

celui du noyau, ce qui produit une rotation différentielle. En outre, certains impacts majeurs au commencement de l'histoire lunaire pourraient avoir eu un effet similaire (voir les figures pages 30-31).

Les dynamos d'origine mécanique sont encore assez peu étudiées, mais les changements de paramètres orbitaux nécessaires à leur fonctionnement ne permettent pas d'expliquer l'existence d'un champ magnétique durant plus de 1 milliard à 2 milliards d'années. Il faut donc recourir à des dynamos liées au refroidissement et à la cristallisation de la graine, la partie solide du noyau, pour expliquer l'existence d'un champ magnétique persistant. Le champ terrestre, par exemple, dépend principalement de la cristallisation de la graine. L'existence d'un champ magnétique sur la Lune il y a environ 4 milliards d'années peut s'expliquer par le refroidissement initial du satellite, mais l'amplitude de ce champ et sa persistance pendant une période prolongée sont difficiles à expliquer ainsi, du fait de la petite taille de la Lune.

En 2009, Ian Garrick-Bethell, de l'université de Californie à Santa Cruz, a examiné des échantillons rapportés des missions *Apollo* à l'aide de techniques plus sensibles que lors des analyses précédentes. Il a montré l'existence d'un champ supérieur à 1 microtesla il y a 4,2 milliards d'années. En effet, lorsque de la roche fondue se refroidit, les moments magnétiques des atomes s'alignent sur le champ magnétique global. Ce dernier imprime alors sa trace dans la roche sous la forme d'un champ rémanent. Le champ global

aurait donc perduré quelques centaines de millions d'années et son amplitude a varié par au moins deux ordres de grandeur (entre 1 et 100 microteslas ; il est d'environ 50 microteslas sur Terre). Selon certains scénarios, ce champ pourrait même avoir persisté 2 milliards d'années supplémentaires, mais les roches lunaires enregistrent assez mal le champ magnétique et les valeurs de champ attendues par ces scénarios sont trop proches du seuil de sensibilité des dispositifs expérimentaux pour être détectés.

Une dynamo lunaire d'origine inconnue

Le champ magnétique lunaire aurait ainsi connu une période ancienne, mais brève, où il avait une forte amplitude, suivie d'une période potentiellement longue associée à une faible amplitude. Comment concilier la durée, l'amplitude et l'extrême variabilité d'un tel champ avec les modèles d'évolution interne de la Lune ?

La prise en compte de la présence d'eau dans le manteau (voir l'encadré page 32), de la croissance d'une graine, de l'entraînement mécanique dû à des variations orbitales ou d'une collision avec un astéroïde ont permis d'expliquer certaines observations, mais aucun de ces phénomènes ne donne naissance à un champ de longue durée. De plus, la question de l'amplitude reste ouverte. L'intensité du champ magnétique à la surface dépend directement de la taille du noyau qui engendre ce champ. Or le champ lunaire ancien semble être aussi

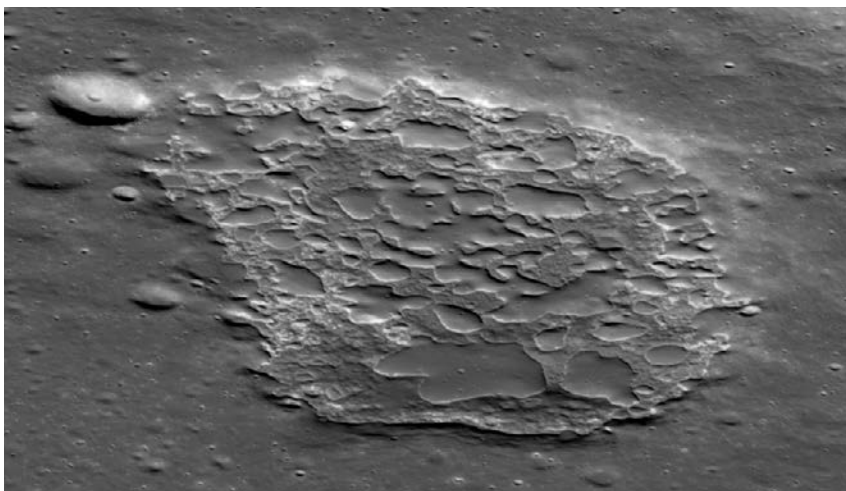
important que le champ magnétique terrestre aujourd'hui, bien que le noyau lunaire soit probablement dix fois plus petit que celui de la Terre relativement à sa taille.

L'histoire complète du champ magnétique lunaire est encore loin d'être écrite. Une meilleure compréhension de la structure interne et de l'évolution du manteau fournira des contraintes plus sévères sur les modèles. Une meilleure couverture temporelle des données, avec notamment la détermination de la période où la dynamo s'est arrêtée, sera aussi un grand atout pour concevoir un modèle cohérent.

Un autre aspect des sciences lunaires qui doit être repensé du fait d'observations récentes est celui de l'activité magmatique. En 2014, grâce aux images de haute résolution obtenues par la mission LRO (*Lunar Reconnaissance Orbiter*), Sarah Braden, de l'université d'État de l'Arizona, et ses collègues ont rapporté la découverte de près de 70 anomalies topographiques ressemblant très fortement à des structures volcaniques avec des coulées de lave (voir la figure ci-dessous). Les astronomes se sont fondés sur le nombre de cratères de météorites qui recouvrent ces régions pour dater les volcans : leur faible nombre suggère que ces formations volcaniques sont très récentes, âgées de moins de 100 millions d'années. Si cela est confirmé, il faudra comprendre par quels mécanismes la chaleur des volcans est produite. En effet, la plupart des modèles actuels expliquent seulement une activité volcanique qui aurait plus de 1 milliard d'années.

Parmi les pistes alternatives qui restituent correctement la durée du volcanisme lunaire et sa distribution à la surface du satellite, deux scénarios sont fondés sur la constatation que l'activité volcanique lunaire est fortement corrélée avec une région de la face visible, Procellarum KREEP Terrane, qui est riche en éléments radioactifs (KREEP est un acronyme précisant les éléments en questions : le potassium, K, les terres rares, REE – pour *Rare Earth Elements* en anglais –, et le phosphore, P). Les deux modèles se distinguent par leur interprétation de l'enrichissement en éléments radioactifs de la région : sont-ils la cause ou la conséquence de l'activité volcanique ?

Les éléments radioactifs sont aussi des éléments incompatibles dont nous avons parlé précédemment et qui restent dans l'océan de magma résiduel lors de la cristallisation. Après refroidissement, ils se sont accumulés dans une couche plus dense que



NASA/GSFC/université d'État de l'Arizona

INA EST UNE COULÉE DE LAVE BASALTIQUE de deux kilomètres de large, photographiée pour la première fois lors de la mission *Apollo 15*. Son âge était estimé à moins de 100 millions d'années, mais son caractère unique faisait penser à une anomalie. La sonde LRO a, depuis, découvert 70 épanchements de lave similaires : la Lune a eu une activité volcanique récente !