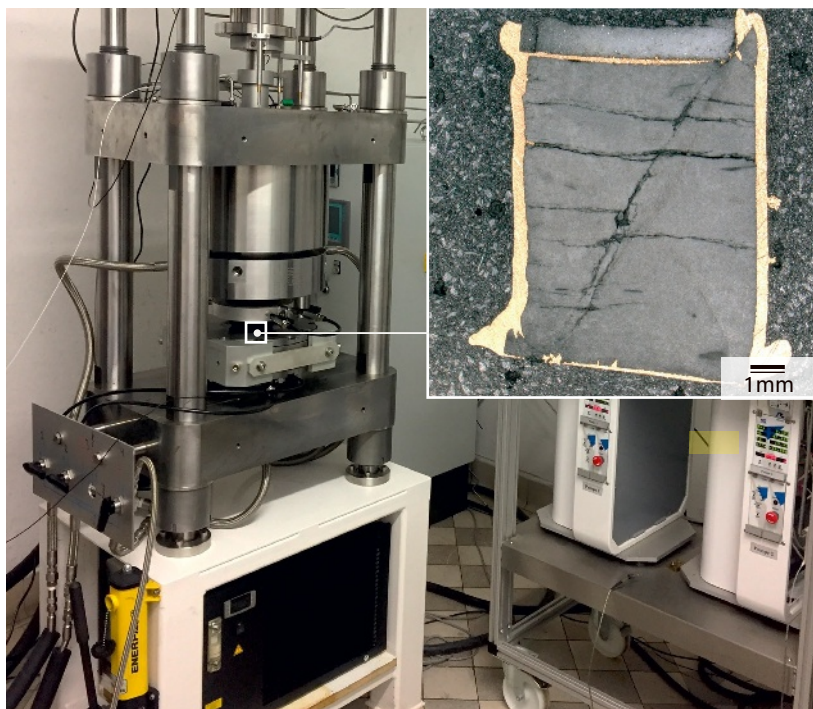


que nous évoquions plus haut. La répartition des tailles de plaques à la surface de la Terre nous apprend que les forces exercées par le manteau doivent être de l'ordre de la résistance des plaques, et que ce sont ces deux phénomènes qui déterminent comment les planchers océaniques se déplacent et les continents dérivent. Le travail de Claire Mallard nous a fourni des indications précises sur les paramètres jouant un rôle crucial dans le modèle.

Maëlis Arnould, une autre doctorante de mon équipe, et moi-même avons ensuite poussé le travail afin de construire le modèle complet d'une planète tellurique comparable à la Terre depuis la croûte jusqu'à la surface du noyau. Pour y parvenir, nous avons optimisé la réalisation des calculs afin que les ordinateurs puissent résoudre plus vite les équations sans changer la qualité des solutions. Des astuces étaient nécessaires, car le calcul de l'évolution en trois dimensions d'une planète entière prend des mois... Il n'était donc guère possible de multiplier les essais à l'aveugle... J'ai en particulier passé un été à faire tourner le supercalculateur une semaine avant de l'arrêter pour optimiser les paramètres des modèles influençant les calculs, avant de recommencer encore et encore. Cette campagne d'essais nous a permis d'obtenir des simulations de l'évolution planétaire au bout de plusieurs mois au lieu d'années. Pendant que petit à petit je mettais au point le fonctionnement calculatoire de notre grand modèle, Maëlis Arnould essayait de comprendre à l'aide de modèles 2D comment les courants de convection façonnent la topographie observée. Ce travail nous a indiqué comment interpréter divers phénomènes, comme l'élévation du plancher océanique ou les mouvements verticaux de portions de marges continentales mesurant de 500 à 10 000 kilomètres de long.

Dans nos modèles, la loi de viscosité, qui décrit la façon dont les roches «s'écoulent» en se déformant, joue un rôle central. Nous l'avons formulée d'une façon telle qu'elle varie avec la température puisque les roches froides sont rigides, tandis que les roches chaudes sont molles... Nous tenons aussi compte de la résistance des roches aux contraintes cisailantes : une fois un certain seuil atteint, leur viscosité diminue et elles se ramollissent. Pour ressembler à ce qui existe sur Terre, la viscosité moyenne du manteau doit être fixée à un niveau permettant d'enclencher une convection assez vigoureuse. Il nous fallait aussi appliquer ces modélisations à travers tout le globe au sein d'un maillage assez dense pour produire des images détaillées des plaques et de leurs interactions : notre simulation procède de calculs effectués dans 50 millions de cellules rocheuses, et nous y avons incorporé un milliard de «traceurs», sortes de petites «billes» capables de transporter les caractéristiques des roches en circulation.



La « presse de Griggs » du laboratoire de géologie de l'ENS à Paris sert à l'étude du comportement des roches dans les conditions régnant dans le manteau terrestre supérieur, soit sous des pressions pouvant atteindre 4 000 atmosphères et des températures supérieures à 1 000 °C. Visibles en bas à droite, des pompes hydrauliques actionnent deux pistons imbriqués qui produisent la pression et la force axiale déformant l'échantillon placé sous les pistons (carré blanc). En haut à droite, la coupe d'un échantillon dans sa capsule en or révèle dans l'objectif du microscope l'état de la roche après sa déformation : ses moitiés sont décalées et séparées par une faille.

Un seul «instantané» dans cette simulation – un état de la Terre à un moment donné – représente plus de 20 gigaoctets de données. L'un des principaux défis de ce travail de simulation est que la convection et les plaques constituent un système complexe, au sein duquel la tectonique – en d'autres termes l'apparition spontanée d'un pavage – est une propriété émergente résultant des nombreuses interactions qui se produisent dans le système. Ce comportement d'ensemble est imprévisible, un peu comme celui d'une foule ne résulte pas de façon simple de ceux des individus. Il en va de même dans notre simulation : même si nous avons choisi à bon escient les paramètres du modèle et commencé nos calculs, nous ne pouvions savoir si une tectonique semblable à celle de la Terre, avec ses cycles de subduction et ses formations intermittentes de supercontinents, émergerait. Les caractéristiques de notre modèle sont entrelacées de façon si intime que la simulation doit fonctionner des mois pour que nous puissions évaluer l'intérêt des structures émergentes, sachant que nous avons eu besoin de plusieurs essais afin de saisir comment nos hypothèses de travail influençaient le résultat des calculs. Dès lors, quand la simulation nous a semblé enfin prête à être lancée, j'ai su que, étant donné que nous devrions