



Ramassé sur la Lune par les astronautes James Irwin et David Scott sur les bords du cratère Spurr, le *Genesis rock*, qui est l'échantillon 15415 ramené par la mission *Apollo 15*, est vieux d'environ 4 milliards d'années (d'où son surnom). Il a aidé à élaborer la théorie de la formation de la Lune.

> après l'arrivée des premiers échantillons *Apollo*, deux groupes de chercheurs proposèrent, indépendamment l'un de l'autre, l'idée d'un océan magmatique précoce. Plusieurs autres types de données géochimiques ou géophysiques appuient par ailleurs ce modèle d'un océan de magma, qui est toujours en cours d'élaboration aujourd'hui.

L'une des découvertes met toutefois le modèle de l'impact géant au défi. À deux reprises, en 2001 et 2012, des chercheurs ont constaté, en se servant d'un procédé nommé fluoration au laser, que les concentrations isotopiques de l'oxygène et du titane dans les échantillons de roches lunaires sont presque

Des échantillons de pierres lunaires encore sous scellés attendent d'être analysés

identiques à celles des roches terrestres. Cela pose un problème: si la Lune s'est bien formée par mélange de matériaux provenant de la Terre et de Théia, comment les compositions isotopiques en titane et oxygène peuvent-elles être les mêmes dans les deux corps? Cette observation a inspiré de nouvelles propositions quant à la formation de la Lune, dont le modèle à *synestia* (voir l'encadré page ci-contre).

Les recherches sur les roches lunaires ramenées par *Apollo* nous ont aussi renseignés sur les autres corps planétaires. Le résultat le plus notable de ces avancées est sans doute la mise au point du « modèle de Nice » (ainsi nommé parce qu'il a été conçu à l'Observatoire de la Côte d'Azur, à Nice).

Selon ce modèle de l'évolution du Système solaire, les planètes gazeuses extérieures – Saturne, Uranus et Neptune – se seraient initialement formées plus près du Soleil et à proximité les unes des autres. Puis, quelques centaines de millions d'années plus tard, leurs trajectoires seraient devenues instables, et, sous l'influence d'une incursion de Jupiter vers le Système solaire interne, elles auraient très vite migré vers leurs orbites actuelles, à grande distance du Soleil. Ce mouvement aurait attiré vers l'intérieur du Système solaire de très nombreux matériaux de la ceinture de Kuiper, cette zone située entre 30 et 55 unités astronomiques du Soleil et peuplée de très nombreux petits corps. Ces millions de résidus des premiers moments de la formation du Système solaire seraient alors entrés en collision avec les planètes et leurs lunes, entraînant un chaos général dont témoigne la face grêlée de la Lune.

UN CURIEUX SCÉNARIO

Un tel scénario semble tiré par les cheveux, mais il explique avec élégance un certain nombre d'observations sur notre voisinage cosmique. Après avoir daté les échantillons d'*Apollo* et analysé les cratères d'impact, les chercheurs ont par exemple conclu que le nombre d'impacts a connu un pic, dû à un « Grand bombardement tardif » qui se serait produit environ 700 millions d'années après la formation des planètes. On ne savait pas expliquer ce soudain bombardement intense des planètes telluriques, mais le modèle de Nice a fourni une explication en prédisant l'attraction massive de corps de la ceinture de Kuiper vers l'intérieur du Système solaire exactement à l'époque du chaos dont témoigne la face grêlée de la Lune.

En plus de nous renseigner sur l'évolution du Système solaire, les échantillons lunaires nous ont aussi permis d'étudier l'évolution chimique des surfaces planétaires. Le processus dit de l'« érosion spatiale » explique de quelle façon les corps dépourvus d'atmosphère s'érodent. L'étude des échantillons prélevés à la surface de la Lune par les missions *Apollo* a montré qu'ils sont composés d'agglomérations de verre fondu et de fragments minéraux créés par l'impact de microscopiques poussières. Ces agglomérats, qui se forment avec le temps, peuvent constituer de 60 à 70% des échantillons de régolite mature. De minuscules perles de fer élémentaire sont aussi produites au cours de l'érosion spatiale et s'accumulent sur



On voit ici un dispositif de conservation, en cours de manipulation pour déplacer un échantillon provenant de la mission Apollo 15 depuis son armoire de rangement sous azote vers un conteneur en acier inoxydable.

> les bords extérieurs de certains grains du sol, ce qui assombrit leurs surfaces avec le temps. Nous savons aujourd'hui que le rayonnement solaire, les grandes fluctuations de température et le bombardement constant par de minuscules micrométéorites contribuent tous à l'érosion spatiale.

DES ÉCHANTILLONS POUR L'AVENIR

La période actuelle de la science lunaire est passionnante : cette année, des échantillons préservés depuis leur collecte sur la Lune et faisant partie de ceux que la Nasa a intentionnellement mis de côté, dans l'attente de techniques d'analyse plus performantes que celles de l'ère *Apollo*, seront mis à disposition des chercheurs. En mars, neuf équipes de chercheurs ont ainsi été sélectionnées pour recevoir des échantillons d'*Apollo 15*, *16* et *17* non ouverts et scellés sous vide. Cette étape du programme ANGSA (*Apollo Next Generation Sample Analysis*) devrait conduire à de nouvelles connaissances sur la formation et l'évolution de notre satellite.

Si nous avons beaucoup appris des échantillons et des expériences de surface d'*Apollo*, nous avons aussi un grand besoin de nouveaux échantillons. Nous n'avons ainsi aucune roche issue de la face cachée de la Lune, de ses régions polaires ou encore de son intérieur profond. Deux types d'échantillons dont j'aimerais particulièrement disposer seraient de la glace d'un cratère polaire et des roches issues du bassin d'Aitken, sur la face cachée, qui recouvre le pôle Sud et constitue le plus grand cratère d'impact de la Lune. Son intérieur

pourrait contenir des matériaux provenant de la partie inférieure de la croûte lunaire et même de son manteau rocheux (la couche sous-jacente à la croûte). L'étude du bassin Aitken du pôle Sud nous aiderait à comprendre pourquoi de très grands bassins façonnent les surfaces et les intérieurs des corps planétaires. Disposer d'un échantillon de glace polaire lunaire nous renseignerait sur l'âge et l'origine de l'eau lunaire – ce qui pourrait aider à clarifier ceux de l'eau de la Terre.

De tels échantillons pourraient provenir tant de missions habitées que de missions robotisées : aucun consensus n'existe entre planétologues sur le caractère préférable de l'un ou l'autre type de mission. De nombreux experts soutiennent, à juste titre, que les missions robotisées sont moins coûteuses, plus sûres et peuvent durer plus longtemps que les missions humaines. Pour autant, les humains sont plus à même que les robots de prélever la plus grande variété possible de spécimens inhabituels, ce dont témoignent la diversité des origines géologiques de la composition et des âges des échantillons d'*Apollo*.

Le programme *Apollo* reste un accomplissement sans pareil. Alors que nous célébrons le 50^e anniversaire du « grand pas pour l'humanité » de Niels Armstrong, le premier astronaute sur la Lune, aucun humain n'a, depuis Harrison « Jack » Schmitt et feu Gene Cernan de la mission *Apollo 17* de décembre 1972, foulé un autre corps planétaire. En tant que chercheuse profondément inspirée par le programme *Apollo*, je travaille activement à créer un nouvel « élan *Apollo* » afin que nous puissions enfin revoir des humains explorer l'inconnu. ■

BIBLIOGRAPHIE

S. J. Lock et al., **The origin of the Moon within a terrestrial synestia**, *JGR Planets*, vol. 123(4), pp. 910-951, 2018.

M. Laneuville, **La Lune, une histoire pleine de surprises**, *Pour la Science*, n° 466, pp. 26-35, août 2016.

R. Canup, **Forming a Moon with an Earth-like composition via a giant impact**, *Science*, vol. 338, pp. 1052-1055, 2012.

M. Čuk et al., **Tidal evolution of the Moon from a high-obliquity, high-angular-momentum Earth**, *Nature*, vol. 539, pp. 402-406, 2016.