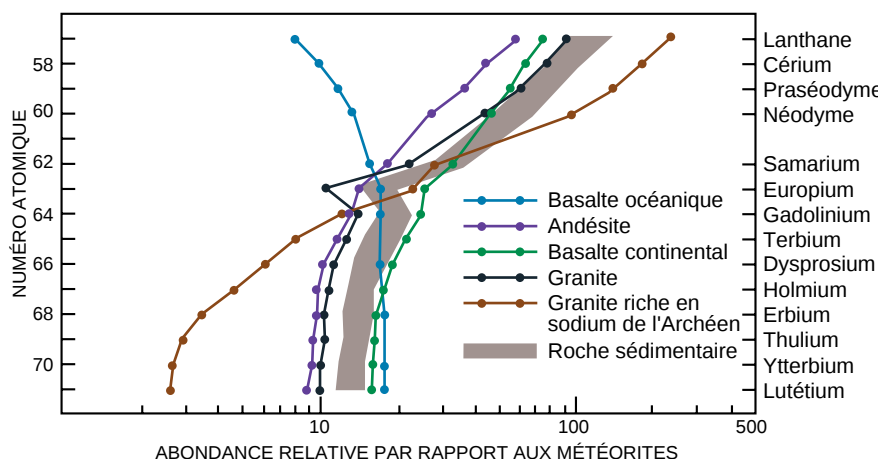




2. LES ÉLÉMENTS DE LA FAMILLE DES TERRES RARES permettent de caractériser les roches qui composent la croûte terrestre. Bien que la plupart des roches ignées (celles qui se solidifient à partir de magma) aient des abondances relatives en terres rares très variables (lignes colorées), les caractéristiques de la plupart des roches sédimentaires se rejoignent dans une étroite bande (en brun) : les roches sédimentaires indiquent la composition moyenne de la croûte continentale supérieure.

teau rocheux de la planète, ce qui provoque généralement des éruptions de laves basaltiques. Les surfaces de Mars, de Vénus, les fonds des océans terrestres et les mers lunaires sont tapissés de ces croûtes secondaires. Sur les satellites des planètes les plus éloignées du Soleil, les déformations internes dues aux forces de marées (l'attraction exerce sur la partie solide des corps célestes les mêmes déformations que la Lune sur les océans terrestres) sont d'autres sources d'énergie qui contribuent à la fonte des manteaux planétaires et à la création de croûte secondaire.

En plus de ces deux types courants, une troisième sorte de croûte se forme lorsque l'activité tectonique recycle la surface de la planète dans les profondeurs du manteau. Analogue à une distillation continue, le volcanisme produit alors un magma qui est composé essentiellement de roches granitiques très différentes du basalte. Ce mécanisme de formation par recyclage n'est possible que sur une planète possédant une activité tectonique ; la Terre en est l'unique exemple connu.

Malgré le petit nombre de corps célestes où l'on étudie la croûte, des lois se dégagent. La formation de la croûte primaire, feldspathique, de la Lune (qui représente 12 pour cent de son volume) n'a duré que quelques millions d'années. Les croûtes secondaires évoluent beaucoup plus lentement : les mers de basalte de la Lune se sont formées en plus d'un milliard d'années, alors que leur épaisseur n'est que de quelques centaines de mètres et que leur volume est 1 000 fois infé-

rieur à celui de la planète. Une autre croûte secondaire, le plancher basaltique des océans terrestres (un millième de sa masse), s'est formée durant les 200 derniers millions d'années. Aussi faibles que soient ces vitesses de formation, la création de croûte tertiaire est encore plus lente : il aura fallu plusieurs milliards d'années pour créer les continents terrestres qui représentent un demi pour cent de la masse de notre planète.

Les continents flottent

De nombreux éléments, rares à la surface de la Terre, sont concentrés dans les roches granitiques. Cette présence confère à la croûte continentale une importance sans commune mesure avec la faible proportion massique qu'elle représente. Toutefois, les géologues n'ont pas encore réussi à déterminer la composition globale de la croûte terrestre, information cruciale pour l'étude de son origine et de son évolution : la composition de tous les affleurements rocheux de la croûte continentale ne permet pas de connaître la composition en profondeur. Un programme de forages profonds qui permettraient d'échantillonner la croûte de façon significative se heurterait aux limites actuelles des techniques de forage et coûterait très cher.

Heureusement, l'érosion et la sédimentation pallient ces difficultés. De simples boues solidifiées révèlent une composition moyenne représentative de la croûte continentale affleurante. Ces échantillons ont perdu les composés les

plus solubles dans l'eau, tels le sodium et le calcium, mais les 14 éléments de la famille des terres rares, sont de ceux dont les abondances relatives sont conservées durant le transfert de la croûte aux sédiments. Ces éléments sont des traceurs géochimiques uniques pour connaître la composition de la croûte : comme leurs atomes ne se placent pas bien dans le réseau cristallin des minéraux habituels, ils se concentrent dans les roches granitiques qui cristallisent tardivement. Ces granites forment la plus grande partie de la croûte continentale.

Les abondances relatives des terres rares sont si semblables, dans de nombreux sédiments, que les géochimistes pensent que les précipitations, l'érosion et la sédimentation brassent les produits détritiques de suffisamment de types de roches ignées (c'est-à-dire solidifiées à partir du magma) pour donner un échantillonnage représentatif de l'ensemble de la croûte continentale. Les éléments de la famille des terres rares révèlent ainsi la composition moyenne de la croûte continentale et enregistrent, par leurs variations d'abondance, les circonstances de la formation de la croûte.

Grâce à ces traceurs géochimiques, on a déterminé que la partie supérieure de la croûte continentale avait essentiellement la composition d'une granodiorite, une roche ignée commune composée de quartz clair, de feldspath et parsemée de minéraux sombres. Au-dessus d'une profondeur de 10 à 15 kilomètres dans la croûte continentale, il est probable que la roche la plus abondante possède une composition plus basaltique. Les géochimistes confrontent leurs hypothèses aux mesures de chaleur produite au sein de la croûte par la désintégration des éléments radioactifs, les trois plus abondants étant le potassium, l'uranium et le thorium. On pense que cette région, aussi énigmatique qu'inaccessible, serait constituée de basaltes piégés sous les continents, de densité plus faible.

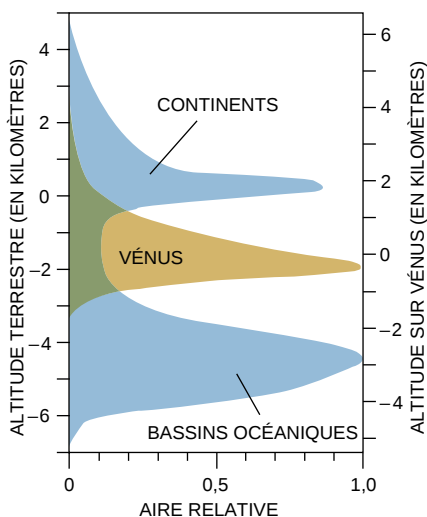
Cette faible densité des roches granitiques explique pourquoi la plus grande partie des continents est émergée. Le niveau moyen de la croûte continentale est à 125 mètres au-dessus du niveau moyen des mers, et 15 pour cent de la surface continentale s'élève à plus de 2 000 mètres d'altitude. En revanche, le plancher océanique est, en moyenne, à 4 000 mètres sous le niveau de la mer, parce que la croûte océanique, composée de basaltes

et recouverte d'une mince couche de sédiments, est beaucoup plus dense.

À la base de la croûte se trouve la discontinuité de Mohorovicic, nommée plus familièrement «Moho». Cette surface profonde marque un changement net de composition. Sous le Moho, les roches sont plus denses et riches en olivine : c'est le manteau terrestre, présent aussi bien sous les océans que sous les continents. La réflexion des ondes sismiques sur le Moho a permis de connaître sa profondeur sur tout le Globe. Ces études ont également montré qu'une partie du manteau pouvait être «ancré» sous les continents. Ces racines sous-continentalles atteignent parfois 400 kilomètres d'épaisseur et se déplacent avec les continents, lors des mouvements tectoniques. Pour ces études, les diamants sont des indices... de prix : certains contiennent des inclusions de petits minéraux qui proviennent apparemment du manteau lié aux continents et d'autres, provenant de régions sous-continentalles profondes, sont vieux de plus de trois milliards d'années, montrant l'antiquité des racines continentalles.

Il y a moins de 40 ans, rien ne laissait penser que la nature des roches des bassins océaniques pouvait être fondamentalement différente de celle des roches continentalles ; les géologues pensaient que les océans étaient simple-

ment des continents effondrés et engloutis, et ils supposaient que la croûte était une sorte d'écume résultant de la cristallisation de la surface de la planète, initialement en fusion. Si la Terre primitive fut en fusion, une croûte granitique primaire, au sens de ce qui était imaginé voici quelques décennies, n'a vraisemblablement jamais existé.



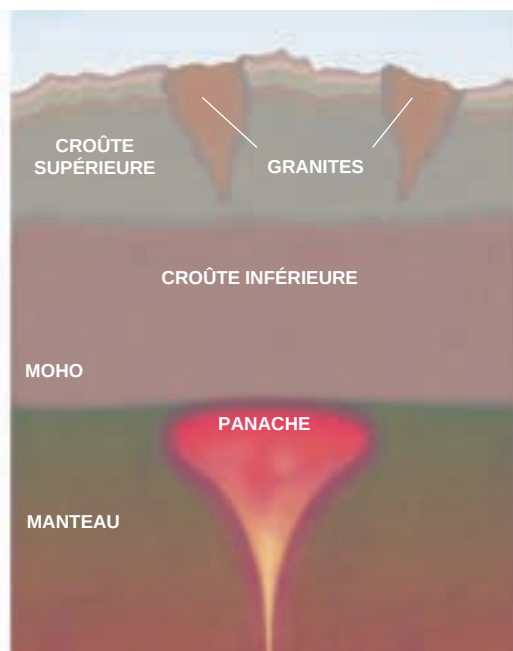
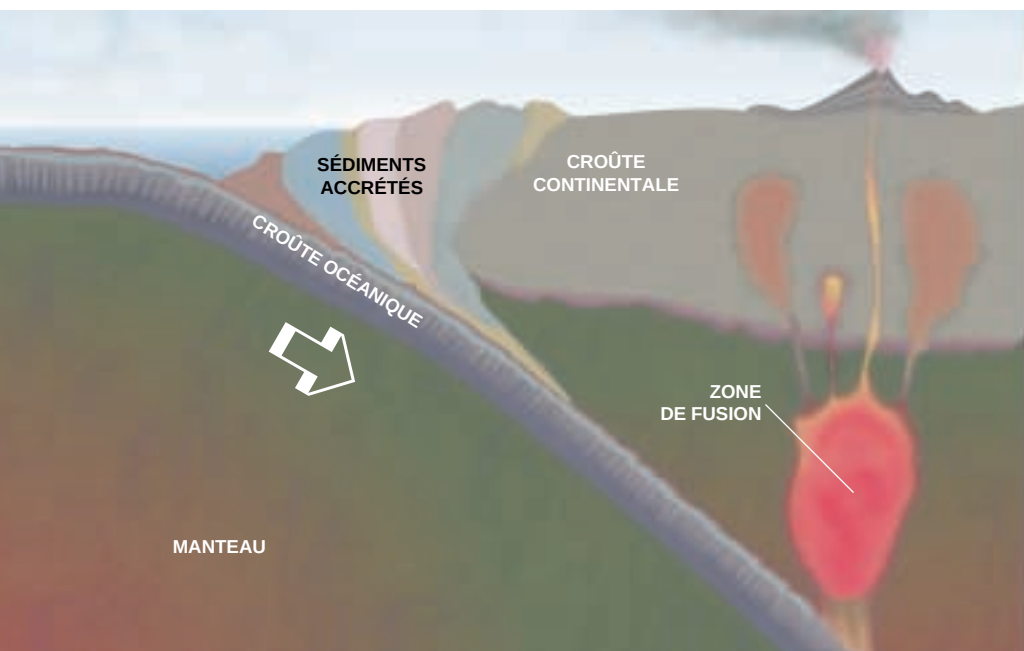
3. LE RELIEF DE LA TERRE (en bleu) est différent de celui de Vénus (en doré). Sur la Terre, les surfaces sont concentrées autour de deux niveaux principaux. En revanche, la plus grande partie de la surface de Vénus est rassemblée autour d'un seul niveau (l'altitude des points de Vénus est donnée par rapport au rayon moyen de la planète).

L'évolution de la diversité géologique

Comment deux types de croûtes aussi différents que la croûte océanique et la croûte continentale sont-ils apparus sur la Terre ? Pour répondre à cette question, il est nécessaire d'examiner la formation du Système solaire. Dans la partie de la nébuleuse solaire primitive qui correspond à l'orbite terrestre, l'activité solaire intense avait balayé les gaz, et seuls des blocs rocheux subsistaient. Ceux-ci, d'abord rassemblés en «planétésimaux», se sont agrégés par accrétion pour former notre planète après 50 à 100 millions d'années.

Puis un planétoïde massif, d'une taille comparable à celle de Mars, s'est écrasé sur la Terre primitive. L'impact fut si violent que le manteau rocheux de la proto-Terre fut projeté en orbite, formant la Lune, pendant que le noyau métallique du planétoïde s'enfonçait dans les profondeurs de la Terre (voir *L'héritage scientifique des missions vers la Lune*, par Jeffrey Taylor, *Pour la Science*, septembre 1994). Cette collision provoqua une fusion complète de la planète. Enfin, comme la jeune Terre se solidifiait en refroidissant, une croûte basaltique primitive apparut.

À ce stade, la surface de la Terre ressemblait probablement à celle de Vénus. Il ne reste toutefois aucune trace de cette



4. LA TECTONIQUE DES PLAQUES entraîne la croûte océanique dans les profondeurs du manteau (à gauche), enfouissant les sédiments gorgés d'eau. À une profondeur d'environ 80 kilomètres, l'échauffement expulse l'eau des sédiments, provoquant la fusion des roches sous-jacentes. Le magma produit monte et forme de la croûte conti-

nentale près de la surface. À mesure que la croûte se forme (à droite), la chaleur dégagée par la décomposition des éléments radioactifs (ou par la montée de panaches de magma basaltique) provoque la fusion partielle à faible profondeur. De tels événements sont à l'origine de la croûte continentale supérieure riche en granite.