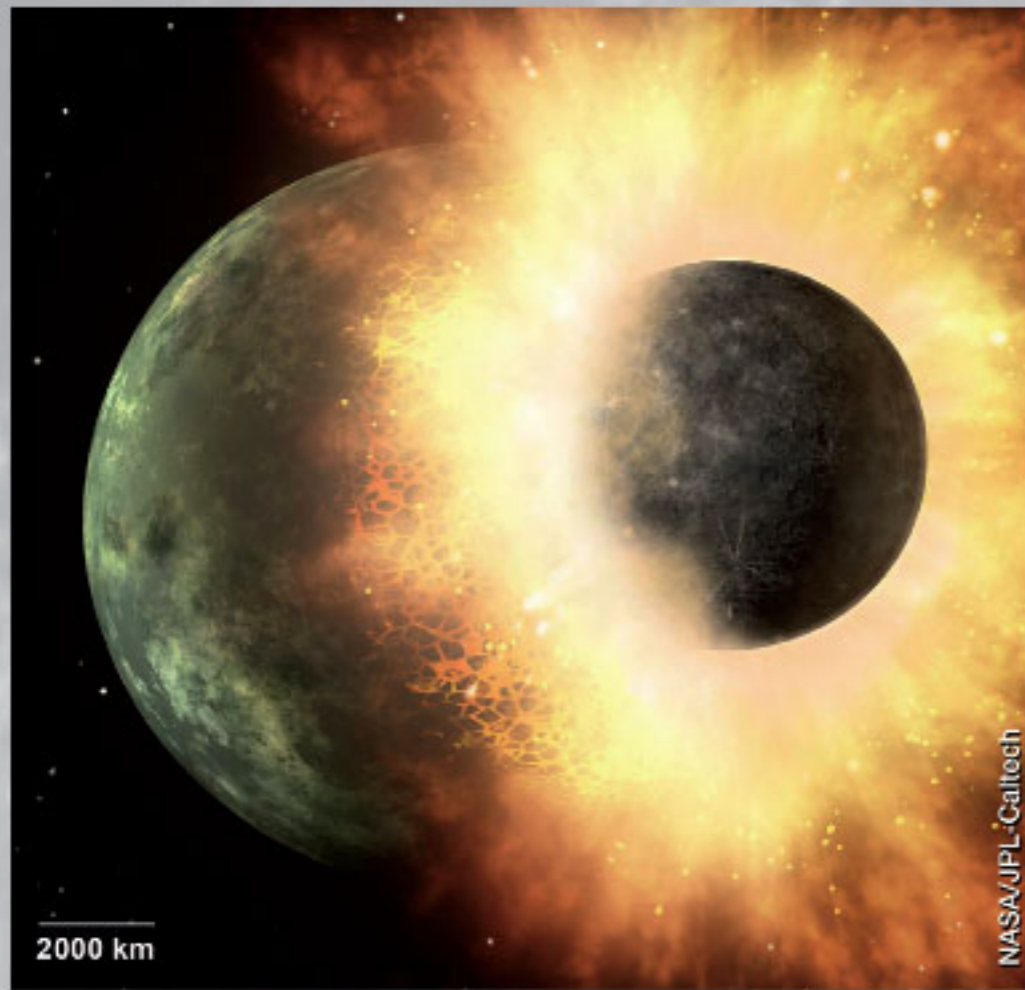


Image d'artiste montrant la Terre impactée par une petite planète

Pierre Thomas, (Laboratoire de géologie de Lyon, Terre, Planète, Environnement - UMR 5276 École normale supérieure de Lyon), a modifié le dessin ci-contre en ajoutant l'axe des pôles et l'équateur de la Terre, permettant ainsi de montrer que les fragments à l'origine de la Lune sont situés dans le plan de l'écliptique (ligne de la course annuelle du Soleil dans le ciel) et non dans celui de l'équateur de la Terre.

## L'hypothèse de l'impact

À la fin des années 1970, l'analyse des échantillons de Lune rapportés par les missions Apollo, amenèrent les chercheurs à émettre une nouvelle hypothèse selon laquelle la Lune serait constituée de matière éjectée lors d'un choc tangentiel entre la jeune Terre et une proto-planète de la taille de Mars que l'on appela Théia. Dans la mythologie grecque, Théia était une titanide qui donna naissance à la déesse de la Lune, Séléné, sœur d'Hélios (le Soleil) et d'Éos (l'Aurore). Cet impact se serait produit 100 millions d'années après la naissance du système solaire, soit il y a 4,468 milliards d'années.

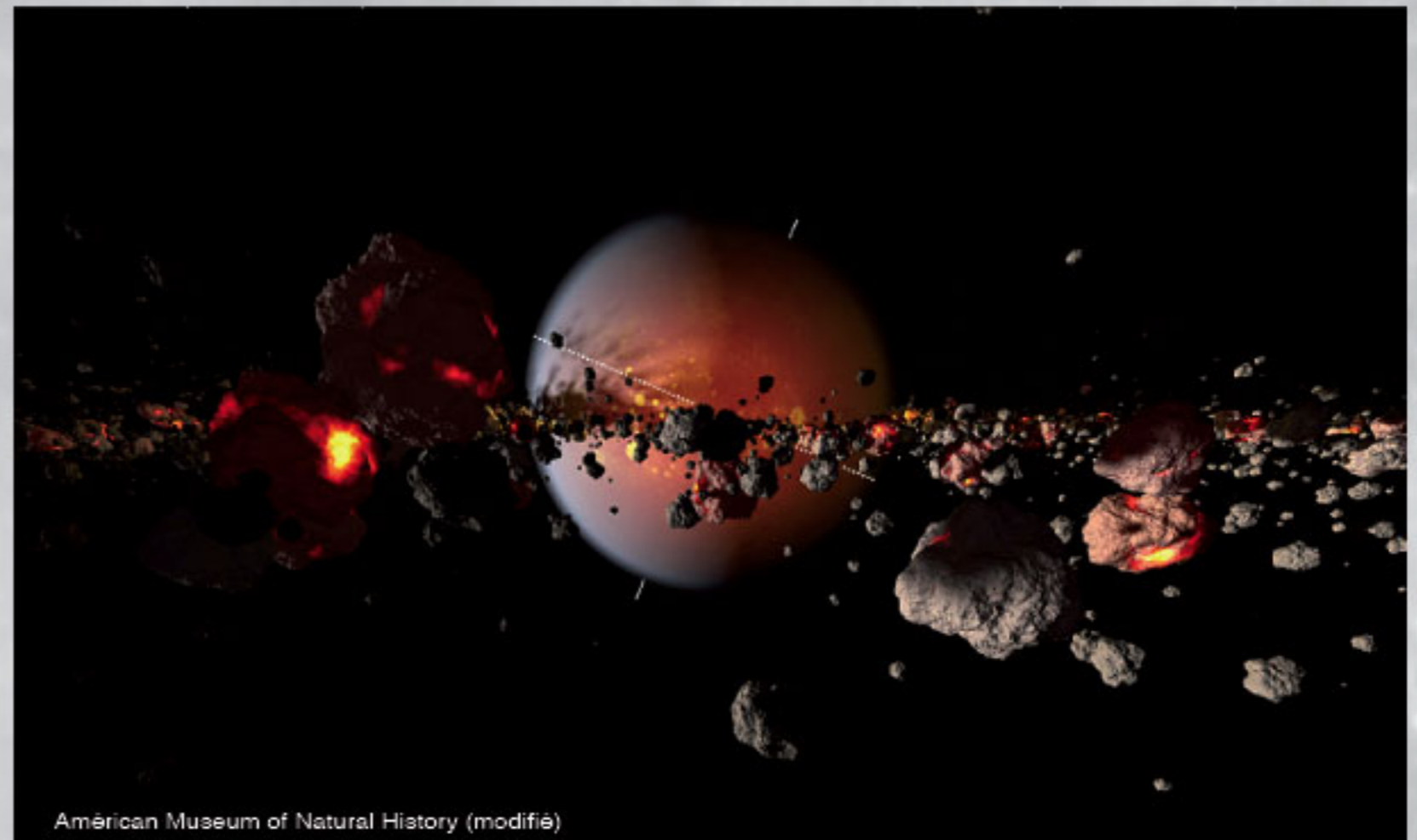
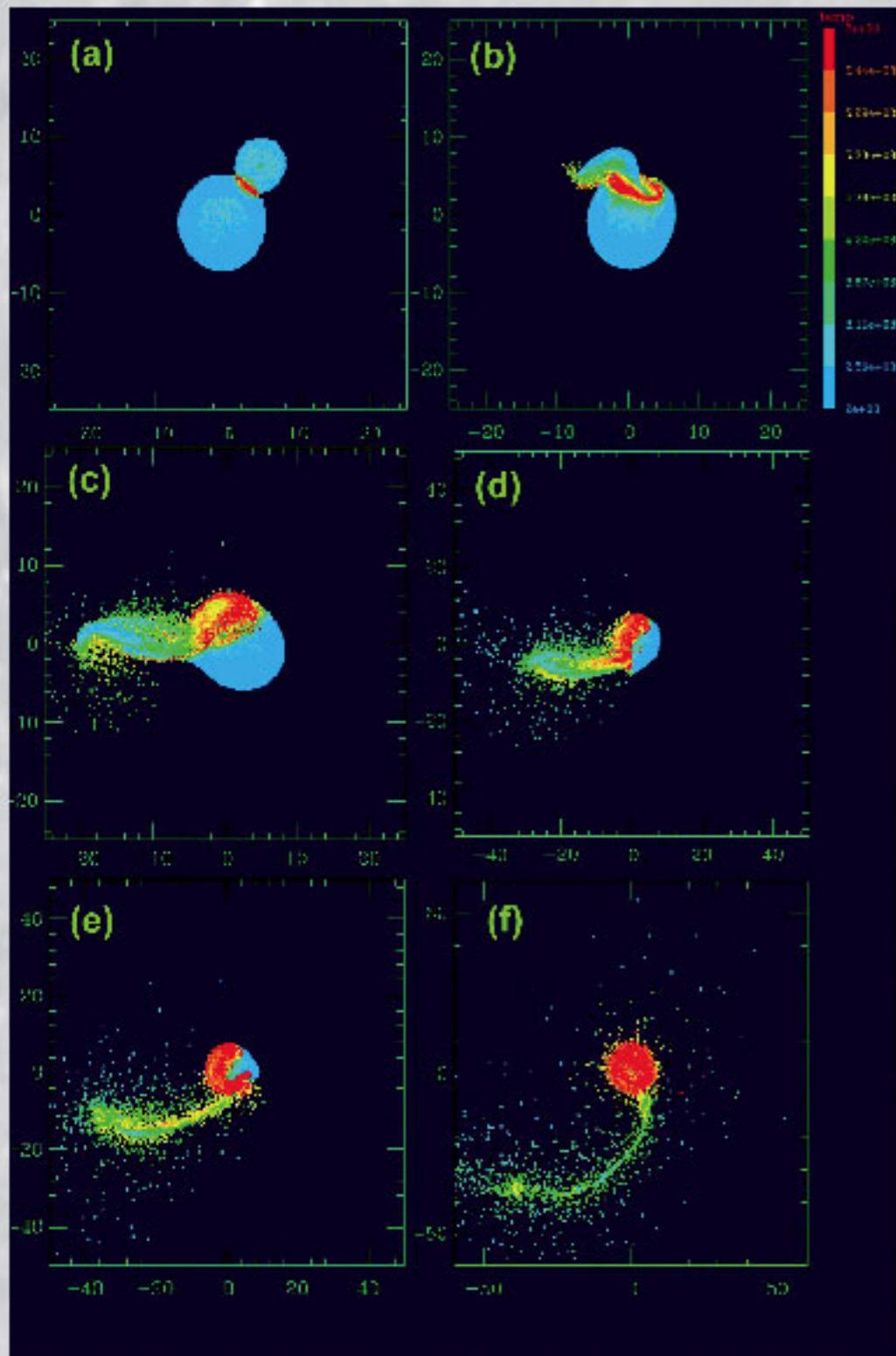


Image d'artiste montrant les fragments de Théia et du manteau terrestre en orbite autour de la Terre en train de se réaccréter pour former la Lune.



Cette simulation illustre la formation de la Lune par l'impact d'une proto-planète. La première image (a) montre l'instant de l'impact à très grande vitesse.

Un nuage de débris et de roche fondue s'est alors formé et a orbité autour de la proto-Terre, pour ensuite former la Lune (f) par accréation en seulement une année.

Cette approche, maintenant admise, malgré quelques questionnements encore à l'étude, expliquerait, par exemple, le fait que la Lune soit globalement plus pauvre en fer que la Terre, puisqu'elle serait composée de matériaux issus de la croûte terrestre et de l'impacteur, alors que le fer est principalement accumulé dans le manteau et le noyau terrestres. Par contre, les analyses montrent que la composition lunaire présente des similitudes chimiques avec celle de la Terre.

Il reste à comprendre si un seul ou plusieurs impacteurs sont à l'origine de la Lune, et à définir les caractéristiques du, ou des, bolides qui ont frappé notre planète (angle, vitesse, masse, composition), autant de paramètres qui expliqueront, de plus en plus précisément, la composition et l'origine de la Lune.





# L'ORIGINE DES NOMS DES CRATÈRES LUNAIRES



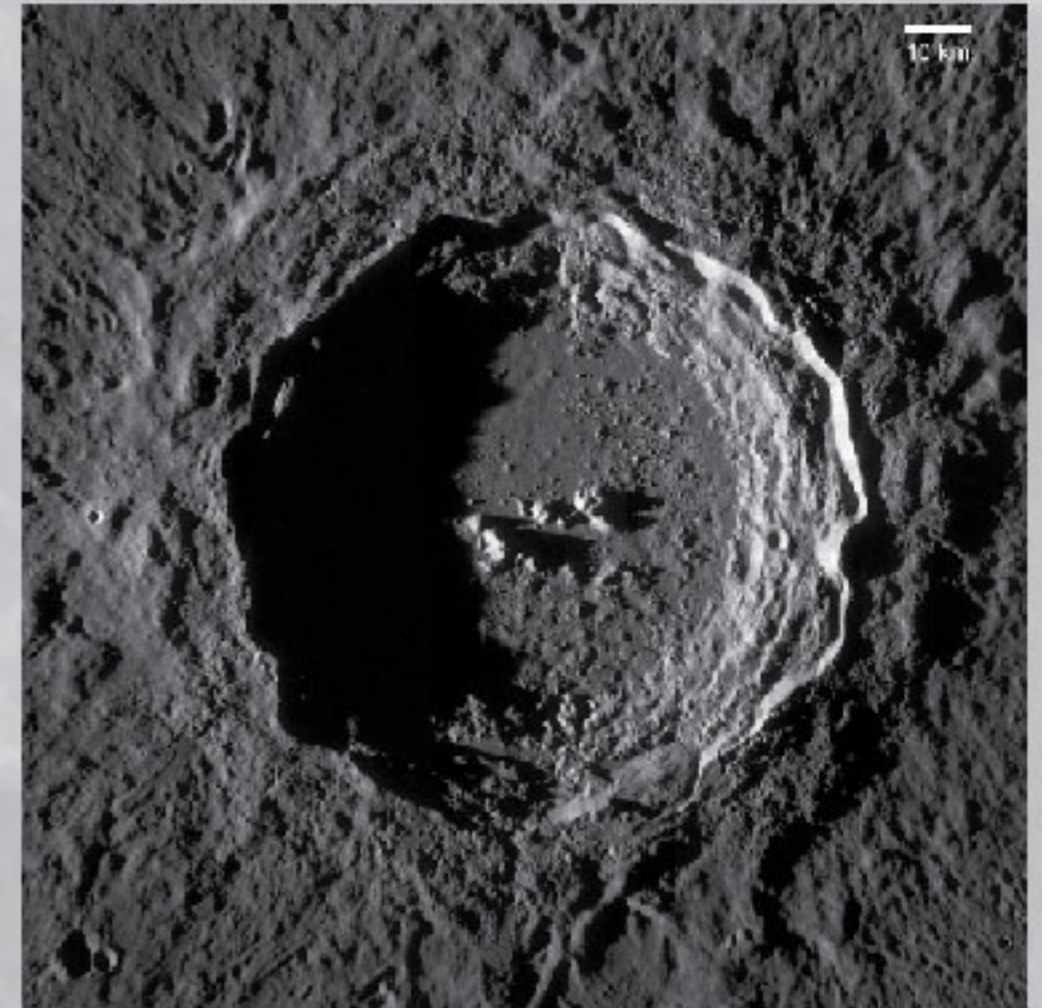
## La nomenclature des cratères : une longue histoire

On dénombre environ 300 000 cratères d'un diamètre supérieur à 1 km, sur la face visible de notre satellite, dont 234 font plus d'une centaine de km de diamètre. Cette multitude fut patiemment classée en fonction des caractéristiques de la topographie lunaire : plaines closes, cirques, cratères, craterlets (visibles avec des télescopes depuis la Terre et d'un diamètre inférieur à 5 km). Ce travail ne pouvait se faire sans procéder à la nomenclature de la topographie lunaire. Mesurer, nommer, dessiner... la sélénographie est le pendant de notre géographie terrestre.

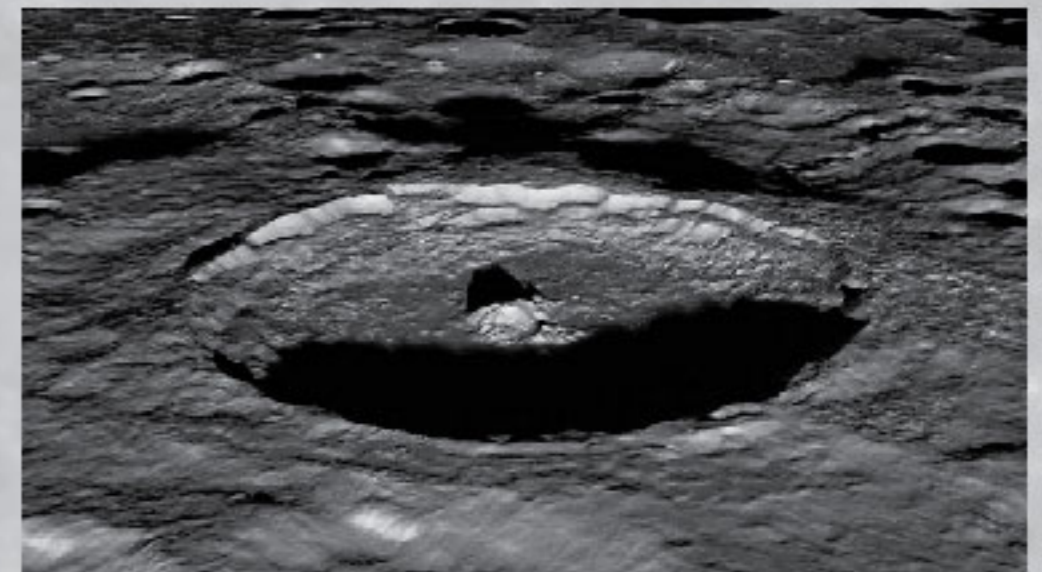
En 1645, Langrenus, astronome belge, attribua aux cratères les noms de personnages illustres de l'antiquité en les classant par ordre chronologique du Nord au Sud.

Mais c'est d'avantage à l'Italien Giovanni Riccioli (1598-1671), jésuite astronome, que l'on doit la plupart des noms de la face visible que nous connaissons aujourd'hui. Sa carte de 1651 attribua des noms aux mers, montagnes et cratères. Notons que 35 cratères portent le noms de religieux Jésuites reconnus pour leur esprit scientifique. Comme le fit Langrenus, Riccioli baptisa les cratères du Nord au Sud, avec les noms d'astronomes et célébrités en suivant leur chronologie.

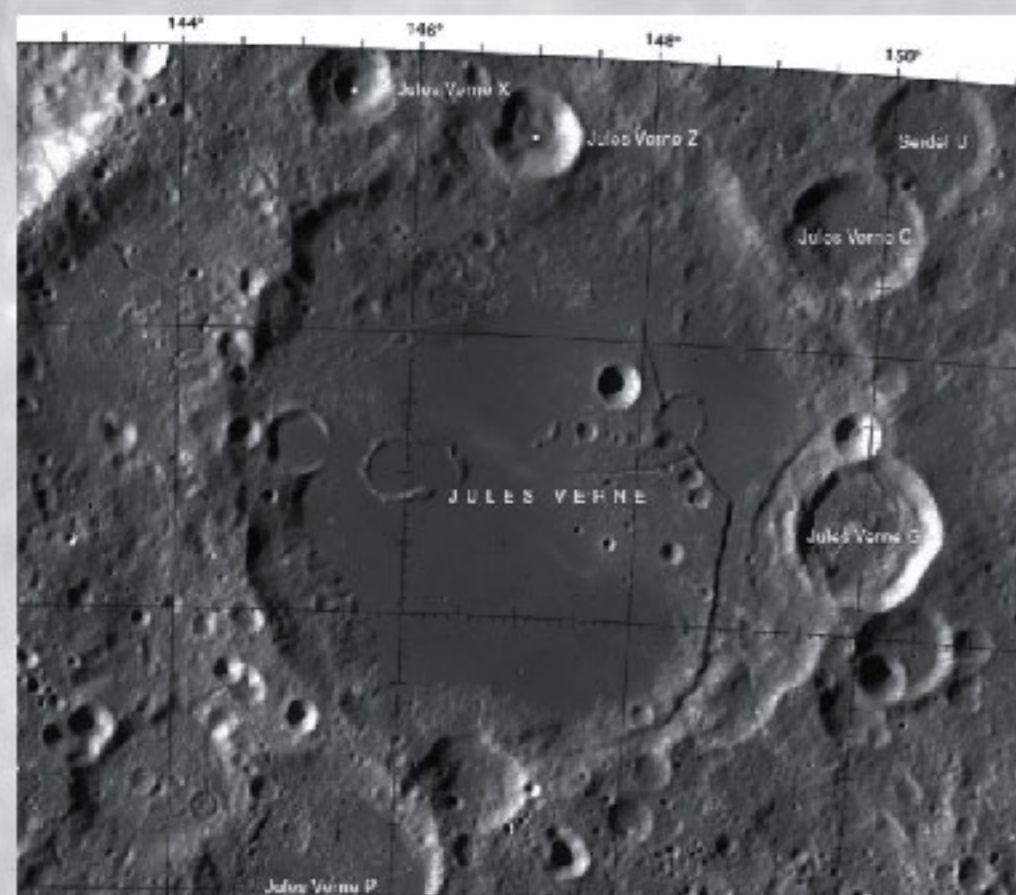
Aux alentours de 1800, Schröter, astronome allemand, compléta la liste existante par une soixantaine de noms. Beer et Madler firent la synthèse des nomenclatures sur une nouvelle carte, la *Mappa Selenographica*, établie en 1837, où furent ajoutés plus de 145 noms. Enfin les petits cratères proches des grandes formations furent étiquetés de lettres capitales latines accolées au nom du cratère principal (voir cratère Jules Verne). Le même principe fut adopté pour les autres reliefs avec des lettres grecques.



Cratère Copernic (astronome polonais, 1473-1543), Photo NASA.



Cratère Tycho (astronome danois du XVI<sup>e</sup> s. (Photo NASA)



Cratère Jules Verne (écrivain français, 1828-1905), Photo NASA



Cratère Russel (astronome américain, 1877-1957), Photo NASA.

À partir de 1935, l'Union Astronomique Internationale se basa sur les travaux de Riccioli et Madler pour compléter et rationaliser l'attribution des toponymes. L'UAI est l'instance incontournable pour toute attribution de noms.

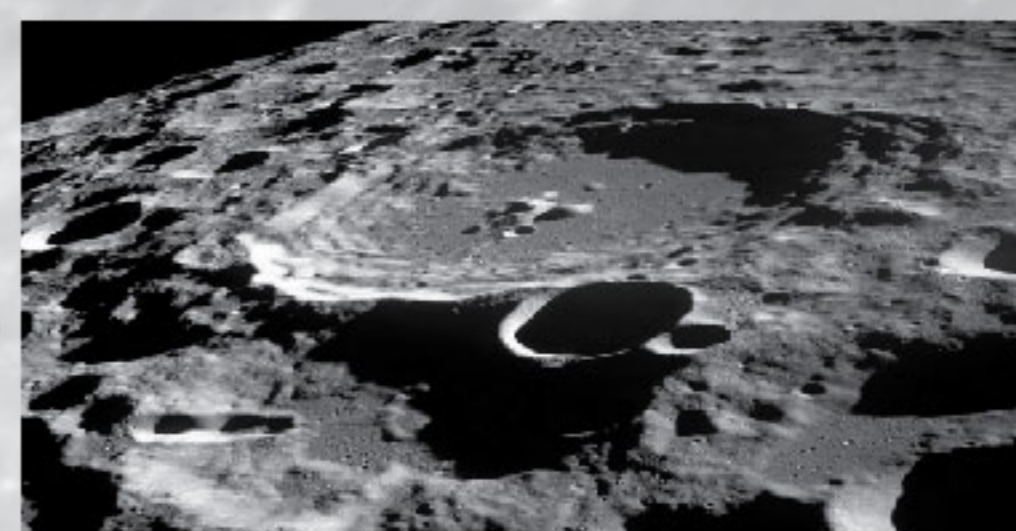
Après 1959, ce fut au tour de la face cachée de la Lune d'être photographiée et cartographiée. Ainsi, en 1970, la liste des toponymes s'allongea de 513 noms, très majoritairement sur la face cachée, dont 12 cratères portent les noms de six astronautes américains et six cosmonautes soviétiques.

En 1973 l'UAI mit fin au procédé consistant à attribuer des lettres aux cratères secondaires. Les petits cratères portent désormais des prénoms. En 1988, 6231 nouveaux cratères étaient baptisés.

1616 cratères portent le nom de scientifiques, dont 166 français. Les autres noms sont attribués à des héros de l'antiquité ou des personnages célèbres encore très présents dans la mémoire collective.

La Lune porte aussi le souvenir des drames de la conquête spatiale. Quelques cratères évoquent les trois astronautes de la NASA disparus lors de la mission Apollo 1 en 1967, ainsi que le cosmonaute Komarov et les trois cosmonautes de Soyouz 11 en 1971, puis les sept astronautes américains du vol STS-51-L de Challenger en 1986. La Lune est constamment bombardée par des astéroïdes, d'où des cratères qui ne sont toujours pas répertoriés. De nouveaux noms vont encore enrichir la liste déjà longue des cratères.

Que de cratères  
En regardant la lune  
Ont-ils tous un nom ?  
haïku de R. Romano

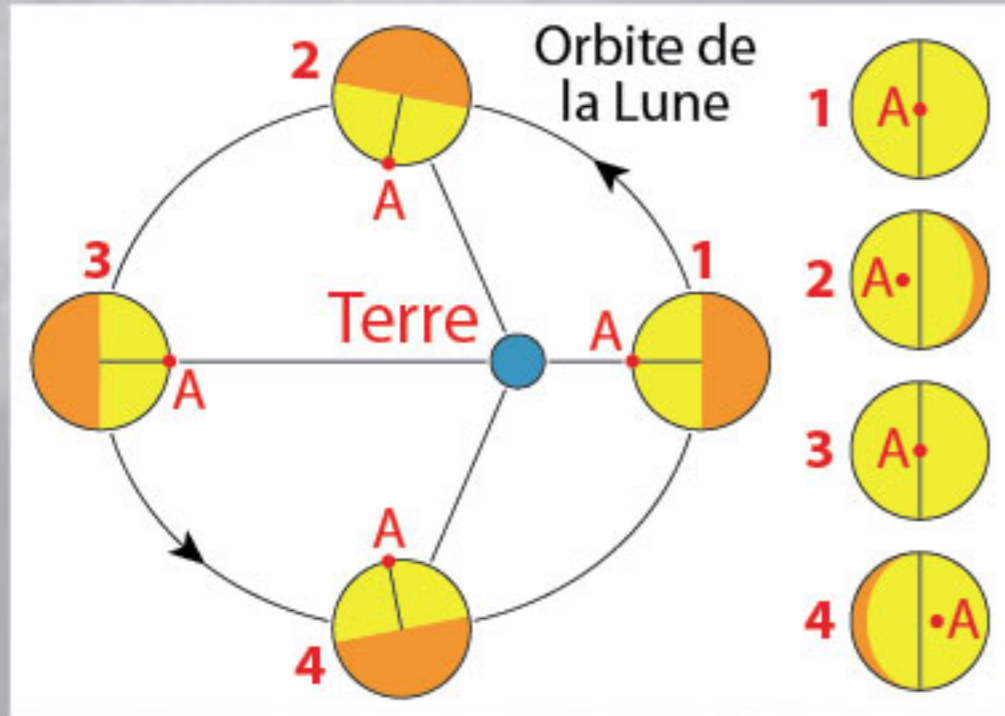


Cratère Daedalus (Dédale, héros de la mythologie), Photo NASA.





# LES MOUVEMENTS DE LA LUNE



Un exemple de libration (libration en longitude). On découvre en 2 et 4 des portions supplémentaires du disque lunaire. Il y a 3 sortes de librations différentes, ainsi, la surface lunaire est connue à 59 %.

## Une lunaison dure 29 jours et demi.

La Lune se lève vers l'est et se couche vers l'ouest, comme le soleil. Mais elle passe à sa plus grande hauteur chaque soir avec environ 50 minutes de retard sur la veille. Son aspect change d'une nuit à l'autre : premier quartier, pleine lune, dernier quartier, nouvelle Lune. Le cycle entier des phases dure 29 jours 12 heures environ : c'est la lunaison. Sa durée est connue depuis la plus haute antiquité.

... MAIS ...

Mais le mouvement de la Lune n'est pas circulaire, il est elliptique. Ainsi, la distance de la Lune à la Terre varie-t-elle de 351 000 km à 418 000 km et son diamètre apparent de plus de 5 %.

... ET ...

Et le mouvement de la Lune est de vitesse variable selon où elle se trouve sur son ellipse, alors que sa rotation sur elle-même (le jour lunaire) reste de durée fixe. Ces inégalités de vitesse causent les librations, qui permettent d'observer jusqu'à 59 % de la surface lunaire totale (mais jamais plus de 50 % simultanément).

ENFIN ...

Le grand axe de l'ellipse n'est pas fixe ! Il fait un tour complet sur lui-même en un peu moins de 9 ans.

## Comment les éclipses de Lune se produisent-elles ?

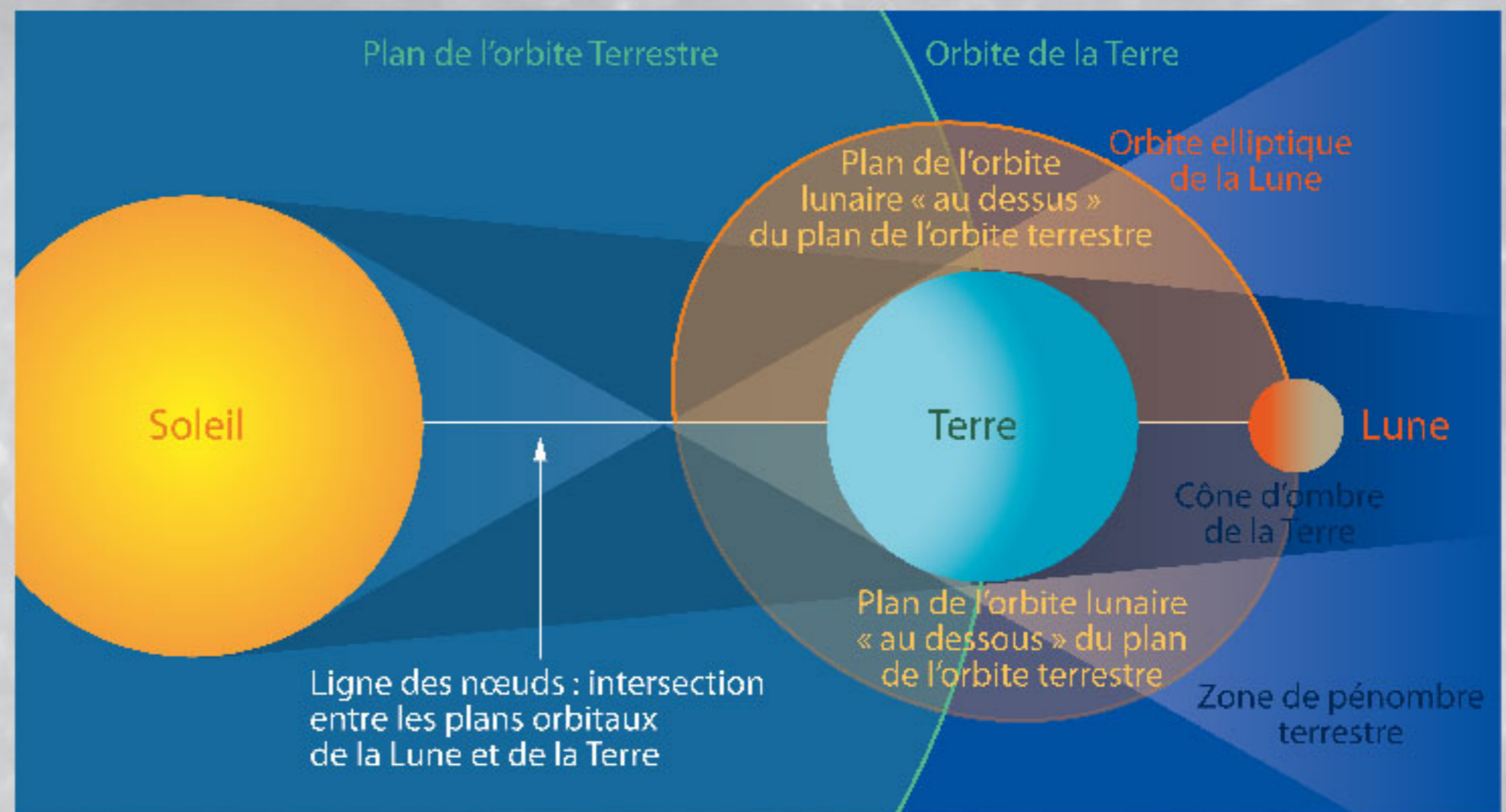
Le plan de l'orbite Lunaire n'est pas confondu avec celui où se déplace la Terre autour du soleil ; il est incliné d'un peu plus de 5°. On appelle ligne des nœuds la droite d'intersection de ces deux plans. Pour qu'une éclipse de Lune ou de Soleil puisse se produire il faut que la Lune se situe sur la ligne des nœuds ou dans son voisinage immédiat.

... MAIS ...

L'inclinaison du plan de l'orbite n'est pas fixe. Elle oscille autour de la valeur 5° en 173 jours.

... ET ...

La ligne des nœuds ne reste pas fixe. Elle fait un tour sur elle-même en 18 ans 7 mois. Une durée proche, 18 ans 11 jours, ramène les éclipses dans une succession identique, ce qui permet de les prédire. Cette période, le saros, était déjà connue des anciens Chaldéens.



## Les phases de la Lune



## La Lune en résumé

- Rayon 1737 km (la Terre : 6371 km)
- Volume 2 / 100° de celui de la Terre
- Distance moyenne à la Terre : 384 400 Km
- Diamètre apparent (moyen) : 30 minutes d'arc (une pièce de 1 Euro vue à 3 mètres)
- Champ magnétique : à peu près nul. Sur la Lune une boussole ne fonctionne pas.
- Gravité à la surface de la lune : 16,6 % de la gravité Terrestre. Les poids sont réduits d'autant.
- Âge : 4,5 milliards d'années.
- Densité moyenne : 3,3 (Terre : 5,5. Cette différence considérable appuie les théories actuelles sur l'origine terrestre de la Lune).

## Prédire la position de la Lune dans le ciel

Le mouvement de la Lune est complexe parce qu'elle est un objet proche à mouvement rapide ; ainsi, toute erreur sur sa position prédite est immédiatement perceptible. On a cité quelques unes des inégalités qui affectent le mouvement de la Lune. Il faudrait ajouter : l'évection, l'équation annuelle, l'équation du centre, l'équation parallactique, etc ! L'astronome britannique Brown a recensé en 1919, plus de 1500 inégalités lunaires ! De nos jours, l'ordinateur automatise des calculs hier encore laborieux et affreusement longs. N'importe quel téléphone portable prédit aujourd'hui les phases de la Lune avec une précision inégalée. Mais le programme qu'il utilise reste néanmoins très long et très compliqué.

72 SUR LES INÉGALITÉS LUNAIRES

Lorsque, par l'intégration des différentielles des éléments, on aura obtenu ceux-ci sous la forme

$$q = q_0 + \delta q, \quad \delta q = \delta q_1 + \delta q_2, \dots$$

il faudra substituer ces valeurs dans les seconds membres des formules précédentes et les développer suivant les puissances de  $\delta q, \delta \delta, \dots$ . Puisque nous voulons ici nous borner à la première approximation, il nous suffira de conserver les premières puissances de  $\delta q, \delta \delta, \dots$ . Si d'ailleurs nous désignons, pour abréger,

$$L = \pi_1 t + \pi_2, \quad \delta L = \int \delta n dt + \delta \pi,$$

NOUS aurons

$$r = a \left[ 1 + \frac{1}{2} e^2 - e \cos(L - \pi_3) - \frac{1}{2} e^2 \cos(2L - 2\pi_3) \right] + \delta r \left[ 1 + \frac{1}{2} e^2 - e \cos(L - \pi_3) - \frac{1}{2} e^2 \cos(2L - 2\pi_3) \right] + \delta e \left[ e \cos(L - \pi_3) - e \cos(2L - 2\pi_3) \right] + \delta \pi \left[ -e \sin(L - \pi_3) + e^2 \sin(2L - 2\pi_3) \right],$$

$$L = L_0 + 2e \sin(L - \pi_3) + \frac{1}{2} e^2 \sin(2L - 2\pi_3) - \frac{1}{2} e^2 \sin(2L - 2\pi_3) + e^2 \left[ 1 + \frac{1}{2} e^2 - e \cos(L - \pi_3) + \frac{1}{2} e^2 \cos(2L - 2\pi_3) \right] - \delta e \left[ e \sin(L - \pi_3) - \frac{1}{2} e^2 \sin(2L - 2\pi_3) \right] - \delta \pi \left[ -e \cos(L - \pi_3) - \frac{1}{2} e^2 \cos(2L - 2\pi_3) \right] + \delta \pi \left[ e \sin(L - \pi_3) - \frac{1}{2} e^2 \sin(2L - 2\pi_3) \right],$$

$$\lambda = \pi_4 \sin(L - \pi_4) + \pi_5 \sin(2L - 2\pi_4) - \pi_6 \sin(\pi_4 - \pi_5) + \delta \lambda \left[ \pi_4 \cos(L - \pi_4) + \pi_5 \cos(2L - 2\pi_4) - \pi_6 \cos(\pi_4 - \pi_5) \right] + \delta \pi_4 \left[ \pi_4 \sin(L - \pi_4) - \pi_5 \sin(2L - 2\pi_4) + \pi_6 \sin(\pi_4 - \pi_5) \right] + \delta \pi_5 \left[ -\pi_4 \cos(L - \pi_4) + \pi_5 \cos(2L - 2\pi_4) - \pi_6 \cos(\pi_4 - \pi_5) \right] + \delta \pi_6 \left[ \pi_4 \sin(L - \pi_4) - \pi_5 \sin(2L - 2\pi_4) + \pi_6 \sin(\pi_4 - \pi_5) \right].$$

Ces formules établies, proposons-nous, comme première application, de trouver ce que l'action perturbatrice du Soleil joint au terme principal de l'équation du centre, c'est-à-dire à la partie de la longitude qui dépend de l'argument  $\pi_4 = L_0 - \pi_4$ . Pour cela nous allons chercher les termes d'argument  $L_0 - \pi_4$  qui résultent de la substitution des valeurs de  $\delta L, \delta e, \dots$  dans l'expression précédente de  $L$ ; ils renfermeront, comme on va le voir, en facteur, et nous y négligerons les puissances de  $e$  supérieures à la première.

Extrait du mémoire de V. Puiseux : « Sur les principales inégalités du mouvement de la Lune ». Annales de l'École Normale Supérieure. Paris, 1864.