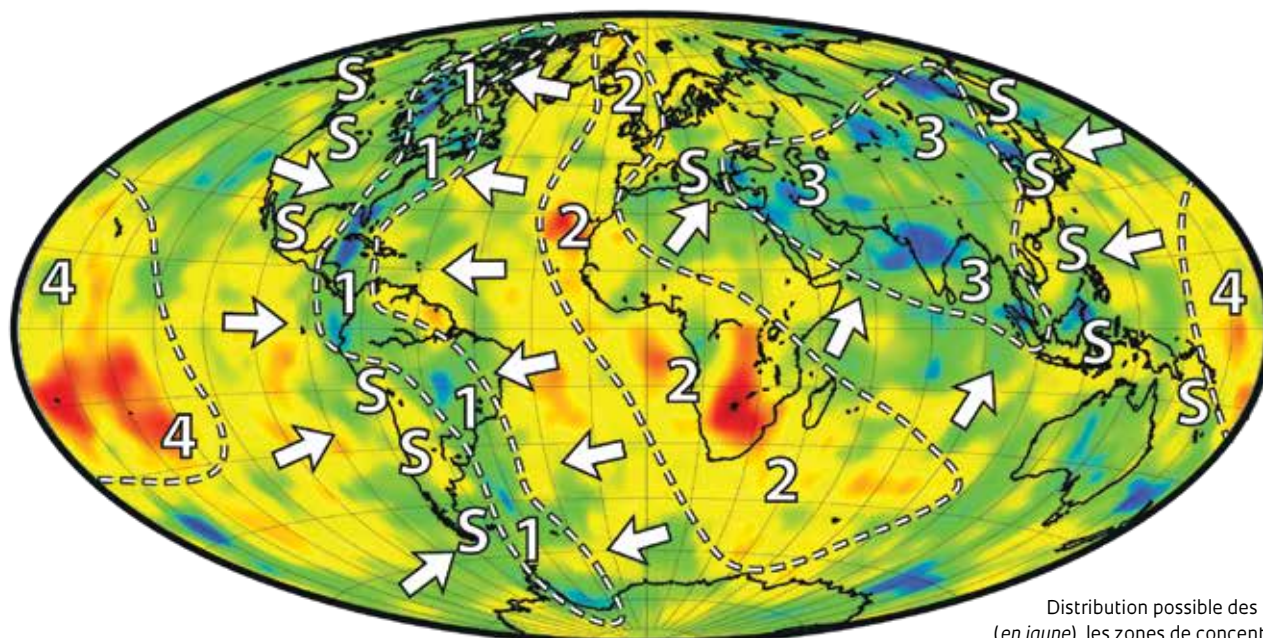


Vestiges de la Terre primitive

Les profondeurs de la planète abriteraient des blocs rigides de plusieurs milliers de kilomètres de long

Carlos Fioravanti

PUBLIÉ EN MAI 2017



Distribution possible des *beams* (en jaune), les zones de concentration des panaches (en rouge et les régions 2 et 4) et de plongée des plaques tectoniques (en bleu et les régions 1 et 3). Les flèches indiquent le sens de déplacement du manteau ; S sont les plaques à l'arrêt

L'intérieur de la terre abriterait d'immenses blocs rocheux plus denses et plus rigides que les matériaux qui les entourent et aideraient à stabiliser les mouvements du manteau, couche située entre la surface et le noyau et qui représente 80 % du volume de la planète. Les anciennes structures du manteau enrichies en bridgmanite et appelées *beams*, sigle en anglais, auraient des milliers de kilomètres de long, se trouveraient à au moins mille kilomètres de profondeur et flotteraient dans le manteau inférieur, se rapprochant de la limite du noyau terrestre, à environ 2 900 km de la surface.

Une équipe composée de chercheurs de l'Institut de Technologie de Tokyo, de l'École Polytechnique de Zurich et de la physicienne brésilienne Renata Wentzcovitch, de l'Université Columbia, aux États-Unis, a émis cette nouvelle hypothèse sur le fonctionnement et la composition du manteau inférieur dans une étude publiée dans la revue *Nature Geoscience* le 27 février. Cette approche, bien qu'encore incomplète, explique certains phénomènes comme la montée de matériaux rocheux moins denses du manteau vers la surface et la trajectoire de la plongée des bords des plaques tectoniques, formées

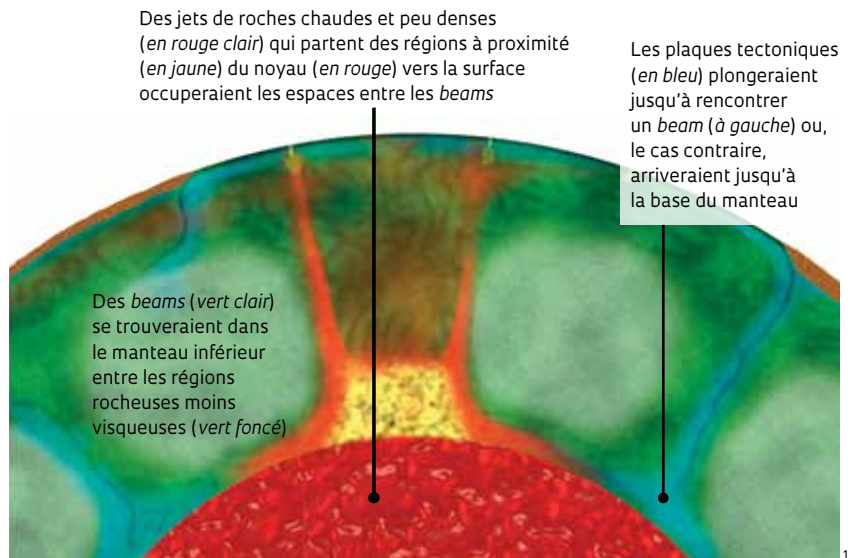
par la croûte et par la partie supérieure du manteau, à l'intérieur de la planète. Ces deux phénomènes pourraient avoir lieu dans des régions moins visqueuses entre les *beams*.

Les chercheurs ont émis cette hypothèse en se basant sur deux évidences sur la composition du manteau. La première est obtenue de manière indirecte par des modèles tomographiques qui mesurent la densité à l'intérieur de la planète à partir des variations de la vitesse des ondes sismiques. Ces ondes sismiques, provoquées par des tremblements de terre, parcourent l'intérieur de la planète à des vitesses qui dépendent de la densité et de la température du matériau qu'elles traversent.

La deuxième évidence est directe. Elle concerne les météorites primitives appelées chondrites et riches en magnésium et en silicium. Ces roches, bien que provenant de l'espace, sont constituées du même matériau qui a formé l'intérieur de la terre il y a 4,5 milliards d'années. Ce type de météorites indique que la composition du manteau inférieur pourrait être différente de celle du manteau supérieur, couche la plus proche de la surface. La couche la plus externe du manteau commence juste en dessous de la croûte terrestre et atteint 660 km de profondeur. Elle est constituée de roches dont la température augmente progressivement avec la profondeur pour atteindre 1 600 degrés Celsius (°C) à la limite du manteau inférieur où les roches

Découvertes profondes

Les *beams* expliqueraient les mouvements des plaques tectoniques vers le noyau terrestre



sont moins denses et où la température passe de 1 600 °C à 3700 °C à la limite du noyau terrestre.

Les chercheurs ont découvert que ces indications sur la composition de l'intérieur de la terre ne concordaient pas avec une hypothèse émise dans les années 60, selon laquelle la composition du manteau supérieur et inférieur devrait être identique. « La proportion entre la quantité de magnésium et de silicium de la Terre devrait être la même que celle du soleil car les deux se sont formés à partir de la même nébuleuse », suppose Renata Wentzcovitch. « Le manteau supérieur contient 25 % de plus de magnésium que de silicium sous la forme de silicate de magnésium (Mg_2SiO_3). Si cette proportion se maintient dans le manteau inférieur, il y a moins de silicium sur Terre que les estimations prévues en se basant sur la composition du soleil et des chondrites ».

Les chercheurs du groupe, partant de l'hypothèse que le manteau inférieur devrait avoir plus de silicium, ont augmenté la proportion de cet élément chimique et ont réalisé des simulations informatiques en deux dimensions sur les mouvements possibles de cette couche plus profonde de la Terre. Les simulations montrent qu'une bonne partie du manteau formé juste après la naissance de la

planète serait toujours là sous la forme d'un minéral appelé pérovskite ou bridgmanite ($MgSiO_3$), sans se mélanger avec la région voisine formée de roches ayant une viscosité 20 à 30 fois inférieure. Ce matériel plus visqueux, les *beams*, pourrait donc correspondre aux vestiges des premiers temps de la planète. « Nos simulations ont montré que ces blocs rigides ne se sont pas dilués au cours de l'évolution de la Terre », explique la chercheuse qui a étudié les possibles processus de formation et de transformation de la bridgmanite à l'intérieur de la planète. « Le silicium qui semble manquer doit être caché dans le manteau inférieur ».

« Nous ne connaissons pas la quantité exacte de *beams*, mais il ne devrait pas y en avoir plus de trois ou quatre », affirme Renata Wentzcovitch. Notre prochain travail sera de les délimiter avec précision à travers une analyse détaillée de la variation de la vitesse des ondes sismiques ». Leur existence est difficile à démontrer. Un groupe international de scientifiques a annoncé au mois d'avril qu'en 2030 ils seront probablement les premiers à perforer le manteau, avec le navire Chikyu, qui fore jusqu'à 11 km de profondeur, mais encore à mille km de l'endroit où les blocs riches en silicium pourraient se trouver.

Des météorites de type chondrite, comme celle-ci, découverte au nord-ouest de l'Afrique, permettent de mieux comprendre la composition du manteau inférieur de la Terre





Une équipe internationale de scientifiques a l'intention d'utiliser ce navire, le Chikyu, pour perforer la croûte terrestre et arriver au manteau en 2030

On suppose maintenant que les plaques tectoniques pourraient plonger dans la région moins visqueuse entre les *beams* et arriver au fond du manteau. Certaines plaques s'arrêtent cependant à environ mille km de profondeur, probablement bloquées par un *beam*, qui stopperaient leur plongée. Dans l'autre sens, le matériau du manteau profond pourrait également monter à la surface par les régions situées entre les blocs rocheux.

Cette étude révèle également que les *beams* pourraient définir l'origine et la trajectoire des panaches, nom donné aux jets de roche chaude et peu denses de 100 à 200 km de diamètre qui partent de la région située à la limite du manteau et du noyau vers la surface pour donner naissance aux régions volcaniques comme les archipels de Fernando de Noronha, Hawaï ou les Galapagos. Partant de cette hypothèse, les chercheurs ont créé une carte qui indique une probable répartition des *beams* et des régions riches en panaches qui se concentrent principalement dans le sud de l'Afrique et dans la région centrale de l'océan Pacifique.

LIMITES ET INTERACTIONS

Dans un commentaire publié dans le même numéro de la revue *Nature Geoscience*, le géophysicien Frédéric Deschamps, chercheur à l'Institut

Le prochain travail sera de délimiter les *beams* à travers la variation de la vitesse des ondes sismiques

des Sciences de la Terre de l'Académie Chinoise, à Taiwan, indique que l'hypothèse des *beams* pourrait expliquer le mouvement des plaques tectoniques dans les régions du manteau moins visqueuses et aiderait à localiser les régions volcaniques au-dessus des panaches. Il pense cependant que le modèle en deux dimensions n'est pas assez élaboré pour décrire entièrement l'hétérogénéité spatiale des mesures de la vitesse des ondes sismiques à des profondeurs supérieures à 2 500 km. « Des simulations

en trois dimensions seraient nécessaires pour mieux comprendre la situation », suggère-t-il.

« La simulation présentée dans la revue *Nature Geoscience* est une étape de plus dans la compréhension du manteau inférieur », commente le géophysicien Eder Molina, professeur à l'Institut d'Astronomie, Géophysique et Sciences Atmosphériques de l'Université de São Paulo (IAG-USP). « La modélisation n'explique pas certains registres tomographiques et ceci est peut-être dû aux limitations du modèle en deux dimensions, à une erreur dans le modèle, ou à la méthode de détection des ondes sismiques qui n'est pas infaillible ».

« Le modèle géodynamique proposé est le plus simple possible pour pouvoir déboucher sur des résultats plausibles. Il y a cependant d'autres éléments chimiques, comme le fer, l'hydrogène et l'oxygène qui peuvent modifier la viscosité des roches du manteau, même en petites proportions », déclare le physicien João Francisco Justo Filho, professeur à l'École Polytechnique de l'USP qui collabore avec Renata Wentzcovitch depuis 2007, mais qui n'a pas participé à l'étude publiée dans la revue *Nature Geoscience*. Dans une étude publiée en 2013 dans la revue *Physical Review Letters*, Wentzcovitch, Justo Filho et Zhongqing Wu, de l'Université du Minnesota, aux États-Unis, ont démontré que l'augmentation de la pression dans les couches les plus profondes de la planète pourrait modifier le magnétisme du fer, augmenter la viscosité des roches avec un autre minéral outre la bridgmanite, le ferropériclase, et favoriser la formation de *beams*. ■

Articles scientifiques

BALLMER, M. D. *et al.* Persistence of strong silica-enriched domains in the Earth's lower mantle. *Nature Geoscience*, v. 10, p. 236-40, 2017.

WU, Z. *et al.* Elastic anomalies in a spin-crossover system: Ferropériclase at lower mantle conditions. *Physical Review Letters*, v. 110, p. 228501, 2013.