

Zeitschrift: Schweizerische mineralogische und petrographische Mitteilungen =
Bulletin suisse de minéralogie et pétrographie

Band: 47 (1967)

Heft: 2

Artikel: Géologie et pétrographie des nappes de Kathmandu et de Nawakot, et
de la série de Khumbu dans l'est du Népal

Autor: Krummenacher, Daniel

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-36971>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 20.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Géologie et pétrographie des nappes de Kathmandu et de Nawakot, et de la série de Khumbu dans l'est du Népal

Par *Daniel Krummenacher* (Genève)

Avec 2 figures dans le texte et 1 planche

Résumé. L'auteur présente des coupes stratigraphiques et pétrographiques relevées dans les nappes de Kathmandu, de Nawakot et dans la série du Khumbu (région de l'Everest et Népal Oriental).

La série du Khumbu et les nappes de Kathmandu chevauchent les nappes de Nawakot et forment deux têtes plongeantes au S d'Okhaldunga: la longueur du charriage atteint ici 63 km.

Abstract. Several petrographic and stratigraphic sections, taken in 3 different units of the Himalayas in Eastern Nepal and Everest area (the Khumbu serie, the Kathmandu and Nawakot nappes) are given.

The Khumbu series and the Kathmandu nappes overthrust the Nawakot nappes.

A recurrence of the series of Khumbu and the Kathmandu nappes is described South of Okhaldunga: the length of the overthrust amounts around 40 miles in this area.

INTRODUCTION

En automne 1965, nous avons eu le privilège d'être à nouveau envoyé au Népal par le Fonds National de la Recherche Scientifique afin de poursuivre notre récolte d'échantillons pour des datations K/Ar. Les résultats que nous obtiendrons feront suite aux deux travaux déjà publiés sur cette question (D. KRUMMENACHER, 1961 et 1966).

Lors de cette récente expédition, nous avons repris l'étude des nappes de Kathmandu, de Khumbu et celle de la région d'Okhaldunga (Népal Oriental). Le présent travail a pour but de présenter des observations de terrain et des coupes pétrographiques complétant ainsi les observations de A. LOMBARD (1958), T. HAGEN et J. P. HUNGER (1952) et P. BORDET et M. LATREILLE (1955).

Les datations feront l'objet d'un compte-rendu ultérieur.

Ensembles structuraux de l'Himalaya, de l'Everest au Gange

Rappelons brièvement que les géologues ont reconnu, de l'Everest à la plaine du Gange, les éléments structuraux suivants :

A. LOMBARD (1958)	T. HAGEN et J. P. HUNGER (1952)	P. BORDET et M. LATREILLE (1955)
Dalle du Tibet	Série du Tibet	Série du Tibet
Intrusion du granite de l'Everest	Granite du Mustang	Granite du Makalu
Nappes de Khumbu	Nappes de Khumbu	Gneiss noirs du Barun
	=	
Racines des nappes de Kathmandu	Racines des nappes de Kathmandu	Migmatites de Namche Bazar Gneiss du Barun
Nappes de Kathmandu	Nappes de Kathmandu	Nappes de Kathmandu
Nappes de Nawakot	Nappes de Nawakot	Nappes de Nawakot
Répétition des nappes de Kathmandu	Répétition des nappes de Kathmandu	Répétition des nappes de Kathmandu
Nappes de Nawakot	Nappes de Nawakot	Nappes de Nawakot
Siwaliks	Siwaliks	Siwaliks

Il y a divergence des points de vue notamment sur les points suivants :

1. Selon T. HAGEN, toutes les nappes de Khumbu forment les racines des nappes de Kathmandu. D'après A. LOMBARD, seule la partie méridionale en est représentative. Pour P. BORDET, la série du Barun (gneiss noirs du Barun, migmatites de Namche Bazar et gneiss du Barun) est très différente des nappes de Kathmandu; elle constitue la base précambrienne d'une série très épaisse, la série du Tibet.

2. Le profil des nappes de Kathmandu aux Siwaliks (par la fenêtre d'Okhaldunga) est interprété différemment par ces auteurs. Il suffit pour s'en convaincre de jeter un coup d'œil sur les trois schémas reproduits en p. 154 dans A. GANSSER (1964).

Nous pensons qu'à l'aide de bonnes coupes stratigraphiques et pétrographiques ces problèmes pourraient être résolus, du moins dans leurs grandes lignes. Nous allons donc décrire quelques séries de la manière la plus précise possible: la stratigraphie des nappes de Kathmandu sera donnée par 7 coupes (entre Kathmandu et Namche Bazar) et la pétrographie de la zone de Khumbu par une coupe générale; il en ressort qu'il s'agit d'ensembles tout à fait différents, et que les nappes de Khumbu, même dans leur partie inférieure, ne peuvent pas être les racines des

nappes de Kathmandu. Utilisant nos connaissances sur les nappes de Kathmandu et la série du Khumbu, nous tenterons alors de déchiffrer le profil de la fenêtre d'Okhaldunga.

ITINÉRAIRE

L'itinéraire que nous avons parcouru partait de Kathmandu et atteignait le pied de l'Everest, en passant par Namche Bazar. Le retour s'est effectué par Okhaldunga jusqu'au col de Sukhchauri, puis par le Sun Kosi, la Rosi Khola et Banepa (voir fig. 1).

Cet itinéraire recoupe les nappes de Nawakot, de Kathmandu et la série du Khumbu.

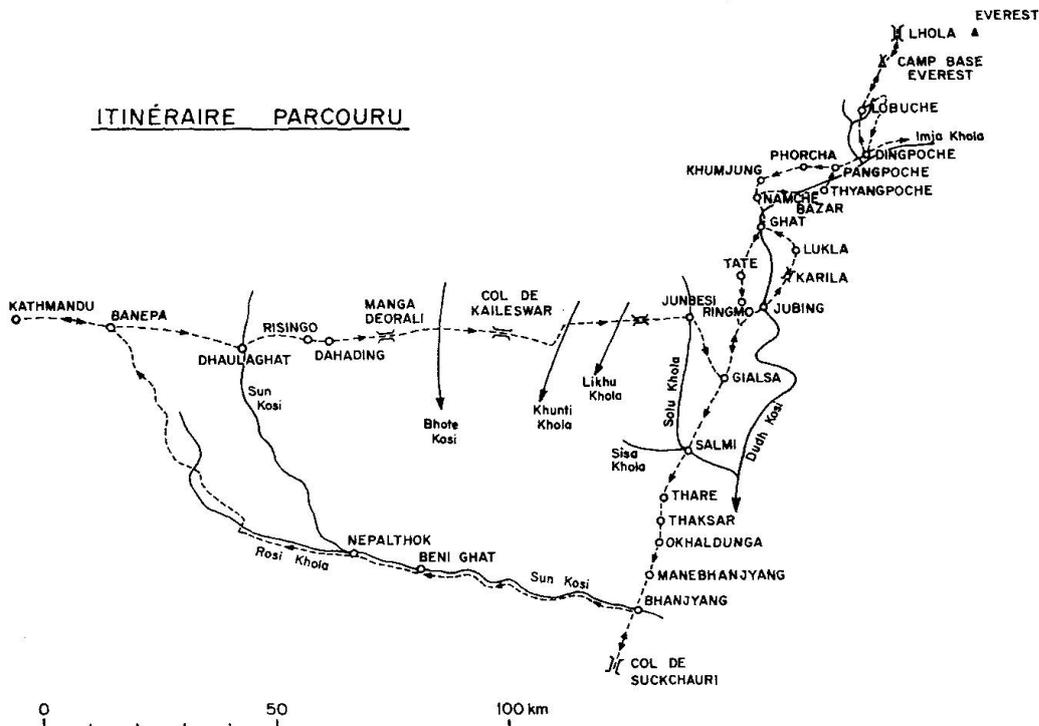


Fig. 1.

LES NAPPES DE KATHMANDU

La stratigraphie de ces nappes a été résumée par A. GANSSER (1964) (se basant sur les travaux d'A. LOMBARD, de T. HAGEN et surtout de P. BORDET): de haut en bas, on aurait des:

Conglomérats dans grès schisteux et micacés (conglomérats de Salung de LOMBARD).
Calcschistes et phyllites supérieurs (avec marbres à actinote et grammatite).

Quartzites supérieurs (absence de biotite; couleur verte due à la chlorite; horizon très constant).

Phyllites inférieures (gris bleu à vert; séricite, grenat, disthène, staurotide).

Quartzites inférieurs (en lits fins [varves?] riches en biotite; parfois grenat et disthène; marbres intercalés, avec amphibolites).

Micaschistes (à grenat, staurotide, disthène, grandes muscovites).

Migmatites (schistes granitisés, gneiss quartzitiques à deux micas riches en grenat, „Augengneiss“ avec grands porphyroblastes...).

Selon T. HAGEN (1952), on aurait la stratigraphie suivante:

Calcaires (marmorisés; Ordovicien).

Quartzites clairs massifs, à cassure rouge.

Quartzites, avec lits argileux et marneux.

Grès quartzitiques (roches se délitant à la main).

Micaschistes et phyllites.

Gneiss, avec pegmatites.

Coupes stratigraphiques dans les nappes de Kathmandu

Le chemin de Kathmandu à Namche Bazar suit presque en direction les nappes de Kathmandu. Les 7 coupes stratigraphiques que nous présentons (voir planche I) sont prises dans deux nappes de Kathmandu différentes: la première (coupe I à IV) et la deuxième (coupes VI et VII). La deuxième, chevauchée par la zone du Khumbu, repose sur la première. La zone intermédiaire entre les deux éléments de Kathmandu présente des écailles et des contacts anormaux qui ont déjà été observés par A. LOMBARD (1958). C'est la région située entre Junbési et Jubing, sur la crête entre Gialsa et Ringmo, sur laquelle se trouve la Chiang Gompa.

Toutes les coupes représentent des flancs normaux, à l'exception de la première (voir planche I).

Stratigraphie des nappes de Kathmandu

Remarque générale

On peut dire qu'entre Kathmandu et Namche Bazar, on recoupe *toujours* dans les nappes de Kathmandu la succession stratigraphique suivantes:

De haut en bas:

- a) Schistes, ou phyllites (200—500 m);
- b) Dolomies et calcaires métamorphiques (20—100 m);

- c) Quartzites roses massifs (20—100 m);
- d) Micaschistes ou schistes (20—100 m);
- e) Gneiss à deux micas et tourmaline (> 100 m)¹).

Nos observations et interprétations sont donc proches de celles de P. BORDET et T. HAGEN.

Détail des éléments de la série stratigraphique

Les schistes (supérieurs)

En général chlorito-séricitiques, ils contiennent très souvent une ou plusieurs passées de schistes ardoisiers plus ou moins charbonneux, parfois des passées de quartzites séricitiques et gréseuses, des roches riches en grenat. A leur base, ils alternent souvent avec des petits lits dolomitiques; ils prennent alors le faciès de schistes lustrés et peuvent contenir de l'ankérite, de l'amphibole, de la chlorite et des intercalations charbonneuses.

Dolomies et calcaires métamorphiques

Alternant souvent avec des schistes vers le haut, ils sont compacts dans leur masse principale. On y rencontre du talc, de l'actinote ou de la grammatite, de la biotite et de la phlogopite. Ils passent aux quartzites sous-jacents par une zone où alternent soit des lits de quartzites avec des lits calcaires, soit des lits calcaires avec des lits de schistes ou de micaschistes.

Quartzites

Ce niveau, mélangé dans sa partie supérieure à des calcaires ou des schistes, devient massif en son centre. Les quartzites sont alors roses ou beiges, massifs, et contiennent peu de minéraux (chlorite, biotite, muscovite, phlogopite). Le passage au niveau inférieur se fait par l'intermédiaire de schistes ou micaschistes à deux micas, chlorite, amphibole (rare), grenat.

Micaschistes et gneiss

Cette zone est très intéressante. Les roches, avant leur métamorphisme, étaient certainement des arkoses, grès, conglomérats, quartzites plus ou moins feldspathiques... En effet, on peut observer que dans la partie supérieure de ce niveau, des schistes, des micaschistes à deux micas plus ou moins arkosiques et à niveaux conglomératiques, deviennent graduellement gneissiques. On rencontre alors côte à côte d'anciens galets et des porphyroblastes de néoformation (ex. : à l'W de Manga Deorali); puis on passe à des gneiss d'allure arkosique ou à des gneiss grossiers, de type embréchites œillées, le premier type pouvant alterner avec le second; cette structure particulière provient sans doute d'un ancien "graded bedding". D'autre

¹) Les épaisseurs indiquées sont des valeurs moyennes; l'écrasement peut parfois réduire toute cette série à 100 m d'épaisseur.

part, ces gneiss conservent longtemps visibles dans leur masse même des signes de leur origine détritique (ex: gneiss de Gialsa et leur prolongement plus au S de ce village): on observe des petits bancs de quartzites, des gneiss leucocrates (anciens quartzites feldspathiques), des traces de "graded bedding".

Les gneiss de Kathmandu se reconnaissent aux caractéristiques suivantes:

1. Toujours bien lités, ils ne sont jamais nébulitiques ou anatexiques. Ce caractère nous permettra notamment de les distinguer des gneiss des nappes de Khumbu.

2. Ils comportent 3 faciès principaux: a) des gneiss arkosiques, fins, peu transformés, montrant au microscope des éléments détritiques presque complètement transformés; b) des embréchites ceillées grossières, souvent de la „protogine“; c) enfin des gneiss ceillés à structure sinueuse, les micas formant sur la tranche des traînées brunâtres brillantes et la tourmaline des traînées noires semblant résulter de l'étirement et du fractionnement d'un cristal individuel. Lorsque ces gneiss sont très étirés, ils prennent l'allure de „Streifengneiss“.

Le faciès arkosique a) peut être observé à l'W de Manga Deorali, sous les quartzites entre Junbési et Gialsa; quelques niveaux apparaissent près de Jubing. Le faciès protogine et embréchite ceillée b) se trouve principalement entre le Manga Deorali et la Bhote Kosi, ainsi que dans la Khunti Khola et près de Jubing. Le faciès ceillé à structure sinueuse c) est surtout typique de la région de Gialsa et du S de cette localité, en direction d'Okhaldunga. Nous avons aussi retrouvé le type b) bien développé entre Pokhara et Dana, dans le Népal Central. Dans les nappes de Nawakot, enfin, le faciès a) arkosique semble exister également, mais moins métamorphique (route chinoise de Banepa à Dhaulalghat, point 850 m, au dessus de la Chakri Khola). Nous avons observé des gneiss du type c) sur la Rosi Khola (au S du Timai Danda, au S de Kataonge), mais nous n'avons pas pu déterminer dans quelle unité tectonique nous nous trouvions alors.

Nous retiendrons de cette description que ces trois faciès existent dans les nappes de Kathmandu, en partie dans les nappes de Nawakot, mais pas dans la zone du Khumbu.

La tourmaline et les pegmatites

Des pegmatites à tourmaline apparaissent généralement dès que le métamorphisme est assez avancé. Elles se développent surtout dans la zone des gneiss, où elles forment des amas leucocrates concordants ou discordants, qui contiennent des grandes plages de muscovite et de la tourmaline. Ce dernier minéral imprègne cependant de manière diffuse tous les gneiss: ceux-ci sont criblés de petits prismes se groupant parfois en nuages étirés.

Le métamorphisme; limites entre les éléments tectoniques

Nous avons vu que le métamorphisme croît des schistes supérieurs aux gneiss inférieurs: les schistes sont généralement à chlorite et séricite (très peu ou pas de biotite), avec parfois du grenat. Au niveau des dolomies et des calcaires méta-

morphiques se développent la biotite et la phlogopite. Les gneiss sont à deux micas et tourmaline. Les pegmatites sont riches en grandes muscovites et tourmaline.

Cependant, à la limite entre deux nappes, on peut observer un métamorphisme local: les schistes supérieurs de la nappe inférieure recristallisent, donnant des micaschistes souvent très riches en muscovite ressemblant à ceux qui existent entre les quartzites et les calcaires. Ils se chargent parfois de disthène. Puis on passe insensiblement aux gneiss typiques formant la base de la nappe supérieure.

Nous avons traversé deux fois la limite entre la zone de Khumbu et les nappes de Kathmandu. Les schistes supérieurs de Kathmandu se chargent également de muscovite de néoformation en plages carrées (et non pas allongées comme dans les autres roches). Puis apparaît une zone très écrasée, très riche en pegmatites à gros micas; c'est une zone à écailles, où alternent des gneiss fins et leucocrates avec des zones plus schisteuses, gneissiques ou à micaschistes. Enfin, on passe à des embréchites un peu migmatitiques, typiques de la série de Khumbu. L'épaisseur de cette zone de transition aux points observés atteint 500 m environ.

Le métamorphisme des nappes de Kathmandu est donc assez faible (mésozone à la base, épizone au sommet, parfois sommet de l'épizone); il est plus accentué au contact entre les nappes (recristallisations, pegmatites). C'est un type de métamorphisme de nappes penniques.

LA ZONE DE KHUMBU

Cet ensemble commence au S de Puyan, à un „col“ (Le Kari La) qui recoupe une crête très inclinée (point le plus élevé entre Jubing et Ghat, 3000 m, rive gauche de la Dudh Kosi), et au point 3650 m entre Tate et Ringmo (rive droite de la Dudh Kosi), et s'étend presque jusqu'à la frontière tibétaine.

Nous présentons ici une coupe générale de cette zone, qui a été établie selon deux itinéraires le long de la Dudh Kosi jusqu'à l'une de ses sources. Elle ne donne que les formations générales et ne tient pas compte des détails (voir planche I).

Stratigraphie

La coupe pétrographique dressée à travers la zone de Khumbu appelle les remarques suivantes:

1. Comme l'ont déjà signalé P. BORDET et M. LATREILLE (1955), dont nous adoptons les subdivisions, on peut observer 3 zones principales dans cette puissante série²⁾, soit, du N au S:

²⁾ Epaisseur estimée: 10 km au minimum.

a) *Gneiss inférieurs du Khumbu* (Gneiss du Barun de P. BORDET)

Ils sont constitués par des gneiss fins, à biotite, grenat et amphibole, alternant avec des amphibolites fines quartzieuses, avec quelques gneiss fins leucocrates plaquetés, et avec des embréchites peu ou pas nébulitiques à grain plus grossier, riches également en grenat, à biotite et amphibole plus dispersées que dans les gneiss fins; le grenat atteint parfois 1 cm. Ces gneiss fins possèdent un grain régulier et un aspect bien lité; le quartz et le plagioclase y sont bien arrondis. Les pegmatites, rares, leucocrates, contiennent de la tourmaline, des grenats et de la biotite. La muscovite est absente de cette formation sauf, exceptionnellement, dans des pegmatites où elle forme des paillettes relativement grandes. Nous n'avons pas trouvé de marbres dans cette zone, mais seulement, çà et là, des roches fines à diopside, amphibole et biotite.

b) *Migmatites du Khumbu* (Migmatites du Barun de P. BORDET)

Les gneiss inférieurs du Khumbu passent insensiblement aux migmatites du Khumbu. Les roches deviennent tout d'abord leucocrates. L'amphibole diminue au profit de la biotite. Le grain de la roche augmente dans les gneiss qui alternent graduellement avec des embréchites ± œillées, ± nébulitiques, à biotite et grenat dispersés; on note l'apparition très sporadique de cordiérite pinitisée. On observe des restes de gneiss de type a) en voie d'envahissement par l'orthose, des veinites... puis insensiblement apparaissent des migmatites franches: roches presque grenues alternant avec des embréchites nébulitiques (à biotite, grenat et pinite, la cordiérite semblant d'être formée en auréole autour des grenats) et des gneiss en amygdales, de type banal à biotite et grain moyen. La pinite n'apparaît nettement que dans les parties plus évoluées. On observe également des pegmatites à tourmaline et muscovite, recoupant ou non les structures. Le stade le plus grenu se trouve à la hauteur de Khumjung, sous une lentille de calcaire formant paroi avec des roches associées: on observe un granite clair presque grenu à pinite, mélangé à de la tourmaline et de la muscovite.

c) *Gneiss supérieurs du Khumbu* (Gneiss noirs du Barun de P. BORDET)

On passe insensiblement à des roches moins quartzo-feldspathiques: des roches à grain fin, à biotite, plagioclase, quartz, cordiérite (?) (montrant souvent des yeux en relief), parfois de l'amphibole et du diopside, alternant avec des embréchites œillées à biotite, parfois nébulitiques. Un granite aplitique à tourmaline (granite de l'Everest) commence à apparaître: il ne semble pas résulter de l'anatexie, comme les roches que nous venons de décrire sous b). La tourmaline est souvent entourée d'un petit front leucocrate, formant une tache simulant la pinite. On note la présence de lits de quartzite et de calcaires, entourés de gneiss fins, cornéennes à diopside et idocrase, pegmatites à quartz, tourmaline, biotite, idocrase et grands feldspaths roses, et des répétitions assez nombreuses d'embréchites migmatitiques. Les gneiss supérieurs du Khumbu (= gneiss noirs du Barun) ne nous ont pas paru beaucoup plus mélanocrates et plus métamorphiques que ceux des sections a) et b): P. BORDET y présentait l'équivalent des charnockites du Précambrien de l'Inde. Pour notre part, nous pensons que le métamorphisme des sections a) et c) est mésozonal inférieur, celui de la section b) catazonal.

Remarque sur ces divisions

Nous avons divisé la zone de Khumbu en 3 parties: c'est la seule „stratigraphie“ que nous puissions adopter. Pour nous ces trois éléments sont indépendants: *aucun d'eux ne provient de la transformation ou de la répétition de l'un des autres*. Nous admettrons également pour l'instant, comme P. BORDET, que cette série est continue, en position normale, et qu'elle forme la base d'âge précambrien ou plus ancien de la série du Tibet qui la surmonte.

Passage à la série du Tibet

Plus on s'approche du granite de la base de l'Everest, plus les roches de la section c) se chargent de filons, visibles de loin (par ex. dans la base du Nuptsé, au Pumori...). Nous sommes montés jusqu'au Lho La (W de l'Everest) pour observer ce granite et ses contacts. Dans la zone de contact, la roche est soit un peu gneissique (par écrasement), soit homogène, à deux micas et tourmaline. Partout ailleurs (voir par ex. D. KRUMMENACHER, 1956, 1957) le granite aplitique s'associe à des cornéennes à diopside, amphibole, grenat, idocrase et à d'extraordinaires pegmatites à quartz, cordiérite bleu ciel, tourmaline, idocrase, calcite et hornblende. Nous n'avons pas atteint les formations supérieures au granite (voir description de ces roches dans D. KRUMMENACHER (1957) et surtout A. GANSSER (1964)).

2. Il s'ensuit logiquement que la zone de Khumbu ne peut représenter les racines des nappes de Kathmandu. Nulle part on n'y voit la répétition stratigraphique si nette des nappes de Kathmandu, même en la supposant altérée par un métamorphisme plus fort.

La division de la zone de Khumbu en nappes a été proposée par A. LOMBARD (1958) pour des raisons principalement tectoniques, et par T. HAGEN (1956) en partie sur l'existence de lentilles de marbre (il en existe 3 trains, dont un dédoublé, qui représenteraient „l'enveloppe“ sédimentaire de la nappe (voir profil de T. HAGEN, 1956). Pour nous ces lentilles ne sont que des passées plus calcaires dans cette immense série primitivement argilo-marneuse et détritique. Leur répétition n'est donc due qu'à des causes sédimentaires et non tectoniques. Il existe cependant des nappes du 2e genre, ou tout au moins des écailles, qui résultent du cisaillement de cette série (voir A. LOMBARD, 1958); des plis à axes NS, certainement plus anciens, compliquent beaucoup la structure (voir plus loin).

Partant maintenant de nos observations pétrographiques sur la zone de Khumbu et celle des nappes de Kathmandu, nous allons tenter de déchiffrer la coupe de la fenêtre d'Okhaldunga.

LA FENÊTRE D'OKHALDUNGA

A. GANSSER (1964, p. 154) a montré combien l'interprétation de la coupe de l'Everest au Gange, dans la région d'Okhaldunga, est délicate. A cet endroit apparaît, sous les nappes de Kathmandu, dans une fenêtre, un nouvel élément: les nappes de Nawakot (T. HAGEN et J. P. HUNGER, 1952). Ces auteurs ne peuvent se mettre d'accord pour attribuer à une nappe ou à l'autre ce qui se trouve au delà de la fenêtre d'Okhaldunga, et sur l'endroit où il faut placer un contact. Selon nous, on peut observer au delà de la fenêtre d'Okhaldunga une répétition des nappes de Kathmandu et des gneiss inférieurs du Khumbu.

Itinéraire

Nous avons suivi le chemin principal allant d'Okhaldunga à Sirka et traversant la Sun Kosi à Bhanjyang, sans toutefois dépasser le dernier col menant à la plaine indienne (col de Sukhchauri de la carte indienne; voir fig. 1). Les villages jalonnant cet itinéraire sont reportés sur la fig. 1 et sur le profil de la fig. 3).

Description des éléments de ce profil*Nappes de Kathmandu entre Ringmo et Thorke*

Les formations rencontrées sur cette coupe sont, comme l'avait déjà remarqué A. LOMBARD (1958), très perturbées et écaillées. On peut observer convenablement les gneiss avec leurs différents faciès (alternance avec les micaschistes, quartzites... que nous avons déjà décrits en détail). Les roches supérieures aux gneiss sont fortement laminées et souvent très peu visibles, à l'exception des quartzites qui forment de gros bancs compacts. Les dolomies ne se manifestent que sous forme de talc (sous le Tilbung) ou de sable (Phaphlu) se délitant à la main. Les schistes supérieurs, fortement laminés, se distinguent souvent difficilement des gneiss et des micaschistes inférieurs très laminés.

Il existe au moins une écaille à stratigraphie inversée, dans la région de Phaphlu, où les schistes ardoisiers supérieurs sont en contact tectonique avec les gneiss. Plus au centre (entre Salmi et Thorke) on observe deux fois la série normale, dans laquelle cependant les quartzites sont très développés et les termes supérieurs très peu visibles.

Nappes de Nawakot, entre Okhaldunga et la Sun Kosi

Sur le chemin descendant sur Okhaldunga, au point 2400 m (au N) apparaît brusquement un granite écrasé, de type encore inconnu, qui ne

semble pas présenter de contacts métamorphiques, et qui passe au dessous à des schistes quartziteux et de quartzites écrasés; ces derniers ne se distinguent pas tout de suite des schistes et des gneiss écrasés précédents appartenant aux nappes de Kathmandu.

L'itinéraire d'Okhaldunga à la Sun Kosi semble recouper un anticlinal assymétrique. La série stratigraphique traversée entre ces deux points a très bien été décrite par A. LOMBARD (1958): il nous paraît inutile d'en rappeler à nouveau les éléments.

A. LOMBARD (1958) et A. LOMBARD et P. BORDET (1956) situent la récurrence des nappes de Kathmandu approximativement à l'apparition des calcaires (voir profil fig. III) pour les raisons suivantes: 1. apparition d'une grande variété de faciès, typique des nappes de Kathmandu et contrastant avec la monotonie de ceux des nappes de Nawakot; 2. métamorphisme plus avancé que celui des nappes de Nawakot.

Notre interprétation diffère: pour nous, cette partie de la coupe ne fait pas partie des nappes de Kathmandu, mais très certainement des nappes de Nawakot. En effet, on ne retrouve dans cette partie ni le style, ni la série stratigraphique bien connue, ni les minéraux de métamorphisme (biotite, amphibole, séricite) uniformément répartis, typiques des nappes de Kathmandu. Notons cependant qu'au S de la première passée calcaire apparaissent dans quelques niveaux des grenats (dans un quartzite) et un peu de biotite et de muscovite. Mais l'extension de ces minéraux est très limitée dans l'espace.

A. LOMBARD (1958) signale, dans une coupe plus complète établie plus à l'E, la présence de granite et de micaschistes. Pour nous, la série stratigraphique provisoire qu'il donne (voir ci-dessous) n'appartient pas à une nappe de Kathmandu, mais bien à une nappe de Nawakot.

A. LOMBARD <i>Série d'Halesi</i>	T. HAGEN <i>Nappes de Nawakot</i>	D. KRUMMENACHER <i>Nappes de Kathmandu</i>
Calcaire dolomitique	Brèche polygénique et calc. dolomitique	Schistes et phyllites
Quartzites	Conglomérats „Verrucano“, quartzites	Dolomies et calc. métamorphiques
Schistes micacés		
Schistes graphiteux	Phyllites charbonneuses	
Quartzites	Grès	Quartzites
Micaschistes	Phyllites et micaschistes	Micaschistes
Gneiss et granites	Gneiss avec intrusions de granite	Gneiss

D'autre part, si on compare ces séries stratigraphiques, on y retrouve une certaine similitude. P. BORDET (1961) pose et développe la question suivante: les nappes de Kathmandu et de Nawakot ne seraient-elles pas une seule et même série, dont le métamorphisme et la position dans l'espace auraient été différents? Nous pensons que, en l'état actuel des recherches, cette idée, bien que très intéressante, ne paraît provoquer que des confusions et doit être mise en veilleuse. A notre avis, la stratigraphie des nappes de Nawakot est très difficile à déchiffrer, malgré la série stratigraphique établie par T. HAGEN (1952); il s'agit de roches pratiquement non métamorphiques (à part quelques passées où peuvent apparaître du granite et des gneiss), souvent très monotones, et sans fossiles. Il est très difficile d'y voir un sommet et une base et d'y déchiffrer une tectonique. Au Népal Central, où nous avons étudié cette zone (voir P. BORDET et al., 1964) et si nous pouvons faire des comparaisons à si longue distance, la géochronométrie a fourni un âge précambrien pour une intrusion dans les quartzites équivalents aux quartzites de la partie N de la fenêtre d'Okhaldunga (ces deux formations ont également donné un âge précambrien mesuré sur leurs muscovites détritiques: D. KRUMMENACHER, 1961; P. BORDET et al., 1965). Des schistes charbonneux prélevés au S de cette zone ont livré des gastéropodes crétacés (M. REMY, communication orale).

On se trouve ainsi devant une zone complexe, dont les éléments sont difficiles à interpréter, mais qui sur le terrain se distingue cependant très aisément des nappes de Kathmandu.

Remarque: Il faut noter que cette épaisse zone de quartzites est, par rapport aux nappes de Kathmandu, dans la même position à Okhaldunga que dans le Népal Central, c'est à dire directement au dessous. On peut légitimement se demander si les formations situées plus au S ne représenteraient pas un „autochtone“ beaucoup plus récent, ± décollé sur des quartzites algonkiens.

Nous avons également traversé les nappes de Nawakot entre Banepa et la Sun Kosi (Dhaulalghat) en suivant la route chinoise encore en construction, et y avons observé la succession suivante:

Quartzites alternant avec des phyllades ("ripple marks", stratification entrecroisée en position normale); grès fins ± arkosiques passant graduellement à des arkoses métamorphiques à deux micas, le tout étant traversé par des pegmatites granitiques à tourmaline qui recourent la structure; banc de marbre très bien recristallisé, passant à des phyllites qui se transforment en gneiss œillés et en gneiss ± arkosiques et conglomératiques; on y retrouve des restes de "graded bedding". Ces formations passent enfin à des phyllades charbonneuses à yeux de

quartz et à des phyllades satinées \pm chloriteuses et séricitiques. Nous n'avons pas pu rattacher cette succession à quoi que ce soit de connu.

Nous pensons enfin qu'il est possible que les gneiss et les micaschistes apparaissent non pas seulement à la base de la série, mais partout où existe dans cette dernière une discontinuité tectonique, ou une composition de la roche favorable à une recristallisation ou une métasomatose (arkose...). Leur position stratigraphique pourrait être alors variable.

La coupe au S de la Sun Kosi

Cette coupe a été étudiée de façon très détaillée par A. LOMBARD (1958) qui y voit une succession d'écaillés en position normale, dont la base serait formée de gneiss ou de granites et qui, tectoniquement, appartiendraient à une zone intermédiaire entre les nappes de Kathmandu et de Nawakot. Nous proposons une interprétation différente, basée principalement sur la pétrographie des ensembles que nous avons déjà examinés en détail: au delà de la fenêtre d'Okhaldunga existe une double répétition des nappes de Kathmandu et de la zone de Khumbu, que nous avons représentée sur la figure III à l'aide des figurés précédemment adoptés.

A partir de Bhanjyang, le chemin remonte la Bahaoura Khola jusqu'à mi-longueur, puis un de ses affluents jusqu'au col de Sukhchauri. Voici une brève description des roches rencontrées dans cette coupe:

On retrouve tout d'abord des roches de la rive gauche de la Sun Kosi: schistes siliceux, quartzites \pm calcaires en petits bancs appartenant aux nappes de Nawakot. Au-dessus reposent tectoniquement (la limite est tranchée au couteau) des gneiss typiques des nappes de Kathmandu (\pm arkosiques, fins, \pm chloriteux) alternant avec des quartzites, des roches à deux micas, des schistes, quelques amphibolites, des gneiss leucocrates, des roches dont il est difficile de dire s'il s'agit de gneiss, de schistes ou de quartzites tant elles sont écrasées. Leur métamorphisme est avancé: on observe la biotite et la muscovite, la tourmaline. Il s'agit sans doute d'une nappe de Kathmandu très écaillée et écrasée. Puis apparaissent brusquement (150 m au S de l'embouchure de la Bahaoura Khola) des faciès typiques des gneiss inférieurs du Khumbu: embréchites œillées (à deux micas, avec une forte prédominance de biotite, avec un peu d'amphibole et de gros grenats roses qui peuvent atteindre jusqu'à 2 cm de diamètre), plissotis de début d'anatexie, alternance de quartzites plaquetés à amphibole blanche, avec des gneiss fins typiques (à biotite et amphibole, avec très peu de grenat); traînées de quartz, petits bancs de quartzites, d'amphibolites, de micaschistes passant à des embréchites œillées, des gneiss fins, des pegmatites à épidote, des cornéennes (diopside, amphibole, un peu de calcite), de parties riches en diopside... A la fin de cette zone, les roches deviennent horizontales, puis à nouveau verticales plus loin. Puis on repasse à des gneiss œillés type nappe de Kathmandu (gros porphyroblastes contenant de la tourmaline, aspect de protogine) suivis de quartzites gris plaquetés. Après une zone de

rizières apparaissent des roches complètement différentes (point 680 m): elles sont du type rencontré sur la rive gauche de la Sun Kosi (petits bancs de quartzites \pm calcaires alternant avec des parties plus schisteuses) quoique plus métamorphiques, surtout près du contact. Plus haut, elles deviennent plus schisteuses. Passée d'une roche éruptive très écrasée, puis quartzite gris (770 m).

On quitte l'affluent de la Bahaoura Khola au point 820 pour s'élever en direction du col: des gneiss fins et ceillés et des micaschistes à deux micas, alternent avec des schistes à grenat, des arkoses et des quartzites feldspathiques: on y reconnaît de nouveau les éléments des nappes de Kathmandu, très écrasés. Au point 980 m réapparaissent des roches de la zone de Khumbu: gneiss fins typiques à biotite et amphibole et grenat rare, cornéennes, gneiss embréchites un peu nébulitiques (les affleurements sont discontinus). Vers le col réapparaît un des faciès de gneiss, typique des nappes de Kathmandu: gneiss à schistosité sinueuse, à deux micas et tourmaline. Les affleurements sont très mauvais: nous avons retrouvé dans des éboulis des marbres, des chloritoschistes, des schistes, un granite.

Nous n'avons pu redescendre de l'autre côté du col. La description que donne A. LOMBARD des affleurements de cette dernière partie de l'itinéraire permet de l'attribuer aux nappes de Nawakot (A. LOMBARD, 1958).

Interprétation

Nos observations conduisent à penser qu'il existe donc deux têtes plongeantes de nappes dont le cœur est formé d'éléments de la partie inférieure de la série de Khumbu (gneiss inférieurs du Khumbu), enveloppés de roches en provenance des nappes de Kathmandu, le tout étant très écrasé et écaillé. Nous avons remonté la Sun Kosi en direction de Kathmandu (vers l'W): les affluents S de cette grande rivière transportaient tous, jusqu'à environ 40 km à l'W de Bhanejyang, des débris des nappes de Kathmandu et de la zone de Khumbu, avec des granites (vraisemblablement intrusifs, du type de ceux rencontrés dans la région de l'Everest).

Cependant, à côté de cette interprétation logique et très vraisemblable, nous laissons la porte ouverte à deux autres explication:

1. La zone de roches métamorphiques située au S de la Sun Kosi n'appartiendraient pas à une tête plongeante et terminale des nappes de Kathmandu coiffée d'une partie de la zone de Khumbu, mais représenteraient l'Autochtone qui apparaîtrait ici grâce à des failles verticales.

2. Cette zone métamorphique ferait partie non pas des nappes de Kathmandu et de la série de Khumbu, mais des nappes de Nawakot; le métamorphisme exercé sur ces dernières leur aurait donné fortuitement l'apparence des roches appartenant aux autres ensembles. En effet, nous avons observé que les roches attribuées à la zone du Khumbu sont plus riches en quartzites et cornéennes que celles des nappes de la zone de

Khumbu proprement dite, à l'exception de celles des gneiss supérieurs du Khumbu, sous le contact avec le granite de l'Everest.

Bien qu'on ne doive pas complètement écarter ces deux hypothèses, nous les considérons comme très improbables, et nous pensons qu'on se trouve effectivement en présence d'éléments charriés en provenance du N. Des nappes ayant été découvertes partout dans la chaîne de l'Himalaya, il serait étonnant qu'elles n'existent pas dans cette zone. L'amplitude maximum du charriage atteint 63 km (distance Puyan-col du Sukhchauri), ce qui n'est pas excessif.

TECTONIQUE

Deux tectoniques superposées ont été plusieurs fois observées dans l'Himalaya (voir par ex. A. LOMBARD, 1958): l'une à axes EW, l'autre à axes approximativement NS. A ce sujet, nous avons fait les observations suivantes:

1. La tectonique à axes EW correspond au déferlement des éléments du N au S. De style peu souple, elle engendre de grandes écailles qui se chevauchent, ainsi que des grands plis et des nappes dont les flancs renversés sont rarement conservés.

2. Il existe une tectonique à axes NS, plus ancienne, qui affecte les roches à fort métamorphisme. On l'observe notamment dans la zone de Khumbu (par ex.: grands plis couchés et petite tectonique dans les migmatites du Khumbu). Cette structure d'âge certainement précambrien, est dans les grandes lignes parallèle à la tectonique du socle indien situé plus au S (voir A. GANSSER, 1964). Il semble donc naturel de la retrouver dans les zones attribuées au Précambrien (zone de Khumbu).

3. Il existe cependant une tectonique récente à axes NS, de type superficiel. Elle est visible partout dans les nappes de Kathmandu et surtout au S d'Okhaldunga: les couches y oscillent constamment entre les directions NS et EW.

Nous pensons que cette tectonique à axes NS est due à des structures sous-jacentes beaucoup plus anciennes qui ont été réactivées jusque dans les parties superficielles.

Les mesures d'âge K/Ar et Rb/Sr dans les zones très métamorphiques ont toujours livré des âges alpins. On peut légitimement se demander jusqu'à quel point la recristallisation a été complète lors du dernier métamorphisme, et, partant, jusqu'à quel point les structures à tectonique profonde à axes NS ont été elles aussi réactivées récemment.

Peut-être cette réactivation a-t-elle été accompagnée d'une complète recristallisation et que dans le cas de la zone du Khumbu, on ne puisse plus parler que de deux tectoniques d'âge alpin.

Enfin, à titre indicatif, nous présentons ici (fig. 2) en projection stéréographique une „rosette“ de la fréquence des pôles des plans de schistosité des roches rencontrées sur notre itinéraire. On voit nettement apparaître dans ce schéma deux directions tectoniques principales à axes NS et EW. Les autres fréquences relativement élevées résultent de combinaisons entre les deux tectoniques.

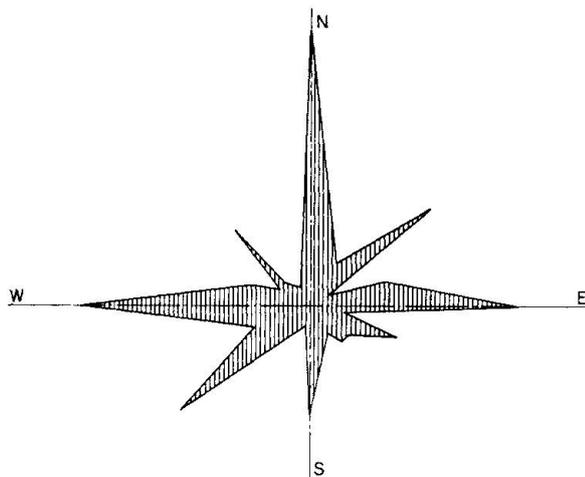


Fig. 2. Projection stéréographique de la fréquence des pôles des plans de schistosité parallèles au litage.

BIBLIOGRAPHIE SOMMAIRE

- BORDET, P. (1961): Recherches géologiques dans l'Himalaya du Népal, région du Makalu. Editions du CNRS, 15 Quai A. France, Paris VIIe.
- BORDET, P., KRUMMENACHER, D., MOUTERDE, R. et REMY, M. (1964): I. Sur la stratigraphie des séries affleurant dans la vallée de la Kali Gandaki (Népal Central). C.R. Acad. Sciences, Paris, t. 259, p. 414—416. II. Sur la tectonique des séries affleurant dans la vallée de la Kali Gandaki (Népal Central). C.R. Acad. Sci., Paris, 259, p. 854—856. III. Sur la stratigraphie de la série secondaire de la Thakkhola (Népal Central). C.R. Acad. Sci., Paris, 259, p. 1425 à 1428.
- (1965): Sur la géochronométrie par la méthode K/Ar des séries affleurant dans la vallée de la Kali Gandaki (Népal Central). C.R. Acad. Sci., Paris, 260, p. 6409—6411.
- BORDET, P. et LATREILLE, M. (1955): I. Précisions sur la tectonique de l'Himalaya de l'Arun. C.R. Acad. Sci., Paris, 241, p. 1594. II. Précisions sur la stratigraphie de l'Himalaya de l'Arun. C.R. Acad. Sci., Paris, 241, p. 1400.

- GANSSER, A. (1964): *Geology of the Himalayas*. Interscience Publishers, John Wiley and sons, London.
- HAGEN, T. (1956): *Das Gebirge Nepals*. *Die Alpen*, 32 (5, 6 et 11), p. 1—31.
- HAGEN, T. et HUNGER, J. P. (1952): *Über geologisch-petrographische Untersuchungen in Zentral-Nepal*. *Bull. Suisse Min. Pétrogr.* 32, p. 309.
- KRUMMENACHER, D. (1956): *Contribution à l'étude géologique et pétrographique de l'Himalaya du Népal*. *Archives des Sci., Genève*, 9/3, p. 263.
- (1957): *Contribution à l'étude géologique et pétrographique de l'Himalaya du Népal*. *Archives des Sci., Genève*, 9/3, p. 269.
- (1961): *Détermination d'âge isotopique faites sur quelques roches de l'Himalaya du Népal par la méthode K/A*. *Bull. Suisse Min. Pétr.* 41/2, p. 273.
- (1966): *Népal Central: Géochronométrie des séries de l'Himalaya*. *Bull. Suisse Min. Pétr.* 46/1, p. 103.
- LOMBARD, A. (1958): *Un itinéraire géologique dans l'E du Népal (massif du Mont Everest)*. *Mém. Soc. Helv. Sci. nat.* 28, mém. 1.
- LOMBARD, A. et BORDET, P. (1956): *Une coupe géologique dans la région d'Okhaldunga (Népal Oriental)*. *Bull. Soc. Géol. France*, 6e sér., VI, p. 21.

Manuscrit reçue le 21 octobre 1966.

Leere Seite
Blank page
Page vide

