

Résumé de la conférence de Pierre Thomas

17 janvier 2019

Géologie de la Lune, 50 ans après Apollo 11

En 1609 Galilée effectue la première observation en dessinant des « mers » (étendues plates et sombres) et des « continents » (montagnes claires parsemées de dépressions).

Les progrès des télescopes permettent de préciser les connaissances et l'exploration spatiale commence réellement en 1959, avec le survol de la face cachée par la sonde soviétique Luna 3. Les États-Unis, stupéfaits, entrent alors dans la course et engagent le programme Apollo (17 missions dont Apollo 11 avec le premier alunissage le 21 juillet 1969). Toutes les missions des États-Unis et de l'Union Soviétique, ainsi que les Japonaises plus récemment, ont apporté les éléments qui ont permis la synthèse présentée dans cette conférence.

Note : les « termes entre guillemets » font référence à des analogues terrestres.

Les cratères lunaires

Les cratères d'impact sont beaucoup plus nombreux sur la Lune que sur la Terre, à cause de l'absence d'atmosphère qui permet l'arrivée au sol des météorites de toutes tailles, y compris micrométriques. De la relation générale observée sur Terre entre diamètre de cratère \varnothing et dimension d de la particule qui en est la cause « ($\varnothing = 20 d$) », on déduit qu'un cratère de 70 μm , observable sur des grains de poussière lunaire, a été causé par une particule de 3,5 μm ! Il en résulte un risque de microfissures pour les surfaces optiques.

La forme des cratères d'impact dépend de leur taille. Les cratères petits ont une forme de cuvette ; les cratères moyens, passée une taille critique qui dépend de la gravité locale (12 km pour la Lune, 3 km pour la Terre), sont dits complexes et ont le fond plat : ce sont des « plaines de laves », roches fondues par l'énergie de l'impact initial, avec souvent un « piton central fait de lave solidifiée » et des « terrasses bordières » dues à des effondrements de parois (sur Terre, Steinheim \varnothing 3,8 km, sur la Lune, Tycho \varnothing 85 km) ; et pour les plus grands, le piton central prend la forme d'un ou plusieurs anneaux délimitant des « bassins » (sur Terre, Clearwater \varnothing 36 km, sur la Lune, Schroedinger \varnothing 312 km).

Le volcanisme lunaire

Les « mers » sont des surfaces plates qui révèlent ce qui ressemble à des coulées de laves observées sur Terre. Les parois des cratères fournissent des coupes naturelles de ces « mers » qui sont constituées d'un empilement de multiples coulées de laves de 3 à 12 m d'épaisseur. On peut en voir de semblables en Islande où chaque couche résulte d'une ancienne coulée de basaltes.

Dans ces « mers » lunaires, vastes bassins de laves remplissant des cratères d'impact antérieurs, on voit aussi des « canaux » rectilignes et étroits, qui sont interprétés comme des « tunnels de laves effondrés », avec une analogie terrestre en Idaho sur le plateau de la Snake River ; des parties non effondrées de ces tunnels terriens permettent de voir des

stalactites de basalte ; sur la Lune il y aurait donc des grottes qui pourraient servir de refuge pour des colons humains futurs pendant les épisodes d'éruptions solaires. L'équipage d'Apollo 15 a pu observer de près le « Sillon » Adley en 1971 et en rapporter du basalte vieux de 3,3 Ga (milliards d'années). Des effondrements localisés dans l'Océan des Tempêtes ont leur équivalent sur Terre aux Canaries.

Les « mers » ont beaucoup moins de cratères que les « montagnes », donc sont plus jeunes. Des volcans sont identifiés avec des formes rappelant les dômes de laves siliceuses de Californie ou d'Indonésie ou les laves pyroclastiques du Piton de la Fournaise à la Réunion, ce qui fournit un indice d'existence d'eau avant 3,3 Ga pour fournir le gaz propulseur.

Le basalte lunaire n'est pas lié aux impacts comme on peut l'observer avec le cratère Archimède, postérieur à un grand cratère de 1100 km de diamètre, mais antérieur au remplissage de lave.

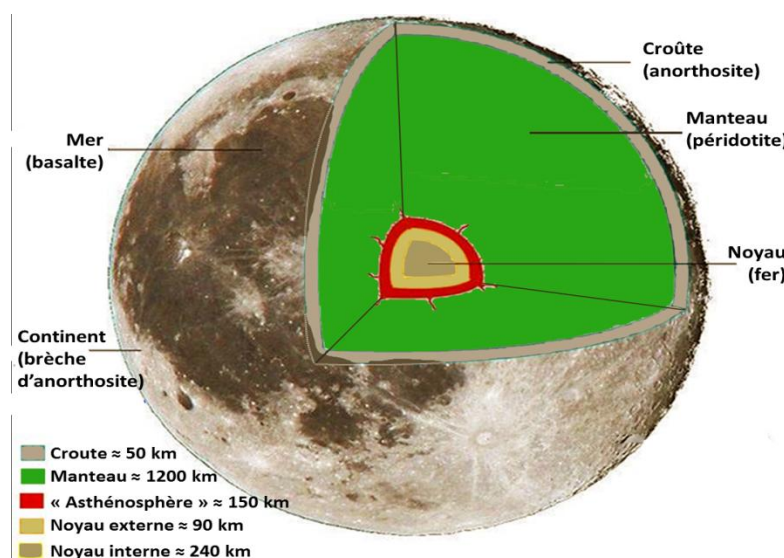
Selon cette interprétation, le volcanisme lunaire s'est arrêté depuis 2 à 3 Ga, ce qui est cohérent avec la petite taille de la Lune ; un volcanisme plus récent reste une première énigme inexploquée à ce jour.

La structure de la Lune

La croûte est constituée de brèches d'anorthosite résultant du broyage des basaltes par les bombardements intenses antérieurs à 3 Ga.

Les mesures sismiques des missions Apollo donnent une idée de la structure probable de la Lune : sous la croûte, le manteau est constitué de silicates denses, et le noyau de fer est relativement plus petit que celui de la Terre.

Le basalte des « mers » (17% de la surface) se trouve majoritairement sur la face visible, qui d'après les missions récentes japonaises et américaines a une altitude plus basse et une croûte moins épaisse que la face cachée (50 km versus 115 km) ; selon la mécanique céleste, la face la plus dense, est toujours dirigée vers la planète. La raison de cette différence entre les deux faces est une deuxième énigme et la présence d'une anomalie géochimique en Thorium au voisinage du pôle Sud de la face cachée en constitue une troisième.



STRUCTURE PROBABLE DE LA LUNE

La tectonique sur la Lune

Autour de Mare Humorum trois « grabens » concentriques témoignent de forces d'extension, avec des « cratères de soutirage » suggérant l'existence de fractures ouvertes en dessous. Des rides anticlinales détectées par radar suggèrent un mécanisme de compression et des chevauchements sont attestés par des cratères dont une partie est manquante. Il n'apparaît pas de structures en élongation mais uniquement des indices de réajustements isostatiques verticaux relativement jeunes un peu partout sur la surface : la Lune s'est rétrécie en se refroidissant (température interne abaissée de 10°C et rayon réduit de 100 m en un milliard d'années).

L'eau sur la Lune

Il n'y a pas d'eau liquide sur la Lune, dont la température de surface varie de +120°C au soleil à -150°C la nuit (moyenne -15°C ; sans atmosphère, une hypothétique glace se sublime), hormis peut-être à proximité des pôles où 5% de glace pourrait subsister au fond de cratères qui, n'étant atteints que par des rayons de soleil tangentiels, conservent une température très basse. La présence d'atomes d'hydrogène est attestée par le fait que des neutrons cosmiques rapides, profitant de l'absence d'atmosphère et de champ magnétique, peuvent atteindre la surface et être réfléchis avec un ralentissement dû à l'isotope deutérium. Ces résultats fournis par la sonde Lunar Prospector en 1999 ont été confirmés en 2009 par l'analyse en infrarouge de l'impact au fond d'un cratère d'un troisième étage de fusée suivi par la sonde LCROSS, mettant en évidence la présence de divers composés hydrogénés et sulfurés et aussi de CO₂.

L'eau glacée a pu provenir de la Terre lors de l'impact initial ou être apportée ultérieurement par des chondrites comme sur Terre.

L'origine de la Lune

Rien de nouveau par rapport au modèle actuellement en vigueur (impact d'un astéroïde géant appelé Theia sur la toute jeune Terre ; mélange des deux astres et éjection de ce qui va former la Lune, la Terre ne conservant que les restes...). Des confirmations sont fournies par le rapport des isotopes ¹⁷O/¹⁸O, identique sur Terre et sur la Lune. Des questions restent à résoudre sur la moindre quantité de fer de la Lune et sur son éloignement de nous de 3,8 cm par an, au moins depuis la disparition, il y a 100 Ma, du courant océanique équatorial terrestre qui a modifié le régime des marées...

Les simulations numériques de ce modèle sont à peu près représentatives mais tout n'est pas expliqué.