

Géologie de la Lune et définition des reliefs lunaires

Par Thierry Lombry en collaboration avec la Dr Winifred S.Cameron, NASA-GSFC

Structures géologique et magnétique

Grâce aux mesures stratigraphiques et surtout grâce à l'analyse des échantillons rapportés par les missions Apollo, nous savons aujourd'hui qu'elle fut exactement l'évolution géologique de la Lune dont voici la chronologie des événements qui s'y sont succédés depuis plus de 4 milliards d'années.

Notre satellite s'est formé il y a environ 4.55 milliards d'années, à la même époque que la Terre. Sa surface se solidifia 300000 ans plus tard, formant une écorce stratifiée peu dense composée d'anorthosites*. Vers 4.3 milliards d'années, la croûte lunaire était à peine refroidie qu'un intense bombardement météoritique laissa des cicatrices importantes : ce sont les grands bassins d'Aitkin au Pôle Sud, Mare Australe (limbe sud-est), Mare Tranquillitatis (sous l'oeil droit), Mare Fecunditatis, Mare Nubium, Mare Smythii et l'apparition des premiers cratères d'impacts tels que Deslandres, Schiller, Zucchius, Grimaldi ou Ptolémée. S'étendant sur plusieurs centaines de kilomètres, certains de ces cratères présentent un fond très étendu en partie comblé de lave et parfois associé à des anneaux concentriques extérieurs signes de la violence de l'impact. C'est à cette époque que nous assistons aux premiers signes d'une activité volcanique sur la Lune, activité qui cessa vers 3.8 milliards d'années.

L'échelle des temps géologiques lunaires				
Période	Age (milliards d'années)	Bassins d'impact	Volcanisme	Cratères d'impact
Copernicienne	0.1 0.45 0.9	Aucun	Flots de Lichtenberg	Tycho Aristarche Copernic
Erastosthénienne	1.1 3.1	Aucun	Jeunes flots d'Imbrium Dômes de Marius	Hausen Eratosthène
Imbrienne	3.2 , , , 3.84	Orientale Schrödinger Imbrium	Plateau d'Aristarche Vieux flots d'Imbrium Mare Crisium, Serenitatis, Mare Humorum, Nubium Mare Tranquillitatis (jeune) Mare Tranquillitatis (vieux) Mare Fecunditatis, Nectaris Volcanisme des terrae (?)	Sharp, Atlas Humboldt Archimède, Platon Sinus Iridum Piccolomini Arzachel, Cassini Pétavius Maupertuis
Nectarienne	3.85 , 3.91	Serenitatis, Crisium Humorum Humboldtianum, Nectaris	Volcanisme des terrae (?)	Bailly, Clavius Gauss Longomontanus
Pre-Nectarienne	3.92 , , 4.30	Grimaldi Schiller-Zucchius Smythii, Nubium Fecunditatis, Tranquillitatis Australe, Pingré-Hausen Marginis, Insularum Aitkin	Volcanisme des terrae (?)	Ptolémée Hipparchus Maginus Janssen Hommel Deslandres
Formation de la Lune voici 4.55 milliards d'années				

Entre 3.92 et 3.85 milliards d'années nous assistons à la formation des derniers grands bassins de Mare Nectaris, Mare Humboldtianum, Mare Humorum, Mare Crisium pour se terminer avec la formation de Mare Serenitatis, "l'oeil droit" de la Lune.

C'est à cette époque que se formèrent les grands cirques de Longomontanus, Gauss, Clavius et Bailly. Un peu plus tard, vers 3.8 milliards d'années la Lune est à nouveau percutée de face et reçoit son "oeil gauche" qui deviendra Mare Imbrium. 5 à 600000 ans plus tard se forment Sinus Iridum et Mare Orientale. Un intense bombardement météoritique débuta alors qui vit la formation des cratères de Maupertuis, Pétavius, Cassini, Arzachel, Piccolomini, Platon, Archimède, Humboldt, Atlas et Sharp parmi d'autres ainsi que les premiers flots de lave importants.

Carte Géologique lunaire

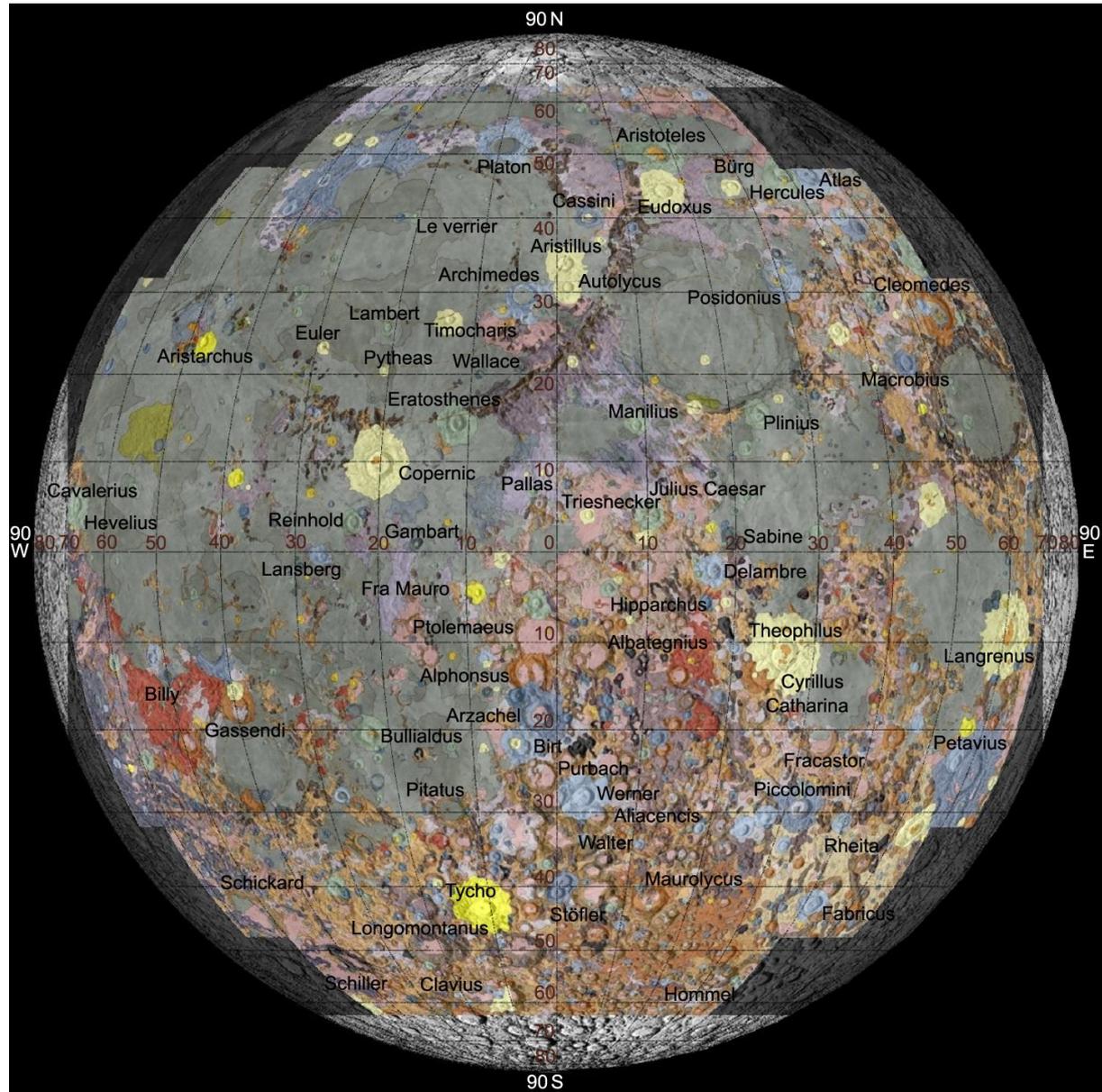
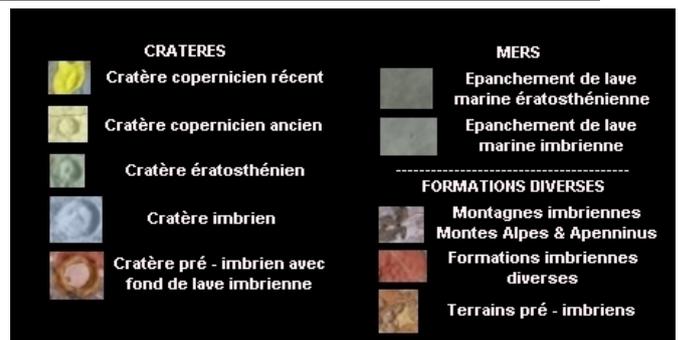


Image (c) Atlas virtuel de la Lune / Ch. Legrand & P. Chevalley

Age des époques géologiques en milliards d'années

- Copernicien récent : 0,5 à 0,1
- Copernicien ancien : 1,1 à 0,5
- Eratosthénien : 3,1 à 1,2
- Imbrien : 3,84 à 3,2
- Nectarien : 3,91 à 3,85
- Pré-Nectarien : 4,30 à 3,92



Entre 3.9 et 3.1 milliards d'années, l'activité thermodynamique du manteau se propagea jusqu'à la surface lunaire, se mélangeant aux roches de surface. C'est parce que l'écorce de sa face visible est nettement moins épaisse que celle de sa face cachée (60 Km contre 100 Km) que de nombreuses régions ont été comblées par les flots de lave, atteignant par endroit 1500 m d'épaisseur, donnant ce visage si caractéristique à la Lune.

Par la suite, le bombardement météoritique a fortement décru et entre 3.2 et 1.1 milliards d'années d'ici nous assistons surtout à la formation d'Eratosthène et de Hausen. La région de Marius se soulève, son sol se fissure en donnant naissance à des dizaines de failles et de dômes tandis que les derniers flots de laves s'écoulent de Mare Imbrium.

Enfin, il y a 900 millions d'années Copernic apparut sur la Lune; Tycho se forma voici 250 millions d'années puis finalement Aristarche. Les dernières coulées de laves émanèrent de Lichtenberg. Depuis un calme relatif règne sur la Lune; de temps en temps mais c'est assez rare, on observe des éclats brillants signe de l'impact de quelques météorites sur la surface lunaire.

Aujourd'hui on constate que des flots de lave de 100 à 1500 m d'épaisseur ont comblé les cratères d'impacts et les bassins pour former les mers de basaltes. Ceux-ci sont différents des basaltes terrestres. Ils contiennent moins de sodium, de carbone et d'eau mais sont plus riches en titane, en fer et en éléments lourds.

Depuis 3 milliards d'années, l'activité lunaire s'est assoupie, le bombardement météoritique s'est fait plus rare et le visage de la Lune ne s'est plus guère modifié. En un an et demi les sismographes ont enregistré 815 signaux d'impacts, dont les masses s'échelonnaient entre 50 g et 50 kg, auxquels il faut ajouter les milliers de micrométéorites qui criblent sa surface, pulvérisant le substrat en poussière.

Ce taux de changement à la surface de la Lune étant très variable au cours des âges, le visage de la Lune que l'on observe aujourd'hui est en réalité celui d'un astre très âgé; à l'époque des dinosaures déjà, la Lune présentait un visage pratiquement identique à celui que nous observons aujourd'hui !

De nos jours, la régolithe* s'accumule sur la Lune sous forme de poussière à raison de 2 m d'épaisseur chaque milliard d'année. La Lune est solide sur les trois-quarts de son épaisseur. Les ondes sismiques sont interrompues et se réfléchissent vers 1000 Km de profondeur; au-delà la matière est fluide. Sous l'écorce, le manteau est donc solide. Après une zone de transition de quelques dizaines de kilomètres nous arrivons au noyau, dont une partie portée à 1500°C est encore en fusion et se compose de fer. Il s'étend sur 700 km.

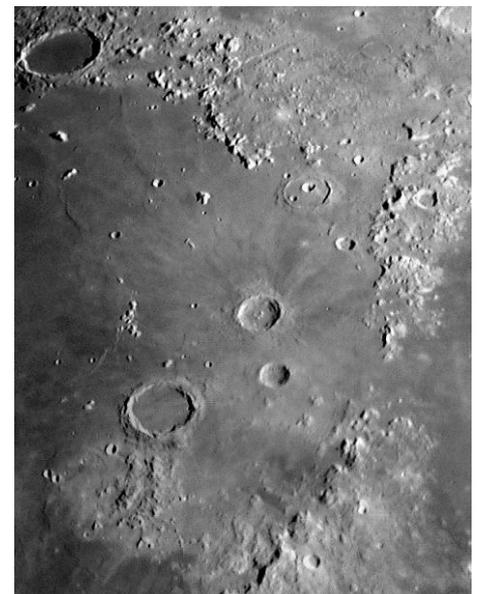
Enfin la surface de la Lune présente une variation prononcée du champ magnétique d'un endroit à l'autre, tant en intensité qu'en direction. Des écarts d'un facteur 500 ont été relevés (6 à plus de 3000 gammas*), alors que sur Terre le champ géomagnétique double localement (30000 à 60000 gammas*). Des rochers présentent encore actuellement une aimantation très forte. Le manteau de la Lune étant pratiquement solide, le magnétisme actuel serait la trace d'une époque passée où le manteau lunaire était nettement plus fluide, induisant un champ magnétique bien plus intense.

Les processus lunaires et leurs effets

1. Les **cratères d'impacts**, allant des perforations de quelques millimètres aux bassins de plusieurs milliers de kilomètres de diamètre provoqués par des météorites de toute taille

Etant donné que le taux des collisions météoritiques fut très variable au cours du temps, nous devons faire la distinction entre les cratères d'impacts primaires et ceux qui se sont superposés aux premiers, les cratères secondaires résultant de l'impact des débris issus de la première collision. Dans cette catégorie nous trouvons également les catenae ou chaînes de cratères.

Les éjectas font partie des effets secondaires de l'impact. Ils sont constitués de matériau éjecté hors du cratère lors de l'impact et parfois rejeté à plusieurs centaines de kilomètres de distance. Ces éjectas peuvent être solides ou liquides et donnèrent tantôt naissance à des chaînes de montagnes (par exemple les Appennins) tantôt à des plaines aux tons clairs telle celle qui entoure Mare Orientale.



Monts Appennins

2. Le **volcanisme** constitue le second processus. Il concerne tous les reliefs formés ou modifiés par la chaleur interne de la Lune. De nos jours l'activité volcanique de la lune est faible si pas absente. La plupart des événements se sont manifestés par le passé.

Les effets les plus marqués de cette activité sont de nature extrusives : des éjections de magma* sur la surface lunaire. On retrouve leurs traces dans les flots sombres qui ont submergés les mers (maria, sinus, lacus, etc.) et qui ressortent le mieux à la Pleine Lune. Ce magma* présente une faible viscosité ce qui lui a permis aux flots de lave de parcourir de grandes étendues avant de se solidifier.

Un autre type de paysage extrusif est le classique dôme lunaire qui ressemble aux calderas terrestres comme celle de Mauna Loa dans l'archipel d'Hawaii. Certains ont toutefois une origine inverse et ont été formés suite à l'infiltration de magma* sous la surface lunaire, il s'agit des laccolithes*.

Il existe également des montagnes aux pentes assez raides ressemblant à des cônes de cendre formés par des matériaux éjectés de cheminées volcaniques.

Certaines crêtes situées en bordure des mers peuvent avoir été formées par des extrusions de magma* le long des fissures, bien que l'origine tectonique (compression des plaques) soit plus généralement admise.

Enfin le volcanisme a certainement formé certains cratères, en particulier les cratères dits de sommet que l'on trouve au sommet de nombreux dômes, les cratères-trous sans rebord, certaines chaînes de cratères ainsi que des dépressions irrégulières formées par l'effondrement des réservoirs ou des tunnels de lave.

3. Les **mouvements tectoniques** constituent le troisième processus, là où l'écorce de la Lune a été déformée verticalement, horizontalement ou dans les deux directions. Bien que la Lune ne présente pas de plaques continentales à l'image de la Terre, des parties de sa surface ont été déplacées suite à de gros impacts ou par l'effet des marées terrestres, ce dernier effet ayant été plus marqué dans le lointain passé géologique lorsque la Terre et la Lune étaient beaucoup plus rapprochés l'une de l'autre (La Lune s'éloigne aujourd'hui de la Terre à raison d'un mètre par siècle). Ce passé tectonique pourrait expliquer la forme polygonale de nombreux grands cratères. Le soulèvement du sol a donné naissance au pic central de certains cratères. D'autres phénomènes ont également pu déformer l'écorce lunaire pour citer les remontées de magma*, les intrusions et extrusions de magma* ainsi que la contraction de l'écorce suite au refroidissement du magma*. Tous ces effets ont laissé des traces à l'intérieur ou près des mers lunaires. La compression tectonique a probablement créé les crêtes plissées. D'un autre côté l'extension de l'écorce a créé des fractures, créant des escarpements et des graben, ces derniers ayant formé les escarpements linéaires (Rimae Sulpicius Gallus, la vallée des Alpes, etc.).



Vallée des Alpes source NASA

4. Le dernier processus de surface est l'**érosion**. Evidemment pas celui lié à une activité atmosphérique mais plutôt au bombardement micro météoritique, complété par le stress thermique mais qui vient loin derrière. De nos jours ce processus opère toujours mais très lentement et sur une petite échelle, d'où ne résulte aucun effet évident lorsqu'on observe la Lune au télescope. Toutefois, à grande échelle il faut bien comprendre que c'est le processus de l'érosion qui a donné naissance aux vallées radiales que l'on trouve en bordure des mers, ainsi qu'aux failles sinueuses.

L'oeil du dinosaure

Ainsi que nous l'avons expliqué dans le chapitre consacré à l'histoire géologique de la Lune, le visage de la Belle de nuit ne s'est pas formé en un seul jour. Grâce à des techniques de géologie comparée et de stratigraphie les scientifiques ont pu établir une chronologie relativement précise de l'évolution de la Lune avant même que les premiers échantillons de sol ne soient disponibles.

Le visage actuel de notre satellite ne s'est guère modifié depuis l'ère des dinosaures; ses "yeux" symbolisés par Mare Imbrium et Mare Serenitatis ont été formés il y a environ 3.8 milliards d'années et la plupart des autres mers remontent à plus de 4 milliards d'années. Quant aux cratères d'impacts ils ont eu lieu de tout temps avec des intensités diverses pour se calmer il y a quelques centaines de millions d'années. Depuis grosso-modo 100 millions d'années, aucun événement majeur ne s'est manifesté sur la Lune.

Aussi nous avons le temps devant nous pour discuter en détail des différentes formations que l'on peut observer à la surface de la Lune et qui, en l'absence d'érosion visible, devraient perdurer quelques dizaines de milliards d'années.

Présentation

Galilée, Hévelius, Antoniadi puis des géologues lunaires contemporains - des sélénologues - comme la doctoresse Winifred S. Cameron du Centre Spatial Goddard de la NASA ont longuement étudié la surface lunaire pour tenter de comprendre la formation et l'évolution géologique de notre satellite.

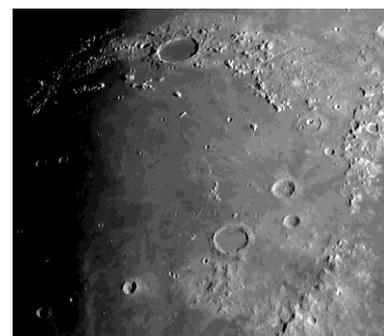
A ma requête la Dr W.S. Cameron se propose de nous définir les différentes formations que l'on observe à la surface de la Lune. Ses commentaires sont complétés par des observations du Pr John Westfall, géographe et spécialiste en science de l'environnement à l'université d'Etat de San Francisco, et ancien directeur de l'ALPO. J'ai repris entre parenthèses la colongitude ou angle de phase au terminateur* pour faciliter la localisation des sites discutés.

La mer (maria)

Les mers lunaires ont rarement été étudiées en tant que telles. La raison vient peut-être du fait qu'elles sont tellement évidentes et étendues qu'elles représentaient plus l'arrière-plan devant lequel se dessinent les reliefs que des sujets d'observation à part entière. Les missions spatiales ont heureusement redonné leurs lettres de noblesses à ces régions. Les mers représentent les immenses plaines sombres de la Lune, de plusieurs centaines de kilomètres de diamètre (600 Km en moyenne). Les premiers observateurs ont trouvé que ces mers dessinaient des images connues comme la tête de femme, une fourmi, un crabe ou un lion en fonction de la latitude où ils se trouvaient et de la position de la Lune. Ces ressemblances ont subsisté jusqu'à aujourd'hui bien que la "tête de femme" soit devenue le modèle de référence pour des raisons purement géométriques (Pôle Nord au-dessus de la tête).

Contrairement à ce qu'imaginaient les premiers observateurs au XVIIe siècle, les mers ne sont pas des étendues liquides; il s'agit en fait d'anciens bassins d'impacts comblés de lave et pour la plupart solidifiés depuis au moins 3 milliards d'années.

Les mers se divisent en deux catégories : les mers **circulaires** et les mers **irrégulières**. Parmi les mers circulaires nous pouvons citer : Mare Crisium (303°, 99°), Mare Serenitatis (334°, 135°), Mare Imbrium (257°, 161°), etc. Les mers irrégulières sont très nombreuses : Mare Tranquillitatis (323°, 131°), Mare Nubium (9°, 179°), Mare Frigoris (323°, 106°), Oceanus Procellarum (36°, 201°), etc. Les plus petites mers reçoivent les noms de Palus (marais), Lacus (lac) et Sinus (Baie). La plupart des mers se trouvent sur la face visible de la Lune alors qu'il n'y en a que deux petites sur la face cachée. Les zones sombres de la Lune sont très âgées, souvent d'origines volcaniques, et composées de basalte. Leur albédo* varie entre 0.05 et 0.06. Les mers s'étendent sur environ 40% de la surface visible, ou un peu moins de 25% de toute la surface de la Lune.



Mare imbrium



Mare Frigoris

Les cratères

Quelle est l'origine des étranges "cratères" ronds ? (En grec " Krater" est une cuvette ou un gobelet évasé.) Ils rappellent pour quelques observateurs les cratères volcaniques de la terre ou ,mieux, les grandes "caldeiras" (chaudrons) constituées par l'effondrement interne des volcans, par exemple le Lac crater, en Oregon. D'autres ont pensé qu'ils sont nés de l'impact de grandes météorites, mais cela posait problème parce qu'on été persuadé qu'ils étaient probablement arrivés sous un angle incliné comme la plupart des météorites, et auraient du déterminer non pas " un anneau rond " mais une cupule ovale.

Nous savons maintenant que cette explication est pourtant la bonne. Les cratères sont ronds parce qu'aux énormes vitesses avec lesquelles les météorites arrivent, l'impact est du à une explosion locale, et leurs tracés déterminés par la libération de l'énergie plutôt que par la collision.

On l'a mis en évidence en examinant les vestiges bien arrondis des impacts trouvés sur terre, par exemple le Météore Crater ("Canyon Diablo") en Arizona, et le lac Manicougan au Canada, (Québec du nord). Celui ci mesure environ 100 kilomètres (60 milles) et est âgé de 214 millions d'années. A noter, au centre, la présence d'une île circulaire au lieu d'une dépression. De plus, après l'impact, le terrain s'est élevé en périphérie, poussé par la pression des matériaux du dessous, liquéfiés et agissant comme un fluide visqueux pour réaliser l'équilibre entre les différents composants.

D'autres corps abondent en cratères ronds dans le système solaire. Sur les grandes lunes de Jupiter, couvertes de glace, la recherche d'équilibre est beaucoup plus avancée, parce que la glace fléchit et coule beaucoup plus aisément que la roche. Ces lunes montrent des cratères "parcheminés", formés par de simples marques en surface, parce que avec le temps les murailles d'origine se sont nivelées

La littérature classique faisait une distinction entre de nombreuses dépressions plus ou moins circulaires en fonction de leur dimension. On parlait de cratère, de bassin, de cirque, d'excavation, de méplat, etc. Aujourd'hui ces termes sont un peu désuets et tous ont été rassemblés sous le nom générique de cratère. Seuls les termes de cirque et bassin sont encore parfois utilisés pour caractériser des cratères dont le diamètre est supérieur à respectivement 100 et 300 km.

Les plus communs sont des dépressions quasi circulaires dans la surface, entourés de murs élevés. Vis-à-vis du niveau moyen zéro de référence de la Lune, le fond des cratères forme une dépression sous le niveau 0. Les cratères peuvent avoir une forme conique, circulaire, présenter des parois très peu élevées ou un fond plat, avoir un pic ou un cratère central. Leur taille varie de quelques millimètres à 300 km. Les murs peuvent être des parois douces ou des terrasses (glacis). Ils peuvent être d'origine volcanique ou formés suite à un impact, ou la combinaison des deux phénomènes.

La majorité des cratères ont été formés suite à des impacts météoritiques mais une bonne partie d'entre eux peuvent avoir une origine volcanique. Seul un faible pourcentage des cratères est certifié d'origine volcanique.

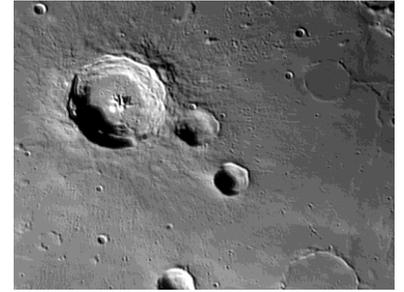
Cratères reconnus d'origine volcanique :

Nom	Latitude	Longitude	Diamètre cratère sommital (Km)	Cratère profondeur (Km)	Volcan hauteur (Km)	Volcan Diamètre (Km)	Circularité 1 = cercle parfait
Aristarchus-1	~34N	~55W	1865	195	145	3175	.29
Aristarchus-2	~34N	~55W	1505	135	115	2555	.41
Lassell HJ	15.0S	10.8W	1500	240	175	2550	.80
Serenitatis-1	18.6N	27.6E	925	60	72	2325	.53
Serenitatis-2	18.9N	27.5E	635	30	60	1735	.55
Alphonsus R			2700	380	60	7700	.35
Alphonsus KC	12.9S	358.4E	2550	376	50	6000	.58
Alphonsus CA			2350	325	30	6350	.70
Alphonsus MD	12.5S	358.1E	2250	336	50	4000	.64
Sud d'Alphonsus CA			2220	325	40	7420	.42
Alphonsus +	12.6S	358.3E	1725	212	15	3525	.47
Ouest d'Alphonsus CA			1720	200	30	4720	.47
Sur rima Alphonsus II			1350	165	10	2350	.59
D-Crater (Ina)	18.7N	5.3E	2650	50	200	15000	.54
Maraldi D 2NW	14.3N	35.7E	1700	185	90	8500	.49
Cauchy Omega	6.2N	38.3E	1775	231	116	12301	.51
Maraldi B 1SE	14.2N	35.9E	1600	70	130	8400	.45
Rima Aristarchus 8	30.5N	49.2E	1275	25	65	5745	.30

Source: Dick Pike and Gary Clow, Revised Classification of Terrestrial Volcanoes and Catalog of Topographic Dimensions

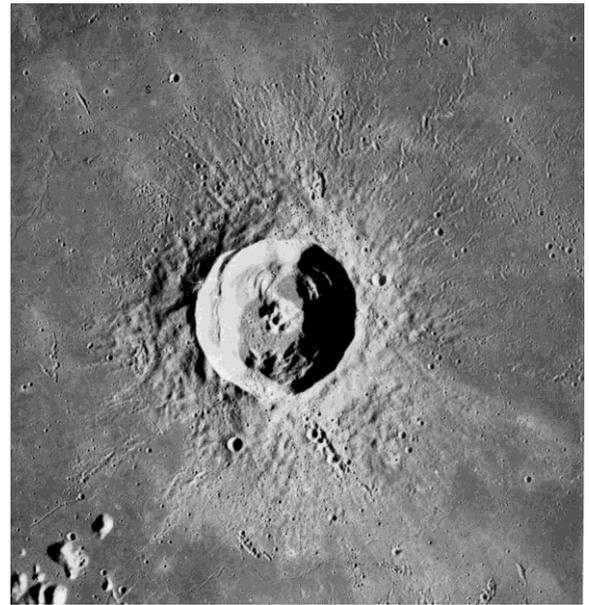
A mesure que le diamètre des cratères augmente, leur structure devient plus complexe; les plus petits présentent des parois bien lisses et régulières tandis que les plus vastes, parfois appelées des "plaines ceinturées" présentent des murs effondrés, un plancher sur plusieurs niveaux, un ou plusieurs monticules centraux quand ils ne sont pas à moitié engloutis sous la lave ou criblés de cratères.

Selon des études menées par Keith Howard en 1974, Richard Pike en 1980 et Paul Spudis (1988, 1994) les cratères accusent les premières déformations et accidents vers 20 Km de diamètre : le fond commence à s'aplanir et perd sa forme sphérique caractéristique des craterlets tandis que le sommet de la paroi extérieure (la ligne d'horizon du cratère) formant au préalable un simple arc devient crénelée. Au-delà de 30 Km de diamètre on commence à observer des pics centraux et des murs en terrasses. Formé entre 1 et 3 milliards d'années d'ici durant la période "Eratosthénienne" comme le disent les sélénologues, la région de Bullialdus (Bullialdus, Bullialdus A, Bullialdus B, König, 24°, 191°) représente cette transition. Il s'agit de quatre cratères de respectivement 59, 26.2, 20.9 et 22.2 Km de diamètre. Bullialdus est profond de 3510 m et présente plusieurs pics centraux de 590 m d'altitude, des murs localement en terrasses partiellement effondrés et une paroi extérieure qui s'élève à 580 m au-dessus de la plaine.



Buldianus

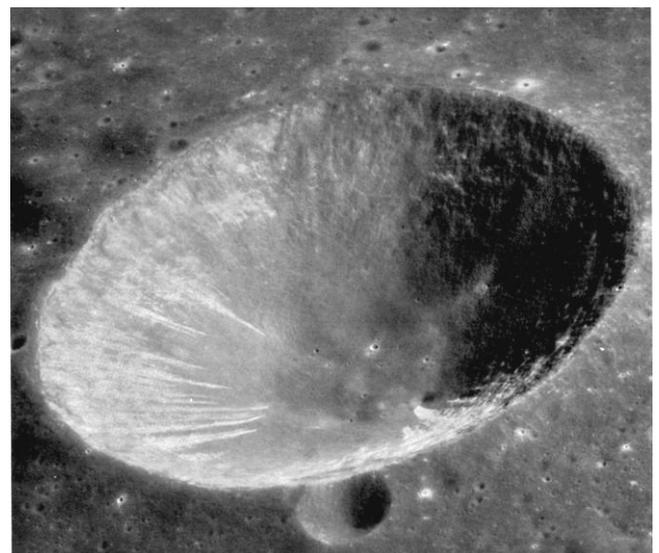
Certains petits cratères tel Euler (27 Km, 29°) ou Timocharis (33.5 Km, 27°) sont entourés d'éjecta dont le relief très brillant et parfois bombardé de minuscules craterlets apparaît très clairement en lumière rasante. Ces zones d'éjectas forment souvent des monticules qui s'étendent d'ordinaire sur une à deux fois le diamètre du cratère partent de manière plus ou moins symétrique autour du centre, avec parfois des structures concentriques ou des crêtes disposées radialement dans les zones plus éloignées.



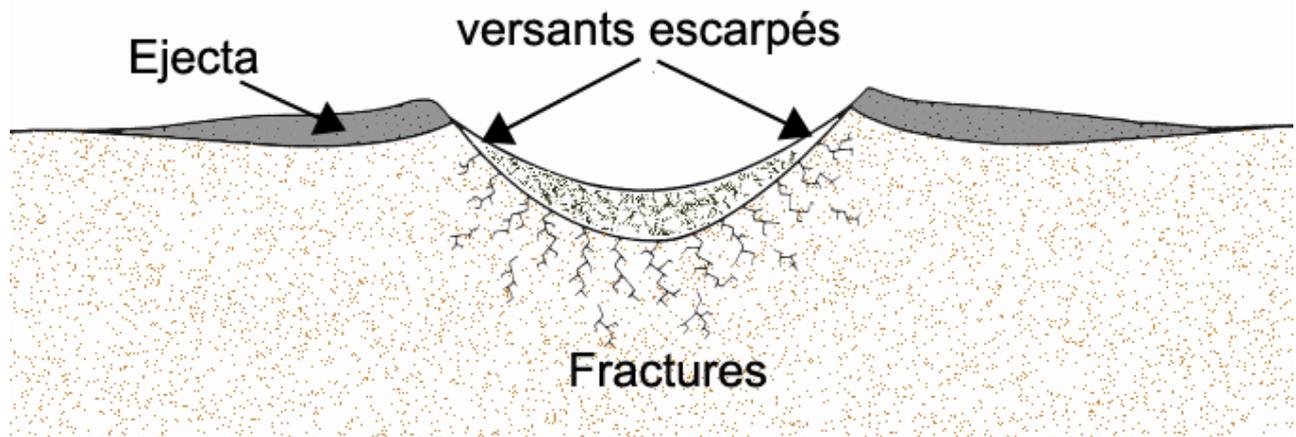
Euler. Source Nasa

Formation des Cratères

Formés lors de l'impact de météorites, les cratères se distinguent en fonction de la taille du caillou impactant et de l'énergie libérée. L'énergie dégagée est telle que la météorite se volatilise au contact de la Lune et c'est l'énergie cinétique transformée en énergie acoustique, thermique et mécanique qui va créer le cratère. Simultanément à l'impact, des particules de roches fluidifiées jaillissent à haute vitesse pour créer un rayonnement pouvant s'allonger sur plusieurs centaines de Km. Le cratère Tycho est l'exemple le plus représentatif. L'excavation du cratère s'ensuit et les matériaux déplacés s'étalent sur les versants sur une distance égale au diamètre du cratère. Trois catégories de cratères se dégagent suivant la taille du météorite impactant. Les cratères dont le diamètre est inférieur à 20 Km ressemblent à un trou de type "bol" dont la profondeur est d'un cinquième à un dixième du diamètre. Les éjectas associés dans ce type de choc construisent un bourrelet périphérique nettement visible sur les cratères de la Lune. Les versants intérieurs sont escarpés sans trace de terrasses et des lignes de fractures apparaissent sous la cuvette du cratère.



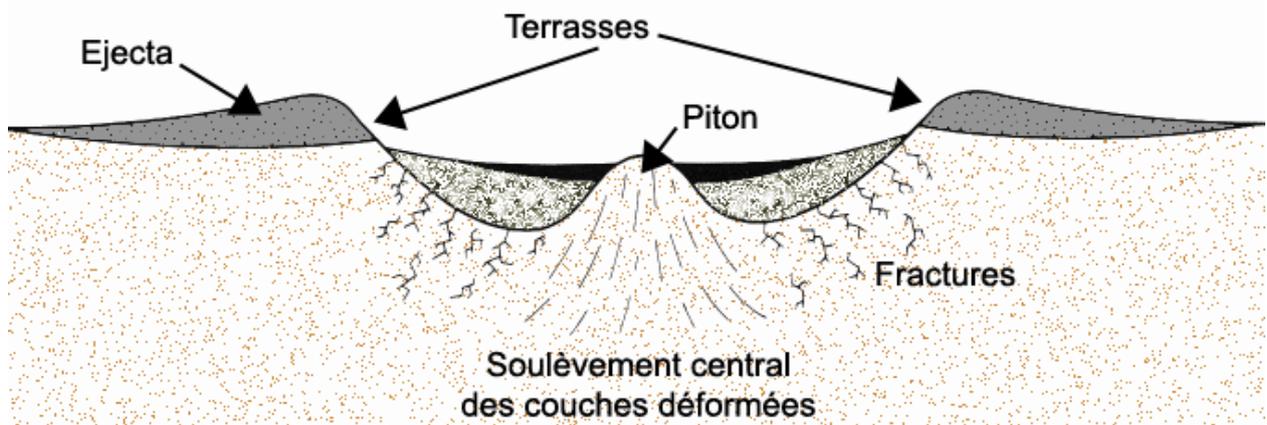
Cratère bol, Isodoros D (15 Km). Source Nasa

Cratère simple

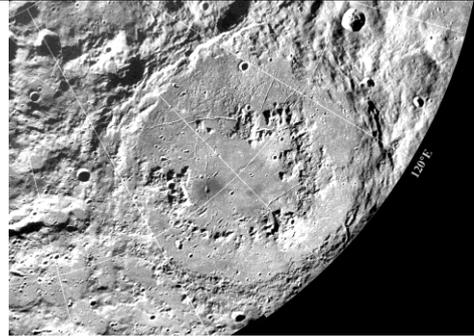
Pour de plus gros cratères dont la dimension moyenne est comprise entre 20 et 150 kilomètres, une sorte de soulèvement central crée un ou plusieurs piton central plus ou moins élaboré due au rebond de l'onde de choc sur les bords du cratère. Les pitons sont d'altitude inférieure à celle des remparts. Par la suite si le cratère est inondé par la lave le ou les pitons peuvent disparaître. La violence du choc édifie des parois internes abruptes où se forment par la suite des glissements de terrains qui donnent une allure de terrasses concentriques.



Copernic, cratère complexe à pic central et terrasses formés par éboulement des parois. Source Nasa

Cratère complexe

Les cratères plus importants (diamètre supérieur à 200 kilomètres) sont appelés bassins. Les énergies libérées sont telles que de nombreux rebonds successifs peuvent se produire contribuant à mettre en place un véritable anneau surgi de l'intérieur du cratère. Le bassin Schrödinger, proche du pôle sud lunaire pourrait passer pour le prototype avec un diamètre de près de 300 kilomètres et un anneau central de 150 kilomètres.

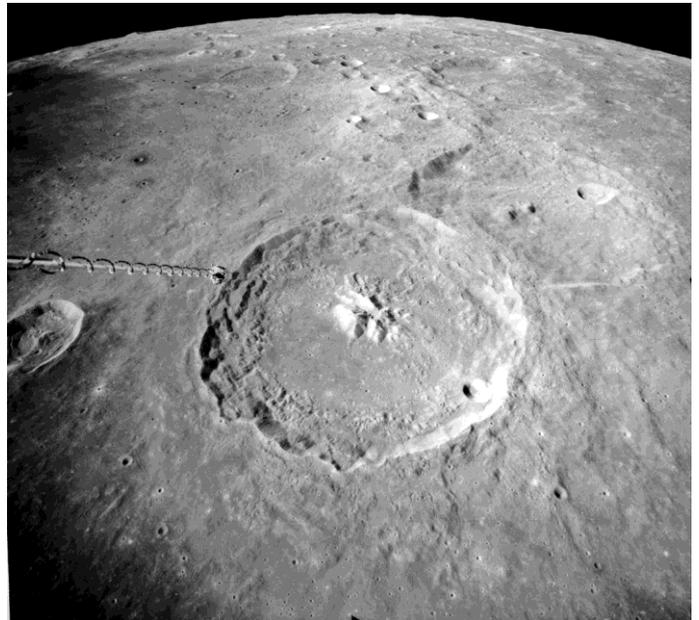


Bassin Schrödinger. Source Nasa

A partir de la plus ou moins forte réflectivité de leur surface, on peut estimer l'ancienneté des éjectas. Contrairement à ce qui se produit sur Terre, ce ne sont pas les intempéries qui érodent le sol ou salissent les objets sur la Lune. Les matériaux déposés récemment (quelques centaines de millions d'années) sur les pentes raides des cratères lunaires sont beaucoup plus brillants que les éjectas plus anciens; apparemment, un mécanisme extérieur tel que le bombardement micro météoritique de la surface lunaire, le vent solaire ou un effet combiné pourrait graduellement assombrir les matériaux de surface.

La structure des "plaines ceinturées" ou des cratères complexes (Gauss, Hausen, Humboldt, etc.) ne change pas jusqu'à ce qu'ils atteignent 180 à 200 Km de diamètre. Ils présentent toujours des murs en terrasses, un fond plat et des pics centraux. Quantitativement, leur profondeur ainsi que la hauteur de leurs parois augmentent plus lentement que leur diamètre. Toutefois l'étendue de leur plancher augmente en fonction du diamètre de l'anneau extérieure. Deux cratères de ce type sont particulièrement représentatifs, Moretus (3°, 161°) et Théophile (334°, 135°).

Clavius (225.3 Km de diamètre, 4900 m de profondeur, 22°, 190°) et les cirques de son acabit tel Bailly (283.8 Km, 4130 m de profondeur, 65°, 233°) ont un plancher plat tellement vaste que leurs parois sont relativement étroites et ne présentent plus de terrasses bien définies qui sont souvent effondrées ou criblées d'impacts. Ces grands cirques commencent à présenter en leur centre un anneau grossièrement circulaire constitué de pics. On les appelle parfois des bassins à pics centraux.



Theophilus. Source Nasa

Les autres morphologies de cratères

A côté des cratères de plus ou moins grandes dimensions, il existe toute une série d'autres espèces de cratères, classés en fonction de leur morphologie.

Les cratères engloutis de lave

Tels Endymion, Humboldt, Petavius, Platon, Archimedes, Mersenius, Wargentini dont le plancher a été envahi de lave il y a plus de 3.2 milliards d'années suite à un impact.

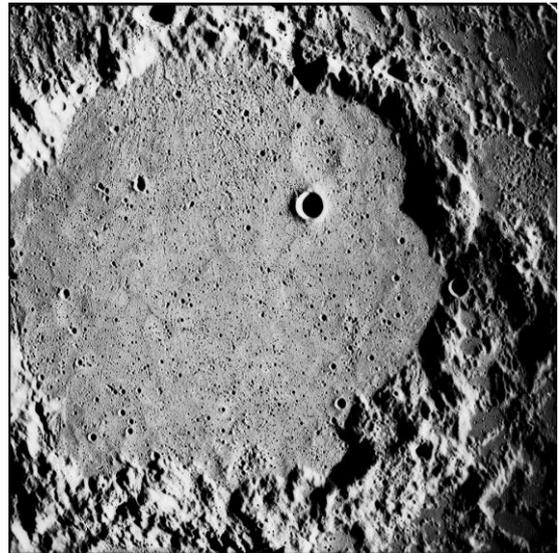


Archimedes. Source Nasa

Les cratères à fond clair

Egalement appelés "cratère-plaine" ils sont représentés par Ptolémée, Alphonse et Flammarion (3°, 9°); Hipparchus et Albategnius (357°), Fra Mauro, Guericke, Parry et Bonpland (24°), Maginus (183°), Clavius (24°), Schiller (48°) et Schickard. Ce dernier est particulièrement intéressant car il est pour moitié comblé de lave, l'autre moitié étant couverte de matériau issu des plaines.

Lorsqu'ils sont fortement éclairés le plancher (la plaine) de ces cratères clairs est difficile à distinguer de leurs remparts. Certains géologues lunaires pensent que certaines de ces plaines claires auraient une origine volcanique mais d'autres considèrent qu'il s'agit de dépôts d'éjectas. Ce matériau, quelle que soit son origine remonte à l'époque de la formation de Mare Imbrium, entre 3.2 et 3.8 milliards d'années d'ici.

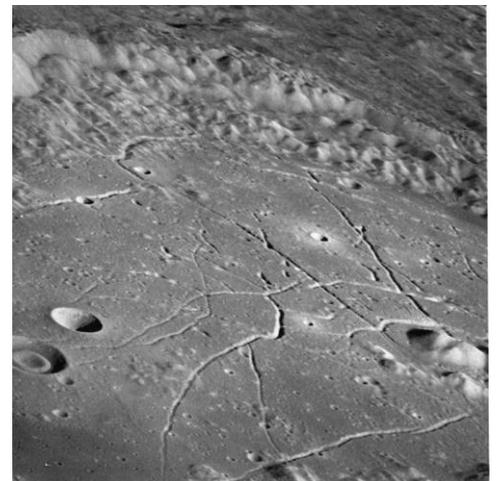


Ptolémée. Source Nasa

Certains de ces cratères à fond clair sont particulièrement nombreux dans la région nord de Mare Frigoris où l'on trouve successivement Anaximène, Barrow, Meton (148°), Kane, Arnold, Neison, Baillaud et Byrd (357°), dont le fond est particulièrement lisse, soutenant l'interprétation qu'ils été recouverts par les éjectas de Mare Imbrium, voire même de Mare Orientale. D'autres cratères, tels South, J.Herschel, Birmingham et W.Bond (174°) ont une forme de mamelon et sont associés à la formation de Fra Mauro, un épais dépôt de matériau éjecté du bassin de Mare Imbrium. Certains ont une forme allongée ou hexagonale suggérant l'existence de mouvements tectoniques depuis leur formation. Le complexe de Meton est particulièrement intéressant car sa ligne d'horizon crénelée résulte de la fusion d'au moins 5 cratères individuels. Etant donné qu'aucune théorie ne peut clairement expliquer comment des éjectas auraient pu effacer les remparts d'un groupe de cratères, il est possible qu'une activité volcanique ait été combinée aux mouvements tectoniques lors des impacts primaire et secondaire qui ont formé ce paysage.

Les cratères au sol fracturé

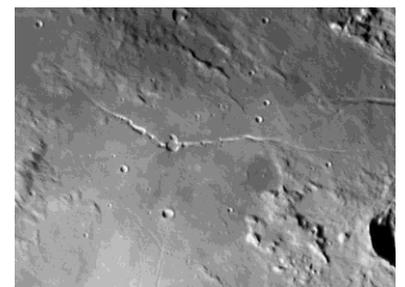
Certains cratères présentent un plancher fracturé suite à des mouvements tectoniques, au volcanisme ou aux deux phénomènes. On les trouve principalement au large des mers (par exemple sur le limbe à l'ouest de Mare Procellarum) auprès de cratères, tels que Vitello, Repsold et Galvani. Leur plancher contient souvent des crêtes, des fractures ou des escarpements qui sont à peu près concentriques par rapport aux remparts du cratère. Quelquefois le fond est constitué d'un complexe réseau de failles. Certains géologues lunaires pensent qu'il s'agirait d'extrusions volcaniques concentriques. D'autres y voient les traces de dômes et d'une expansion de l'écorce lunaire provoquées par l'intrusion de matière igneuse sous le cratère d'impact. On trouve de très beaux exemples de telles formations dans le cratère Humboldt (99°), Gassendi (48°) et Posidonius (343°).



cratère Humbolt. Source Nasa

Les cratères-trous

Il s'agit de simples perforations dans l'écorce lunaire ne présentant ni rebord extérieur ni éjecta. Ces impacts auraient une origine endogène (formé par collision impliquant des processus ou des corps originaires de la Lune). Etant donné que tout impact donne naissance à un cratère dont les parois sont surélevées par rapport au niveau moyen, ces dépressions seraient formées suite à l'effondrement de la surface. On les trouve assez souvent le long ou aux extrémités des vallées, dont l'origine est également liée à un effondrement. Un exemple est la "Tête de Cobra" située à l'extrémité sud-est de la vallée de Schröter (55°, 225°). Le cratère-trou le plus connu est Hyginus, situé juste au-dessus de faille de Rima Hyginus. Il mesure 9.7 Km de diamètre et 780 m de profondeur, mais il ne présente aucune paroi visible au-dessus de la surface. Hyginus semble se trouver au sommet d'un léger monticule, et la plupart des cratères-trous se trouvent justement au sommet de dômes.



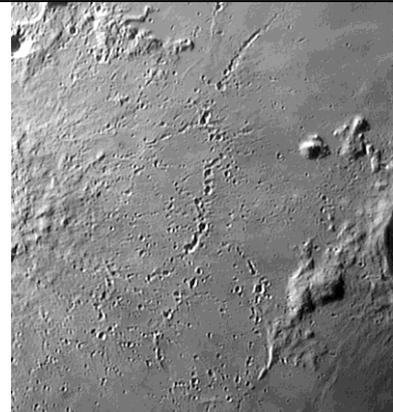
Hyginus

Les cratères de sommet

Il s'agit vraisemblablement de quelques rares caldera volcaniques, tels Wolf (191°) dans Mare Nubium, Daniell (343°) dans Mare Serenitatis, Kopff (93°, limbe Ouest) près de Mare Orientale ainsi que le minuscule Ina de 3 Km de diamètre situé dans Lacus Felicitatis, en forme de D.

Les cratères secondaires

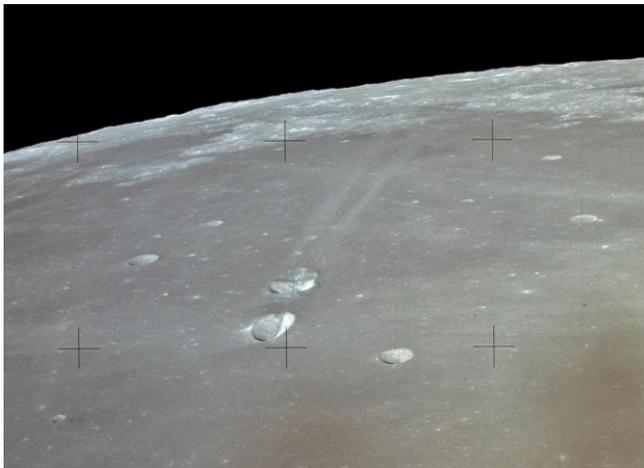
Ces types de cratères sont issus de la matière éjectée de l'excavation lors des grands impacts et qui parcourt plusieurs kilomètres avant de percuter la surface lunaire à des vitesses de plusieurs centaines de mètres par seconde. Leur forme est souvent allongée, ils sont superficiels et présentent des parois peu élevées. Les débris étant souvent éjectés en masse, les cratères secondaires sont souvent juxtaposés, formant des amas, des chaînes rectilignes ou incurvées ou forment des V caractéristiques dits "en arrête de hareng". La chaîne de cratères secondaires de Copernic (18°, 191°), située dans la zone de Stadius représente le mieux ce phénomène.



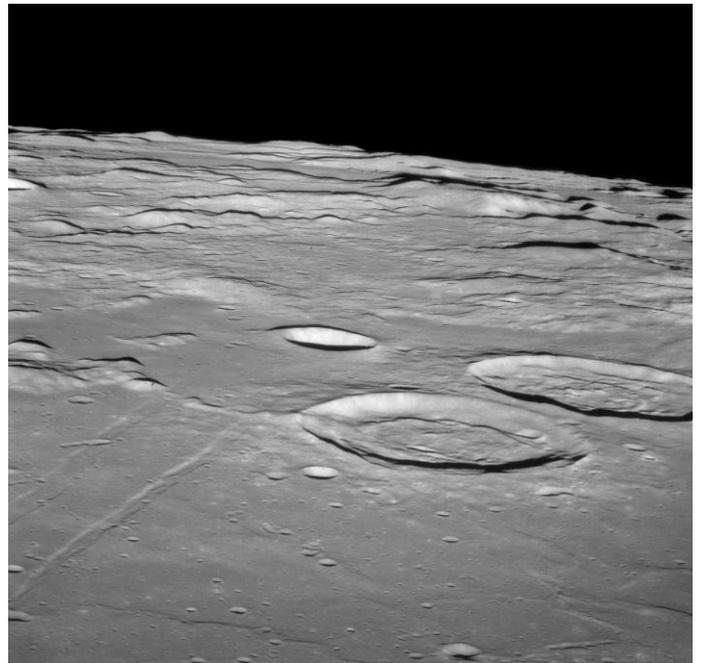
Cratères secondaires de Copernic

Les cratères doubles

Ils ont probablement été formés suite à l'impact simultané de deux corps associés, tel Messier-Messier A (119°) ou Sabine et Ritter (343°). Le premier couple présente un système de rayons asymétriques du fait que le premier impact a empêché les débris du second de se disperser dans toutes les directions.



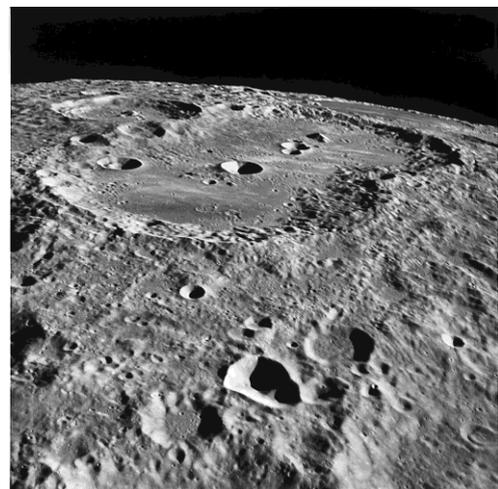
Cratères Messier source NASA



Ritter et Sabine source NASA

Les cratères ovales ou allongés

Ils ont probablement été formés suite à un impact sous une faible incidence (en oblique) tels Schiller (40°) ou, à la suite de deux impacts mitoyens.



Van de Graaff. Source Nasa

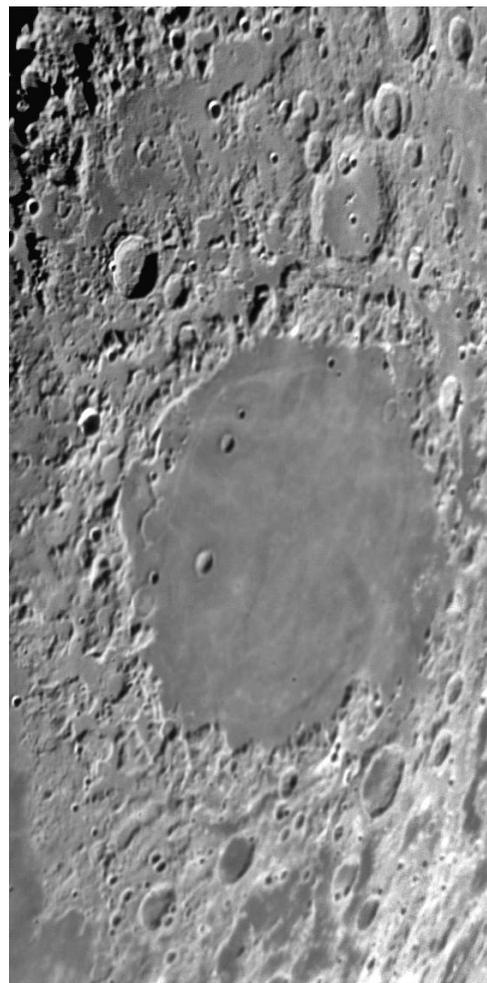
Les bassins

Quelques cratères sont encore plus étendus que Bailly (55°, 213°) dont le diamètre, supérieur à quelque 300 Km, commence à présenter des motifs concentriques autour du rempart principal; il s'agit de bassins à anneaux multiples dont la dimension varie entre le "minuscule" Bailly et le gigantesque bassin d'Aitkin situé juste au Pôle Sud mesurant 2500 Km de diamètre ! Ils sont tellement larges que pour être observés dans leur intégralité en lumière rasante il faut les observer plusieurs nuits consécutivement.

Formés par l'impact d'astéroïdes voici 3.2 à 4.5 milliards d'années, ces bassins sont en fait d'immenses cratères comblés qui ont donné naissance au visage familier de la Lune : Mare Humboldtianum, Mare Imbrium, Mare Serenitatis, Mare Crisium, Mare Tranquillitatis, Mare Fecunditatis, Mare Smythii, Mare Nectaris, Mare Orientale, Mare Humorum, Mare Nubium, Mare Australe, complétées par quelques bassins tels que Grimaldi, Mendel-Rydberg, Schiller-Zucchias, Bailly, Aitkin. Leurs éjectas s'étendent bien au-delà des limites de leur bassin, parfois jusqu'à plusieurs milliers de kilomètres, recouvrant ou engloutissant parfois des formations plus âgées. A côté de leurs dimensions impressionnantes, ces bassins se caractérisent par des anneaux concentriques dont l'origine demeure controversée

Trois théories ont été proposées pour expliquer la formation de ces anneaux :

- suite à l'impact, l'**effondrement** de petits cratères périphériques aurait formé des "méga terrasses"
- l'énergie de l'impact aurait **fluidifié l'écorce** lunaire et permit la formation d'ondes
- les anneaux seraient les traces d'**excavations** de basalte qui se seraient déplacés selon leur résistance structurelle.



Si nous prenons l'exemple du bassin de Mare Humorum (43°, 210°), on observe au centre une large zone d'impact circulaire de 440 Km de diamètre comblée de lave délimitée sur son pourtour par de nombreuses crêtes s'étirant irrégulièrement à travers la partie est et de grandes failles qui courent tout le long de la région ouest et nord-ouest. Le premier anneau s'étend sur environ 200 Km et est délimité par les escarpements de Rupes Kelvin au sud-est, Rupes Liebig à l'ouest et par les cratères Vitello au sud et Gassendi au nord. Le deuxième anneau s'étend également sur environ 200 km. Il est délimité par des crêtes plutôt que par des zones montagneuses et plusieurs zones de failles telles que Rimae Herigonius, Agatharchides, Hippalus, Doppelmayer et Mersenius. Un troisième anneau s'étendrait au nord jusqu'en bordure sud du cratère Lettrone et côté sud jusqu'au-delà de Lacus Excellentiae. Sa trace est toutefois partiellement effacée suite aux éjectas probablement rejetés par Mare Imbrium et Mare Orientale ainsi que les flots de lave issus d'Oceanus Procellarum et de Mare Nubium déversés à l'époque de la formation de Mare Imbrium (3.2-3.8 millions d'années) et d'Eratosthène (1.1-3.1 millions d'années).

Une autre catégorie de bassins d'impact reprend Mare Orientale ou Mare Imbrium. Ces bassins ont rejeté des éjectas sur leur périphérie donnant parfois naissance à des vallées radiales que l'on observe également dans les bassins de Mare Crisium et Mare Nectaris.

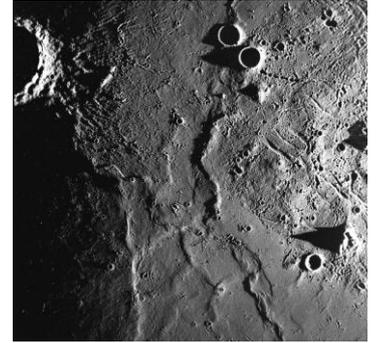
Mais ce sont les bassins de Mare Imbrium et de Mare Crisium qui ont le plus été envahi par la lave au point que dans Mare Imbrium (179-201°) seuls émergent encore de la lave quelques montagnes et pics isolés (Piton, Pico, Montes Teneriffe, Montes Spitzbergen, Mons La Hire, etc.) qui semblent tracer les limites intérieures du cratère d'impact.

Une dernière catégorie de bassins d'impacts rassemble les impacts ayant eu lieu dans les zones montagneuses. Leur présence n'est pas identifiée par des flots de lave mais plutôt par l'existence de reliefs souvent assez sombres et contrastant avec les zones à forte densité de cratères. Les bassins de Bailly, Schiller-Zucchias, Mendel-Rydberg et Aitkin tombent dans cette catégorie. D'autres zones sombres pourraient également être incorporées dans cette catégorie : les bassins de Mare Procellarum (15°O, 26°N, 3200 Km), Mutus-Vlacq (21°E, 51°S, 690 Km), Marginis (84°E, 20°N, 580 Km), Flamsteed-Billy (45°O, 7°S, 570 Km), Balmer (70°E, 15°S, 500 Km), Werner-Airy (12°E, 24°S, 500 Km), Amundsen-Ganswindt (120°E, 81°S, 335 Km), Lorentz (97°O, 34°N, 365 Km), Sikorsky-Rittenhouse (111°E, 68°S, 310 Km) et Pingré-Hausen (82°O, 56°S, 300 Km).

Les cratelets

Souvent associés aux dômes, ils ne mesurent que quelques dizaines de kilomètres seulement. Ils ont des murs extérieurs et sont quelquefois alignés pour former des fractures (Hyginus, 354°). Ils sont quelquefois très profonds, celui de Newton (18°) s'enfonçant à 7250 m dont 5540 m sous le niveau moyen. Comme les grands cratères, ils sont très brillants en plein Soleil pouvant former des systèmes de rayons brillants (axes de Tycho, 30°).

Exceptionnellement certains cratères tels Beer et Feuillé situés tout près de Timocharis dans Mare Imbrium deviennent très brillants à midi locale et s'entourent d'une sorte de nébulosité ou d'un anneau blanc brillant. Ce



Beer et Feuillé. Source Nasa

phénomène est vraisemblablement lié à un effet d'optique suite à la réflexion de la lumière solaire sur leurs remparts. Il ne s'agit en aucun cas d'un phénomène lunaire transitoire (LTP).

Les cratelets groupés et autres catenae sont d'origine météoritique tandis que les cratelets isolés sont peut-être des dômes explosés. D'autres cratelets intéressants : Deslandres (5°), Pitatus (13°), près du mur droit (8°), Lexell (5°), Stadius (13°), Copernic (20°), Clavius (30°), dans les Apennins (5°), les Alpes (0°) et les monts Caucases (161°).

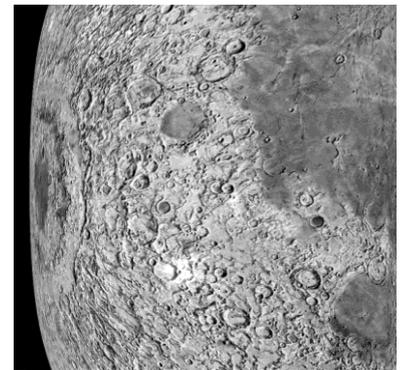
Les vallées (vallis)

Par définition l'UAI considère une vallée comme étant une dépression large et approximativement droite formée par l'effondrement de cratères secondaires. On les appelle également des chaînes secondaires, des chaînes de bassins secondaires ou encore des vallées radiales. Malheureusement les catenae et autres fractures du sol se retrouvent également dans cette définition qu'il convient dès lors d'associer à la famille générique des "vallées".

La plupart des vallées sont localisées dans les terrae centrales, entre Mare Cognitum et Mare Tranquillitatis. Quelques unes se trouvent sur le pourtour de Mare Humorum et près de Mare Australe. Complétées par les nombreuses failles et cratères au plancher fracturé, la plupart de ces cicatrices sont disposées radialement entre 1000 et 2000 Km autour du bassin de Mare Imbrium, à l'exception des deux catenae de Davy et Müller sur lesquelles nous reviendrons un peu plus bas. La majorité des chaînes secondaires sont également disposées radialement autour de la plupart des bassins des mers de Mare Imbrium, Nectaris, Serenitatis, Humorum et Orientale.

Curieusement, aucune des vallées disposées radialement autour de Mare Imbrium n'a été baptisée, à l'exception de la vallée des Alpes (un graben) qui est prisonnière des remparts du bassin d'impact. Nous y reviendrons. De la même manière, la vallée de Schröter (voir plus bas) est en réalité une faille et pas du tout une chaîne secondaire.

Si on projette l'image de la Lune sur un globe (où digitalement via l'option "Spherize" de Photoshop, en choisissant un paramètre de 100% afin de convertir la projection orthogonale en projection équidistante azimutale ou perspective plus "naturelle"), on constate autour de Mare Orientale une magnifique collection de vallées radiales alors qu'au télescope les vallées ne montrent aucun signe évident de convergence. Leur origine remonte donc bien à celui du bassin de Mare Orientale.



Mare Orientale

Image (c) Atlas virtuel de la Lune / Ch. Legrand & P. Chevalley

Lorsque la libration* ouest est favorable quatre vallées peut-être observées près du limbe : Valles Baade (160 Km de longueur), Bouvard (280 Km) et Inghirami (140 Km) situés au sud de Mare Orientale et Bohr (300 Km) située au nord.

Plus à l'est, Montes Taurus contient plusieurs vallées formées par les bassins d'impacts de Mare Serenitatis et Mare Crisium. La plus apparente est la vallée radiale du bassin de Mare Crisium qui se trouve au nord de Macrobius (131°). Les terres situées à l'est et au nord ont également été sculptés par les éjectas issus des bassins d'impacts.

Les fractures (rimae)

Par fracture on entend des dépressions longues et étroites dans l'écorce de la Lune, des fissures, des crevasses et autres failles rectilignes ou sinueuses. Un seul substantif latin les regroupe : rima (pl. rimae).

Dans un petit télescope il est parfois difficile, même sous une lumière rasante, de faire la distinction entre une crête et une faille, toutes deux offrant un tracé brillant en relief. Seul un fort grossissement permet de les différencier. Dans le doute, consulter votre planisphère !

L'UAI a répertorié 2000 fractures sur la Lune. Elles sont de quatre types :

- **linéaires** avec un rayon de courbure d'environ 100 Km
- **arquées** avec un rayon de courbure de 100 Km
- **sinueuse** avec un rayon de courbure d'environ 1 Km
- **cratelées**, où la fracture sous-jacente, une fissure du sol ou une vallée, contient de nombreux cratèles.

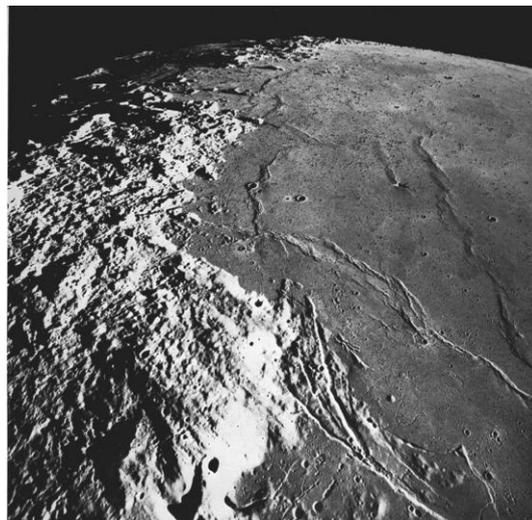
Les fractures forment une structure en forme de V ou s'étendent simplement sur le sol. La largeur varie entre 0.5 et 25 Km, la profondeur de 100 m à 2000 m, pour une longueur de dix à quelques centaines de kilomètres.

Les fractures linéaires et arquées

Les fractures linéaires se concentrent dans les mers, en bordure des remparts des bassins, et sont souvent parallèles les unes aux autres. Elles ont été formées par

l'affaissement du bassin intérieur qui a créé des zones de tensions sur l'écorce de la Lune à l'origine de ces fractures.

Si nous prenons l'exemple des fractures de Rimae Sulpicius Gallus (351°, 154°) situées en bordure nord-ouest de Mare Serenitatis, on découvre une faille régulière, d'abord linéaire puis légèrement arquée en forme de □ qui s'étend sur près de 90 Km à partir du petit cratère de Sulpicius Gallus (11.9 Km) et qui longe les montagnes de Montes Haemus. Ces failles sont entourées de falaises de quelques centaines de mètres d'altitude, dont les parois sont parallèles et tombent à pic sur un fond plat. Ce type de relief est appelé un "graben", une dépression formée par l'affaissement (subsidence) de deux fractures parallèles à l'image, bien qu'à une plus grande échelle, de la Mer Rouge sur Terre. Un autre exemple de graben lunaire est la vallée des Alpes.



Rimae Sulpicius Gallus. Source Nasa

Les fractures sinueuses et cratelées

Les fractures sinueuses ont également un fond plat et des parois parallèles mais elles courent sur la surface lunaire comme les méandres d'une rivière. Elles ressemblent forts aux produits de l'érosion ce qui a été confirmé par la cartographie photogrammétrique durant les missions Apollo; les fractures sinueuses courent du haut des montagnes vers les basses terres. Elles ne contiennent évidemment plus aucune forme de liquide mais la majorité d'entre elles présentent des traces de lave de faible viscosité. En fait, par analogie avec les phénomènes associés au volcanisme terrestre (volcans d'Islande, d'Hawaii, etc.) on pense que les failles sinueuses sont probablement constituées d'un mélange de rivières de lave et de tunnels de lave effondrés. Ces zones de fractures sont plus étendues que leurs équivalents terrestres en raison de la plus faible gravité lunaire qui aurait donné plus de fluidité à la lave.

Si on trouve les fractures à la fois dans les mers et les terres, les fractures sinueuses se développent surtout dans la partie peu encaissée des grands bassins d'impacts (les mers) et plutôt dans l'hémisphère ouest de la Lune. Elles sont particulièrement concentrées dans l'Oceanus Procellarum, au nord d'Aristarche, où elles forment un système très imbriqué baptisé le réseau de failles d'Aristarche (Rimae Aristarchus, 48°).

La vallée de Schröter (49°) - une fracture - est de toutes ces formations la plus sinueuse. Partant du cratère d'Aristarchus elle s'étend sur 160 km. Elle est large de 11 Km et profonde de 1000 m; Hippalus, à la limite de Mare Humorum est un exemple de fracture en arc; Aridaeus (342°) est une fracture linéaire et la faille d'Hyginus (354°) offre une structure en cratèles très connue. La plupart sont très étroites, entre 500 et 1000 m de largeur, et ne peuvent être observées qu'en lumière rasante.



Vallée de Schröter source Nasa



Rainures Aridaeus source Nasa

Nous pouvons aussi classer parmi les fractures quantité de ruisselets linéaires que l'on retrouve sur toute la Lune et qui deviennent difficilement visibles depuis le sol. Ces formations choisissent des orientations NE-SO et SE-NO; peu d'exemples s'orientent au N-S. D'autres fractures s'échappent à partir des mare circulaires, telle que la vallée de Rheita issue de Mare Nectaris (314°). Mais ces vallées peuvent aussi présenter différents autres aspects comme les Alpes (357°), Shiller (39°), les Apennins (5°), les Monts Huygens (4°), les Carpates (20°), les monts Caucase (161°) ou Sinus Iridum (32°).

Les chaînes de cratères (catenae)

Selon la définition des vallées adoptée par l'UAI, les catenae sont des vallées. Mais différentes des failles (des fissures de l'écorce lunaire) et des chaînes de cratères secondaires (des cratèles formés par les éjectas), les catenae ou chaînes de cratèles suivent des lignes droites ou légèrement incurvées aux contours bien délimités.

A ce jour deux théories concurrentes expliqueraient leur formation. Il s'agirait :

- soit de chaînes de **cratères volcaniques**
- soit de chaînes de **cratères secondaires**.

Aucune des deux hypothèses n'est toutefois satisfaisante car on trouve des catenae dans des zones sans aucun relief volcanique (Davy, Müller), tandis que d'autres (Sylvester, Humboldt) ne sont pas alignées avec de grands cratères et ne sont pas situées à proximité de chaînes de cratères secondaires. Ces chaînes cratélées sont récentes et, dans certains cas au moins, semblent être des cratères d'impacts primaires. Depuis la collision de la comète Shoemaker-Levy 9 avec Jupiter à laquelle nous avons assistée en 1994, on a découvert qu'une chaîne d'impact pouvait très bien se produire. Cette observation renforce une troisième hypothèse de formation des catenae pour lesquels il n'existe aucun signe de volcanisme proche et qui ne seraient pas des cratères secondaires; il s'agirait des traces de la collision avec des météorites d'origine cométaire ayant subi un stress gravitationnel tel qu'étant donné leur faible densité, par un effet de marée l'objet se serait fractionné en une bonne dizaine de fragments avant de percuter le sol lunaire.



Catena Davy source Nasa

Rien que sur la face visible de la Lune il existe 13 catenae ou chaînes de cratères que j'ai repris dans le tableau suivant :

La plus connue et la plus apparente est sans conteste la Catena Davy située près de Ptolémée dont l'impact aurait eu lieu il y a moins d'un million d'années. La chaîne située au nord-est du cratère David (34.7 Km) commence par un petit cratelet de 3.1 Km de diamètre, David C, et s'étend sur environ 50 Km vers le nord-est. La chaîne est constituée de 25 cratelets. Elle n'est alignée avec aucun cratère, si ce n'est peut-être le grand bassin de Mare Orientale mais il est situé à plus de 2000 Km de distance.

Catenae identifiées		
Chaîne de cratelets	Long./Lat. (°)	Colong (°)
Catena Abulfeda	+14, -14	351, 161
Catena Brigitte	-	-
Catena Davy	-8, -12	9, 179
Catena Dziewulski	-	-
Catena Humboldt	+81, -27	291, 99
Catena Krafft	-73, +17	75, 233
Catena Littrow	+31, +22	334, 131
Catena Pierre	-	-
Catena Sylvester	-82, +83	106, 174
Catena Taruntius	+47, +5	315, 124
Catena Timocharis	-13, +27	18, 183
Catena Yuri	-	-
Catena Müller	+2, -8	3, 174

Les montagnes lunaires (V)

Venons-en enfin aux montagnes et aux pics qui recouvrent la surface lunaire. Pour décrire ces reliefs, l'UAI utilise plusieurs termes latins (et ne reconnaît pas officiellement les lettres romaines et grecques) :

- **montes** caractérise une chaîne de montagnes
- **mons** caractérise les pics isolés
- **promontorium** caractérise les promontoirs ou caps
- **rupes** caractérise les escarpements.

Citons à part les crêtes et les dômes qui, s'ils donnent l'impression d'être montagneux, n'en restent pas moins des reliefs de faible élévation liés à des processus volcaniques ou tectoniques.

Peut-être intentionnellement en raison de leur proéminence, toutes les montagnes qui ont reçu un nom représentent en effet des reliefs d'altitude plutôt que des structures reliées aux mers.

Qu'il s'agisse de pics isolés ou de chaînes de montagnes la plupart des sites élevés constituent soit une partie des remparts de bassins d'impacts soit ont été formés par les éjectas issus de ces bassins. Les montagnes en forme d'anneau entourées d'une mer indiquent l'existence des restes de remparts de cratères submergés. A certaines occasions des structures montagneuses ont été créées par le soulèvement tectonique, en particulier le pic central des cratères. Certaines montagnes peuvent avoir une origine volcanique mais elles sont rares.

Les régions montagneuses ou hautes terres (terrae)

Ce sont en général les zones claires et peu denses de la Lune, des terres fermes dont l'élévation moyenne au-dessus de la mer est d'environ 2 km. Ils dessinent 75% de la surface complète de la Lune (60% de la face visible). Ces régions montagneuses contiennent beaucoup plus de grands cratères, pratiquement comblés, que les mers et sont en général les plus vieilles structures de la surface. Des roches datées entre 4.1 et 4.6 milliards d'années ont été rapportées par Apollo 16 qui alunait dans les hautes terres. L'albédo* moyen de ces surfaces est d'environ 0.12, ce qui les rendent deux fois plus brillantes que les mers. **Le volcanisme de montagne**

Ce terme est attribué à toute activité volcanique impliquant le matériau clair des régions montagneuses, qu'il se situe dans les terres ou les mers. Cela étant ce type de volcanisme est plus rare que celui se manifestant dans les mers (par le passé) et il est encore moins évident d'en trouver les traces dans les hautes terres. Toutefois certains reliefs ont été attribués à une activité volcanique de montagne.

Une telle région a été identifiée le long du "Banc des Apennins" situé dans la partie est de mare Imbrium, entre les monts Bradley et Hadley Delta, à quelque 100 Km d'un beau réseau de fractures (5°, 170°).

Certaines zones situées dans les régions montagneuses auraient une origine volcanique comme la Formation de Cayley mais que d'autres interprètent comme étant des bancs d'éjectas. En complément ces régions d'altitude contiennent quelques plateaux élevés assez inhabituels qui pourraient avoir une origine volcanique. L'un d'entre eux est le "Plateau de Kant" (154°) qui s'étend sur 40 Km au sud-est de Zöllner, non loin de Sinus Asperitatis et de Théophile. Un second plateau, plus petit, est situé au sud-est de Dembowski (357°).

Rappelons enfin que l'on a identifié au moins sept dômes dans les régions montagneuses.

Les chaînes de montagnes (montes)

Les chaînes de montagnes sont des zones très élevées et étroites, souvent étendues (jusqu'à 2500 Km d'altitude et quelques centaines de kilomètres de longueur) et formant presque exclusivement le bord extérieur des mers circulaires. Elles sont l'équivalent des parois des cratères et ont été formées par le même mécanisme, des processus d'impacts. Les chaînes circulaires cerclent des bassins d'impacts. Leur nom provient des chaînes de montagnes terrestres, pour citer par exemple les Apennins ou les Alpes (au nord-est de Mare Imbrium). D'ordinaire l'un des versants de la chaîne est assez escarpé (pentes entre 15° et 35°) alors que l'autre versant est plus doux (moins de 15°) et forme les parois des cratères.

Les chaînes de montagnes lunaires ne sont pas semblables aux chaînes de montagnes terrestres, lesquelles sont pour la plupart plissées. La chaîne terrestre qui se rapprocherait des formations lunaires doit être constituée d'une seule strate, comme par exemple la Sierra Nevada aux Etats-Unis, mais le processus de formation n'est pas identique.

Citons quelques chaînes remarquables : les Monts Rhiphaeus (29°), les Carpates (18°), les Apennins (5°), les monts Caucases (161°), le Jura et les Alpes (0°) sans compter les grandes dépressions qui bordent les mers pour ne citer que la région Théophile-Catharina qui contient l'escarpement des monts Altaï (149°).

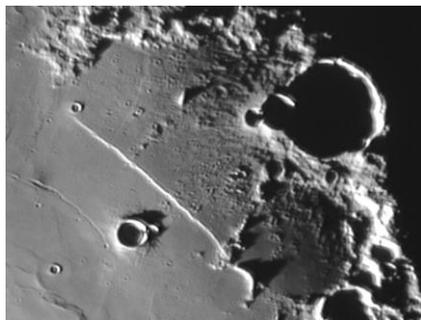
Les escarpements (rupes)

Parmi les chaînes de montagnes, les escarpements (rupes) constituent une classe à part. Ils ont été formés suite à des mouvements tectoniques qui ont modifié l'élévation relative de part et d'autre de la zone de contact. A l'image des failles linéaires (qui sont formées de deux fractures parallèles), les escarpements suivent des lignes droites, des segments linéaires ou forment des courbes douces. On trouve des escarpements tant dans les mers que dans les terres. Quand ils sont accolés à un bassin, leur face pentue surplombe le bassin intérieur. Leur nom est en général associé à une structure proche.

Sept parmi les plus grandes fractures sont assez étendues pour être visibles depuis la Terre et ont été baptisées. Mais certains escarpements n'en sont pas, tel "Rupes Apenninus". Les escarpements les plus petits et sans nom peuvent être découverts en tout lieu de la surface lunaire où il y a des mouvements tectoniques.

L'escarpement de loin le plus impressionnant est sans conteste Rupes Altaï (340°, 150°) situé sur le rempart sud-ouest du bassin d'impact de Mare Nectaris, non loin de Catharina, Cyrille et Théophile. S'étendant sur plus de 400 Km, sa face intérieure surplombe le bassin voisin de 1200 à 1800 m d'altitude, avec un pic situé près de Fermat qui culmine à 3400 m d'altitude. Comme tous les escarpements son apparence dépend de l'heure de la journée. Rupes Altaï est brillant peu avant le premier quartier (340°, le matin localement sur la Lune) mais ressemble aux remparts d'un cratère, ne laissant entrevoir que quelques pics aux versants brillants; par contre peu avant le dernier quartier, il dessine une ombre très dentelée sous la lumière rasante venant d'ouest (143° à 154°, l'après-midi localement sur la Lune).

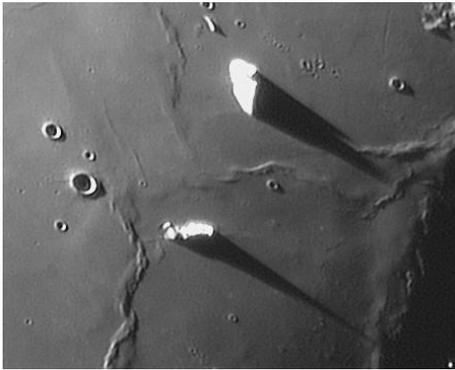
Citons pour terminer Rupes Recta, le fameux "Mur droit" situé à l'est de Birt (16.8 Km) dans la partie orientale de Mare Nubium (18°, 191°). Cet escarpement orienté à l'ouest cours sur 130 Km et s'élève entre 270 et 300 m au-dessus de la mer.



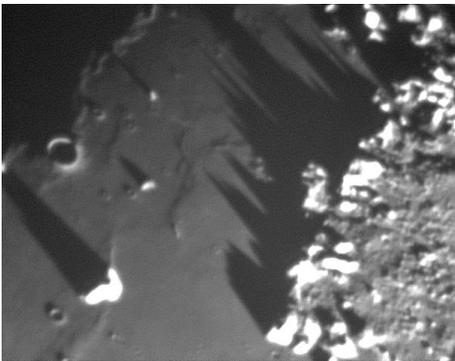
Rupes Recta

Escarpement	Principaux escarpements			
	Long. Lat.(°)	Long.(Km)	Elév.(m)	Colong.(°)
Altaï, Rupes	+23 -24	400	3400	340, 150
Cauchy, Rupes	+37 +9	120	2-300	328, 135
Kelvin, Rupes	-48 -24	80	1500	36, 213
Liebig, Rupes	-48 -24	180	600	48, 225
Mercator, Rupes	-22 -31	90	1200	24, 201
Recta, Rupes (Mur droit)	-8 -22	130	300	9, 179
Toscanelli, Rupes	-46 +29	70	2-300	48, 213

Les pics (mons)



Mons Pico et Piton



Montes Alpes

Il s'agit en général de montagnes imposantes, des pics isolés, offrant des parois très élevées, très abruptes et colorées. Ils apparaissent en majorité dans les mers comme Pico et Piton dans Mare Imbrium. Quelquefois les plus grands pics situés dans les montagnes ont été baptisés tels les monts Hadley dans les Apennins, visités par Apollo XV. Ces pics sont pour la plupart des vestiges de chaînes de montagnes, les seuls points hauts qui ont survécus aux flots de lave qui ont submergés les bassins d'impacts constituant aujourd'hui les mers. En effet, leur localisation permet de tracer le pourtour d'un ou plusieurs anneaux concentriques qui signalent la présence d'un lieu d'impact. Ces fragments d'anneaux intérieurs sont les plus apparents dans Mare Imbrium; Mare Crisium et Mare Humorum n'ont chacune que quelques pics. On trouve également des pics isolés dans Mare Orientale, Mare Frigoris, Mare Nectaris, Mare Nubium, Mare Serenitatis, Mare Tranquillitatis et Mare Fecunditatis, mais on ne peut pas dire qu'ils forment un motif circulaire cohérent entre eux.

La recherche des pics fut entreprise sous l'égide de l'USAF mais leur étude est difficile car ils ne sont visibles qu'à certains moments de la lunaison* sous certaines conditions d'éclairage (rasant). Le calcul de leur hauteur repose sur des notions de trigonométries où, connaissant la longueur de leur ombre projetée sur le sol et la hauteur du Soleil, il est possible de connaître leur altitude avec précision.

Quelques montagnes remarquables

Nom	Élévation (m)	Nom	Élévation (m)
Montes Roots	8200	Mont Blanc	3617
Liebnitz	7900	Mons Ampères	3000
Montes Caucasus	6000	Montes Alpes	3000
Montes Appenninus	6000	Montes Teneriffe	2400
Mons Huygens	5500	Mons Pico	2400
Mons Hadley	4800	Mons Piton	2200
Montes Jura	4000	Mons La Hire	1900
Platon	3700	Montes Recta	1900

Les dômes (mons), VI

Ce sont des montagnes de faible escarpement (pente < 10°) qui dépassent rarement 1000 m d'élévation au sommet desquelles se trouve souvent un cratère qui se trouve au niveau moyen de la surface lunaire. Leur diamètre est variable mais n'excède pas 7 Km, à l'exception des dômes de montagne; il s'agit donc de petites formations qui requièrent une lumière rasante pour être décelés. Reportés sur un planisphère, ils apparaissent regroupés en bordure des mers, avec une forte concentration dans la partie nord et centrale de Mare Tranquillitatis (150°, 340°), la région de Hortensius-Milichius-Tobias Mayer à l'ouest de Copernic (29°, 205°) ainsi que la région située à l'ouest de Marius, au sud d'Aristarche (55°, 225°) qui regroupe



Dômes Tau et Omega Cauchy. Source Nasa

environ 200 dômes et quelques crêtes qui s'étendent sur plus de 200 km. Certains parmi les dômes de Marius seraient des cônes de cendre rejetés par des événements volcaniques, ce qu'on appelait des cratères-cônes par le passé. On observe également des dômes à l'est d'Hortensius (28°), à l'ouest de Milichius (30°) et aux alentours de Mons Rümker dans Oceanus Procellarum (61°).

Leur nom dérive de la structure avoisinante la plus frappante, la plus élevée, généralement un cratère. On s'accorde à leur donner une origine volcanique, à l'exception de la région de Marius qui aurait été formée suite au soulèvement de l'écorce lunaire combiné à un phénomène volcanique.

En effet, ils pourraient avoir été formés sous l'effet de pressions internes de convulsions gazeuses ou suite à des infiltrations de magma* poussés de sous la croûte lunaire, il s'agit des laccolithes*, un phénomène que l'on retrouve également au centre d'Hyginus (357°, 161°), connu pour ses fractures.

La majorité des dômes se situent dans les mers, mais au moins sept dômes apparaissent dans les régions montagneuses, pour citer Mons Gruithuisen Gamma (1200 m d'élévation, base de 18x24 Km) situé à l'extrémité sud-ouest de la chaîne Jura-Alpes-Caucase, Mons Gruithuisen Delta (1500 m, base de 14x33 Km, 48°, 213°), Mairan T située à l'ouest de Mairan (900 m, base de 7 Km, 225°) suivi de deux autres petites formations au sud-est. Mons Hansteen au sud-ouest d'Oceanus Procellarum (55°, 255°) serait également un dôme de montagne et peut-être le plateau perforé et fissuré de Darney □ dans Mare Cognitum (29°, 205°). Plusieurs parmi ces sept formations ressemblent à des dômes de rhyolite telle qu'on en trouve dans les cratères Mono en Californie.

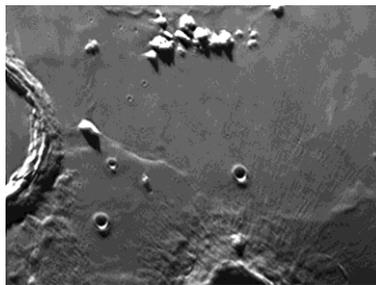
Les crêtes (dorsum)

Nous trouvons les crêtes à deux endroits : les unes dans les mers, les autres dans les montagnes. La plupart des mers contiennent des réseaux complexes de crêtes qui s'étendent parfois dans les chaînes de montagnes. Elles présentent d'habitude un sommet écrasé large de 5 à 10 Km et une élévation de l'ordre de 100 à 200 m, parfois 500 m, avec une pente inclinée à moins de 10°. Leur longueur peut atteindre des centaines de kilomètres. Les crêtes sont souvent arquées ou sinueuses et parallèles, à la limite des mers circulaires. Elles ont tendance à former des arcs concentriques avec le rempart des bassins, en particulier dans les mers de Mare Imbrium, Mare Serenitatis, Mare Crisium, Mare Humorum et Mare Nectaris. Quelques unes peuvent avoir formé les remparts de cratères aujourd'hui effondrés ou la trace d'anciens cratères. Des crêtes ont même été trouvées sur le fond des cratères. Elles ont la même couleur que les zones avoisinantes.

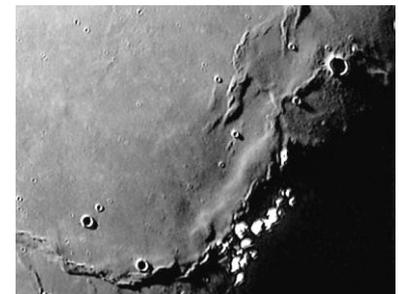
Certaines crêtes situées en bordure des mers peuvent avoir été formées par des extrusions de magma* le long des fissures, bien que l'origine tectonique (la compression de l'écorce lunaire) soit plus généralement admise. Cette théorie est supportée par le fait que les crêtes sont souvent parallèles aux failles (exemple Rimae Sulpicius Gallus), les deux reliefs ayant été formés par l'affaissement des bassins intérieurs.

La plupart des crêtes n'ont pas reçu de nom mais sont pourtant bien visibles en lumière rasante sur le terminateur*. Parmi les formations les plus intéressantes, citons la fameuse "Crête en serpent" (334°, 154°) située entre Plinius et Posidonius, à l'est de Mare Serenitatis, aujourd'hui baptisée Dorsa Smirnov dans sa partie nord et Dorsa Lister dans sa partie sud. La réseau de crête s'étend sur plus de 400 Km et s'élève entre 300 et 350 m au-dessus de la mer; celles situées dans Mare Imbrium : Dorsum Heim et Dorsum Zirkel au sud, à l'ouest de Sinus Iridum (36°, 205°) et Dorsum Higazy et Dorsum Grabau au sud-est (18°, 191°), près du cratère Timochacris, lui-même situé au nord-est de quelques crêtes (10°, 185°); celles partant de Gassendi (40°, 214°) et celles situées au nord des Alpes (0°, 170°) dans Mare Frigoris.

Les crêtes situées dans les montagnes sont des pics montagneux étirés. Leur escarpement est supérieur à 15°. On les retrouve d'habitude dans les mers, mais s'y distingue par leur couleur plus claire (albédo*). Spitzbergen (188°) en est un exemple, de même que la zone qui s'étend entre Platon et Archimède (174°) ou le système s'étendant du nord de Théophile (333°) vers Mare Serenitatis à travers Mare Tranquillitatis (148°).



Mons Spitzbergen



Mons Spitzbergen

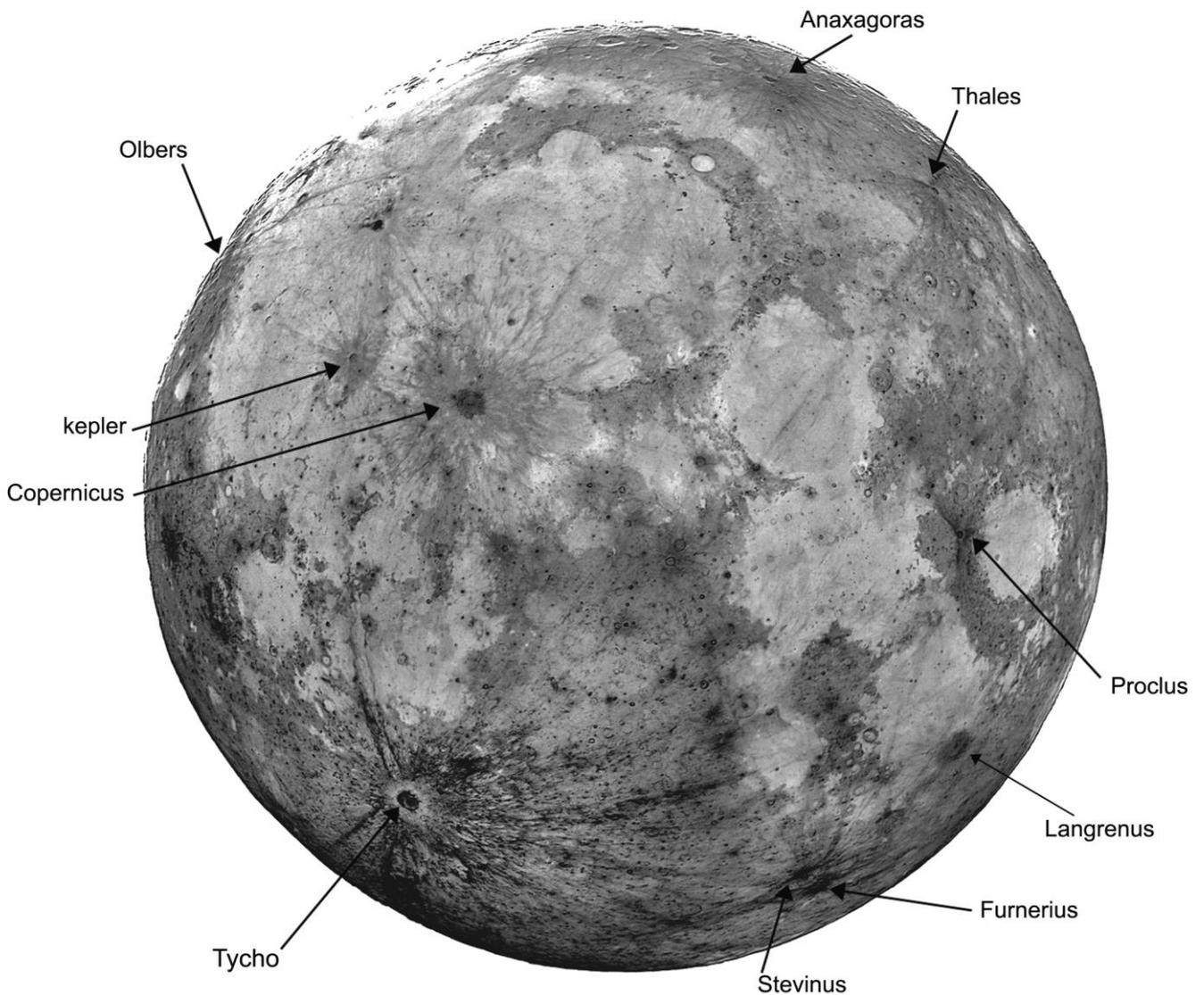
Les rayons

Il s'agit de raies brillantes presque exclusivement issues des cratères. Environ 110 groupes ont été localisés. Ils n'ont pas de dépression ni d'élévation. Ils doivent donc avoir été déposés sur la surface et sont d'une couleur beaucoup plus claire que toutes les autres structures lunaires. Les plus brillants entourent Aristarchus (47°) reflétant environ 35% à 40% de la lumière solaire, six fois le pouvoir réfléchissant des surfaces sombres (mare). La majorité d'entre eux doivent être le résultat des éjections provoquées à la suite de l'impact des météorites, mais des points nouveaux et la structure brillante Reiner Gamma d'Oceanus Procellarum qui n'est pas associée à une structure d'impact, pourraient avoir une origine interne. Quelques sites d'alunissage Apollo, tel Apollo XII était proche de tels rayons (Copernic, 20°).

Le verre compose 50% du matériau, dont la plus grande partie se trouve sous forme de perle. Cela expliquerait cette rétro-réflexivité caractéristique des rayons qui se remarquent le mieux à la Pleine Lune, et difficilement si pas impossible à observer lorsque le Soleil fait un angle inférieur à 45°. Le matériel fondu lors de l'impact et reconsolidé sous forme de billes de verre, est expulsé à grande vitesse ($v > 1 \text{ Km/s}$) et se dépose suivant des raies plus ou moins radiales extrêmement brillantes.

Ce prolongement axial de certains cratères se retrouve aussi autour de Tycho (12°), Agrippa (356°), Triesnecker (356°), Maurolycus (345°), Albatégnius (356°), Théophile (333°), Cyrille (335°), Messier et Wilkening (313°) ou Clavius (15°).

Carte des principaux cratères présentant un système rayonnant de l'éjecta

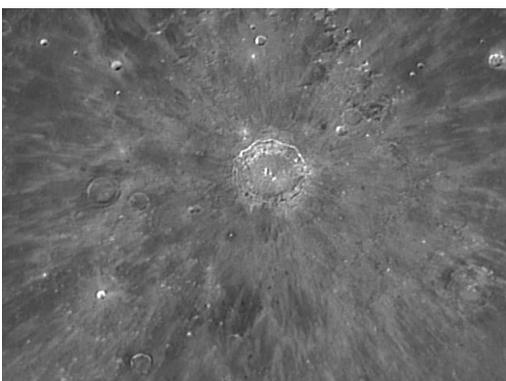




Proclus



Anaxagoras



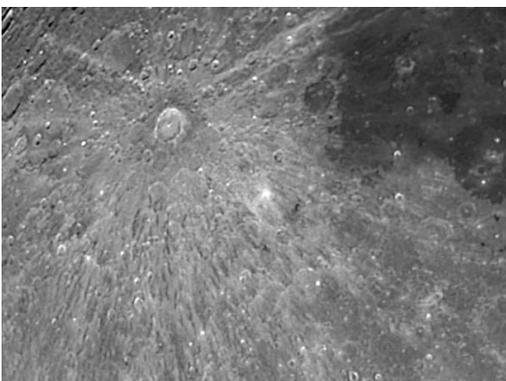
Copernic



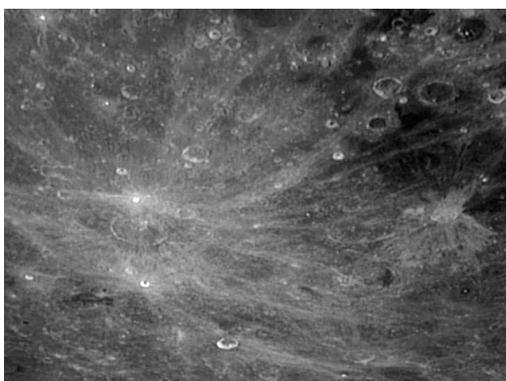
Kepler



Tycho



Tycho



Furmerius et Stevinus

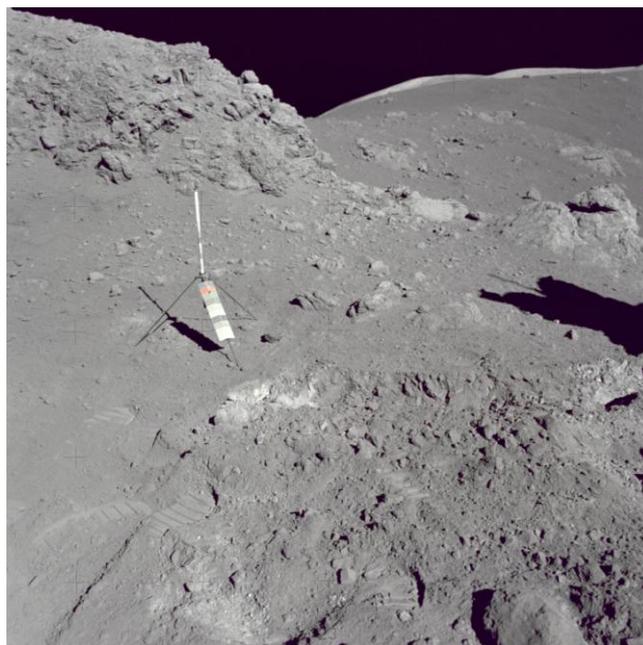


Thales

Composition minéralogique de la surface et de l'intérieur de la Lune :

De la Lune on connaît sa composition minéralogique à la surface, grâce aux sondes lunaires qui ont ramenées des échantillons (382 kg de roches lunaires) et supposée à l'intérieur du globe lunaire grâce aux analyses sismiques de ces mêmes sondes. La surface lunaire est recouverte de régolite de couleur grise, fine poussière allant jusqu'à la taille de blocs qui provient de l'éclatement de météorites. La couche de régolite fine de quelques mètres sur les mers passe à plusieurs centaines de mètres sur les plateaux continentaux. Cette couche est quasi isotherme car au-delà d'un mètre de profondeur, les fluctuations thermiques sont nulles. La surface de la Lune consiste en montagnes claires composées d'anorthosite, une roche magmatique qui contient plus de 90% de plagioclase*, riches en oxyde d'aluminium et en silicates de calcium. On trouve aussi dans les plateaux continentaux la norite ou KREEP (K=potassium, REE = Rare Earth Element et P=Phosphore) constituée de potassium, de terres rares, d'uranium, de thorium, de baryum et de phosphore. Dans les Mers noires c'est le basalte qui prédomine riche en oxyde de fer et pauvre en oxyde d'aluminium. Ces basaltes sont composés essentiellement par des pyroxènes et du plagioclase plus un peu d'olivine et d'ilménite (FeTiO_3). Les basaltes lunaires montrent des différences importantes par rapport aux basaltes terrestres - ils ne contiennent pas d'eau, ont des quantités plus faibles en Na_2O et K_2O , et en SiO_2 et Al_2O_3 et des quantités plus élevées en TiO_2 et FeO et effectivement pas de Fe_2O_3 . Sur la Lune de nouveaux minéraux ont été découverts. Au nombre de trois, il s'agit de la tranquillite (titano-silicate découvert dans la mer de la tranquillité), du pyroxferroïte (silicate de fer et de calcium) et de l'armalcolite (titanate de fer et de magnésium auquel on a donné le nom des trois astronautes ; ARMstrong, Aldrin et COLLins). Fait surprenant les sondes Clémentine en 1994 et Lunar Prospector en 1998 ont confirmé la présence d'eau pure sous forme de glace dans les régions polaires que le Soleil n'éclaire jamais. Cette glace se trouve au pôle Nord sur une surface de 10,000 à 50,000 km^2 et 5,000 à 20,000 km^2 au pôle sud. La masse totale de glace sur la Lune est estimée à 6 trillions kg. De quoi alimenté en eau les futurs explorateurs lunaires. Lunar Prospector a terminé sa mission, le 31 juillet 1999, en s'écrasant au fond d'un cratère, près du Pôle Sud. Le crash devait provoquer un nuage de poussière dans lequel les scientifiques espéraient observer de la vapeur d'eau et obtenir une preuve supplémentaire de l'existence d'eau dans le sous-sol sélène. Mais le résultat s'est avéré négatif.

Les montagnes blanches couvrent 83% de la surface lunaire et représentent un immense continent de fragments d'anorthosite, une roche magmatique qui contient plus de 90% de plagioclase calcique. Ces montagnes lunaires sont intensivement cratérisées et les datations indiquent que les montagnes étaient déjà formées il y a 4,4 milliards d'années. Des modèles suggèrent que la croûte s'est formée par la cristallisation fractionnée dans un océan global de magma - le plagioclase qui est relativement léger a flotté vers la surface et les olivines et les pyroxènes, tous les deux relativement denses, se sont sédimentés vers le fond de l'océan magmatique. Pour donner une croûte de 60 Km



Couche de Régolithe. Source NASA



Anorthosite ramené par Apollo 16. Source NASA

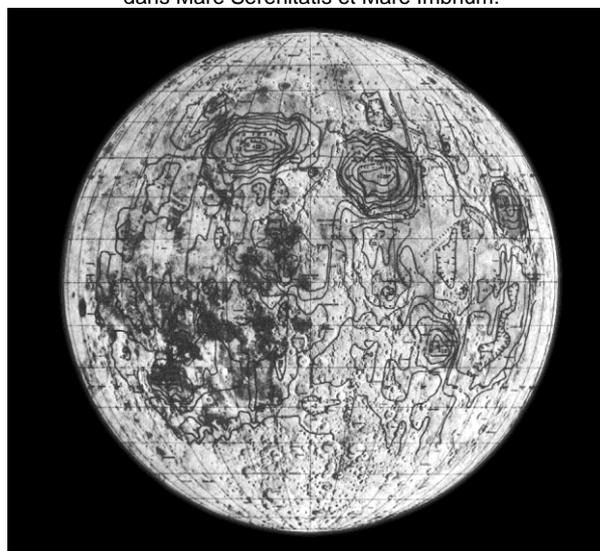


Basalte ramené par Apollo 17. Source NASA

d'anorthosite, il a fallu un océan magmatique de 300 à 500 Km d'épaisseur. A noter que la croûte est épaisse de 100 Km sur la face cachée de la Lune. Ce différentiel n'a pas encore trouvé d'explication. Les mers basaltiques ne représentent que 17% de la surface lunaire et ont une épaisseur moyenne de 1-2 km. Elles représentent des produits de la fusion partielle du manteau lunaire. Les mers ne sont pas très cratérisées. Ce qui implique qu'elles sont plus jeunes que la majorité des impacts. Les basaltes lunaires ont été produits pendant presque toute l'histoire de la Lune, mais la majorité ont été émis il y a 4,3 à 3,2 milliards d'années après la solidification de l'océan magmatique. D'après les expériences, ces basaltes représentent le produit de la fusion partielle d'un manteau contenant des olivines et des pyroxènes. Lorsqu'on considère le volume de toutes ces laves $9,4 \times 10^6 \text{ km}^3$, on calcule que les basaltes des mers représentent moins de 1% du volume lunaire mantellique ce qui implique une faible fusion partielle. La Lune s'est différenciée en formant une croûte et un manteau, et il est possible qu'elle ait aussi un noyau Cette différenciation chimique s'est déroulée très tôt dans l'histoire lunaire - la séparation de la croûte s'est déroulée il y a 4,4 milliards d'années. Les données sismiques indiquent une discontinuité majeure de 60 à 75 Km de profondeur ce que l'on considère comme la limite croûte - manteau. Le volume de la croûte lunaire représente 12% du volume total de la Lune (la croûte terrestre représente $\sim 0,4-0,6$ du volume total de la Lune). Le manteau est divisé en deux parties ayant des réponses sismiques différentes. Le manteau supérieur solide (Lithosphère) et le manteau intermédiaire plus visqueux (asthénosphère). La limite manteau supérieur - manteau intermédiaire où il existe une diminution rapide des vitesses sismiques peut représenter la trace ancienne du fond de l'océan magmatique.

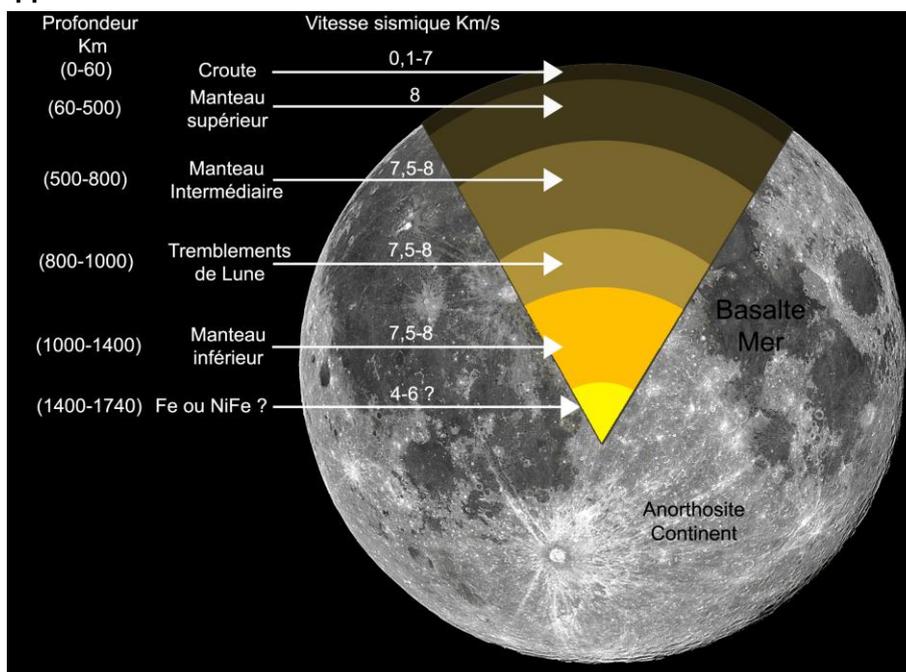
Le manteau de la Lune s'étend entre 60 Km et 1400 Km de profondeur. Le manteau intermédiaire correspond à une diminution des vitesses des ondes sismiques ce qui peut être expliqué par la présence de fusion partielle dans cette région. Les tremblements de lune prennent naissance dans le manteau intermédiaire. Ils sont d'intensité faible, jusqu'à 2 sur l'échelle de Richter et leurs longueurs dans le temps sont par contre plus importantes que sur Terre. On enregistre environ 3000 séismes chaque année. Il n'existe pas de preuve absolue que la Lune possède un noyau et sa composition Fe ou NiFe est encore moins certaine. La Lune ne possède pas de champ magnétique comme la Terre, son intensité est 1000 fois inférieure. Dans le sous sol lunaire, des masses importantes appelées Mascons ont été détectées. Ses masses importantes sont capables de dévier de leurs trajectoires des sondes spatiales. Leur origine remonte à la formation des bassins lunaire par l'impact d'énormes météorites. Des matériaux denses issues du manteau ont pu remontés sous la surface des Mers.

Localisation des Mascons par mesure des perturbations orbitales des sondes. Les plus importants se situent dans Mare Serenitatis et Mare Imbrium.



Source NASA

Structure interne supposée de la Lune



Carte des principales Mers (Mare), Lacs (Lacus), Marais (Palus), Golfes (Sinus) et Océans (Oceanus) lunaires

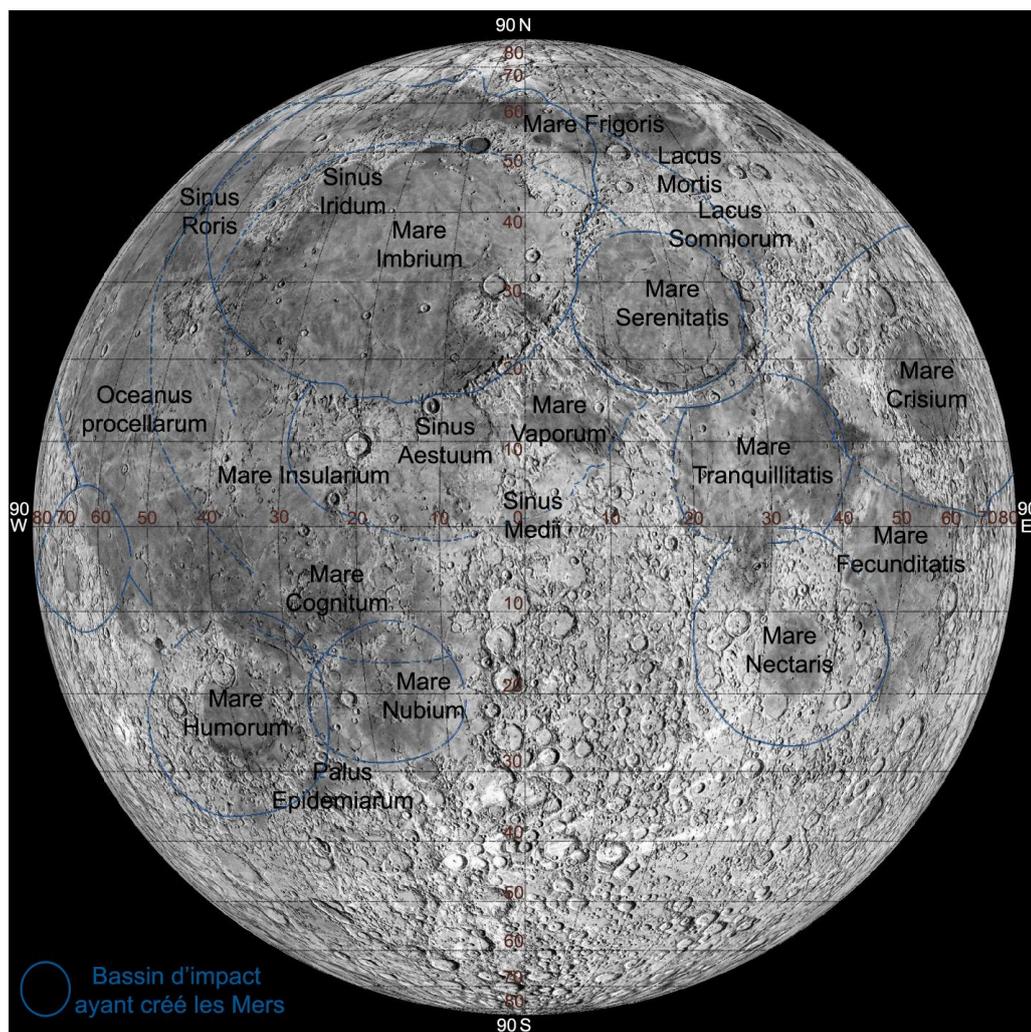


Image (c) Atlas virtuel de la Lune / Ch. Legrand & P. Chevalley

L'origine des mers commence il y a 4,6 milliards d'années lorsque la Lune fut soumise à un intense bombardement météoritique. Les plus grands impacts donnèrent naissance à d'immenses plaines. Il y a 3,8 milliards d'années, la plupart des petits corps du système solaire avaient été capturés par des planètes et l'intensité du bombardement diminua, laissant la place à quelques impacts sporadiques. Pendant les 800 millions d'années qui suivirent, la Lune fut le siège d'une grande activité interne. La chaleur dégagée par la désintégration de noyaux radioactifs contenus dans les roches provoqua la fusion des roches présentes sous la surface qui remontèrent sous forme de lave et vinrent remplir les immenses plaines. C'est ainsi que se formèrent les mers, dont la couleur sombre est due à la nature basaltique des roches.

Les Mers Lunaires

Nom Latin	Nom Français	Lat.	Long.	Diamètre/ surface
Mare Anguis	Mer du Serpent	22.6° N	67.7° E	150 Km/ 8150 km ²
Mare Australe	Mer Australe	38.9° S	93.0° E	603 Km/ 319000 km ²
Mare Cognitum	Mer de la Connaissance	10.0° S	23.1° W	376 Km
Mare Crisium	Mer des Crises	17.0° N	59.1° E	418 Km/ 228000 km ²
Mare Fecunditatis	Mer de la Fécondité	7.8° S	51.3° E	909 Km/ 220000 km ²
Mare Frigoris	Mer du Froid	56.0° N	1.4° E	1596 Km/ 320,000 km ²
Mare Humboldtianum	Mer de Humboldt	56.8° N	81.5° E	273 Km/ 35475 km ²
Mare Humorum	Mer des Humeurs	24.4° S	38.6° W	389 Km/ 84500 km ²
Mare Imbrium	Mer des Pluies	32.8° N	15.6° W	1123 Km/ 1130000 km ²
Mare Insularum	Mer des îles	7.5° N	30.9° W	513 Km/ 110200 km ²
Mare Marginis	Mer Marginale	13.3° N	86.1° E	420 Km/ 64900 km ²
Mare Nectaris	Mer du Nectar	15.2° S	35.5° E	333 Km/ 84100 km ²
Mare Nubium	Mer des Nuées	21.3° S	16.6° W	715 Km
Mare Orientale	Mer Orientale	19.4° S	92.8° W	327 Km
Mare Serenitatis	Mer de la Sérénité	28.0° N	17.5° E	707 Km/ 353400 km ²
Mare Smythii	Mer de Smyth	1.3° N	87.5° E	373 Km/ 51950 km ²
Mare Spumans	Mer Ecumante	1.1° N	65.1° E	139 Km
Mare Tranquillitatis	Mer de la Tranquillité	8.5° N	31.4° E	873 Km/ 436000 km ²
Mare Undarum	Mer des Ondes	6.8° N	68.4° E	243 Km/ 55000 km ² (+Mare Spumans)
Mare Vaporum	Mer des Vapeurs	13.3° N	3.6° E	245 Km/ 32400 km ²
Oceanus Procellarum	Océan des Tempêtes	18.4° N	57.4° W	2568 Km/ 1692000 km ²

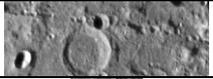
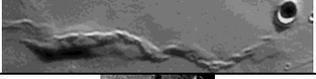
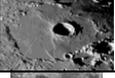
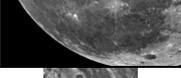
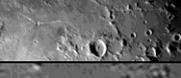
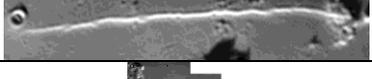
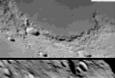
Lacs Lunaires

Nom Latin	Nom Français	Lat.	Long.	Diamètre/ surface
Lacus Aestatis	Lac de l'Été	15.0° S	69.0° W	90 Km
Lacus Autumni	Lac de l'Automne	9.9° S	83.9° W	183 Km
Lacus Bonitatis	Lac de la Bonté	23.2° N	43.7° E	92 Km
Lacus Doloris	Lac des Tourments	17.1° N	9.0° E	110 Km
Lacus Excellentiae	Lac de la Perfection	35.4° S	44.0° W	184 Km
Lacus Felicitatis	Lac de la Félicité	19.0° N	5.0° E	90 Km
Lacus Gaudii	Lac de l'Allégresse	16.2° N	12.6° E	113 Km
Lacus Hiemalis	Lac de l'Hiver	15.0° N	14.0° E	50 Km
Lacus Lenitatis	Lac de la Tendresse	14.0° N	12.0° E	80 Km
Lacus Mortis	Lac de la Mort	45.0° N	27.2° E	151 Km/ 34000 km ²
Lacus Odii	Lac de la Haine	19.0° N	7.0° E	70 Km
Lacus Perseverantiae	Lac de la Persévérance	8.0° N	62.0° E	70 Km
Lacus Somniorum	Lac des Songes	38.0° N	29.2° E	384 Km/ 47300 km ²
Lacus Spei	Lac de l'Espérance	43.0° N	65.0° E	80 Km
Lacus Temporis	Lac du Temps	45.9° N	58.4° E	117 Km
Lacus Timoris	Lac de l'Effroi	38.8° S	27.3° W	117 Km
Lacus Veris	Lac du Printemps	16.5° S	86.1° W	396 Km

Marais et Golfes Lunaires

Nom Latin	Nom Français	Lat.	Long.	Diamètre/ surface
Palus Epidemiarum	Marais des Epidémies	32.0° S	28.2° W	286 Km/ 21150 km ²
Palus Putredinis	Marais de la Putréfaction	26.5° N	0.4° E	161 Km/ 8350 km ²
Palus Somni	Marais du Sommeil	14.1° N	45.0° E	143 Km/ 17500 km ²
Sinus Aestuum	Golfe Torride	10.9° N	8.8° W	290 Km/ 39600 km ²
Sinus Amoris	Golfe de l'Amour	18.1° N	39.1° E	130 Km
Sinus Asperitatis	Golfe des Aspérités	3.8° S	27.4° E	206 Km
Sinus Concordiae	Golfe de la Concorde	10.8° N	43.2° E	142 Km
Sinus Fidei	Golfe de la Foi	18.0° N	2.0° E	70 Km
Sinus Honoris	Golfe de l'Honneur	11.7° N	18.1° E	109 Km
Sinus Iridum	Golfe des Iris	44.1° N	31.5° W	236 Km
Sinus Lunicus	Golfe Luna	31.8° N	1.4° W	126 Km
Sinus Medii	Golfe Central	2.4° N	1.7° E	335 Km/ 18000 km ²
Sinus Roris	Golfe de la Rosée	54.0° N	56.6° W	202 Km
Sinus Successus	Golfe du Succès	0.9° N	59.0° E	132 Km

Correspondance française des formations lunaires latines

<i>Catena, catenae</i>	Chaîne de Cratère	
<i>Crater, craters</i>	Cratères	
<i>Dorsum, dorsa</i>	Dorsales	
<i>Lacus</i>	"Lac"; Petite plaine inondée de lave	
<i>Mare, maria</i>	"Mers"; Grande plaine circulaire inondé de lave	
<i>Mons, montes</i>	Montagnes	
<i>Oceanus</i>	"Océans"; Très grande zone lunaire inondé de lave	
<i>Palus, paludes</i>	"Marais"; Petite plaine inondée de lave	
<i>Promontorium, promontoria</i>	"Promontoire"; Cap en avant d'une chaîne montagneuse	
<i>Rima, rimae</i>	Fissures	
<i>Rupes, rupes</i>	Faille	
<i>Sinus</i>	"Golfe"; Petite plaine inondée de lave	
<i>Vallis, valles</i>	Vallée	