

a modifié la circulation des courants océaniques. Ces derniers sont les principaux vecteurs du transfert de chaleur entre les zones équatoriales et les zones polaires (voir *L'origine des glaciations*, par Wallace Broecker, *Pour la*

Science, janvier 1996). Comment les modifications climatiques auraient-elles eu des effets analogues à ceux de la surrection des montagnes ? En raison de l'équilibre isostatique : le refroidissement généralisé aurait accru

l'érosion de nombreuses chaînes de montagnes, mais une érosion supérieure du fond des rivières ou des vallées glaciaires aurait soulevé les massifs montagneux par l'effet de compensation isostatique.

L'Himalaya et les Appalaches

L'Himalaya et les Appalaches sont parmi les chaînes de montagnes les plus imposantes de la Terre. Bien qu'elles résultent toutes deux de la collision de deux blocs continentaux, elles sont très différentes. Leur comparaison fait ressortir les principes clefs de la compréhension actuelle de l'orogénèse.

Courant sur plus de 2 500 kilomètres au travers de l'Inde et du Sud du Tibet, la chaîne de l'Himalaya est la reine des montagnes. La plupart des plus hauts sommets s'y trouvent. Du plateau tibétain jusqu'à la Chine du Sud-Ouest, au Nord du massif, la chaîne de l'Himalaya contient la plus grande masse montagneuse du monde. Il est même possible que cette chaîne soit la plus grande que la Terre ait connue au cours du dernier milliard d'années. Le plateau tibétain, d'autre part, a l'aspect d'une plaine désertique dont l'altitude peut couper le souffle. C'est la plus grande surface terrestre (grande comme la moitié de l'Europe) située à plus de 5 000 mètres d'altitude.



Clyde H. Smith, Peter Arnold, Inc.



Galen Rowell, Mountain Light

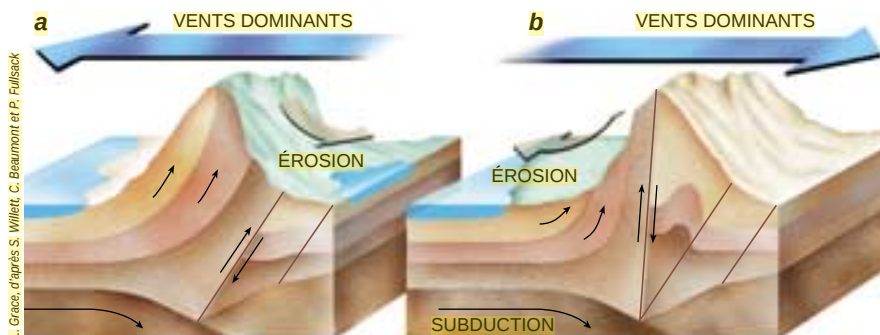
LES APPALACHES ET L'HIMALAYA se sont formés par des processus géologiques similaires mais à 250 millions d'années d'intervalle. Une érosion plus longue a donné aux Appalaches (*en haut*) un aspect moins hérissé que l'Himalaya (*en bas*) qui subit encore un soulèvement tectonique. La chaîne de l'Himalaya est peut-être la plus grande que la Terre ait connu depuis un milliard d'années.

Ce système géologique résulte de la collision, pendant les 50 derniers millions d'années, de la plaque indienne et de la plaque asiatique. La collision, qui écrasa l'Inde et le Tibet, activa une série de failles qui ont encastré une partie du continent indien sous l'Asie. Avant la collision, l'Inde dérivait vers le Nord, à une vitesse de 15 à 20 centimètres par an ; depuis le choc, la vitesse de déplacement n'est plus que de cinq centimètres par an environ. Ainsi l'Inde a-t-elle pénétré de 2 000 kilomètres à l'intérieur de la plaque asiatique, doublant l'épaisseur de la croûte, soulevant la chaîne de l'Himalaya et le plateau tibétain et rejetant vers l'Est et le Sud-Est d'immenses zones de l'Indochine et de l'Est de la Chine.

Lors de la formation de la chaîne de l'Himalaya et du plateau tibétain, plusieurs phénomènes ont interagi. La formation du plateau a apparemment déclenché un bouleversement climatique, il y a environ huit millions d'années, qui a renforcé la mousson, la saison des pluies intenses qui tombent sur la partie Sud de l'Asie. L'intensification de l'érosion due à cette mousson a provoqué, par réaction isostatique, un soulèvement de la chaîne de l'Himalaya, augmentant de plus d'un facteur dix la quantité de sédiments charriés par l'Indus et le Bengale. Pendant ce temps, l'intérieur du plateau tibétain évoluait beaucoup plus lentement, car il était partiellement protégé de la mousson par l'Himalaya et parce que les principales rivières n'y creusaient pas leur lit.

Quoique les Appalaches soient moins spectaculaires que l'Himalaya, elles ont été créées par le même mécanisme tectonique et évoluent aujourd'hui selon le même type d'interactions. La principale différence est l'âge : la chaîne de l'Himalaya a environ 50 millions d'années, alors que la période de plus forte croissance des Appalaches se situe entre 250 et 350 millions d'années.

Géologiquement, la côte Est des États-Unis est aujourd'hui la moins active du continent. Il y a 200 millions d'années, au contraire, c'était une zone orogénique très active. Pendant les centaines de millions d'années précédentes, l'ancêtre de l'océan Atlantique (nommé océan Iapetus) s'était progressivement refermé, en raison d'une subduction sous la côte Est de l'Amérique du Nord. Lors de cette fermeture, au moins trois blocs de terres émergées, probablement des arcs insulaires semblables au Japon actuel, se sont agrégés au continent. Plus tard, l'activité orogénique a culminé avec la collision de l'Afrique et de l'Amérique du Nord. Les premières montagnes des Appalaches qui sont nées de cette collision mesuraient 250 à 300 kilomètres de large et avaient une altitude moyenne comprise entre 3 500 et 4 500 mètres, avec des sommets sans doute d'altitude supérieure. Apparemment l'érosion a arraché 4 500 à 7 500 mètres de matériaux aux Appalaches pendant les 270 derniers millions d'années (les montagnes n'étaient pas plus hautes de 4 500 à 7 500 mètres, car la compensation isostatique a maintenu l'altitude de la montagne à mesure de son érosion). Pendant les 200 derniers millions d'années, alors que l'Amérique du Nord s'éloignait de l'Afrique et que l'océan Atlantique s'ouvrait, d'autres événements ont provoqué quelques épisodes isolés de soulèvement, mais l'érosion a été le mécanisme dominant d'évolution de la chaîne de montagnes.



4. L'OROGRAPHIE est due à la déflexion vers le haut des vents par les reliefs montagneux, ce qui augmente les précipitations sur les sommets et sur les pentes du massif exposées aux vents dominants. Pour une chaîne de montagnes côtière, lorsque les vents dominants soufflent vers le large, en sens opposé à la subduction (a), l'érosion est supérieure sur le versant continental du massif montagneux, ce qui y fait affleurer les roches d'origine les plus profondes et les plus déformées. Lorsque le vent souffle dans le même sens que la subduction (b), l'érosion dénude le versant côtier de la chaîne de montagnes, entraînant les roches les plus profondes vers la surface. Dans ce cas, le versant continental de la chaîne de montagnes reçoit peu de précipitations. C'est pour une telle raison que l'Est de la Sierra Nevada, en Californie, est désertique.

Ainsi apparaît un dilemme, analogue à celui de la poule et de l'œuf, naturel pour un système où s'exercent de nombreuses rétroactions. Les géologues ignorent quel mécanisme a déclenché les changements climatiques et topographiques qui se déroulent depuis 40 millions d'années, mais ils ont compris que de nombreuses interactions peuvent amplifier de petites variations et que la tectonique, le climat et l'érosion ont travaillé ensemble pour façonner les structures géologiques qu'ils étudient aujourd'hui.

L'érosion

La mise en évidence des nombreuses interactions dans la constitution des chaînes de montagnes montre que l'érosion, qui façonne les montagnes en surface, participe également aux mécanismes tectoniques profonds, dans la croûte. En dernier lieu, la force qui limite la croissance des montagnes est la gravité. Ainsi, l'érosion, en diminuant le poids des massifs montagneux, accélère les processus tectoniques sous les montagnes. En un sens, l'érosion «aspire» la croûte de l'intérieur du massif vers

la surface et laisse une empreinte différente sur les faciès des roches et sur les types de déformation crustale à l'intérieur ou sous les chaînes de montagnes.

La nature des roches affleurant à la surface des montagnes dépend en partie du climat local, de la vitesse de l'érosion et de sa nature. De cette manière, l'érosion agit sur la topographie, sur la composition et sur la structure des montagnes. Le métamorphisme des roches (les transformations minéralogiques qui résultent de la compression et de l'échauffement, dans le sous-sol) et l'apparition de minéraux susceptibles de former des roches dépendent des conditions de température et de pression à l'intérieur de la croûte. Des modifications apparemment négligeables du climat ou de l'érosion, comme une variation de vitesse ou de direction du vent, ou encore de petites variations en latitude, peuvent changer l'histoire des températures et modifier la nature des roches créées durant l'évolution des chaînes de montagnes.

Récemment, des modélisations numériques ont testé les effets des vents dominants et de l'orographie sur la répartition des différentes zones