

Avant ma collaboration avec Paul Tackley et Tobias Rolf sur les grandes simulations en 3D, j'avais étudié la structure chimique du manteau terrestre. Des décennies durant, pour les géochimistes, le manteau était stratifié en un manteau supérieur et un manteau inférieur distinct chimiquement. Alors que pour les géophysiciens, leurs roches se mouvaient dans l'ensemble du manteau. La façon dont des masses importantes ou des domaines chimiques persistent au sein d'un système convectif n'avait donc rien de clair. Pour mieux comprendre, j'ai entrepris de rapprocher les observations géophysiques des observations chimiques faites sur les dorsales médio-océaniques et sur des points chauds, comme Hawaii, les îles Galápagos. Ces recherches ont abouti à un compromis: non, le manteau terrestre n'est pas stratifié en deux coquilles concentriques, mais il contient d'immenses domaines se distinguant chimiquement, car capables de résister au mélange des milliards d'années durant.

LA STRUCTURE CHIMIQUE DU MANTEAU

Alors que je travaillais sur la structure chimique du manteau, j'ai pris conscience que la genèse des continents constituait le plus gros problème à résoudre. La formation de croûte continentale aspire en effet certains éléments chimiques, ce qui modifie la composition du manteau sous-jacent. Les continents jouent en outre un rôle au sein du système convectif du manteau et contribuent au refroidissement à long terme de la planète. Collaborant avec des pétrologues, j'avais échafaudé des modèles à continents dérivants suggérant que la formation d'un supercontinent chauffe les roches sous-jacentes. J'avais besoin de prendre en compte l'influence de la convection sur les plaques tectoniques dans ces travaux. C'est ce qui m'a amené à contacter Paul Tackley.

Lors de notre rencontre, j'avais senti que Paul Tackley et Tobias Rolf ne prenaient pas toute la mesure de la puissance de leurs modèles 3D. Allongé dans le lit de cette chambre d'hôtel de Zurich en 2010, j'avais compris que nous disposions de la puissance de calcul et des algorithmes nécessaires pour modéliser enfin les profondeurs de la Terre de la même manière que les climatologues et les météorologues modélisent les courants atmosphériques et les fronts de tempête. Je voulais être en mesure de saisir l'intérieur de la Terre au même niveau de détail et de complexité. Les limites fondamentales de la tectonique des plaques proviennent du fait que l'on suppose que les plaques qui interagissent à la surface de la Terre sont parfaitement rigides et que l'on néglige les mécanismes physiques en jeu. Les modèles dynamiques utilisés en climatologie et en météorologie décrivent des interfaces

plus souples, plus «fluides» entre les grands phénomènes atmosphériques, comme les cyclones, les anticyclones, etc., et ils sont construits pour prédire l'évolution des conditions météorologiques sur plusieurs jours. Ces prévisions résultent d'observations effectuées en divers lieux et moments et de modèles physiques capables d'extrapoler les conditions à venir. La même chose est possible concernant des plaques tectoniques, mais il s'agit cette fois d'extrapoler des processus beaucoup plus lents et vers le passé plutôt que vers l'avenir. Il nous fallait créer un modèle prédictif de la tectonique des plaques et l'exploiter dans une simulation assez bien faite pour pouvoir y intégrer les observations géologiques et géophysiques. Cela seulement pouvait nous rendre capables de reconstruire l'évolution de notre vaste planète au cours des dernières dizaines ou centaines de millions d'années.

Toutefois, même si j'avais désormais un objectif clair en tête, sa réalisation allait demander des années de travail. Nous devions d'abord repousser les limites des modèles de Paul Tackley et de Tobias Rolf afin qu'ils deviennent capables de rendre compte de l'essentiel de la tectonique des plaques. Claire Mallard, une doctorante de mon équipe, a commencé à travailler sur eux, et elle a compris ce qu'il faudrait faire pour obtenir des planètes



Nous voulions construire le modèle complet d'une planète tellurique comparable à la Terre



virtuelles pavées d'une façon comparable à la Terre. Grâce à sa série de modèles, nous avons compris que ce sont les mouvements profonds du manteau qui forgent les grandes plaques, tandis que la résistance des plaques près des zones de subduction débite de gros blocs crustaux en une série d'«éclats». Ces deux résultats dépendent d'une seule propriété physique: la résistance des roches à proximité de la surface. Lorsque les roches ont une résistance élevée, la subduction est peu fréquente et les plaques restent grandes plutôt que de se fragmenter en morceaux. Si les roches sont beaucoup plus tendres, les grandes plaques ne peuvent rester intactes, mais se morcellent, ce qui produit les blocs crustaux plus petits dispersés sur Terre