

une circulation profonde et une tectonique de surface, les forces aux plus grands effets – les forces dominantes – agissent dans les 100 premiers kilomètres sous la surface. Ce sont les zones de subduction qui sont associées à celles-ci. En ces endroits, la circulation mantellique sous les plaques en subduction ne suit pas les mouvements de la surface.

Dans les zones continentales, en revanche, tout particulièrement sous les montagnes en formation, ces forces dominantes agissent sur une profondeur de 100 à 500 kilomètres, ce qui nous prouve que les mouvements au sein du manteau peuvent entraîner la surface. Dans ce cas, les vitesses tectoniques sont plus faibles que lorsque les forces sont peu profondes, et atteignent des valeurs d'environ 1 centimètre plutôt que de 10 centimètres par an. Les forces plus profondes dominent lorsque les continents se rejoignent, formant finalement des chaînes de montagnes par collision. Dans l'histoire de la Terre, cela correspond à la période de formation de la Pangée, il y a 300 millions d'années, et peut-être à des agrégations continentales plus récentes. Aujourd'hui, l'Afrique est entrée en collision avec l'Eurasie, l'Inde l'a fait il y a quelque 50 millions d'années et, au cours du dernier million d'années, l'Australie s'est approchée de l'Indonésie.

Nous pouvions aussi étudier le rôle des panaches mantelliques, ces courants ascensionnels de roches chaudes s'élevant de la base du manteau jusqu'à celle des plaques, où ils induisent une activité volcanique: un point chaud. La formation de Hawaï et de l'Islande, par exemple, résulte de ce phénomène, et les géophysiciens s'interrogent pour savoir si l'activité des panaches sépare les continents ou s'il s'agit d'autres phénomènes. Nos modèles suggèrent que les panaches ascendants ne sont pas la cause première de la fragmentation des continents: ils chauffent et ainsi ramollissent les roches par en dessous, ce qui facilite leur déformation. Dès lors, lorsque les plaques continentales sont sous tension, des fractures, futures limites de plaque, tendent à s'y propager. Au cours des 200 derniers millions d'années, les panaches situés aujourd'hui sous l'Islande, Tristan da Cunha ou encore sous l'île norvégienne de Bouvet ont contribué à découper le dernier supercontinent – la Pangée – en plusieurs morceaux.

Attendre plusieurs mois que nos calculs aient produit des évolutions planétaires numériques en valait la peine, car la combinaison de nos modèles – grands ou petits – finit par nous donner une vue d'ensemble des forces à l'origine des mouvements tectoniques actuels et des cycles d'agrégation et de dispersion des continents qui se sont succédé.

Nous aimerions maintenant étudier les failles transformantes, ces limites sans subduction ni dorsale, où les plaques coulissent

horizontalement les unes par rapport aux autres. Dans nos modélisations, ces frontières actives sont diffuses et larges, mais elles sont nettes dans la réalité du terrain, et nous ignorons ce qui induit leur formation et leur évolution. Nous aimerions aussi comprendre comment les montagnes se forment et comment la tectonique des plaques a évolué depuis l'Archéen (–4 000 à –2 500 millions d'années), la plus longue période géologique de la Terre. Enfin, nous aimerions aussi étudier comment les changements induits par la tectonique des plaques influencent le champ magnétique terrestre et le climat de la Terre. Des questions qui ont toujours été importantes, de sorte que maintenant que nous disposons d'une simulation de la convection mantellique globale, nous pouvons essayer de les élucider.

MODÉLISER D'AUTRES MONDES

Comme la théorie de la tectonique des plaques, nos simulations ne sont pas parfaites. Elles ne rendent par exemple pas compte de l'érosion en surface, des failles cassantes de la croûte supérieure, de la migration du magma ou de l'élasticité des roches. Toutefois, elles représentent un outil puissant pour élucider la physique qui sous-tend la tectonique des plaques. Pour les mettre au point, nous avons profité du travail pionnier d'autres équipes, qui nous a permis de simuler l'évolution d'une planète virtuelle entière d'une façon reproduisant les fonctionnements de base de la tectonique et de la convection mantellique. Mon objectif n'a jamais été de produire une planète numérique, mais de construire des outils et des données pour relier les observations de surface aux phénomènes intérieurs à la Terre. La physique sous-tendant nos modèles ne se limite pas à la Terre. Elle peut aussi servir à étudier d'autres planètes, ce qui permettrait d'étudier les relations entre les intérieurs de Mercure, de Vénus et de Mars et leurs surfaces observables.

Cette idée est d'autant plus séduisante que la mission *InSight*, de la Nasa, effectuée désormais des mesures sismiques à la surface de Mars, ce qui nous donne des perspectives sur le fonctionnement de son manteau. Combinée avec les données prélevées sur la Planète rouge, la physique sous-tendant nos simulations pourrait aider les planétologues à élucider des questions essentielles, comme savoir si Mars a eu une tectonique des plaques au début de son histoire. Nous espérons qu'un jour ce genre de simulation aidera les planétologues à comprendre pourquoi les quatre premières planètes de notre Système solaire sont aussi différentes alors qu'elles sont composées de matériaux comparables. Et nous espérons aussi que ces simulations qui expliquent comment les lois de la physique ont façonné notre planète nous montreront aussi comment elles sculptent d'autres mondes. ■

Cet article est traduit et adapté de celui publié dans la revue *American Scientist* (mai-juin 2021) sous le titre « The Chicken, the Egg, and Plate Tectonics », avec son aimable autorisation.

BIBLIOGRAPHIE

M. Arnould et al., **Plate tectonics and mantle controls on plume dynamics**, *Earth and Planetary Science Letters*, 2020.

N. Coltice, **What drives tectonic plates ?**, *Science Advances*, 2019.

M. Arnould et al., **On the scales of dynamic topography in whole-mantle convection models**, *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 2018.

N. Coltice et al., **A mantle convection perspective on global tectonics**, *Earth-Science Reviews*, 2017.

C. Mallard et al., **Subduction controls the distribution and fragmentation of Earth's tectonic plates**, *Nature*, 2016.

C. P. Conrad, **How mantle slabs drive plate tectonics**, *Science*, 2002.

D. Bercovici et al., **The relationship between mantle dynamics and plate tectonics : A primer**, dans M. Richards et al. (éd.), **The History and Dynamics of Global Plate Motions**, *Geophysical Monograph, American Geophysical Union*, 2000.

D. Forsyth, **On the relative importance of the driving forces of plate motion**, *Geophysical Journal International*, 1975.