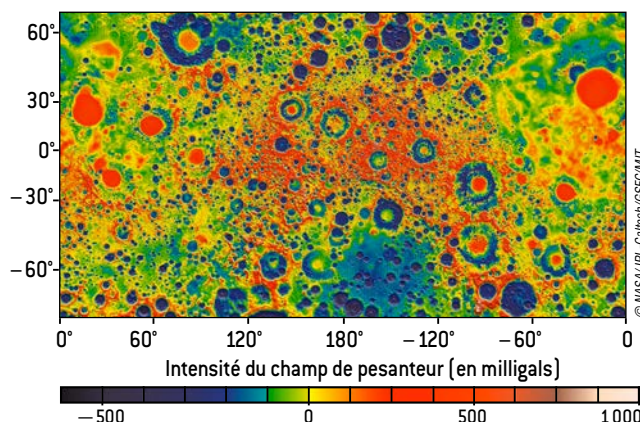


DES SONDES JUMELLES POUR AUSCULTER LA CROÛTE LUNAIRE

En 2012, la Nasa a envoyé les deux sondes jumelles de la mission GRAIL (pour *Gravity Recovery And Interior Laboratory*) en orbite autour de la Lune. En mesurant les variations de distance entre les deux sondes qui suivaient la même trajectoire, les chercheurs ont obtenu une cartographie très précise du champ de gravité lunaire. En couplant ces observations à des mesures topographiques, les planétologues ont amélioré leur connaissance de la croûte de la Lune. Les propriétés globales de la croûte sont le résultat direct du processus de cristallisation de l'océan de magma, et donc de la composition globale de la Lune. La précision inégalée de la mission GRAIL a permis d'améliorer les estimations de l'épaisseur de la croûte. En l'occurrence, les données suggèrent que la densité moyenne est bien plus faible qu'on ne le pensait précédemment, ce qui implique que l'épaisseur moyenne de la croûte, entre 34 et 43 kilomètres, est aussi inférieure à celle qui était attendue. L'une des conséquences directes de ces observations est que la Lune a une concentration en éléments réfractaires (tels les éléments radioactifs) similaire à celle de la Terre.



CARTE DU CHAMP DE GRAVITÉ mesuré par les sondes GRAIL. Elle permet d'identifier des cratères et des bassins où la croûte plus mince correspond à un champ de gravité moins intense (en bleu) et des plateaux où le champ est plus élevé (en rouge).

le manteau sous-jacent, créant ainsi une structure instable. On rejoint ici le scénario proposé pour expliquer l'asymétrie de composition de la croûte : cette couche coule dans le manteau et remonte préférentiellement vers la face visible, en particulier dans la région de Procellarum KREEP Terrane. En remontant, avec la baisse de pression, la couche fond et produit le type de volcanisme attendu en surface. L'un des succès de ce modèle est la temporalité : les coulées les plus anciennes ont au plus 300 millions d'années. Il semble aussi compatible avec l'idée que les éléments plus denses ont tendance à s'enfoncer dans le manteau. En revanche, la composition de ces laves ne correspond pas directement aux observations. Dans ce scénario, on s'attend à ce que les basaltes soient riches en éléments incompatibles, ce qui n'est pas clairement le cas.

Des volcans sur la Lune

Une autre version considère cet enrichissement en éléments radioactifs comme la cause du volcanisme. En supposant que, lors de la réorganisation interne des éléments incompatibles, ils se soient accumulés dans la région de Procellarum, la couche formée aurait chauffé jusqu'à faire fondre la partie supérieure du manteau et produire une activité volcanique locale qui n'a pu durer jusqu'à récemment. Le processus s'étale sur une durée qui correspond aussi au délai d'observation des premières coulées de lave. L'étude d'échantillons ramenés de la surface

lunaire suggère que les éléments radioactifs sont surtout mélangés à la croûte et peu présents dans les coulées de lave, ce qui renforce cette version de l'histoire lunaire.

Aucun des deux scénarios n'est encore pleinement satisfaisant. Dans le premier cas, les conditions pour expliquer la migration des éléments radioactifs sont incertaines. Comme nous l'avons vu, il n'existe pas encore de mécanisme généralement admis permettant d'expliquer la répartition hétérogène des éléments incompatibles sous la croûte lunaire. Un tel modèle est aussi nécessaire pour apporter du poids au second modèle. Par ailleurs, l'évolution du manteau a des conséquences directes sur l'évolution du noyau et donc sur la génération du champ magnétique primordial.

L'histoire de la Lune nous cache-t-elle encore d'autres surprises ? On le saura peut-être bientôt grâce au regain d'intérêt pour l'exploration lunaire. Des missions préparées par les grandes puissances du domaine de l'exploration spatiale pourraient conduire à de grandes découvertes même si elles n'ont pas toutes des objectifs scientifiques.

Les observations de la Lune nous révèlent, pour l'instant, une image incomplète dont les pièces ne s'ajustent pas toujours bien entre elles. Les astronomes ont néanmoins beaucoup progressé, ces dernières décennies, dans leur compréhension du compagnon de la Terre. Et la Lune, qui a longtemps été considérée comme un corps inerte à l'histoire peu palpitante se révèle être un corps céleste actif et fort intrigant. ■

■ BIBLIOGRAPHIE

M. A. Siegler *et al.*, *Lunar true polar wander inferred from polar hydrogen*, *Nature*, vol. 531, pp. 480-484, 2016.

M. Touboul *et al.*, *Tungsten isotopic evidence for disproportional late accretion to the Earth and Moon*, *Nature*, vol. 520, pp. 530-533, 2015.

B. P. Weiss et S. M. Tikoo, *The lunar dynamo*, *Science*, vol. 346, n° 6214, 2014.

D. Cébron *et al.*, *Le magnétisme de la Lune*, *Pour la Science*, n° 424, février 2013.

M. A. Wieczorek *et al.*, *The crust of the Moon as seen by GRAIL*, *Science*, vol. 339, n° 6120, 2013.

M. Ohtake *et al.*, *Asymmetric crustal growth on the Moon indicated by primitive farside highland materials*, *Nature Geoscience*, vol. 5, pp. 384-388, 2012.

M. Cuk et S. T. Stewart, *Making the Moon from a fast-spinning Earth : A giant impact followed by resonant despinning*, *Science*, vol. 338, n° 6110, 2012.

Gastornis

l'oiseau carnivore devenu végétarien

Delphine Angst, Eric Buffetaut, Christophe Lécuyer et Romain Amiot

Gastornis ? Un oiseau géant au bec puissant qui dévorait les mammifères à l'aube du Tertiaire, a-t-on longtemps pensé. Erreur : le colosse était herbivore.



APPARU EN EUROPE il y a quelque 60 millions d'années, *Gastornis*, malgré sa taille de 1,5 mètre et son bec imposant, était probablement un oiseau placide, à l'image de cette reconstitution du paléontographe Alain Bénéteau.

© Alan Bénéteau/paleospot.com



Si vous entrez le mot *Gastornis* sur Internet, la plupart des images que vous trouverez seront celles d'un impressionnant oiseau géant attaquant avec férocité de petits mammifères. Et pour cause. Depuis la découverte, à la fin du XIX^e siècle et au début du XX^e, de plusieurs ossements de cette espèce disparue du début du Tertiaire, les reconstructions de l'animal le présentaient tel une grue terrifiante, un rapace terrestre maître du monde au Paléocène qui aurait décliné avec l'avènement des mammifères carnivores, comme l'écrivait encore en 1971 le paléontologue finlandais Björn Kurtén dans son livre *The Age of Mammals*.

Certes, le scénario de l'oiseau carnivore est tentant, d'autant qu'il s'inscrit bien dans l'histoire de la faune terrestre. Jusqu'à la fin du Crétacé en effet, les plus grands animaux terrestres étaient les dinosaures. Ils avaient des tailles et des modes de vie très variés leur permettant de se répartir dans les différentes niches écologiques. Mais durant la crise Crétacé-Tertiaire, il y a 66 millions d'années, ces dinosaures se sont éteints, laissant libres de très nombreuses niches écologiques continentales. Ainsi, juste après l'extinction des dinosaures, au

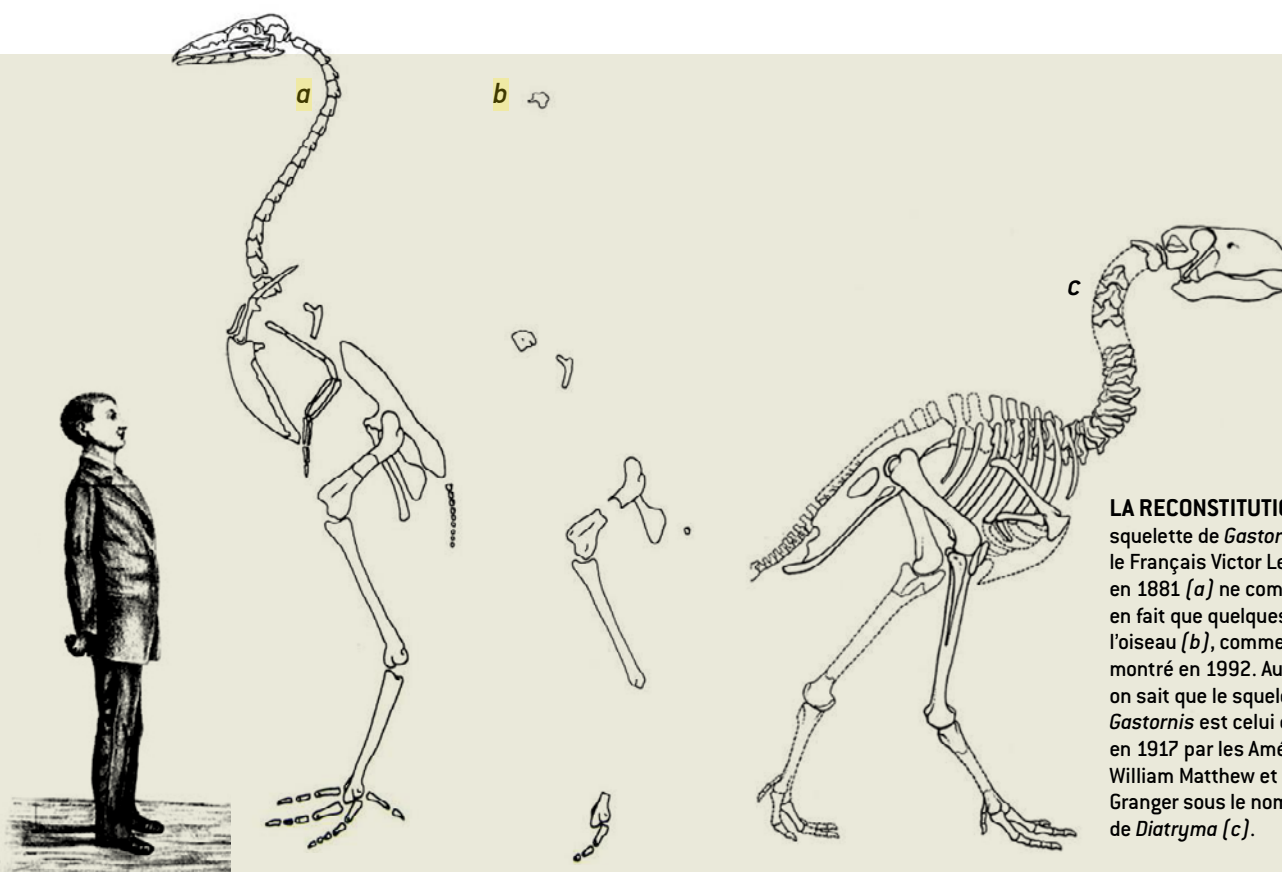
L'ESSENTIEL

- En 1855, un os d'oiseau géant du Tertiaire fut découvert près de Meudon, puis d'autres furent trouvés en Europe, en Asie et aux États-Unis.
- Jusqu'en 2014, la majorité des reconstitutions de l'oiseau *Gastornis* l'ont présenté comme un terrible prédateur.
- De nouvelles études sur ses ossements montrent qu'il s'agissait plutôt d'un herbivore se déplaçant lentement.
- Cette histoire témoigne de l'impact des reconstitutions et de l'imaginaire collectif sur les interprétations paléontologiques.

début du Tertiaire, le seul animal terrestre de grande taille était *Gastornis*. Alors que les mammifères ne dépassaient pas la taille d'un gros chien, ces oiseaux mesuraient environ 1,5 mètre de haut. Apparus en Europe au Paléocène, il y a quelque 60 millions d'années, ces géants s'éteignirent au milieu de l'Éocène, il y a environ 42 millions d'années, après avoir colonisé l'Amérique du Nord et l'Asie.

En quoi ces oiseaux ont-ils été les successeurs des dinosaures dans les environnements terrestres post-crise ? Quelle niche écologique occupaient-ils ? Comment vivaient-ils ? Qu'il s'agisse de leur régime alimentaire, de leur mode de locomotion ou de leur stratégie de reproduction, ces questions sont longtemps restées sans réponse, d'autant que l'histoire de la découverte de *Gastornis* a eu plusieurs rebondissements qui ont brouillé les pistes. Mais de nouvelles études viennent de résoudre une partie du mystère grâce à des approches pluridisciplinaires combinant paléontologie classique et nouvelles technologies. *Gastornis* serait plus proche du placide takahé de Nouvelle-Zélande que d'un terrible prédateur.

Le premier fossile de *Gastornis* fut découvert en 1855 dans le conglomérat



LA RECONSTITUTION du squelette de *Gastornis*, par le Français Victor Lemoine en 1881 [a] ne comportait en fait que quelques os de l'oiseau [b], comme cela fut montré en 1992. Aujourd'hui, on sait que le squelette de *Gastornis* est celui décrit en 1917 par les Américains William Matthew et Walter Granger sous le nom de *Diatryma* [c].

a, b, c : clichés des auteurs