

Une autre explication suppose que la cristallisation est symétrique, mais qu'une réorganisation de la structure interne de la Lune a enrichi la face visible en éléments incompatibles. Ceux-ci auraient d'abord formé, de façon globale, une couche dense entre la croûte et le manteau. Sous l'effet d'instabilités hydrodynamiques, cette couche aurait coulé dans le manteau en direction du noyau. Les éléments radioactifs qu'elle contenait l'auraient alors réchauffée, donc dilatée, sa densité aurait diminué et elle serait remontée vers la surface. Des simulations numériques montrent que la migration n'est pas forcément symétrique et que la couche d'éléments incompatibles remonte surtout vers la face visible. Nous verrons plus loin que ce mécanisme joue aussi un rôle dans le volcanisme tardif de la Lune.

L'asymétrie de la croûte pourrait aussi avoir une origine externe. Elle pourrait être le résultat, par exemple, d'un impact géant qui aurait changé la composition du manteau d'un hémisphère, mais pas de l'autre. Pour répondre à la question de l'origine de l'asymétrie, les planétologues attendent beaucoup d'une mission lunaire où un module se poserait sur la face cachée et en ramènerait des échantillons.

Basculements de l'axe

Après la formation de la croûte, il y a environ 4,3 milliards d'années, la Lune ne ressemblait pas encore à l'image que nous en avons aujourd'hui. En effet, depuis, notre satellite a été continuellement bombardé par des météorites qui ont constellé sa surface de cratères. Un événement remarquable est la collision avec une météorite qui a formé le bassin Pôle-Sud-Aitken (c'est le plus grand cratère d'impact connu du Système solaire). À la suite de cette collision, l'axe de rotation de la Lune aurait basculé de 15 degrés.

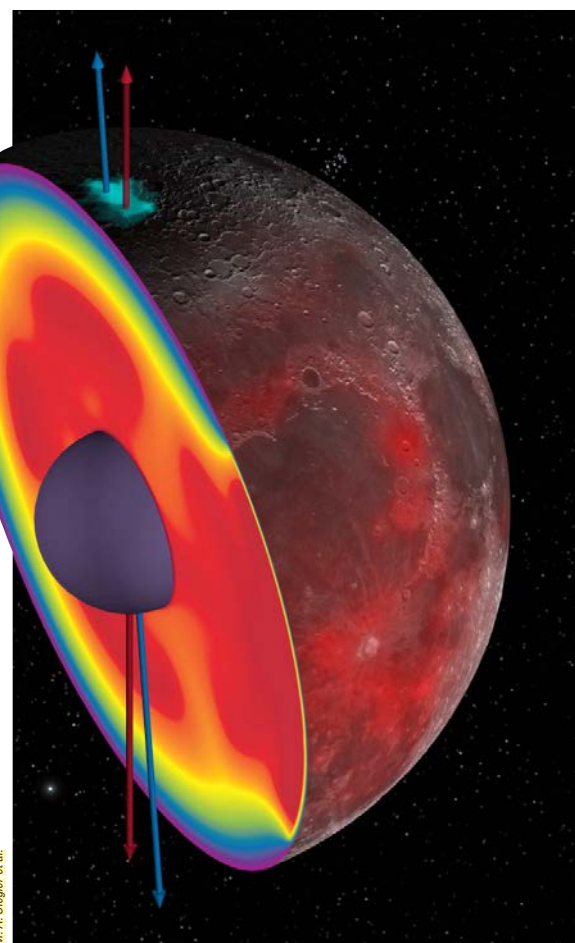
Ensuite, il y a entre 4,1 milliards et 3,9 milliards d'années, les planètes telluriques du Système solaire ont probablement connu une période de bombardement particulièrement intense. Cet épisode pourrait être dû à la perturbation d'un réservoir d'astéroïdes qui a envoyé les petits corps vers la partie interne du Système solaire. Selon les modèles récents de formation du Système solaire (« modèle de Nice » et « hypothèse du Grand Tack »), une modification de l'orbite des planètes Jupiter et Saturne serait à l'origine de ce « grand bombardement tardif ». La

Lune n'aurait pas échappé au phénomène et des météorites ont creusé de vastes bassins dans la croûte lunaire. Ces bassins se sont ensuite remplis de lave basaltique qui, en refroidissant, a formé une partie des zones sombres de la Lune, nommées aujourd'hui mers lunaires ou *maria*.

En 2016, avec plusieurs collègues, nous avons montré que l'axe de rotation de la Lune s'est aussi déplacé à cause de son évolution interne (voir la figure ci-contre). Nous avons constaté l'existence de deux régions riches en hydrogène, indicatif de la présence de glace d'eau, aux antipodes l'une de l'autre, mais à 5 degrés des pôles actuels. Ces régions ont donc probablement été les pôles il y a plusieurs milliards d'années. La réorganisation de la structure interne de la Lune à l'origine de la formation de la région Procellarum, une mer de basalte, et le changement associé de la répartition des masses aurait conduit au basculement de l'axe de rotation lunaire.

À ce stade de son histoire, la Lune ressemble au satellite que nous connaissons. Pourtant, si les planétologues commencent à avoir une bonne vision des grandes étapes géologiques de la Lune, ce satellite continue de nous surprendre, notamment avec la découverte qu'il était doté, dans le passé, d'un puissant champ magnétique. Ce n'est plus le cas aujourd'hui et seul un champ rémanent, figé dans certaines roches, subsiste. Il a été mesuré en 1998 par la sonde *Lunar Prospector* puis, plus récemment, par *Kaguya*. Mais ce champ résiduel est un indice en faveur d'un champ global actif par le passé. Cette idée est renforcée par l'analyse récente d'échantillons par des techniques de haute précision.

La présence ou non d'un champ magnétique important sur une planète ou un satellite nous renseigne sur son fonctionnement interne et, par conséquent, sur son histoire géologique. Les champs magnétiques planétaires résultent du mouvement d'un liquide conducteur, généralement du fer dans le noyau – induisant un « effet dynamo ». Ce mouvement peut être dû aux processus de refroidissement : de manière directe, il s'agit de convection dite thermique, ou indirecte, grâce à des forces de poussée liées à la cristallisation du noyau interne solide. Une autre possibilité est une activation mécanique du mouvement, due à un brusque changement de la direction de l'axe de rotation du manteau par rapport à



LA LUNE A BASCULÉ plusieurs fois au cours de son histoire. Lors de la formation de la mer de basalte Procellarum, l'axe de rotation a basculé de 5 degrés entre l'axe initial (en bleu) et l'axe actuel (en rouge).