Sur l'origine du relief lunaire

Autor(en): **Gidon, P.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Orion : Zeitschrift der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft**

Band (Jahr): **12 (1967)**

Heft 102

PDF erstellt am: **28.04.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-900167

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

ORION

Zeitschrift der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft
Bulletin de la Société Astronomique de Suisse

Band 12, Heft 4, Seiten 95–122, Nr. 102 Tome 12, Fasc. 4, Pages 95–122, No. 102

Sur l'origine du relief lunaire

par P. Gidon,
Professeur de géologie à l'Université de Grenoble

Pour simplifier de langage, et bien qu'il s'agisse de plaines parfaitement desséchées, nous parlerons de mers lunaires comme faisaient nos prédécesseurs des siècles passés. Ce sont de vastes étendues sombres, à relief très faible et d'allure linéaire qui fait penser à des failles. Quelques cirques isolés les accidentent aussi, mais ils sont beaucoup moins nombreux que dans les régions montagneuses du satellite. On peut dire en simplifiant, que trois caractères distinguent ces mers du reste de la surface lunaire: leur teinte plus sombre; leur forme le plus souvent circulaire avec de vastes dimensions; l'anomalie de leur répartition. Tandis que les deux premiers caractères sont connus depuis longtemps, le troisième n'a été mis en évidence que tout récemment.

C'est en effet grâce aux photographies de la face invisible de la Lune, prises par le satellite soviétique, qu'on a été conduit à une constatation curieuse: les mers sont pratiquement inexistantes sur la face de la Lune opposée à la Terre. Il y a donc concentration exclusive des plaines sur la face qui nous regarde. Il y a là un argument statistique de premier ordre, qui s'oppose à l'idée souvent formulée et retenue par beaucoup, d'une origine de ces plaines due à l'impact d'astéroïdes. On ne comprendrait pas que des accidents de cette dimension aient pu disparaître systématiquement d'un des hémisphères lunaires et s'être conservés sur l'autre. Comme cette hypothèse sur l'origine des mers n'est que l'extrapolation de la théorie de l'origine des cirques par bombardement météoritique, l'anomalie, inexplicable par ce moyen, de la répartition des mers, anomalie qui existe aussi pour la répartition des cirques, ne laisse pas que de jeter un doute sérieux sur la validité en général de l'hypothèse météoritique.

Cette anomalie mérite qu'on en recherche la cause, et c'est précisément par la recherche d'une hypothèse explicative que je vais commencer cette étude de l'origine du relief lunaire.

On trouve, dans l'Atlas de la Lune de V. de Callatay (page 88), cette phrase, qui a retenu toute mon attention, car elle semble traduire non seulement la pensée de l'auteur, mais aussi l'avis de bien des spécialistes: «*A priori*, il semble absurde de penser que la direction, toujours parallèle à elle-même *(sic)* dans laquelle se trouve la Terre par rapport à la Lune, puisse être à l'origine d'une quelconque différence de structure ou de relief entre les deux faces.» Chaque fois qu'une idée est émise *a priori*, j'éprouve le besoin d'examiner ce qu'elle peut devenir... *a posteriori*. En l'occurrence, cet examen m'a conduit à faire mienne l'absurdité en question.

En effet, puisque cette dissymétrie lunaire se révèle entre l'hémisphère toujours tourné vers la Terre et celui qui ne la voit jamais, la première idée qui vient à l'esprit est que, précisément, c'est l'attraction terrestre qui est responsable de cette dissymétrie.

La Lune étant un globe très voisin d'une sphère, nous devons conclure qu'elle a, ou qu'elle a eu une plasticité suffisante pour prendre cette forme sous l'action d'une part de sa rotation, d'autre part de l'équilibre mécanique vers lequel tendent les corps célestes sous l'effet de la gravité. Cet équilibre aboutirait à une forme parfaitement sphérique si ce corps céleste, supposé plastique et homogène, ne tournait pas sur lui-même et était isolé dans l'univers.

C'est donc vers les questions de gravité qu'il faut s'orienter dans cette recherche. Or, la Lune présente ce double caractère, d'être relativement très proche de la Terre, qui est beaucoup plus massive qu'elle et de tourner toujours le même hémisphère vers la Terre. Si la Terre n'existait pas, la gravité à la surface de la Lune serait due à sa seule masse et à son rayon. Appelons Γ la valeur de cette pesanteur. Mais la Terre existe et exerce sur la Lune une attraction que nous représenterons par γ. Il s'en suit que la gravité à la surface de l'hémisphère tourné vers la terre a pour valeur $\Gamma - \gamma$, tandis que sur l'autre hémisphère, cette valeur devient $\Gamma + \gamma$. La différence de pesanteur entre les deux hémisphères serait donc, si la Lune était sphérique, de $2\,\gamma$

Un calcul simple montre que $2\,\gamma = \frac{\Gamma}{300}$ comme ordre de grandeur. Une telle différence de $\frac{1}{300}$ entre deux régions d'un corps céleste, représenterait sur terre une anomalie de gravité d'environ 3000 milligals. Ce sont les anomalies de la gravité terrestre qui sont responsables des mouvements épirogéniques de réajustement isostatique, tel le soulèvement, à la vitesse

de 1 mètre par siècle de la Scandinavie. Or sur terre, les plus fortes anomalies gravimétriques n'atteignent qu'exceptionnellement 200 milligals. Il s'agit donc, pour la Lune, si elle était sphérique, d'une anomalie de gravité extraordinairement forte que lui imposerait la Terre. De surcroît, cette anomalie aurait été bien plus forte encore aux époques lointaines où la Lune était nettement plus proche de la Terre. Que peut-il en être résulté?

Nous avons déjà vu que la Lune a fatalement été, si toutefois elle ne l'est plus, suffisamment plastique pour atteindre sa forme d'équilibre. Permettons-nous maintenant quelques hypothèses raisonnables: d'abord sa densité moyenne est de l'ordre de celle des silicates ferromagnésiens qui forment, sous l'écorce terrestre, ce que les géologues nomment le manteau (Sima). Il est donc raisonnable de penser que la plus grande partie du volume lunaire est formée de silicates ferromagnésiens.

En second lieu, la différence d'aspect, observable à l'œil nu, entre les régions montagneuses brillantes et les mers plus sombres, porte à penser qu'il existe entre ces régions une différence pétrographique fondamentale. Ceci est comparable à la différence qui existe sur terre entre les continents dont les roches dominantes, claires, comme le granit, sont silico-alumineuses (Sial), et le fond de roches sombres des grands océans (Sima). Or, il existe entre Sial et Sima une différence de densité: 2,7 en moyenne pour le Sial, 3,3 pour Sima. De sorte que sur terre, nous avons des continents légers, sialiques, flottant sur une masse profonde, simique, vitreuse et ayant les caractères d'un fluide visqueux, à l'échelle géologique de temps et d'espace. Il ne me semble pas déraisonnable d'admettre une structure analogue pour la Lune.

Dès lors, l'équilibre de la Lune, qui est fatalement isostatique ou très voisin de l'équilibre isostatique, ne sera réalisé, pour l'hémisphère invisible, où la gravité est maxima, que par un affaissement du Sima, en très faible partie compensé par une surépaisseur sialique dont nous allons voir l'origine. Inversement, sur l'hémisphère visible doit se produire, ou s'être produit jadis, en période de plasticité du globe lunaire, un gonflement du Sima qui pourra éventuellement refouler latéralement des portions de la croûte sialique, jusque sur l'hémisphère opposé, et qui va affleurer, sous forme de plaines sombres, les mers lunaires. D'où la dissymétrie des apparences entre les deux hémisphères.

S'il en est bien ainsi, l'équilibre isostatique de la Lune serait réalisé par un allongement du rayon dirigé vers la Terre, de l'ordre de 3 kilomètres, compensé par un raccourcissement non pas égal, mais concomitant du rayon opposé. Ce nombre se trouve être intermédiaire entre les évaluations, réalisées par des procédés totalement différents, de Th. Weimer (6 km) et de A. Senouque (1 km)*.

En outre, la notion d'équilibre isostatique expliquerait l'aspect des très anciens cirques existant dans les mers. Bien souvent, ils ne sont plus représentés que par une trace de rempart, sorte de fantôme de cirque. Cette réduction n'est pas explicable par une érosion, qui aurait dû être du même ordre que celle qu'on observe sur terre. Elle ne peut non plus être due au fluage des matériaux constituant le sol des mers lunaires. J'en donnerai plus loin d'autres raisons, mais disons pour l'instant que ce fluage, s'il était possible, aurait respecté la cavité intérieure du cirque, alors qu'en fait ce fond de cirque, même si le rempart est encore complet, se révèle à un niveau identique ou très voisin du niveau général de la plaine autour du cirque.

Par contre, ces reliefs ont constitué une surcharge locale au niveau du rempart, et une décharge au fond du cirque. Au bout d'un temps suffisant, le réajustement isostatique se produira fatalement par simple enfoncement progressif du rempart et remontée du fond au niveau général de la plaine. Notons que ces phénomènes de réajustement isostatique sont d'origine profonde et n'imposent pas la nécessité d'une viscosité pour les zones superficielles: la Scandinavie n'est pas visqueuse.

Il reste à fournir une explication de la forme à peu près circulaire des mers lunaires. Le phénomène invoqué va être ici bien plus hypothétique. Rappelons que la solution actuellement donnée à la formation des reliefs terrestres fait intervenir les courants de convection qui peuvent prendre naissance dans le manteau simique, par suite des différences de température et donc de densité entre profondeur et surface sous la croûte terrestre. Des courants convectifs peuvent ou ont pu se produire dans les masses simiques lunaires. Quel peut être leur effet?

Ces courants forment une colonne de matière chaude, donc légère et ascendante, dans une certaine région. Arrivés près de la surface ils deviennent horizontaux et divergents; après quoi, refroidis et alourdis, ces matériaux redescendent vers les profondeurs du globe, dans une zone périphérique à la colonne ascendante. Au total ils constituent des «cellules convectives», généralement 2 à 3 fois plus larges que hautes, dont la section par la surface du globe, circulaire pour des cellules isolées, peut devenir polygonale par contact avec des cellules voisines.

Entraînés par les courants divergents, superficiels, de ces cellules de convection, les matériaux légers formant la croûte superficielle doivent aller s'accumuler à leur périphérie. Ils y formeront alors une surélévation limitée à peu près à un cercle, présentant une analogie de forme, mais non pas d'origine, avec les remparts des cirques lunaires. Cet aspect de rempart pourra d'ailleurs s'exagérer pour constituer une vraie chaîne de montagnes, si l'on fait intervenir dans sa formation les phénomènes d'érosion sous-crustale que

* Remarquons qu'il résulte de cette déformation un déplacement du centre de gravité de la Lune par rapport au centre de la sphère. Les mesures de gravité doivent donc donner un allongement moindre que celui qui est calculé ici.

j'ai envisagés, pour expliquer la formation des montagnes terrestres (1).

Compte tenu des proportions des cellules convectives et du fait qu'un magma vitreux (Sima) ne sera susceptible d'entrer en mouvement pour les constituer que s'il est très étendu (de l'ordre du millier de kilomètres), une mer lunaire de 2000 km de diamètre résulterait d'une cellule convective atteignant une profondeur de l'ordre de 700 à 800 km, ce qui est parfaitement compatible avec les dimensions de la Lune.

Le fait qu'on puisse expliquer ainsi la forme des mers lunaires et leur entourage de montagnes n'est nullement une preuve de la validité de l'hypothèse proposée. Mais si l'on considère que cette hypothèse a été formulée pour expliquer des phénomènes purement terrestres, il devient intéressant de constater qu'elle peut, sans la moindre modification ou hypothèse complémentaire, s'adapter à l'explication des aspects observables de la Lune. Ceci constitue, semble-t-il, au moins une présomption de validité.

Venons-en maintenant aux reliefs de moindres dimensions: les cirques et cratères lunaires. On sait qu'actuellement la majorité des spécialistes de sélénologie veulent voir, dans ces appareils, le résultat de bombardements météoritiques. J'ai déjà indiqué ci-dessus une des raisons pour lesquelles cette hypothèse me paraît douteuse. On dit que le sol des mers lunaires est plus plastique que celui des régions montagneuses et que son fluage vient noyer les cirques anciens. Il s'agit là, notons-le, de l'explication d'un fait d'observation par une hypothèse *ad-hoc* que ne vient étayer aucune observation ou expérience, ce qui est fort inquiétant.

Si, en effet, on tient compte de l'absence d'érosion-sédimentation sur la Lune, on arrive à cette conséquence que, sauf tout à fait en surface et sur une épaisseur qui pourrait bien ne se mesurer qu'en mètres, tous les terrains sont des roches cristallines. Elles ne peuvent être très différentes, compte tenu de leur densité générale, des roches magmatiques terrestres. Or, ces dernières ne montrent des propriétés permettant un fluage, d'ailleurs excessivement lent, que sous les fortes pressions de l'intérieur du globe, et le plus souvent grâce à une température élevée. Ces conditions ne sauraient exister au voisinage de la surface lunaire, où le fluage n'aurait pu résulter que d'une fusion superficielle due à l'impact d'un astéroïde. Mais d'une part la dissymétrie de la répartition des mers nous a montré que cette hypothèse n'était pas soutenable. D'autre part, si un tel impact s'était produit, tout cirque antérieur aurait été détruit, et les cirques ultérieurs n'auraient pu prendre naissance qu'après consolidation des masses fondues, c'est-à-dire quand aucun fluage n'aurait plus été possible.

Il est un autre argument qui, ce me semble, n'a jamais été formulé, probablement parce que rares ont été les géologues qui se soient sérieusement occupés de cette question:

On nous dit que le résultat des bombardements météoritiques a été, sur terre, détruit par l'érosion et bien entendu c'est exact, au moins sur les terrains en pente. Cependant, il est difficile d'admettre que les météorites soient venus exploser uniquement sur des pentes assez accusées pour permettre aux ruissellements de supprimer toute l'épaisseur des couches affectées par ces explosions. Le cas du «meteor crater» qu'on envisage toujours, nous montre précisément un entonnoir (dont le fond, notons-le, n'est nullement plat comme le fond des cirques lunaires), creusé dans un plateau sensiblement horizontal. Nombreuses et étendues sont les vieilles plateformes pénéplanées et sensiblement horizontales, telles les immenses étendues actuelles du Nord Canadien et restées émergées pendant de nombreux millions d'années, après pénéplanation. Qu'arrivera-t-il, sur de telles régions, à un entonnoir d'explosion?

L'exemple du «meteor crater» est caractéristique, les terrains sont là, coupés à l'emporte-pièce, non seulement jusqu'au fond du cratère, profond de 150 mètres, mais bien au-delà de ce fond, donc sur 300 à 400 mètres d'épaisseur. Sur ces plateaux, l'horizontalité approximative du terrain rend infime l'érosion due au ruissellement, soit qu'il s'agisse de régions désertiques où l'eau est trop rare pour agir sur une surface horizontale, soit qu'il s'agisse d'une région humide où la végétation rend l'eau stagnante et inefficace en matière d'érosion. Il reste que les pentes du rempart entourant le cratère vont subir cette érosion, dont l'effet sera de combler peu à peu le cratère.

Il en résultera une structure très spéciale, où des terrains disposés en horizons continus, seront localement interrompus à l'emporte-pièce, dans une aire circulaire. Au fond de cette aire, ils seront remplacés par leurs propres éléments, mais concassés et accumulés en parfait désordre. Au-dessus, apparaîtront stratifiés, mais discordants avec le terrain primitif resté en place, à la périphérie, les produits de l'érosion du rempart. Ce sera là une disposition que le plus débutant des géologues pourra reconnaître.

Or, nos vieilles plateformes auront pu persister plusieurs dizaines et même centaines de millions d'années sur des millions de kilomètres carrés. Comment se fait-il alors qu'on n'ait jamais retrouvé de telles structures anciennes? et que les quelques cratères météoritiques connus soient tous d'origine récente, disons au maximum vieux de quelques millions d'années?

Leur absence sur ces vieilles plateformes ne pouvant s'expliquer par une érosion parfaitement inefficace, porte à penser que les rares cratères météoritiques connus se sont formés au cours d'une période où le système solaire traversa une région de l'espace tout particulièrement encombrée. Par suite, les évaluations statistiques des chutes de météorites, qui permettent d'estimer que 100 millions d'années auraient suffi pour créer l'aspect actuel de la Lune, sont fondées sur des statistiques probablement valables seu-

lement pour une période très particulière et brève, et d'autre part elles comportent une double extrapolation à la fois dans le temps et quant au volume des météorites, dont le moins qu'on puisse dire c'est qu'elle est extrêmement hasardeuse.

J'en suis venu à douter fortement de la validité de l'hypothèse du bombardement météoritique. D'autre part, une théorie volcanique serait admissible, comme d'ailleurs l'hypothèse météoritique, pour certaines formations de petites dimensions, mais je vois mal ces phénomènes produire des cirques de 100 à 200 kilomètres. L'exemple de la terre, où les reliefs ont des origines diverses, me porte d'ailleurs à penser qu'une théorie unitaire du relief lunaire s'éloignerait de tout ce que nous savons de la nature. Déjà, on l'a vu, j'ai envisagé pour les montagnes entourant les mers lunaires, une origine analogue à celle de nos grandes chaînes terrestres. Etait-il impossible de trouver une nouvelle explication de l'origine des grands cirques, et d'une partie au moins des cratères plus restreints?

J'ai été mis sur la voie par certaines photographies de phénomènes observables sur terre, photographies dont on peut voir des reproductions dans certains ouvrages de géologie (2). D'autre part, les recherches entreprises dans les régions à hivers rigoureux d'Amérique du Nord, pour étudier les causes de déformation des routes, m'ont apporté un précieux appoint.

Il existe dans les régions circumpolaires de notre globe, des reliefs fort curieux, ressemblant étrangement, mais à échelle réduite, aux cirques lunaires. Ce sont les Pingos. Leur mode de formation a été expliqué et résulte de leur localisation dans les régions froides du globe. Il se forment là où les eaux phréatiques pénètrent dans la couche en permanence glacée du sol (permafrost). Ces eaux se congèlent en une lentille de glace dont le volume s'accroît, soulevant les terrains susjacents, qui se craquellent puis éclatent.

L'accroissement du volume de la lentille de glace ne résulte pas seulement de la dilatation subie lors de la congélation. Comme l'ont montré les expériences de Stephen Taber, en Amérique, il s'agit d'une sorte d'aspiration, de pompage des eaux profondes par la glace en formation. Dès qu'un cristal de glace est formé, il attire à lui l'eau encore liquide imbibant les couches de terrains voisines et grossit ainsi sur place. De proche en proche, des quantités d'eau sans cesse croissantes vont venir augmenter le volume de la glace et former une vaste lentille ou hydrolaccolite.

Bien entendu, ce mode de formation d'un relief de type lunaire va se heurter, pour la Lune, au fait bien connu de l'absence d'eau sur notre satellite. Mais examinons de plus près ce dernier point.

Que l'eau soit absente à la surface de la Lune est un fait acquis. Mais qu'en est-il de la profondeur du sol lunaire? A une profondeur certainement assez grande, qu'on peut envisager de l'ordre d'un ou de quelques kilomètres, se rencontrent des conditions de pression telles que l'eau qui, à l'origine, pouvait imprégner les roches, n'a eu aucune possibilité de s'échapper à travers les terrains fortement compactés. Il est donc possible que ces zones profondes contiennent encore de l'eau, ou qu'en tout cas elles en aient contenu. Dans quel état est ou était cette eau?

Il n'existe aucune raison de refuser à la Lune l'existence d'un gradient thermique croissant vers la profondeur, comme il est de règle dans l'écorce terrestre, et la radioactivité récemment mesurée de la Lune y démontre l'existence d'une source de chaleur interne. Ainsi, à une profondeur que rien pour le moment ne nous permet de préciser, la température du sous-sol lunaire peut être telle qu'on parvient à des

Pingos à différents stades. Cliché d'avion par E. Hofer. – Expédition du Dr Lauge-Koch, d'après H. et G. Termier: «Erosion et Sédimentation», Masson et Cie, 1960.

régions où l'eau existe à l'était fluide. Au-dessus, par contre, ce sol doit être sur une très grande épaisseur, à une température qui ne permet son existence qu'à l'état de glace. Compte tenu des très basses températures et de la longue durée des nuits sélénites, des dimensions relativement faibles de cet astre, d'autre part, cette profondeur limite d'existence de l'eau liquide doit être de l'ordre au moins du kilomètre.

Dès lors, les mêmes conditions qui président sur terre, à la formation des pingos, sont réalisées sur la Lune. Cependant, les conditions de profondeur de la zone glacée et la rigueur excessive du climat lunaire vont permettre aux lentilles de glace de se développer pendant des périodes extrêmement longues et, par suite, ces hydrolaccolites auront des dimensions incomparablement plus grandes que dans nos régions polaires.

L'hydrolaccolite a un mode de formation tout à fait analogue à ce que M. Gignoux nous a fait connaître sous le nom de «brèches par intrusion et éclatement» (3). Ce sont «des roches formées par des débris anguleux, tous de constitution identique, noyés dans un ciment de nature homogène. On a souvent l'impression que ces débris pourraient être rapprochés les uns des autres comme les fragments d'un jeu de puzzle. Tout se passe comme si ces débris avaient été formés par éclatement, les éclats s'écartant les uns des autres et leurs intervalles étant remplis par le ciment.»

Leur développement va déterminer au-dessus d'eux un bombement du sol avec une forme en voûte surbaissée *(fig. 1)*. Cette intumescence augmentera peu à peu en hauteur et aussi, probablement même surtout, en largeur. Les matériaux constitutifs du sous-sol lunaire sont vraisemblablement assez semblables aux roches terrestres pour posséder des propriétés analogues. Notamment, comme pour nos roches, leur plasticité leur permettra de se déformer sans fracturation, si, comme il est à présumer, le gonflement est extrêmement lent. Les quelques kilomètres d'épaisseur des couches superficielles subiront, du fait de leur incurvation en dôme, un étirement, un accroissement de surface, compensé par un amincissement.

La courbure de ces couches est plus accentuée à la périphérie du dôme surbaissé, où elle subira une inflexion pour se raccorder à la surface générale. Il arrivera donc un moment où, dans ces régions périphériques à faible rayon de courbure, les tensions dépasseront la limite de plasticité des roches. Celles-ci vont alors se briser en un réseau circulaire de fractures ceinturant le dôme.

Du fait de cette fracturation, et sous les cassures ouvertes qui en résultent, la pression va brusquement baisser au niveau de l'hydrolaccolite, dont les molécules d'eau pourront alors s'échapper dans l'espace, en jets obliques particulièrement violents pendant les périodes de surchauffe du jour lunaire. Ces jets de vapeur vont entraîner des poussières et les éléments clastiques de la brèche qui constitue l'hydrolaccolite. Ces matériaux, en retombant, formeront les uns les rayons observés autour de maint grand cirque, les autres une partie du rempart, suivant leur calibre.

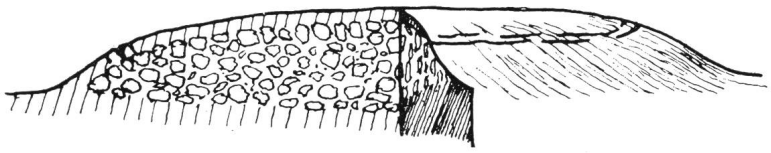


Fig. 1: – Dôme précurseur d'un cirque. Un hydrolaccolite à structure brèchique soulève, en se développant, la couche de terrain qui le recouvre. Un réseau de failles périphériques se produit, par où la glace de l'hydrolaccolite sublimera en entraînant les matériaux qui lui sont incorporés.

Fig. 2: – Formation du cirque par effondrement. Des résidus de l'hydrolaccolite pourront ultérieurement donner naissance à des cirques plus petits.

L'origine de ces brèches peut s'expliquer comme dans les expériences de S. Taber. Ici ce seraient des solutions minérales qui déposeraient leurs minéraux, par cristallisation, par exemple dans les zones de faible pression, correspondant souvent dans les roches à une sorte de réseau de fissurations virtuelles. Le développement progressif de ces cristallisations fait alors éclater la roche dont les éléments restent constamment réunis par le ciment cristallin. Bien entendu, dans les expériences de S. Taber, sur les routes des pays froids, c'était l'eau qui, en se congelant, provoquait cet éclatement, et ses éprouvettes avaient exactement l'aspect de «brèches par intrusion et éclatement.» Nous devons donc nous représenter les hydrolaccolites lunaires, s'ils existent, avec la même constitution.

Mais il s'agit désormais d'un phénomène rapide de sublimation de la glace. Les roches formant le dôme vont dès lors s'effondrer dans l'espace libéré par le départ de l'hydrolaccolite. Effondrement trop rapide pour que des réactions plastiques puissent se manifester. Si la formation du dôme a pu être un phénomène de tectonique souple, son effondrement, aboutissant à la formation d'un cirque, correspondra à une tectonique de choc. La pente interne du rempart sera formée d'une série de gigantesques marches d'esca-

lier, tout au long du réseau de failles circulaires. Quant à la voûte du dôme, devenue trop grande par extension plastique, elle va, au cours de son effondrement dans une aire plus réduite, être comprimée dans l'espace limité par le réseau de failles *(fig. 2)*.

Les pressions seront convergentes vers le centre du cirque, où les contraintes atteindront leur maximum. Aussi, dans bien des cas, cette région centrale va-t-elle se relever en un piton plus ou moins fracturé, comme on en observe tant dans les cirques de notre satellite.

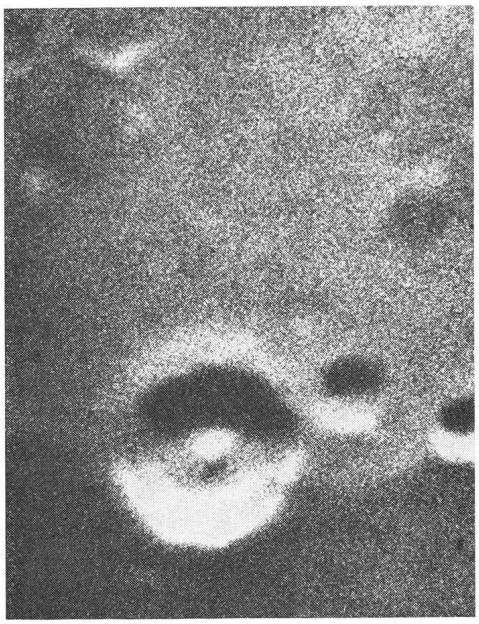
Dans cette hypothèse, les dimensions des cirques seront fonction de celles de «l'hydrolaccolite», lui-même d'ailleurs d'autant plus grand que:

1° — La lentille de glace se forme plus profondément ou sous des roches moins conductrices de la chaleur et donc se développe plus longtemps;

2° — Que le volume d'eau disponible dans les roches est plus grand.

La première de ces conditions expliquerait que les dimensions des cirques de même âge puissent être plus ou moins grandes. Quant à la deuxième condition, elle permettrait de prévoir que les cirques les plus récents doivent être en moyenne moins grands que les plus anciens. En effet, lors de la formation des cirques successifs, le volume d'eau disponible dans la profondeur va constamment en décroissant.

Je pense que cette hypothèse évite à la fois les difficultés inhérentes et à la théorie du bombardement météoritique, et à celle d'une origine volcanique. Son point faible, ou plus exactement le point sur lequel nous ne possédons pas de données objectives, réside dans l'existence effective de l'eau dans la profondeur du sol lunaire. Cette existence ne me semble pas être physiquement impossible encore actuellement et, dans ce cas, de gigantesques pingos ont dû se former. Mais est-elle certaine? C'est ce que nous diront peut-être un jour les explorateurs de la Lune qui, le cas échéant, pourraient trouver là une utile ressource vitale.



Le cirque Bouillaud (Bullialdus). La photographie de cette région révèle (index) un dôme de dimensions comparables à celles des deux cratères voisins du cirque.
(Télescope Cassegrain coudé de 257 mm, distance focale 46 mètres, par interposition d'un oculaire Plossl de 8 mm, agrandissement × 4.) Cliché de l'auteur.

En m'inspirant de ces idées, j'ai été amené à rechercher des formations en dômes, précurseurs de cirques, sur la surface lunaire. Ce ne sont pas des raretés, et il en est de particulièrement nets entre la mer des pluies et le golfe de la rosée, où ces dômes, très réguliers, ont sensiblement les dimensions des cratères récents de la même région. J'ai pu en photographier un très net aux environs du cirque Bullialdus. Ce sont ces reliefs en dômes qu'il serait intéressant d'étudier puisqu'ils sont apparemment les seuls reliefs lunaires actuellement en cours d'évolution, alors qu'en fait la littérature sélénologique ne les signale même pas.

Remarquons cependant que la fermeture des failles circulaires au cours de l'effondrement du dôme peut mettre à l'abri de la sublimation immédiate des portions de l'hydrolaccolite. Celles-ci, ultérieurement, pourront donner naissance à de nombreux petits cratères, sur le rempart du cirque principal où peuvent rejouer les failles, et à d'autres, plus rares, à l'intérieur du cirque.

Les récentes photographies de Mars, obtenues par Mariner IV, ont révélé l'existence sur cette planète de cirques de type lunaire, dont les dimensions toutefois, du moins dans la région photographiée, ne semblent pas dépasser 60 à 70 kilomètres. Le climat martien, bien que moins rigoureux, présente de fortes analogies avec celui de la Lune. Si l'infériorité de dimensions des cirques martiens par rapport aux cirques lunaires venait à se confirmer, on arriverait à cette constatation, que les dimensions des reliefs de type lunaire vont en diminuant sur des astres à climat de moins en moins rigoureux, pour se réduire sur terre, aux dimensions des pingos relégués dans les régions froides du globe. Ce fait s'expliquerait alors facilement par la considération de la profondeur limite du permafrost, d'autant plus faible que le climat est plus doux.

Littérature:

1. P. Gidon: *Courants magmatiques et évolution des continents.* Masson, Paris, 1963. – *L'hypothèse d'une érosion sous-crustale.*
2. H. et G. Termier: *Erosion et sédimentation.* Masson, Paris, 1960. Même collection: *Evolution des sciences.*
3. M. Gignoux et M. Avnimelech: *Genèse de roches sédimentaires bréchoïdes par «intrusion et éclatement».* (Bull. Soc. Géol. France – 5e série, t. VII, 1937.)

Erratum

Par suite d'un malentendu très regrettable, la traduction française de l'article Herzog «*L'absorption dans les ponts intergalactiques*» (no. 101, p. 72) a été attribuée à M. E. Herrmann. En vérité, nous la devons à la plume de Mlle. Wilhelmine Burgat, que nous prions de bien vouloir accepter nos remerciements et nos excuses.