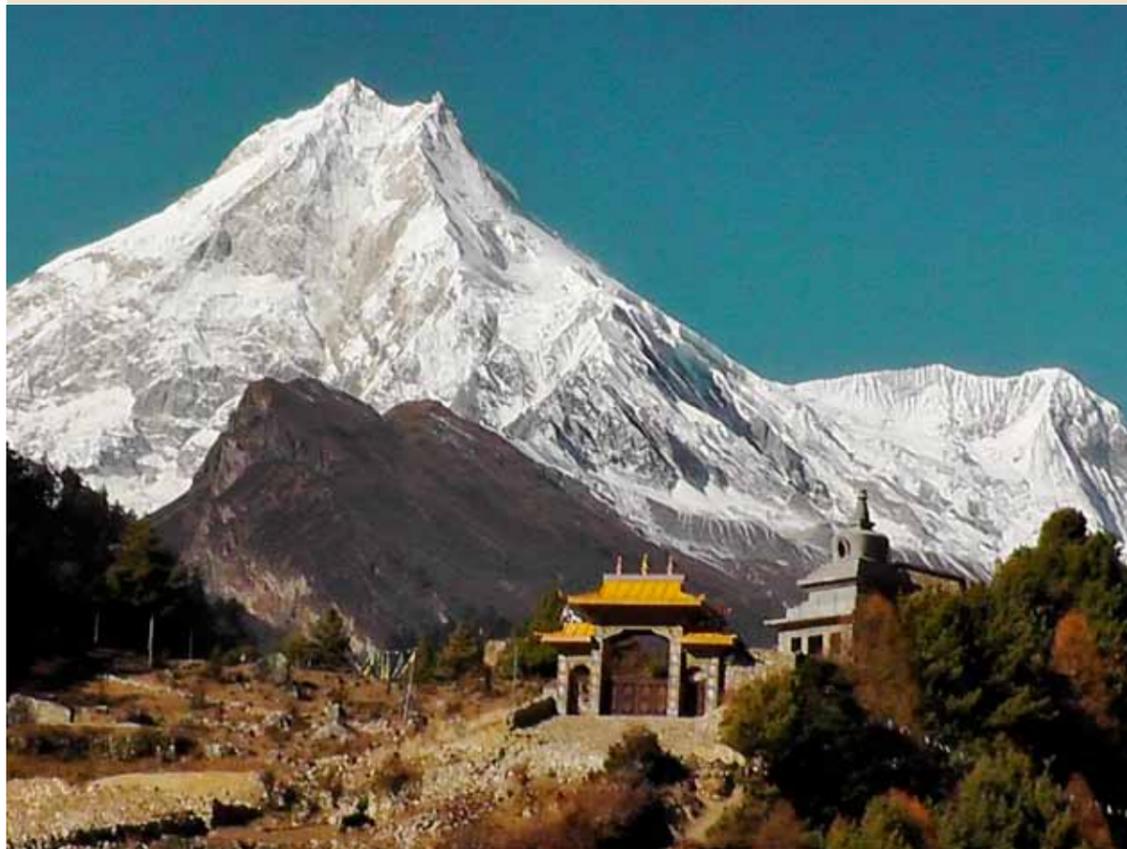


# Un trek géologique autour du Manaslu, en Himalaya central

Le Comité scientifique de la FFCAM a organisé à l'automne 2012 un trek géologique autour du Manaslu. Son but : comprendre la formation de la haute-chaîne himalayenne, en partant d'observations de terrain utilisant des moyens très simples : une paire de jumelles, une loupe pour identifier quelques minéraux dans les roches rencontrées le long du chemin et une boussole pour caler l'orientation des structures. Cela surprend parfois le profane, mais les observations que l'on peut faire le long du chemin permettent de remonter aux grands mécanismes qui concernent la chaîne tout entière, à l'échelle de la centaine, voire du millier de kilomètres !

Par Arnaud Pêcher



Avant d'illustrer cette démarche par trois exemples vus pendant le trek, il faut revenir en quelques mots sur la géologie de la chaîne himalayenne.

## LA GÉOLOGIE GLOBALE DE LA CHAÎNE HIMALAYENNE

Rappelons pour mémoire que les enveloppes les plus externes de la Terre forment, sur plus de 100 km d'épaisseur, une carapace relativement rigide, appelée la lithosphère. Elle est découpée en grands polygones, « les plaques tectoniques », qui forment aussi bien les continents que les océans. La géométrie et la position de ces plaques ne sont pas immuables : tels de grands

« tapis roulants », les plaques s'agrandissent d'un côté par ouverture et agrandissement des océans le long des dorsales médio-océaniques, et disparaissent de l'autre, avalées vers les zones profondes de la Terre dans les « zones de subduction ».

Vue sous ce jour, la géologie de l'Himalaya est très simple : une plaque, la plaque indienne, s'agrandit à sa limite Sud par ouverture continue de l'océan indien ; elle disparaît à sa limite Nord, par enfoncement sous l'Asie. Sur ce tapis roulant, un continent, l'Inde, se déplace vers le Nord.

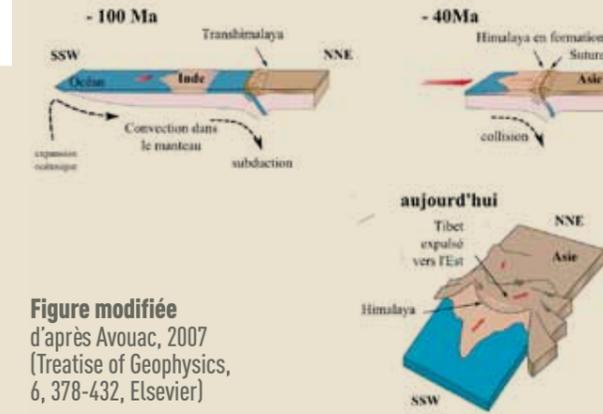


Figure modifiée d'après Avouac, 2007 (Treatise of Geophysics, 6, 378-432, Elsevier)

Il y a 50 Ma, l'Inde de l'époque entre en « collision » avec le continent eurasiatique ; son mouvement est freiné (de plus de 10 cm/an, il passe à environ 4 cm/an), mais la subduction ne s'arrête pas pour autant : l'Inde, toujours entraînée vers le Nord, va « poinçonner » l'Asie. Ce n'est pas sans conséquences : au Nord de la zone de contact, l'Asie est emboutie et épaissie, le haut plateau Tibétain apparaît ; au Sud, la bordure du continent indien est très déformée, de grandes écailles de croûte continentale s'individualisent et viennent s'empiler les unes sur les autres, comme les cartes d'un jeu. L'épaississement qui en résulte entraîne une augmentation d'altitude, puisque les roches qui forment les continents sont moins denses que les roches sous-jacentes (un peu à la manière d'un iceberg, moins dense que l'eau, et qui dépasse d'autant plus le niveau de l'eau qu'il est plus épais). L'Himalaya, c'est ce relief, qui s'est formé progressivement depuis 50 Ma, sur 2000 km de long et 200 km de large. (Voir l'encadré sur la coupe géologique).

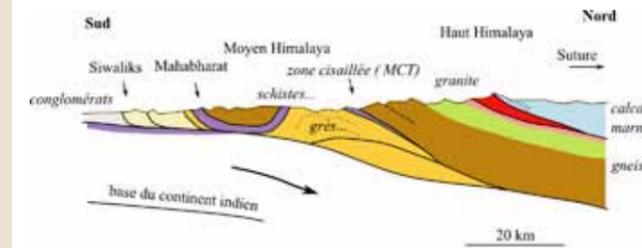
## AUTOUR DU MANASLU

Le trek du tour du Manaslu, qui emprunte les gorges de la Burhi Gandaki et de la Marsyandi, permet d'observer deux sections très spectaculaires de toutes les formations du Haut Himalaya. Débutant dans les formations gréseuses et schisteuses du Moyen Himalaya, il traverse la zone de contact entre Moyen et Haut Himalaya, puis se déroule ensuite entièrement dans les formations du Haut Himalaya : d'abord des gneiss, qui forment toute la partie la plus resserrée des gorges ; puis les formations sédimentaires de couverture, glissées vers le Nord au dos des gneiss ; enfin, il traverse au niveau du Col du Larkhya (5140 m) le magnifique granite du Manaslu. Les pôles d'intérêt géologiques sont multiples. Pour n'en citer que quelques-uns :

- en tectonique, le très grand chevauchement qui sépare les gneiss du Haut Himalaya des formations sédimentaires (surtout des grès et des schistes) sous-jacentes du Moyen-Himalaya,
- en pétrographie, les minéraux qui permettent de caler les conditions de formation des gneiss,
- une extraordinaire vision « en 3D » d'un granite et de ses roches sources,
- ou encore toutes les manifestations de l'érosion et de la démolition de la chaîne (glaciers, mouvements de terrain, rivières...) qui accompagnent sa surrection.

L'Himalaya, de géologie relativement simple au regard d'autres chaînes de montagne, dont les Alpes, n'en permet que mieux d'analyser des processus naturels complexes. Le tour du Manaslu devrait vous permettre de déchiffrer la formation de cette chaîne, encore si vivante, même pour un non spécialiste !

## UNE COUPE GÉOLOGIQUE DE L'HIMALAYA CENTRAL



On retrouve en Himalaya à peu près toujours le même empilement de grandes unités géologiques. Du Nord au Sud, ce sont :

- Des lambeaux de l'océan qui séparait autrefois l'Inde de l'Asie, pincés dans une « suture ». Elle suit au Nord de la chaîne la dépression Indus - Tsangpo ;
- au Sud, de grandes « écailles » composites, de plus en plus jeunes du Nord au Sud :

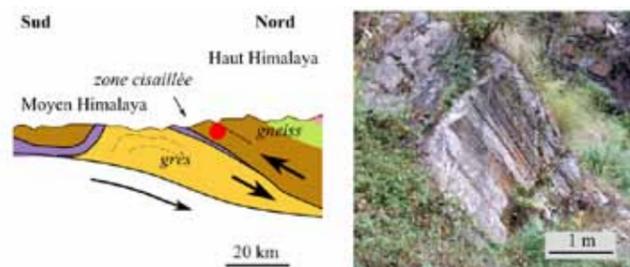
• la première constitue toute la haute chaîne, le Haut Himalaya, fait de roches formées en profondeur (des gneiss), remontées près de la surface par le jeu de l'écaillage, puis dégagées par l'érosion. Elles sont surmontées de roches sédimentaires (notamment calcaires). C'est dans cette écaille, à la limite gneiss - roches sédimentaires, que l'on trouve les quelques massifs de granites himalayens. Les hauts sommets de l'Himalaya sont donc formés aussi bien de roches sédimentaires (l'Everest, l'Annapurna, le Dhaulagiri, le Xishapangma), que de gneiss (le Kangchenjunga, le Lhotse), ou plus rarement de granite (le Manaslu, le Makalu, le Cho Oyu) ;

• en dessous et plus au Sud, une seconde écaille forme l'essentiel du Moyen Himalaya, du front topographique de la haute chaîne jusqu'au chaînon du Mahabharat. Venant en relais de la précédente, elle se met en place plus tardivement. En parallèle, sous le poids des premiers reliefs déjà formés, le continent indien fléchit pour former au front de la chaîne (au Sud) une dépression, un « bassin d'avant-chaîne », où s'accumulent entre env. -18 Ma (millions d'années) et -2 Ma une partie des produits d'érosion de la chaîne de l'époque ;

• enfin, les dépôts fluviaux pincés dans ce bassin sont à leur tour déformés et incorporés dans la chaîne, pour former les reliefs les plus méridionaux de l'Himalaya actuel, les chaînons des Siwaliks.

L'Himalaya se construit donc de manière continue depuis environ 45-50 Ma, en s'élargissant vers le Sud. À chaque étape principale de la construction, le raccourcissement global (env. 2000 km au total) est surtout absorbé par de grands chevauchements à la base des écailles successives.

## DE GRANDS CHEVAUCEMENTS, DES PETITES FIGURES TECTONIQUES



En Burhi Gandaki, gneiss quartzitiques « en tuyau » dans la zone du Grand Chevauchement Central (position de l’affleurement = point rouge sur l’extrait de la coupe géologique)

Certaines traces de la déformation des roches sont très visibles et bien connus du montagnard : des failles (la plupart des couloirs qui strient nos parois en sont), des plis. Mais la déformation peut aussi s’exprimer par un simple étirement et cisaillement de la roche, dans des corridors aux limites mal définies, appelés zones de cisaillement (l’équivalent en milieu « ductile » de ce que sont les failles en milieu « cassant »). En Himalaya, ces zones jouent un rôle majeur : la structure en grand de l’Himalaya, c’est un empilement d’écaillés, comme une pile de livres inclinés d’une vingtaine de degrés vers le nord. Chaque unité principale (chaque livre) est séparée de ses voisines de dessous ou dessus par une grande zone de cisaillement inclinée vers le Nord. La principale, appelée

Grand Chevauchement Central Himalayen (connu par son acronyme anglais : MCT, pour Main Central Thrust), permet un déplacement relatif vers le Sud du Haut Himalaya sur le Moyen Himalaya de plusieurs centaines de km. Et pourtant, sur le terrain, la zone du MCT est difficile à identifier, puisqu’il n’y a plus de contact brutal entre les blocs déplacés de part et d’autre !

Dans notre périple, nous avons recoupé le MCT de part et d’autre du Manaslu, en Burhi Gandaki et en Marsyandi. Nous avons trouvé des indices pour l’identifier : par exemple, les roches cisillées sont souvent caractérisées par un fort étirement (on parle de *linéation d’étirement*), qui va jusqu’à leur donner parfois un aspect « tuyauté ». Cette linéation est alors quasi-parallèle à la direction de déplacement relatif des roches situées de part en part. En Burhi Gandaki, cette linéation se voit bien, et son orientation est très constante, autour de NNE-SSW. On lit ici, à échelle de l’affleurement (quelques m<sup>2</sup>), et de manière très remarquable, la direction de convergence des plaques indiennes et eurasiatiques (des millions de km<sup>2</sup>) !

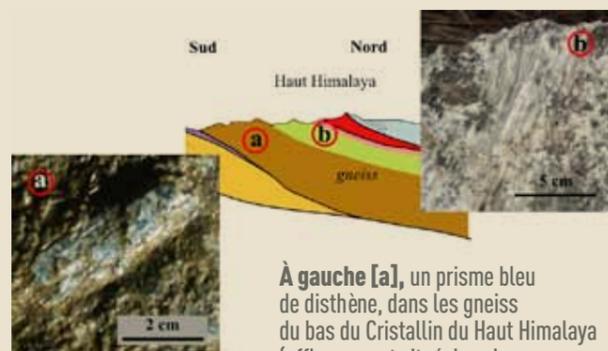
Un autre indice en Himalaya : la zone du MCT est un drain préférentiel pour les eaux profondes, chaudes, qui peuvent atteindre la surface en donnant des sources thermales. D’un bout à l’autre de l’Himalaya, ces sources chaudes (« tato pani » en népalais) jalonnent souvent le chevauchement. En Burhi Gandaki comme en Marsyandi, elles existent bien.

## Les gneiss du Haut Himalaya, un livre ouvert sur les conditions en profondeur

Les gorges de la Burhi Gandaki et de la Marsyandi permettent de recouper toute l’énorme « dalle » de gneiss (environ 12 km d’épaisseur, mesurée perpendiculairement au litage du gneiss) qui forme l’essentiel du Haut Himalaya. Ces gneiss affleurent maintenant le long du chemin, mais leur structure et leur minéralogie ont été acquises en profondeur dans des étapes antérieures de l’histoire de la chaîne.

Un gneiss est caractérisé par l’alternance de lits clairs et sombres. Il est formé par recristallisation à l’état solide d’autres roches (roche sédimentaire, granite, ou déjà un gneiss) sous des conditions de pression et de température élevées (plusieurs kilobars, plusieurs centaines de degrés) : on parle de *roche métamorphique*. Les minéraux que l’on y observe aujourd’hui peuvent être utilisés comme des « fossiles » des conditions de pression et de température qui régnaient en profondeur lors de leur formation.

Un exemple très simple : L’itinéraire recoupe dans la partie Sud des gorges des gneiss où l’on peut ▶



À gauche [a], un prisme bleu de disthène, dans les gneiss du bas du Cristallin du Haut Himalaya (affleurement situé dans le groupe des Annapurnas, à l’Ouest de la Marsyandi) ; à droite [b], plus haut dans la pile de gneiss, de la sillimanite en cristaux fibreux nacrés (en amont de Tal, en Marsyandi).

▶ voir facilement à l’œil nu du *disthène*, alors que plus au Nord on voit de la *sillimanite* à la place du *disthène*. Ces deux minéraux ont le même chimisme (SiAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), mais ne se forment pas dans des conditions identiques : l’apparition de sillimanite plutôt que de *disthène* indique que les gneiss situés au Nord de

la coupe (c’est-à-dire près du sommet de la pile de gneiss) se sont équilibrés à plus haute température que les gneiss situés plus au Sud, qui ont été pourtant plus profondément enfouis ! Voilà un élément un peu paradoxal dont devront tenir compte les modèles de formation de l’Himalaya.

## DES GNEISS FONDENT PARTIELLEMENT, DES GRANITES SE FORMENT

Les gneiss du Haut Himalaya ont subi à un moment de leur histoire des températures très hautes, plus de 700°C. À ces températures, un gneiss commence à fondre. Au début de la fusion, il s’exsude un liquide très visqueux (on parle de magma), qui a la composition d’un granite. Ce liquide peut rester sur place. Lors du refroidissement de la roche, il cristallisera et formera alors des petites poches de granite, au sein des parties du gneiss n’ayant pas fondu.

Mais si la production de magma granitique est suffisante, il va avoir tendance à s’échapper vers le haut (il est moins dense que le reste du gneiss), soit de manière diffuse, soit par le biais de filons.

Plus haut (souvent vers 10-15 km de profondeur), des poches de magma granitique de grande taille peuvent alors se former par collectage de venues successives. Une fois refroidies – ce qui peut prendre quelques Ma –, elles donneront un massif de granite, roche formée d’un assemblage à grain grossier de quartz, feldspath et micas (et parfois d’autres minéraux, par exemple de la tourmaline, très présente au Manaslu). Ce massif ressemble le plus souvent à une grande lentille horizontale, de quelques km à quelques dizaines de km de long et de large, pour quelques km d’épaisseur, avec un sommet (son toit) souvent irrégulier et une base (son plancher) plus plate. Un granite n’est pas forcément une roche qui s’enracine beaucoup en profondeur ! À ce titre, l’Himalaya est particulièrement démonstratif, les très fortes incisions des vallées



À gauche, en Burhi Gandaki, des poches de granite (flèches) dans des gneiss ayant partiellement fondu. À droite, le contact sommital de granite du Manaslu (vue vers le NE depuis le Col du Larkhya).

permettant souvent de voir à la fois la base et le sommet du granite. Il en existe de très beaux exemples tout le long de la chaîne. Le Manaslu est l’une des plus grosses lentilles, atteignant 7 km d’épaisseur et 40 km de long. Son contact sommital est très évident dans

les pentes du Chéo Himal, au Nord du col, avec un beau contraste entre le granite très blanc en dessous, et les roches sédimentaires très noires au-dessus. Sa base se voit bien à la redescende versant Ouest du col du Larkhya, depuis Bimtang.

### ET SI L’AVENTURE VOUS TENTE...



Couverture sédimentaire du Haut Himalaya et granite  
Zone de décollement de la couverture  
Gneiss du Haut Himalaya  
Zone du Grand Chevauchement Central  
Formations du Moyen Himalaya

L’itinéraire du Tour du Manaslu. Le livret-guide géologique détaillé de cet itinéraire et le film réalisé par François Valla en 2012 sont disponibles sur le site du Comité scientifique du CAF.

Le Comité scientifique a été profondément affecté par la disparition, le 25 février 2014 de Patrick Le Fort, après celles d’Olivier Dollfus en 2005 puis de Jean-Michel Bertrand en 2011.

Héritier de la commission de Topographie (1903-1914) et de la commission des Travaux Scientifiques (1923-1930), le Comité scientifique a mis sur pied, à l’occasion des expéditions françaises en Himalaya, un vaste programme scientifique pluridisciplinaire,

ayant donné lieu à de nombreuses publications. Patrick Le Fort dont les travaux sur les granites himalayens – et tout particulièrement sur le granite du Manaslu – sont une référence incontournable pour toute la communauté géologique, fut un des animateurs

principaux de cette activité scientifique.

L’hommage à P. Le Fort est disponible sur le site du Comité scientifique [www.fcam.fr/comite\\_scientifique.html](http://www.fcam.fr/comite_scientifique.html)