Résultats nouveaux sur la géologie de la Lune : premières observation géologiques sur Mars et Mercure : quelques données sur Jupiter et ses satellites

Autor(en): **Ayrton, Stephen**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles**

Band (Jahr): **72 (1974-1975)**

Heft 348

PDF erstellt am: **23.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-276695

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

Stephen Ayrton — *Résultats nouveaux sur la géologie de la Lune*
Premières observations géologiques sur Mars et Mercure
Quelques données sur Jupiter et ses satellites *

L'année 1974 a vu la poursuite de la recherche spatiale et de l'exploration de notre système solaire. De nombreuses données nouvelles en sont issues, en particulier sur Mars, Mercure, Vénus, les astéroïdes, Jupiter et ses lunes, sans oublier la nôtre, d'où proviennent continuellement d'importants renseignements. Les techniques et les méthodes d'observation et d'analyse s'améliorent constamment. Ainsi, l'effort conjugué des sondes spatiales et des stations terrestres (et bientôt orbitales) est vraisemblablement en train de déclencher une révolution dans le domaine de l'astronomie et de l'astrophysique (voire de l'astrochimie), révolution semblable à celle qu'ont connue les sciences de la Terre par suite de l'exploration systématique des océans depuis une quinzaine d'années. Il est évident que l'une se reflétera sur l'autre.

Les points saillants des derniers résultats sont les suivants :

1) *Lune :* L'activité sismique, liée essentiellement aux marées et aux impacts, permet de définir toujours mieux la constitution interne de notre satellite. On distingue actuellement 5 zones : *a)* la croûte, épaisse de 50-60 km, riche en plagioclase, et fortement pulvérisée dans sa partie supérieure ; *b)* le manteau supérieur, épais de 250 km, constitué vraisemblablement surtout d'olivine et de pyroxène ; *c)* le manteau intermédiaire, où les ondes transverses subissent une diminution de vélocité — les foyers sismiques profonds sont concentrés vers le bas de cette zone, épaisse de 500 km ; *d)* le manteau inférieur, au-dessous d'une profondeur de 800 km, où les ondes sont fortement atténuées — à comparer à l'asthénosphère terrestre ; *e)* le noyau, qui pourrait avoir un rayon de quelque 400 km s'il n'est constitué que de fer, ou 700 km, s'il s'agit d'un composé Fe-S.

L'âge probable de la croûte a été confirmé par la datation de clastes de plagioclases dans une brèche : $4{,}5 \times 10^9$ années. Un autre pic, à $3{,}98 \times 10^9$ années, représente vraisemblablement l'âge d'une recristallisation due à des phénomènes d'impact, responsables de la bréchification de tant de roches lunaires. Ainsi, la croûte semble s'être formée peu après le système solaire lui-même.

On a de nouveau décelé des minéraux hydratés, bien rares, il est vrai, dans les échantillons ramenés sur Terre. Pourtant, il n'existe encore aucune certitude quant à l'origine de cette eau, dont une partie au moins serait due à une contamination terrestre. Restent la possibilité d'H_2O indigène ainsi que celle d'un apport d'H par le vent solaire.

Il semble bien que toute la surface de la Lune a été profondément labourée et modifiée lors du bombardement intense qu'elle a subi pendant le premier demi-milliard d'années de son existence. L'hypothèse d'un immense bassin, Gargantua, antérieur à Mare Imbrium, a été avancée : elle expliquerait, entre autres, pourquoi les roches de l'Apennin ne sont pas anorthositiques, comme d'autres terres lunaires — le matériel excavé se serait accumulé sur la face cachée de la Lune, d'où l'épaisseur accrue de la croûte de ce côté-là.

---

* Résumé de l'exposé présenté à la SVSN le 24 janvier 1975.

L'un des plus grands problèmes est celui que soulève le magnétisme lunaire — et nous verrons réapparaître ce problème à propos de Mercure. D'ailleurs, le magnétisme demeure, pour la Terre aussi, un mystère. Le champ magnétique actuel de la Lune est trop faible pour qu'on puisse lui attribuer les propriétés magnétiques des échantillons de basalte ramenés sur Terre. Le champ magnétique lunaire aurait-il donc été, autrefois, bien plus intense ? En général, cependant, on attribue l'existence d'un champ magnétique notable à un effet de dynamo lié à l'existence d'un noyau conducteur fluide et à la rotation relativement rapide d'une planète. Cette façon de voir soulève un certain nombre de problèmes dans le cas de la Lune, ce qui a entraîné certains auteurs à envisager la magnétisation de la Lune dans un champ externe, terrestre, solaire ou galactique. Par la suite, le réchauffement interne (dû à la désintégration radioactive) aurait amené les zones internes au-dessus du point de Curie, détruisant par là leurs caractéristiques magnétiques, et ne laissant des effets paléomagnétiques que dans l'enveloppe externe. On se heurte ici au problème fondamental et non résolu d'une lune originellement chaude ou froide. Par ailleurs, des effets paléomagnétiques dans les météorites appuyent l'hypothèse d'un champ magnétique solaire précoce.

Quant à l'origine de notre lune, on ne peut encore écarter définitivement aucune des trois théories « classiques » : *a)* la séparation, *b)* la capture, *c)* un développement binaire à partir du même amas de poussières cosmiques. Chacune soulève des difficultés, surtout les deux premières, en particulier sur le plan de l'astrophysique. RINGWOOD a proposé une hypothèse quelque peu intermédiaire entre la première et la troisième, et bien attrayante : la Lune se serait condensée à partir de l'atmosphère primitive fort dense de la Terre. La difficulté fondamentale de toute explication réside dans les contraintes tant chimiques qu'astrophysiques.

2) *Mars :* L'exploration orbitale de Mars s'est poursuivie, et il existe maintenant une bonne carte de sa surface. En revanche, les tentatives d'atterrissage n'ont pas été couronnées de succès jusqu'ici.

La morphologie martienne présente des points communs avec celle de la Lune (et, nous le verrons, avec celle de Mercure), mais elle possède aussi des caractéristiques spécifiques. On distingue trois types de terrain : *a)* « cratérisé », *b)* tectonisé, *c)* lisse. L'hémisphère sud est constellé de cratères d'impact, certains larges et plats, d'autres petits, en forme de tasses, ils sont souvent doubles (analogie avec les cratères terrestres), et en général sans raies ni cratères secondaires. L'hémisphère nord, en revanche, montre une surface beaucoup plus lisse, d'où une asymétrie à l'échelle de la planète. C'était déjà le cas pour la Lune — nous retrouverons une disposition asymétrique pour Mercure. Est-elle caractéristique des planètes de manière générale ?

Il existe en plus, sur Mars, dans la zone équatoriale, un immense fossé, semblable aux rifts africains — c'est Coprates, long de quelque 3000 km, large d'environ 70 km, et d'une profondeur d'au moins 3 km localement. Un réseau très dense de petits vallons dendritiques lui est associé. Ceci soulève évidemment la question de l'existence d'H_2O sur Mars. Celle-ci a bien été repérée, mais on ne sait pas encore où elle est stockée, ni quel a été son rôle morphologique. Il est possible que les petites gorges liées à Coprates aient été creusées par la libération soudaine de grandes masses d'eau associées

à un permafrost carbonique ; le processus aurait été déclenché par un abaissement de pression (ouverture de fissure ?) et se serait maintenu de façon autocatalytique. Un mécanisme semblable est peut-être intervenu dans la formation des « Channeled Scablands », près du lac glaciaire Missoula (USA), il y a 18 000-20 000 ans.

Mars a connu certainement une activité volcanique importante. L'existence de volcans géants, les plus grands que l'on connaisse actuellement dans le système solaire, en témoigne. Nix Olympica, par exemple, un énorme édifice en bouclier, a un diamètre de quelque 500 km pour une hauteur de plus de 25 km. Il n'y a pas d'indices sûrs d'un volcanisme actuel. L'argon détecté dans l'atmosphère martienne pourrait être d'origine radiogénique.

Il n'y a pour ainsi dire pas de maria comme sur la Lune — seul le grand bassin d'Hellas, à fond lisse, est à noter. Comme les bassins lunaires, il est probablement rempli de basaltes.

On sait que l'atmosphère martienne est perturbée par de grandes tempêtes de sable. Celui-ci s'accumule localement en dunes. Il est possible que les changements de teintes de fameuse réputation soient dus à des alternances de périodes où les roches sont à nu ou, au contraire, recouvertes d'une couche de poussière. Celle-ci contiendrait un pourcentage de SiO_2 semblable à celui des roches ignées intermédiaires terrestres (spectroscopie orbitale dans l'infrarouge).

L'un des grands problèmes de Mars est l'histoire des calottes, leur constitution et leurs fluctuations. A l'heure actuelle, on pense que les glaces polaires sont surtout formées de CO_2. De très belles vues du pôle N montrent clairement l'existence de roches rubannées ou stratifiées (d'autres ont été repérées dans le canyon Coprates).

Il est vraisemblable que Mars est une planète différenciée comme la Terre, avec une lithosphère épaisse de plusieurs centaines de km (ce qui serait souligné par une relation récemment suggérée entre la hauteur d'un volcan et l'épaisseur du soubassement sur lequel il repose), une asthénosphère et un noyau.

Une comparaison entre Mars et notre Lune, fondée sur la densité des cratères, indique un âge semblable pour sa formation, et l'essentiel de son histoire. Cette méthode a été critiquée, mais il devient de plus en plus évident que toutes les planètes terrestres ont connu, dans leurs débuts, des événements semblables à des époques semblables. Partout on retrouve, en particulier, les traces d'un bombardement précoce intense. Par rapport à la Terre et à la Lune, Mars semble dans un stade intermédiaire — il n'est pas atectonique comme la seconde —, le fossé de Coprates en témoigne, et il n'a pas évolué comme la première. Certains auteurs prétendent qu'il aborde une période d'activité tectonique lithosphérique, avec digestion progressive de l'ancienne croûte cratérisée (hémisphère S) au profit d'une nouvelle croûte, celle de l'hémisphère N, le processus s'effectuant dans les régions tectonisées, ce qui évoque le mécanisme de renouvellement proposé pour la croûte (océanique) terrestre.

Le faible champ magnétique de Mars, dont la période de rotation est environ la même que celle de la Terre, impliquerait, selon la théorie classique, l'existence d'un très petit noyau.

La présence de formes vivantes martiennes n'a pas encore été détectée, mais les conditions nécessaires et suffisantes à la vie sont réunies à la surface de cette planète. La sonde Viking est spécialement conçue pour cette étude. On en reparlera en 1976.

3) *Mercure :* On retrouve ici encore une asymétrie morphologique globale. La face qui est tournée vers le Soleil porte la marque d'un grand impact, qui a creusé un bassin d'un diamètre de 1300 km, entouré par une chaîne de montagnes haute de quelque 2 km. C'est Caloris, rempli, comme Hellas sur Mars, et les maria lunaires, de basalte : ce sont des mesures de réflectance, d'albedo et de polarisation qui l'indiquent.

D'autres bassins, mais de bien moindre importance, existent, ainsi que de nombreux cratères, parfois entourés de raies et d'impacts secondaires, ce qui contraste avec les cratères martiens (l'érosion de Mars serait bien plus efficace que celle de Mercure). Certains sont concentriques, peut-être par suite du renvoi des ondes sismiques par le grand noyau métallique de cette planète. A noter qu'à l'antipode de Caloris se trouve un terrain très chaotique, qui reflète peut-être l'influence des ondes sismiques déclenchées par le grand projectile (vraisemblablement de l'ordre de plusieurs dizaines de km de diamètre) responsable de ce bassin, du côté opposé. Sur Mars, Nix Olympica est à l'antipode d'Hellas, et on peut penser que sa naissance est liée, de la même manière, à un grand impact (ce qui soulèverait néanmoins quelques problèmes de chronologie).

Des indices de compression prennent la forme de falaises ou de rides lobées, inconnues sur Mars ou la Lune. Elles correspondraient à des chevauchements, peut-être liés à une contraction du noyau lors du refroidissement.

Un régolithe existe vraisemblablement sur Mercure également.

La constitution de cette planète comprend un noyau métallique qui occupe le 50 % du tout (son rayon étant environ les trois quarts du rayon global). Une couche silicatée aurait de 500 à 600 km d'épaisseur.

C'est avec surprise que l'on a décelé un champ magnétique autour de Mercure, dont la rotation est, on le sait, fort lente. Le champ est-il d'origine interne (dans quel cas la vitesse de rotation aurait été autrefois plus grande) ? Est-il de caractère induit ? Ou alors un champ magnétique indigène peut-il naître dans d'autres circonstances que celles de la théorie classique ?

De nouveau, la distribution des cratères, et les divers types de terrain, indiquent un âge de formation et une histoire précoce semblables à ceux des autres planètes terrestres.

L'atmosphère de Mercure est ténue — elle n'a probablement jamais été plus dense. On y a repéré de l'hélium, probablement indigène, peut-être aussi d'origine solaire, du néon (vent solaire), de l'argon (désintégration radioisotopique), du xénon.

4) *Vénus :* Notre connaissance de la surface de Vénus est évidemment réduite. Toutefois, le radar permet de dresser des cartes morphologiques, qui indiquent, là encore, la présence de montagnes, de cratères, peut-être de volcans. Rappelons qu'une sonde soviétique a détecté, dans un échantillon de la surface vénusienne, environ 4 % de potassium. Le dipôle magnétique de cette planète possède un moment très réduit. L'érosion par les agents atmosphériques est sûrement importante.

5) *Les astéroïdes :* On connaît actuellement beaucoup mieux les caractéristiques des astéroïdes, dont la majorité montre une très grande similitude avec les météorites de la classe des chondrites carbonées. Albedo et polarisation indiquent aussi la présence d'astéroïdes dont la composition serait celle des chondrites ordinaires. Il est vraisemblable que les météorites qui tombent sur la Terre à l'heure actuelle proviennent de la ceinture des astéroïdes, et il est possible que la pluie de projectiles responsable du grand bombardement d'au moins les zones internes du système solaire, il y a environ 4×10^9 années, en soit également issue.

6) *Jupiter :* Les sondes Pioneer ont apporté quantité de renseignements nouveaux sur Jupiter et ses lunes. Cet astre est en fait plus proche d'une étoile que d'une planète. Ses couches externes sont fluides, étant largement constituées d'hydrogène. L'hélium est aussi présent. Récemment — et il s'agit là d'une découverte importante — on a détecté de l'eau dans l'atmosphère jovienne. De grandes perturbations affectent celle-ci, et il semble que la fameuse tache rouge soit une sorte d'ouragan qui dure depuis des siècles. Des cellules convectives de moindre taille ont également été repérées.

On sait que Jupiter renvoie 2 à 3 fois plus d'énergie qu'il n'en reçoit, ce qui est peut-être dû à une contraction gravitationnelle. Quant à son noyau, les uns pensent qu'il n'est pas solide, d'autres qu'il l'est, avec une masse de quelques dizaines de fois celle de la Terre. Sa magnétosphère, très puissante, a la forme d'un disque.

On a maintenant des données précises sur les lunes de Jupiter (qui seraient au nombre de 13), parmi lesquelles Io occupe une place de choix. Il semble en effet qu'Io soit recouvert d'une couche de sel et entouré d'un « nuage » de sodium qui s'étend sur quelque 350 000 km. Les paramètres qui caractérisent sa surface sont voisins de ceux de sels séchés obtenus à partir de la météorite Orgueil, une chondrite carbonée contenant dans ses pores epsomite ($MgSO_4.H_2O$), gypse ($CaSO_4.2H_2O$) et bloedite ($MgSO_4.Na_2SO_4$). Io était peut-être à l'origine chondritique ; un dégazage progressif aurait amené à la surface, où ils auraient précipité, divers sels de nature évaporitique.

Il faut noter que les densités des satellites galiléens vont en décroissant à mesure que l'on s'éloigne de Jupiter. Ainsi Jupiter et ses lunes — et peut-être aussi Saturne et Uranus — miment en petit notre système solaire, dont l'origine et l'histoire font l'objet de travaux toujours plus poussés. Les données que nous avons résumées — et qui soulignent en particulier les traits communs à l'histoire de Mercure, la Terre, la Lune, Mars, météorites et astéroïdes, peut-être Vénus (et en tout premier lieu un âge de formation autour de $4{,}6 \times 10^9$ années) — peuvent être intégrées à un schéma général, soit une séquence de condensation, qui semble pouvoir expliquer l'origine des planètes en fonction d'un gradient de température dans la nébuleuse primordiale, la pression y jouant un rôle négligeable. La formation du Soleil n'aurait pas précédé celle des planètes.