

Zeitschrift: Archives des sciences [1948-1980]
Herausgeber: Société de Physique et d'Histoire Naturelle de Genève
Band: 10 (1957)
Heft: 3

Artikel: Contribution à l'étude géologique et pétrographique de l'Himalaya du Népal : pétrographie des éléments structuraux du Népal occidental entre l'Éverest et le Gange
Autor: Krummenacher, D.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-738707>

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: 21.02.2026

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

CONTRIBUTION A L'ÉTUDE GÉOLOGIQUE ET PÉTROGRAPHIQUE DE L'HIMALAYA DU NÉPAL

PÉTROGRAPHIE DES ÉLÉMENTS STRUCTURAUX
DU NÉPAL OCCIDENTAL ENTRE L'ÉVEREST
ET LE GANGE.

PAR

D. KRUMMENACHER

INTRODUCTION

La présente note poursuit et termine l'étude pétrographique des échantillons récoltés par A. Lombard lors de l'Expédition genevoise à l'Everest en 1952 [10].

Quelques premières conclusions ont déjà été esquissées dans nos deux précédentes notes [8, 9]; dans ce dernier travail, nous apporterons des conclusions plus générales.

Mais, avant d'aborder le sujet de cette dernière note, nous aimerions adresser ici tous nos remerciements au professeur Gysin, professeur à l'Université de Genève, pour tous ses conseils et sa sollicitude, ainsi qu'au Fonds national de la recherche scientifique, qui, par son comité à Genève, a bien voulu nous accorder son appui.

Notre gratitude s'adresse aussi aux autorités du canton et de la ville de Genève, qui ont assumé les frais de la Mission scientifique genevoise en 1952, à l'Himalaya.

D'autre part, cette Mission a bénéficié des services de l'Expédition genevoise à l'Everest, organisée par la Fondation suisse pour explorations alpines, à laquelle nous désirons aussi exprimer notre reconnaissance.

Cette dernière note a comme objet l'étude de régions tectoniquement et pétrographiquement différentes.

La première partie sera consacrée à la description de la Dalle du Thibet et de sa couverture péritique, ensemble paraissant constituer une grande partie des plus hauts sommets du Népal, comme l'Everest, le Cho-Oyu, le Lhotsé, le Makalu, l'Annapurna, etc.

La seconde partie décrira la série dite des « Clochetons » [11], représentée par des roches de composition variée, appartenant à la partie supérieure des nappes du Khumbu, et situées directement sous la Dalle du Thibet.

Une troisième partie passera en revue la pétrographie des roches provenant principalement de l'écaille du Nuptsé, et d'un mélange d'échantillons issus de la Dalle du Thibet et des gneiss supérieurs des nappes du Khumbu.

La quatrième partie présentera une description détaillée des roches récoltées le long de la marche d'approche parcourue par l'expédition, entre Kathmandu et Namche Bazar, et le long du chemin du retour passant par Namche Bazar, Junbési, Okhaldunga, Manbhanjang. Ces itinéraires recoupent surtout les nappes de Kathmandu et de Nawakot.

Enfin, une cinquième partie sera consacrée aux conclusions générales.

Nous reproduisons ici, à titre indicatif, la nomenclature utilisée par les géologues qui ont parcouru récemment le Népal, pour désigner les zones tectoniques de la partie E de ce pays [2].

<i>P. Bordet</i> et <i>M. Latreille</i> [2]	<i>A. Lombard</i> [11]	<i>Toni Hagen</i> [6]
Série de Dharan	Série des Siwaliks	Série des Siwaliks
Série de Sangouri	Nappes de Nawakot	Nappes de Nawakot
Ensemble du Bas Himalaya	Nappes de Kathmandu 1-4	Nappes de Kathmandu 1-4
Ensemble du Haut Himalaya:		
Série du Barun	Nappe de Kathmandu 5	Nappe de Kathmandu 5

Migmatites de Namche Bazar	Nappes de Khumbu 1-3	Nappes de Khumbu 1-3
Granite du Makalu	Dalle du Thibet	Granite du Mustang
Série du Thibet	Dalle du Thibet	Série thibétaine.

CHAPITRE PREMIER

LA DALLE DU THIBET

INTRODUCTION.

Le nom de cet ensemble a été donné par A. Lombard [11]. D'après cet auteur, la Dalle du Thibet est formée d'une base granitique, supportant une série péritique normale, de moins en moins métamorphique à mesure qu'on s'élève dans la série, l'ensemble chevauchant les nappes de Khumbu.

P. Bordet [1, 2], qui a participé comme géologue à l'Expédition française à l'Himalaya (Makalu 1954), n'a pas donné la même interprétation.

« Le granite du Makalu, présentant une disposition stratoïde..., ne constituerait pas un élément tectonique indépendant des deux séries qui l'encadrent, puisqu'il les injecte et les métamorphose. Par ailleurs, il y aurait identité pétrographique entre la partie supérieure de la série du Barun et la base de la série de l'Everest. Ce granite aurait été injecté, postérieurement à une phase tectonique tertiaire, dans une zone de discontinuité mécanique résultant d'un mouvement relatif des phyllades de l'Everest sur les gneiss du Barun.

C'est ainsi que ces deux séries maintenant séparées par le granite du Makalu n'en auraient constitué initialement qu'une seule, dont le sommet est Permo-Carbonifère (le versant N de l'Everest a livré des fossiles) et la base vraisemblablement précambrienne ».

Quant au granite du Makalu, il serait tertiaire et postérieur aux premiers mouvements tectoniques (il est représenté par un granite clair à tourmaline, non écrasé).

PÉTROGRAPHIE.

Depuis longtemps déjà, le granite leucocrate à tourmaline, qui constitue la base de la Dalle du Thibet, avait attiré l'attention des géologues attachés aux expéditions britanniques à l'Himalaya.

Il y a quelque temps, une description pétrographique et géologique du Cho-Oyu a été donnée par M. Gysin et A. Lombard [4]. Ce haut sommet est taillé dans la série continue et plissée de la base de la Dalle du Thibet.

Les roches récoltées sur ce sommet sont les suivantes :

« Paragneiss dioritiques et monzonitiques, formant les contreforts méridionaux de la montagne au-dessous de 6.200 m et la calotte glaciaire du sommet, au-dessus de 6.600 m.

» Granites aplitiques apparaissant entre les deux cotes.

» Aux paragneiss sont associés des grenatites et des cornéennes ; en outre, les gneiss sont traversés par des dykes de gabbros et de plagiaplites, eux-mêmes parfois recoupés par des pegmatites à orthose ».

Les auteurs de cette note ont établi la chronologie suivante :

1. Métamorphisme général des sédiments, formation des gneiss.
2. Intrusions de gabbros et de plagiaplites.
3. Venues granitiques, formation des grenatites et des cornéennes, injection des pegmatites à orthose dans la série du Thibet et dans les nappes du Khumbu.

Nous allons donner la description pétrographique des roches appartenant à la Dalle du Thibet (constituée, nous le rappelons, par le granite intrusif et sa couverture pélitique). Les échantillons ont été récoltés sur des moraines, dans deux régions différentes :

La première (échant. 238), est très proche du Nangpa La ; la seconde (échant. 130, 131, 132, 139) se situe entre le camp de base de l'Expédition genevoise sur le glacier de Khumbu, et les versants S et W du Pumori.

MORAINES DU GLACIER DU NANGPA LA.

Les roches de cette région sont des granites clairs parfois riches en tourmaline.

Granites leucocrates à deux micas (238/1/1, 2), (fig. 1).

	Quartz	Feldspath potassique	Plagio- clase	Autres minéraux
Echant. 238/1/2 (Voir figure 1.)	27%	42%	24,5%	6,5%

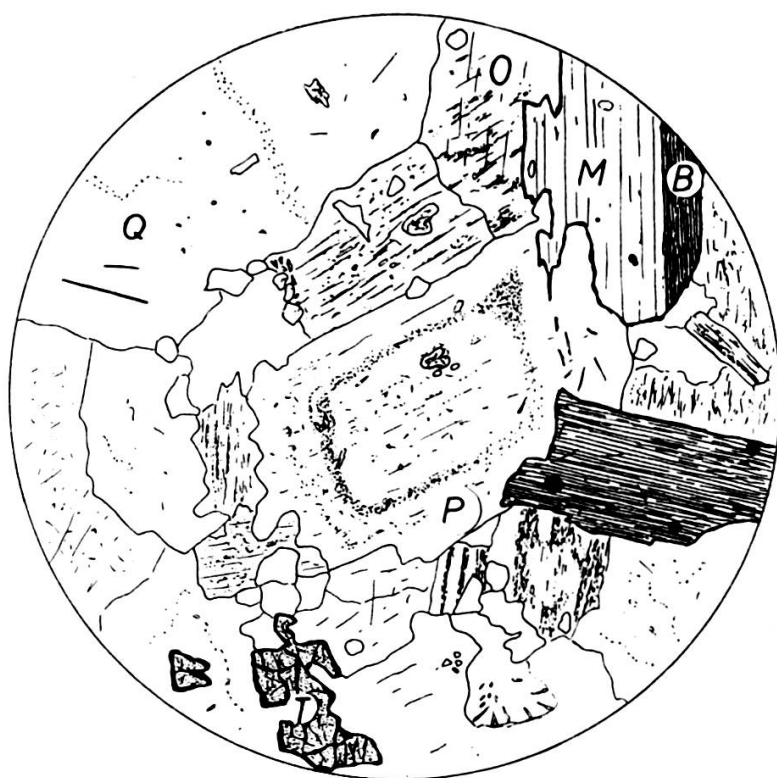


Fig. 1.

Echantillon 238/1/2. ($G = 35 \times$) Granite leucocrate à deux micas. Quartz (Q), orthose (O), plagioclase 8% An (P), muscovite (M), biotite (B), tourmaline (T).

Albite (0 — 8% An), formant des plages allongées, prismatiques. Feldspath potassique (orthose, extinction sur $S_{np} = 0^\circ$) enrobant souvent les plagioclases.

Biotite, brune, riche en auréoles pléochroïques, souvent partiellement chloritisée (pennine); muscovite se présentant en lamelles trapues, parfois squelettiques, au sein des feldspaths.

Quartz, en grandes plages xénomorphes, montrant une tendance (surtout dans l'échantillon 238/1/2) à former de grosses gouttes arrondies à la limite des grains des autres minéraux.

Notons encore la présence de tourmaline, de très peu de myrmécite, de zircon et d'apatite.

Granite monzonitique leucocrate à deux micas et tourmaline (238/1/4).

Ce granite ressemble beaucoup au précédent. La structure est identique mais le plagioclase (25% An) est un peu plus fréquent. La tourmaline, abondante, forme de petits cristaux idiomorphes et de grands prismes squelettiques (inclusions de quartz et de plagioclase).

CONCLUSION.

L'ensemble de la Dalle du Thibet est représenté au Nangpa La par des granites aplitiques à deux micas parfois riches en tourmaline. Leur structure est grenue; ces roches ne présentent aucune trace d'écrasement.

Le feldspath potassique est l'orthose ($2V = 60^\circ$ env., ext. sur $Snp = 0^\circ$).

Versant S du Pumori.

Les échantillons provenant de cette région sont en plus grand nombre et offrent une plus grande variété que les précédents. Ce sont surtout des granites et diorites quartziques, des gneiss de composition diverse, parfois riches en amphibole et pyroxène, des cornéennes, des amphibolites et une roche de contact.

Granites aplitiques et aplites.

On observe dans ce groupe des roches à structure aplitique plus ou moins marquée: structure à plagioclases idiomorphes, orthose et quartz arrondi, passant à une structure en mosaïque, les feldspaths étant criblés d'inclusions de quartz.

Granites aplitiques à biotite (130/8, 130/10, 131/5, 132/0).

	Quartz	Feldspath potassique	Plagio- clase	Autres minéraux
Echant. 130/10	27,5%	32,5%	39%	1,2%

Structure grenue, plus ou moins aplitique.

Plagioclase, souvent un peu séricitisé, subrectangulaire et contenant de 0 à 25% An. Orthose (extinction pratiquement droite sur Snp); quartz formant des plages assez arrondies, criblant souvent les feldspaths. Lamelles de biotite, peu fréquentes et parfois chloritisées, ayant tendance à se disposer parallèlement.

Minéraux accessoires: Zircon, magnétite, apatite, sphène, peut-être un peu de topaze.

Dans l'échantillon 131/5 (granite aplitique en contact avec une cornéenne à biotite et diopside plus ou moins ouralitisé), on observe un enchevêtrement complet des éléments leucocrates. La structure devient poeciloblastique et même graphique; la biotite, corrodée, est presque absente.

Il est intéressant de remarquer le contraste existant entre la basicité des plagioclases du granite aplitique (contenant de l'oligoclase 25% An) et celle des plagioclases de la cornéenne (cette dernière contenant un plagioclase à 60% An). Cette observation laisse présumer du caractère intrusif de ce granite aplitique.

Granite aplitique à deux micas et tourmaline (132/14).

Granites aplitiques à muscovite et tourmaline (132/7, 139/5).

Granite aplitique à deux micas (132/5).

Structure semblable à celle des granites aplitiques.

Plagioclases (0 à 12% An) nettement rectangulaires; l'orthose est xénomorphe et le quartz a tendance à former des plages arrondies, mais toutefois sans apparaître en gouttelettes dans les feldspaths.

Muscovite, très belle, généralement rectangulaire. La tourmaline apparaît en prismes brun-verdâtre.

L'échantillon 132/14 est un peu écrasé. Les micas commencent à s'effiloche en traînées souvent capricieuses. Les feldspaths (albite et orthose) sont un peu lenticulaires. Le mortier qui les entoure est constitué de quartz, d'albite, et de myrmécite envahissante; sa recristallisation est déjà bien avancée.

Tourmaline en prismes assez grands.

Aplites.

Il existe deux sortes d'aprites.

L'échantillon 132/9 est une aprite à phlogopite (fig. 2).

Les grains sont isométriques et régulièrement arrondis.

Albite, maclée, contenant de petites inclusions de feldspath potassique; quartz se présentant en petits grains à contours circulaires; phlogopite en petites lamelles subparallèles et légèrement colorées.



Fig. 2.

Echantillon 132/9. (G = 50 ×.) Aplite albitique à phlogopite.
Albite (P), quartz (Q), phlogopite (M).

Les échantillons 132/10 (aplite monzonitique à deux micas) et 132/12 (aplite albitique à tourmaline et deux micas) ont une structure et une composition minéralogique différentes. Les plagioclases (5 à 30% An) varient de composition dans la même plaque mince; le feldspath potassique (orthose) présente des formes bien rectangulaires.

Biotite brune altérée, muscovite en grandes lamelles.

Minéraux accessoires: Apatite, chlorite, zircon. L'échantillon 132/12 contient en outre quelques plages de tourmaline.

*Granites alcalins écrasés à muscovite (131/2, 7);
à deux micas (131/11).*

Leur écrasement n'est pas très poussé et les recristallisations sont importantes. Les grands individus de feldspath sont

enrobés dans un rare mortier quartzo-feldspathique, tandis que les grains de quartz sont réduits en une mosaïque de petits grains recristallisés; les lamelles de micas sont légèrement ployées.

Minéral accessoire: Apatite (quelques prismes trapus).

L'échantillon 131/11 présente une structure un peu gneissique.

Granites alcalins à deux micas (139/2, 4).

Structure grenue, un peu aplitique par endroits.

Orthose, parfois en plages un peu carrées, souvent entourée de myrmécite et de petits grains d'albite secondaire. Albite, altérée (elle contient de la calcite et de la séricite) plus ou moins idiomorphe.

Biotite, disposée dans tous les sens, parfois très chloritisée. Belles lamelles de muscovite, parfois en individus squelettiques inclus dans l'orthose.

Minéraux accessoires: Chlorite, apatite, tourmaline (dans l'échantillon 131/4), calcite, séricite.

Granites à biotite et tourmaline (130/1);

à biotite (130/0x);

à biotite riche en apatite (130/14).

Structure grossièrement grenue. Quartz, ayant tendance à former de petites inclusions en gouttelettes et de petites griffes dans les feldspaths potassiques. Orthose se présentant en grandes plages xénomorphes, très finement perthitiques, mouvant les restes de quartz et de plagioclases.

L'échantillon 130/14 renferme beaucoup d'apatite, et la basicité du plagioclase atteint 33% An.

L'échantillon 130/0 contient passablement de tourmaline.

Granites monzonitiques (130/6, 130/7, 130/17, 131/9).

	Quartz	Feldspath potassique	Plagio- clase	Autres minéraux
Echant. 130/7	30%	30%	33,5%	6,5%

Les échantillons 130/6, 7, 17) sont des granites monzonitiques tourmalinifères, à structure grenue; les plagioclases (27% An) et le feldspath potassique (orthose) sont plus ou moins idiomorphes. Le quartz moule les feldspaths et se trouve parfois en petites inclusions arrondies dans ces derniers. La tourmaline forme des prismes trapus, la muscovite de larges paillettes souvent déchiquetées, parfois en inclusion dans les feldspaths. La biotite est presque complètement chloritisée.

Minéral accessoire: Sphène.

L'échantillon 131/9 montre une structure écrasée en voie de recristallisation. Le quartz se présente en plages concassées, les plagioclases (oligoclase 28% An), à macles souvent tordues, sont disposés dans une mésostase quartzo-feldspathique, rongant les minéraux leucocrates. La muscovite forme des lamelles effilochées; la biotite est le plus souvent complètement chloritisée.

Minéraux accessoires: Epidote, magnétite, apatite, zircon.

Granodiorite à biotite (130/19).

Structure grenue, un peu aplitique.

Le quartz, arrondi, est souvent inclus dans les feldspaths.

Les plagioclases (20% An), bien maclés, s'individualisent en cristaux subcarrés; l'orthose contient parfois des résidus d'oligoclase associés à des griffes de quartz myrmécitique. La biotite est brun-vert, et forme des lamelles plus ou moins parallèles.

Minéraux accessoires: Zircon, apatite, tourmaline, clinocllore, pyrite.

Diorite quartzique à biotite (130/2).

C'est une roche à structure grenue, formée d'oligoclase (18% An) fortement maclée, de quartz souvent arrondi, de très rares sections de feldspath potassique et de nombreuses lamelles de biotite brun-rouge, orientées dans tous les sens. Un peu de muscovite.

Les gneiss.

Leur composition est très variée.

Gneiss alcalins: à deux micas (131/3, 8).

La structure est en mortier, fortement recristallisée.

Les plagioclases (albite 0 à 10% An) présentent des macles lamellaires fortement ployées. L'orthose entoure le feldspath calcosodique; elle forme de grandes plages xénomorphes envahissantes, se distinguant difficilement des autres minéraux.

Le quartz, cataclastique et dentelliforme, s'observe aussi en petites plages circulaires dans les feldspaths. Les micas, surtout la biotite, s'effeuillent autour des minéraux.

La roche présente un caractère leucocrate.

Minéraux accessoires: Zircon (formant des auréoles pléochroïques dans la biotite), apatite, séricite.

L'échantillon 132/13 (gneiss alcalin à biotite) montre une structure granoblastique.

L'échantillon 139/8 (gneiss alcalin à biotite) offre un tout autre caractère.

La biotite apparaît en petites lamelles très fraîches, plus ou moins parallèles. Le fond leucocrate est formé surtout d'orthose, incluant poecilitiquement de petites gouttelettes de quartz, de petites lamelles de séricite et de biotite.

La tourmaline se présente en petits prismes orientés dans toutes les directions.

Minéraux accessoires: Apatite, magnétite, rutil, chlorite, calcite.

Gneiss granitiques à biotite.

On peut en reconnaître deux variétés.

La première (130/11, 130/15) montre une structure bien recristallisée.

Grains de quartz, arrondis, endentés; orthose, parfois en cristaux bien développés, s'entourant parfois de plagioclases (myrmécite fréquente, oligoclase 20% An, macles peu visibles). Lamelles de biotite plus ou moins parallèles montrant des auréoles pléochroïques.

Minéraux accessoires: Zircon, apatite, séricite; l'échantillon 130/11 contient en outre du rutil, l'échantillon 130/15 un nid de fibrolite de forme capricieuse.

La seconde variété de gneiss présente une structure plus grossière (130/16).

Biotite, en concentrations importantes, par place fortement chloritisée et remplacée, parallèlement au clivage p, par de l'épidote jaune citron, lancéolée, formant des inclusions parallèles et allongées.

Plagioclase (33% An) presque complètement séricitisé; quartz formant de grandes plages xénomorphes.

Minéraux accessoires: Calcite, muscovite.

L'échantillon 139/3 est très riche en quartz. Tout au plus observe-t-on quelques plages xénomorphes d'orthose et d'oligoclase entre les grandes plages granoblastiques de quartz.

Biotite peu fréquente, en petites lamelles.

Gneiss monzonitiques (130, 132/6, 7).

Ils ont une structure grenue banale.

Les échantillons 132/6 et 132/7 contiennent de la biotite largement cristallisée; le quartz est arrondi, le plagioclase

(25% et 35% An) et l'orthose sont xénomorphes. La muscovite, peu fréquente, est squelettique.

Minéraux accessoires: Sillimanite (139/7), zircon, apatite.

L'échantillon 132/7 (gneiss monzonitique à tourmaline et muscovite) offre aussi une structure grenue; les feldspaths, spécialement les plagioclases, montrent une tendance à développer des formes idiomorphes. Ils sont un peu altérés. Grains de quartz endentés, un peu dentelliformes; muscovite en lamelles très trapues.

Chlorite, remplie d'exsudats ferrugineux, provenant très vraisemblablement de biotite. Tourmaline en prismes idiomorphes brunâtres.

Ce gneiss est assez leucocrate.

Gneiss granodioritique à biotite (132/8).

Ce gneiss est très proche des échantillons précédents de gneiss monzonitique (voir 130/, 132/6, 7); il ne s'en distingue que par une diminution de la quantité d'orthose par rapport à celle du plagioclase.

Gneiss dioritiques.

Ils présentent deux groupes offrant des structures bien distinctes.

Le premier groupe est représenté par des gneiss dioritiques assez largement cristallisés, à structure parallèle, dans lesquels le feldspath potassique est pratiquement absent.

Le deuxième groupe est caractéristique par la finesse de son grain et la présence de biotite, de pyroxène et d'amphibole.

Gneiss dioritique à biotite (130/1, 130/13, 130/18, 131/13, 132/1, 139/1), (voir fig. 3).

Structure grenue parallèle, parfois à tendance poeciloblastique.

Ces gneiss sont à rapprocher des gneiss monzonitiques et granodioritiques précédents. Ils contiennent des lits à structure plus grossière, formés surtout de plagioclase. Ce dernier contient en général 25 à 39% An. On observe çà et là un peu d'orthose cimentant les grains. Biotite souvent très fraîche, quartz montrant une tendance à s'inclure dans les feldspaths.

Minéraux accessoires: Apatite, zircon, tourmaline.

Gneiss dioritique à biotite, hornblende et diopside (139/0). Structure très fine, grano- à lépidoblastique.

Cet échantillon présente une alternance de deux lits de composition différente.

Le premier lit est formé de biotite brune en petites lamelles, sur un fond grenu de quartz et de plagioclase basique. On observe un peu de tourmaline et de feldspath potassique.

Minéraux accessoires: Sphène, zircon, apatite.

Le second lit contient du diopside et de la hornblende. Cette amphibole, en poeciloblastes souvent assez bien déve-



Fig. 3.

Echantillon 132/1. ($G = 40 \times$). Gneiss dioritique.
Plagioclase (P), quartz (Q), biotite (B).

loppés, ne semble pas provenir de la transformation du diopside, qui forme de petits grains xénomorphes indépendants. La biotite fait ici défaut.

Le fond leucocrate est formé par une mosaïque d'andésine (48% An) et de quartz.

Minéraux accessoires: Sphène fréquent, apatite, zircon.

Cornéennes (131/Oa, 1, 4, 6), (voir fig. 4).

Ce sont des gneiss très fins, dans lesquels le litage est peu apparent. Ces cornéennes contiennent toutes de la biotite, avec de la hornblende et du diopside dans certains cas. Le plagio-

clase est difficilement identifiable, car il se présente en plages très petites dont la séricitisation est souvent très avancée. Peut-être, entre les grains, trouve-t-on de la cordiérite, mais il est délicat de l'affirmer (petites plages xénomorphes à extinction fibreuse et indice peut-être plus grand que le baume et

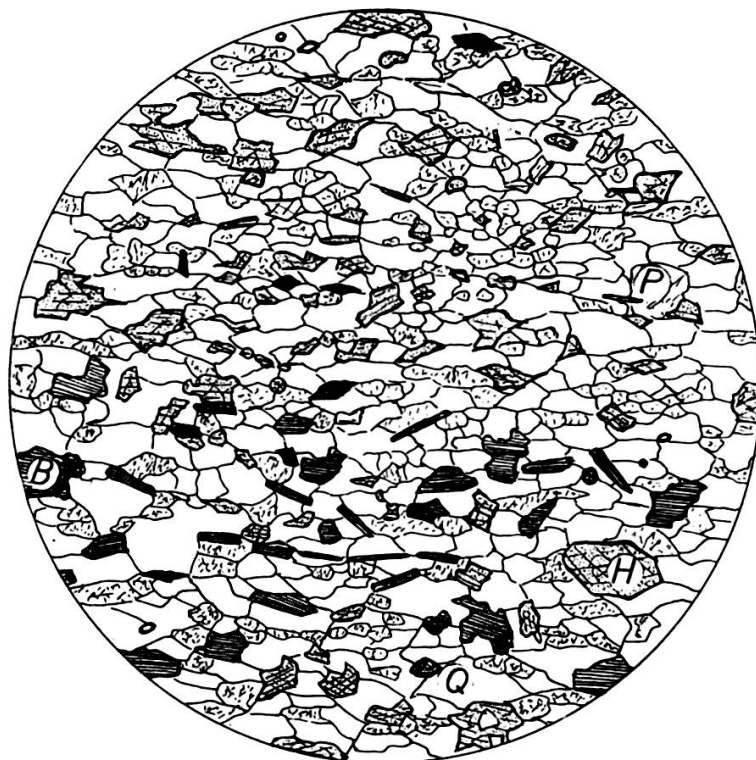


Fig. 4.

Echantillon 131/6. $G = 62 \times$.) Cornéenne feldspathique à biotite et hornblende.

Quartz (Q), plagioclase basique (P), hornblende (H), biotite (B), sphène, zircon, apatite.

même le quartz). La hornblende paraît dériver du diopside dont on peut découvrir des restes dans l'amphibole (131/0b, 131/4, 6, cornéennes feldspathiques à biotite et hornblende).

L'échantillon 131/0/a (cornéenne feldspathique à diopside, biotite et hornblende) présente deux zones: L'une à diopside, l'autre à biotite.

Ces deux lits sont séparés par une zone où se développent des poeciloblastes de hornblende (hornblende vert-brun, parfois bleutée; l'extinction de Ng/m atteint la valeur de 20°) semblant inclure des restes de diopside peu différenciés.

Le fond clair est représenté par une mosaïque de quartz et de feldspath (labrador 50% An, maculé polysynthétiquement).

L'apatite et le sphène sont très fréquents, en petits grains agglomérés.



Fig. 5.

Echantillon 132/2. (G = 35 ×.) Amphibolite feldspathique à hornblende.

Hornblende (H), plagioclase (P), chlorite (C).

Les amphibolites.

Elles se caractérisent par une grande richesse en hornblende.

La taille des minéraux et la basicité du plagioclase varient beaucoup d'un échantillon à l'autre.

Les échantillons 130/9 et 132/2 (voir fig. 5) sont des amphibolites massives. Leur structure est granoblastique, un peu poeciloblastique.

On observe des grains de hornblende vert-brun en grande proportion, de l'andésine souvent zonée (30-50% An); quelques grains de quartz se trouvent en inclusions poecilolitiques dans l'amphibole et le plagioclase. Les rares lamelles de biotite ont été transformées en chlorite.

L'apatite et surtout le sphène sont abondants. On trouve encore un peu de magnétite.

L'échantillon 130/4 possède une structure plus poeciloblastique et contient une assez grande quantité d'ilménite. La basicité du plagioclase atteint 55% An; il est parfois criblé de petites inclusions arrondies de quartz.

Minéraux accessoires: Sphène, apatite.

L'échantillon 132/4A est une amphibolite feldspathique riche en quartz et s'approche des gneiss à amphibole.

Le quartz a une structure en mosaïque et certains lits sont plus riches en plagioclase (70% An env.) souvent criblé de feldspath potassique.

Minéraux accessoires: Epidote, apatite.

L'amphibolite 132/4B ressemble beaucoup à la précédente. Les plagioclases poeciloblastiques montrent des traces d'écrasement (macles tordues) et le quartz est concentré en lentilles allongées à extinction un peu roulante. On observe un peu de chlorite, dispersive dans les tons violets, semblant dériver de l'amphibole.

La préparation 130/3 (granogabbro) comporte plusieurs lits de composition différente:

- a) Partie formée de nombreuses petites plages de hornblende ($Ng/m = 24^\circ$) associées à un peu de chlorite (teintes de dispersion violettes) dans un fond grenu formé surtout de plagioclase (71% An), de quartz et de quelques plages xénomorphes d'orthose (Snp 0° , 2v petit). Le sphène est abondant.
- b) Partie médiane formée de la même amphibole; mais le quartz xénomorphe est plus abondant.
- c) Dernière partie surtout riche en plagioclase de même basicité où le quartz est peu abondant. On observe du diopside partiellement épigénisé en hornblende vert-clair granuleuse, associée à de nombreuses plages d'épidote jaune, des grains de dipyre et de la calcite.
Quelques grains de sphène.

Roche de contact (136/6), (voir fig. 6, chap. II).

Structure grenue.

On reconnaît un agrégat de diopside un peu verdâtre (ext. $Ng/m = 38^\circ$), des grains de dipyre altérés en calcite,

cette dernière se développant parallèlement au clivage du scapolite; le sphène, abondant, forme des plages assez grandes. Le plagioclase, zoné, maclé, altéré et contenant de multiples inclusions des autres minéraux, a une basicité voisine de 45% An. On remarque encore la présence de quelques grenats à faibles anomalies optiques, de clinozoïsite dispersive, et de faisceaux d'aiguilles fines, centroradiées, à extinction presque droite (anthophyllite ou trémolite?).

CONCLUSIONS.

L'ensemble géologique appelé par A. Lombard « Dalle du Thibet » est d'une composition pétrographique assez simple.

Les roches récoltées dans la région du Nangpa La sont des granites alcalins et monzonitiques contenant de la tourmaline.

Celles récoltées sur le versant Sud du Pumori sont plus variées. On y observe surtout des granites, granodiorites et diorites quartziques, des gneiss de diverse composition, parfois riches en pyroxène et amphibole, enfin des amphibolites et une roche de contact.

Le tableau suivant a été fait dans le dessein de faire ressortir une certaine similitude entre les roches de la région du Cho-Oyu [4] et celles du versant S du Pumori.

<i>Roches du Cho-Oyu et Nangpa La</i>	<i>Versant S et W du Pumori</i>
Granites alcalins aplitiques à muscovite et tourmaline	Granites aplitiques et alcalins
Granites aplitiques à 2 micas	—
Granite monzonitique leucocrate	—
Gabbros (plag. = 75% An)	—
Paragneiss monzonitique à biotite	Tous les gneiss
monzonitique à biotite et hornblende	
dioritique	
Grenatites	Roche de contact
Cornéennes feldspathiques à pyroxène, cordiérite, amphibole	Cornéennes
Cipolin	—
Plagiaplite quartzifère	—
Phyllite chlorito-séricitique calcaire	—

La comparaison ci-dessus permet de supposer que l'ensemble géologique appelé par A. Lombard « Dalle du Thibet » est d'une assez grande homogénéité sur la ligne Cho-Oyu-Everest (env. 35 km). Le granite qui constitue la base de cet ensemble a fait vraisemblablement intrusion dans des roches de composition assez identique dans ces deux régions.

Nous allons encore tenter d'apporter une contribution pétrographique aux hypothèses géologiques exposées sur la Dalle du Thibet en tête de ce chapitre.

Essayons tout d'abord de nous rendre compte jusqu'à quel point la semelle granitique de cet ensemble a été écrasée. On peut en avoir un aperçu en examinant statistiquement la structure des granites précédents.

<i>Granites</i>	<i>Ecrasement</i>
<i>Nangpa La :</i>	
2 granites alc. à deux micas (238/1/1, 2)	Nul
1 granite monzonitique à deux micas et tourmaline (238/1/4)	Nul
<i>Versant S du Pumori :</i>	
3 granites aplitiques à biotite (130/8, 10, 131/5)	Nul
1 granite aplitique à biotite (132/0)	Notable orientation
1 granite aplitique alcalin à deux micas et tourmaline (132/14)	Ecrasé
2 granites aplitiques à muscovite et tourmaline (132/7)	Nul
1 granite aplitique à deux micas (139/5)	Nul
3 aplites (132/9, 10, 12)	Nul
2 granites alcalins à muscovite (131/2, 7)	Notable
1 granite alcalin à deux micas (131/11)	Notable
2 granites alcalins à deux micas (139/2, 4)	Nul
2 granites à biotite et tourmaline (130/1, 0x)	Notable

1 granite à biotite et tourmaline riche en apatite (130/14)	Nul
3 granites monzonitiques (130/6, 7, 17)	Nul
1 granite monzonitique (130/9)	Notable, suivi de recris- tallisations
1 granodiorite à biotite (130/19)	Orientation notable
1 diorite quartzique à biotite (130/2)	Orientation notable

*Cho-Oyu*¹

2 granites aplitiques à deux micas (20, 21)	Nul
1 granite aplitique à deux micas	Faible
3 granites aplitiques alcalins (236/1/4, 6, 21)	Faible

Au total, on obtient 17 granites et 3 aplites ne présentant aucune trace d'écrasement, 11 granites peu écrasés, et 3 granites à structure un peu parallèle. Ce bilan permet de supposer que ce granite intrusif s'est mis en place entre la série du Thibet et les nappes de Khumbu vers la fin des mouvements qui permirent l'injection du granite entre ces deux unités.

La comparaison entre les séries situées au-dessus et au-dessous de ce granite intrusif peut donner une idée du mouvement d'une série par rapport à l'autre. En effet, une similitude minéralogique, pétrographique et de métamorphisme entre ces deux séries permettra de supposer que les mouvements de la série supérieure (série du Thibet) sur la série inférieure (nappes du Khumbu) ont peu de chances d'être très importants.

Nous ferons cette comparaison à la fin du chapitre III.

Métamorphisme de la Dalle du Thibet.

Selon Gysin et Lombard [4] et P. Bordet [1, 2], la série de la Dalle du Thibet était déjà métamorphisée avant l'intrusion granitique de la base de cette série. Ce métamorphisme est

¹ Les N° des échantillons pour cette région renvoient le lecteur à la publication (4).

très souvent oblitéré par les phénomènes postérieurs de contact et d'injection.

Au Cho-Oyu, la roche la moins métamorphique recueillie est une phyllite chlorito-séricitique calcique imbibée de syénite aplitique [4]. Il semble qu'on puisse attribuer au métamorphisme des roches proches du sommet du Cho-Oyu, une profondeur correspondant à la limite entre mésozone et épizone.

Quant au métamorphisme des roches de la Dalle du Thibet, recueillies par A. Lombard dans la région du Nangpa La et au S du Pumori, il ne dépasse vraisemblablement pas, avec ses amphibolites, la partie médiane de la mésozone.

Il se peut donc que le métamorphisme de la Dalle du Thibet s'étage de la manière suivante:

La partie inférieure de cet ensemble serait constituée de roches dont le métamorphisme est approximativement celui de la mésozone inférieure ou médiane (roches récoltées par A. Lombard au S. du Pumori). Le métamorphisme de la partie supérieure de la Dalle du Thibet atteindrait celui de la limite mésozone-épizone (roches récoltées par J. Juge près du sommet du Cho-Oyu).

Différences entre le granite de la Dalle et les granites et gneiss des nappes de Khumbu.

La différence est en premier lieu minéralogique; elle se manifeste par un triclinisme variable du feldspath potassique [9].

L'orthose (triclinisme nul), est caractéristique du granite intrusif de la Dalle du Thibet (angle $2V$ compris entre -50 et -70° , extinction droite sur la perpendiculaire à la bissectrice aiguë par rapport à $p(001)$). Le microcline (triclinisme maximum est caractéristique des granites et gneiss des nappes) de Khumbu (angle $2V$ plus grand que -75° , macles polysynthétiques visibles ou non, extinction sur la perpendiculaire à la bissectrice aiguë par rapport à $p(001)$ atteignant ou dépassant 80°).

Dans la zone intermédiaire, on observe des feldspaths potassiques à triclinisme variable (voir aussi [3]).

La constance de la tourmaline est aussi typique du granite de la Dalle, quoique ce minéral pneumatolytique puisse imprégner profondément les nappes du Khumbu, et, nous le verrons plus tard, aussi les nappes de Kathmandu et de Nawakot, situées beaucoup plus loin vers le S.

Signalons enfin que le caractère intrusif du granite de la Dalle du Thibet est parfois visible même dans les coupes minces (voir par ex. 131/5). Les plagioclases présentent souvent une structure idiomorphe, assez typique des granites intrusifs [7].

CHAPITRE II.

LES CLOCHETONS

INTRODUCTION.

De nombreux petits sommets crénelés, de couleur sombre, apparaissent juste en avant de la Dalle du Thibet. On les retrouve vers le S jusque dans la région de Ghat, au-delà de Namche Bazar [11].

D'après A. Lombard [11], leur matériau serait constitué de paragneiss peu métamorphiques appartenant au sommet des nappes de Khumbu. P. Bordet les a appelés « gneiss noirs du Barun ».

Comme on va le voir dans la partie pétrographique, cette série contient de nombreuses injections issues du granite de la Dalle du Thibet.

A. Lombard a récolté les échantillons provenant de la série des Clochetons dans deux régions distinctes:

1. Sur les moraines du Glacier du Nangpa La.
2. Sur les moraines de la rive droite du Glacier de Khumbu.

PÉTROGRAPHIE.

Les roches récoltées dans ces deux régions se ressemblent beaucoup. Ce sont des aplites, pegmatites, granites aplitiques riches en tourmaline, des diorites et microdiorites, des gneiss très variés, parfois riches en diopside et hornblende, et enfin des cornéennes, roches de contact et amphibolites.

*Moraines du Glacier du Nangpa La.**Aplites.*

Ces roches leucocrates sont de composition et d'allure variées.

L'échantillon 238/1/39 (aplite albitique à phlogopite) est parfaitement semblable à celle décrite dans le chapitre consacré à la Dalle du Thibet (voir échant. 132/9, fig. 2). L'albite, fraîche, en grains parfois un peu idiomorphes, est en même proportion que le quartz. Ce dernier minéral est arrondi, et forme souvent des inclusions dans les plagioclases. On rencontre en outre un peu de feldspath potassique autour des grains de quartz. La phlogopite, en lamelles assez parallèles, présente des tons beige-clair à incolore.

Minéraux accessoires: Rutile, zircon.

Aplites alcalines riches en quartz (238/1/34, 238/1/20).

Le premier échantillon (238/1/34), avec sa forte prédominance en quartz, ressemble un peu à un quartzite. Le quartz est indenté, en assez grandes plages. L'albite, bien maclée, en moindre proportion, contient parfois de petites plages d'orthose très trouble, qui forme aussi de petits grains épars.

Quelques lamelles brunes de biotite parallèle.

Le second échantillon (238/1/20) a un cachet plus aplitique.

Quelques rares plages d'orthose trouble, avec un peu d'apatite, sont presque totalement envahies par le quartz xénomorphe. On observe çà et là quelques lamelles parallèles de biotite brune.

Minéraux accessoires: Zircon, apatite, rutile.

Les échantillons 238/1/5 et 238/1/36 sont de caractère différent.

L'échantillon 238/1/36 (aplite à deux micas et tourmaline) offre une structure enchevêtrée évoquant une cristallisation

rapide. Les plagioclases sont zonés (25% An en moyenne) et altérés au centre, en un mélange de petites lamelles de séricite et de zéolites en veinules; leurs macles sont parfois tordues et le quartz est plus ou moins cataclastique.

Orthose, très fréquente, xénomorphe, s'insinuant partout; myrmécite entourant de nombreux feldspaths; quartz, souvent dentelliforme, envahissant.

Biotite brune, piquetée de nombreuses auréoles pléochroïques, se présentant souvent en feuillets tordus; séricite commençant à s'effiloche en trainées onduleuses. Zones sub-circulaires, formées d'un agrégat de séricite fine, de matière isotrope un peu jaunâtre et de chlorite (pinite?).

Grands cristaux squelettiques de tourmaline.

L'échantillon 238/1/5 (aplite à muscovite) est encore plus typiquement aplitique. Enchevêtrement de quartz arrondi, très souvent en inclusions dans les feldspaths; orthose, très perthitique, assez idiomorphe; plagioclases, altérés (zéolites) et envahissants.

Biotite rare et presque complètement chloritisée. Lamelles de muscovite un peu tordues, presque carrées.

Petits cristaux idiomorphes de tourmaline, parfois chloritisée en chapelets dans un filonnet.

Pegmatites.

Elles se distinguent par leur structure très grossière et leur pauvreté en micas. Elles ont toutes une structure légèrement écrasée.

L'échantillon 238/1/12'' (pegmatite alcaline) présente une structure grossièrement grenue, un peu cloisonnée [7].

Les grandes plages d'orthose altérée paraissent avoir rongé les lamelles de biotite, dont il ne reste plus que de fines dentelles. On observe encore un peu d'albite, vraisemblablement secondaire, en inclusion le long de certains clivages du feldspath potassique. Elle se trouve associée aussi à de petites plages arrondies de quartz et ronge la périphérie des feldspaths (cette disposition fait apparaître la structure cloisonnée).

Les plagioclases sont rares (10-20% An), maclés et entourés d'une auréole secondaire plus acide. Le zircon est peu abondant.

Les échantillons 238/1/8 et 238/1/12 (pegmatite à oligoclase et pegmatite alcaline à biotite) sont très semblables.

Le plagioclase maclé (macles courbes), variant de 10 à 16% An, est souvent criblé de petites inclusions carrées de

feldspath potassique. Le quartz est informe, dentelliforme, un peu cataclastique.

Minéraux accessoires: Muscovite, biotite, apatite, sillimanite.

Granites.

Ils sont tous assez leucocrates; la plupart sont assez riches en tourmaline.

Granites aplitiques à biotite et tourmaline (238/1/10a, 27, 30); granite aplitique à deux micas et tourmaline (238/1/37).

La structure est grenue à plagioclases automorphes. Le feldspath, un peu zoné, peut contenir jusqu'à 25% An. Il montre dans sa disposition une légère fluidalité. Le quartz est xénomorphe, généralement arrondi et en inclusion dans les feldspaths. L'orthose, très finement perthitique, est maclée selon Karlsbad. La biotite est un peu ployée et trouble.

L'échantillon 238/1/10a contient de la pinite arrondie, entourée d'un peu de sillimanite. On observe encore deux petits cristaux de disthène à centre rose pléochroïque.

L'échantillon 238/1/27 contient aussi de la pinite, de l'apatite, du zircon, de la pennine, du rutile et de la tourmaline.

Enfin, notons la présence de sillimanite, de tourmaline brune, de magnétite et de zircon dans l'échantillon 238/1/30.

L'échantillon 238/1/33 est assez altéré. On peut distinguer de l'orthose, du quartz xénomorphe, des plagioclases presque complètement zéolitisés (l'échantillon à vue montre des feldspaths roses). Des veinules de zéolites traversent la roche. On observe encore un peu de tourmaline squelettique. Les deux micas sont toujours un peu ployés.

Diorites et microdiorites.

Diorite quartzique à diopside plus ou moins ouralitisé (238/1/25).

Diorite rubanée à diopside plus ou moins ouralitisé (238/1/29).

Diorite à hornblende et biotite (238/1/25).

Ces diorites sont assez proches des amphibolites feldspathiques plus ou moins quartzieuses décrites précédemment (voir Dalle du Thibet).

Les échantillons 238/1/10 et 238/1/29 sont très semblables.

Leur structure est grenue, poeciloblastique et rubanée.

Les bandes sont marquées par l'alternance de zones à diopside et à hornblende, cette dernière dérivant du pyroxène par ouralitisation (on observe parfois dans l'amphibole des restes de pyroxène presque totalement épigénisé). Ces deux minéraux sont plus ou moins poeciloblastiques; ils incluent

surtout des plages arrondies de quartz, et plus rarement de feldspath. (Andésine xénomorphe un peu zéolitisée (33-35% An, inclusions de quartz).

Minéraux accessoires: Sphène, apatite; l'échantillon 238/1/29 contient un peu de zircon et de zoïsite.

L'échantillon 238/1/25 (diorite à hornblende et biotite), montre une structure grenue poecilitique.

De grands éléments poecilitiques de hornblende verte (inclusions de quartz et surtout de feldspath), avec de petites plages arrondies de plagioclase bien maclé (45% An), sont disposés en lits entre des zones onduleuses formées de biotite brune et de plagioclase, avec un peu de quartz. Ce dernier minéral constitue çà et là quelques grandes plages.

Minéraux accessoires: Apatite, sphène fréquent, pennine.

Microdiorite altérée à pennine (238/1/23).

Cet échantillon est d'un tout autre caractère. Sa structure est microgrenue à graphique.

On observe de grands cristaux porphyriques de plagioclase, interpénétrés et peu maclés (60% An), contenant des inclusions graphiques de feldspath potassique, avec des veinules de zéolites formant parfois de petites plages. La pâte est constituée de petits cristaux enchevêtrés de plagioclase, idiomorphes, d'apatite en prismes parfaitement développés, avec un peu de calcite et de quartz arrondi.

Une chlorite, dispersive dans les tons violets, est concentrée en certains points de la roche; elle paraît dériver de biotite, dont elle contient quelques restes. Ces concentrations sont en outre riches en exsudats très fins de leucoxène ou de sphène.

Gneiss.

Gneiss riche en quartz, à biotite (238/1/5') (ou quartzite feldspathique à biotite).

La structure est grenue, un peu cataclastique et un peu parallèle.

Le quartz est de forme irrégulière; il se présente soit en plages assez grandes, résultant de la recristallisation d'éléments plus petits, soit en plages arrondies assez petites. La biotite est finement litée, en lamelles allongées. On rencontre parfois un peu de plagioclase (oligoclase).

Peut-être s'agit-il d'un quartzite, mais on n'en rencontre plus la structure en mosaïque.

Gneiss granitique à hornblende (238/1/19, 238/1/24).

La structure est grenue parallèle, à tendance porphyroblastique et poeciloblastique.

La hornblende verte, est un peu porphyroblastique et poeciloblastique. Elle contient encore quelques restes plus clairs de diopside.

L'orthose, abondante, maclée selon Karlsbad, forme un fond xénoblastique. Le plagioclase, très altéré, aussi xénomorphe, correspond à une andésine à 32% An.

Un peu de quartz.

Minéraux accessoires: Sphène, apatite, zircon.

L'échantillon 238/1/19 contient un peu de tourmaline et de pennine.

Ces deux gneiss s'approchent, par leur composition, des amphibolites feldspathiques.

Gneiss granitique à diopside plus ou moins ouralitisé (238/1/31, 38).

Structure et composition proches des deux échantillons précédents. On observe un rubanage formé par l'ouralitisation plus ou moins poussée du diopside, qui se fait de la manière suivante:

D'une zone à diopside intact, on passe dans une zone étroite où le pyroxène se tache de hornblende vert-foncé, à partir du centre et des bords; puis pratiquement tout le diopside est transformé; il ne subsiste dans l'amphibole plus qu'en fantômes verts, plus clairs, dont l'extinction ne se fait pas tout à fait simultanément avec celle de la hornblende.

On peut remarquer que dans la zone à diopside, le plagioclase (andésine 45% An) prédomine largement, alors que dans celle à ouralite, le seul feldspath représenté est l'orthose, contenant de petites inclusions arrondies de quartz.

Minéraux accessoires: Sphène fréquent, zoïsite, zircon.

L'échantillon 238/1/40 (gneiss fin à labrador 68% An et diopside plus ou moins ouralitisé) ressemble en tous points aux deux échantillons précédents.

Cornéennes feldspathiques à grenat et diopside (238/1/15).

La structure est grenue, à peine parallèle.

On observe de petits grains de diopside verdâtre, isométriques, par endroits devenant un peu poeciloblastiques. Le quartz, arrondi, est aussi fréquent que le plagioclase (70% An, finement maclé).

Grenat rose se développant en grandes plages xénomorphes.

Minéraux accessoires: Sphène, veinules de zéolite, zoïsite.

Pyroxénite à grenat (238/1/9).

* Cette roche, à structure xénoblastique, est presque uniquement constituée de grenats roses en grandes plages informes et de diopside, inégalement réparties dans la roche. On aperçoit, entre les grenats, quelques restes maclés de plagioclase (75% An), un peu de zoïsite dispersive, et quelques plages de quartz arrondies.

Minéraux accessoires: Sphène, tourmaline, chlorite.



Fig. 6.

Echantillon 238/1/13. (G = 30 ×.) Roche de contact.
Grenat (G), plagioclase basique (P), diopside (D), clinozoïsite (C), sphène, zircon, apatite.

Roches de contact à diopside, grenat, amphibole, bytownite

(238/1/13, 22), (voir fig. 6).

Elles ressemblent beaucoup à celle décrite dans le chapitre précédent (voir 136/6); mais le diopside est peu fréquent.

Structure granoblastique. Le grenat, avec peut-être un peu d'idocrase, forme des plages xénomorphes, avec du diopside poeciloblastique, du plagioclase zoné (env. 80% An) et de la zoïsite. On retrouve les mêmes agrégats centroradiés d'un

minéral en aiguilles que nous pensons être de la trémolite (?) ($2V = -40$ à -50° , ext. de Ng/m = quelques degrés).

Le sphène est fréquent.

Amphibolite à biotite et bytownite (238/1/14).

La structure est poeciloblastique à lépidoblastique.

De grands éléments allongés et poeciloblastiques de hornblende verte (inclusions de plagioclase et de quartz) forment une bonne partie de la roche. La biotite, brun-rougeâtre, très allongée et très fraîche, lépidoblastique, est très abondante. Le plagioclase (88% An), parfois zéolitisé, inclut poecilolithiquement de petits grains de quartz.

Minéraux accessoires: Sphène, apatite, magnétite.

Rive droite du Glacier de Khumbu.

Granites aplitiques.

Granite aplitique à tourmaline (141/2/2).

Structure grenue, aplitique.

Le quartz se présente en grandes plages xénomorphes et en nombreuses gouttelettes dans les plagioclases, y formant parfois des bourgeons myrmécitiques. Le plagioclase est régulièrement zoné (5-15% An) et se trouve parfois en inclusions dans le feldspath potassique (orthose). La tourmaline, très fréquente, se développe en grands cristaux arrondis brun-vert; l'apatite forme des grains idiomorphes. Un peu de muscovite.

Granite aplitique alcalin à muscovite et tourmaline en contact avec gneiss alcalin à deux micas (141/2/10).

La structure est assez changeante. Elle est surtout parallèle, à tendance porphyroblastique, ou grenue aplitique à plagioclases automorphes.

Le quartz forme de grandes plages xénomorphes et se trouve fréquemment en gouttelettes dans les feldspaths; l'orthose, se présentant parfois en phénocristaux, enrobe de nombreux autres minéraux (plagioclases à tendance automorphe (10% An), petites aiguilles de tourmaline en trainées discontinues).

Muscovite, en belles lamelles subcarrées, parfois ployées.

Minéraux accessoires: Apatite, parfois très développée.

Les zones gneissiques contiennent en plus de grandes lamelles de biotite très chloritisée (pennine, avec exsudats de magnétite); l'albite à tendance idiomorphe est très séricitisée. La myrmécite est commune.

Minéraux accessoires: Apatite, calcite, magnétite, zircon, tourmaline.

Granite aplitique à muscovite et tourmaline (141/2/5).

Structure finement grenue, à plagioclases automorphes, avec une légère tendance microgrenue.

Quartz en plages assez arrondies, petites, indentées, en gouttelettes aussi dans les plagioclases. Ce dernier (26% An), montre souvent une tendance porphyrique, avec formes idiomorphes allongées. L'orthose, xénomorphe, a tendance à remplacer les plagioclases. La muscovite forme quelques lamelles assez développées, trapues, et la tourmaline de petits prismes et baguettes à formes parfaites, de couleur vert-bleuté.

Granite aplitique à deux micas (141/3/0).

La structure est assez confuse, écrasée avec intenses recristallisations, aboutissant à une structure cloisonnée.

Le quartz forme des zones capricieuses, très dentelliformes, cataclastiques, partiellement recristallisées. On observe de nombreux bourgeons myrmécitiques. Les feldspaths sont très envahissants; l'orthose a tendance à ronger l'albite. La biotite, tachée d'inclusions pléochroïques, est souvent ployée et entourée de lamelles de séricite. La muscovite se présente en belles lamelles, enveloppées d'un agrégat très fin quartzo-séricitique.

La mésostase est constituée de petits grains de quartz, d'albite, de myrmécite, d'orthose, de séricite et de restes de biotite.

Minéraux accessoires: Apatite, sphène.

Granite aplitique à biotite (141/2/11).

Structure grenue, aplitique.

Cette roche est formée principalement d'albite 10% An, bien maclée, arrondie, à légère tendance idiomorphe; de quartz arrondi, parfois en inclusions subidiomorphes dans l'albite, et d'orthose plus rare, xénomorphe. La biotite apparaît en lamelles brunes, allongées, peu parallèles.

Minéraux accessoires: Rutile, parsemé dans la roche; apatite, en plages assez grandes, un peu corrodées.

Diorite leucocrate (141/2/7).

Par disparition de l'orthose et légère augmentation de la teneur en An du plagioclase (17% An), le granite passe à cette

diorite leucocrate. La biotite est en rares écailles, avec un peu de séricite. Le quartz forme de petites inclusions arrondies dans le plagioclase.

Minéraux accessoires: Quelques grains de rutil.

Gneiss.

Gneiss alcalin à biotite et sillimanite (141/2/6).

Composition variable. On peut observer une structure par place nématoblastique, par ailleurs grenue et parallèle.

La partie nématoblastique représente vraisemblablement une ancienne enclave incomplètement homogénéisée: le fond est constitué de quartz grenu, un peu allongé, presque complètement caché par la fibrolite formant un feutrage ondoyant. Au centre de cette zone, on observe plusieurs grenats, avec inclusions de quartz, complètement transformés en un minéral opaque (vraisemblablement la magnétite).

La partie grenue parallèle est formée de quartz grenu, un peu allongé, de lamelles de biotite par endroits complètement chloritisée, d'orthose xénomorphe, avec un peu d'albite 10% An et de myrmécite.

Minéraux accessoires: Magnétite, zircon.

Gneiss granitique à biotite et sillimanite (142/2/4).

Structure granoblastique, parallèle, parfois nématoblastique.

Ce gneiss ressemble beaucoup à l'échantillon précédent (141/2/6).

Quartz très engrené, souvent en grosses inclusions arrondies dans les plagioclases (cristaux peu individualisés, 25% An); orthose, parfois en grands xénoblastes, enveloppant souvent le quartz et les squelettes de muscovite; fibrolite, en nombreux écheveaux inégalement répartis; biotite, en belles lamelles orientées très fraîches, de couleur brun-rouge (auréoles pléochroïques).

Minéraux accessoires: Rutil, magnétite, zircon.

Les autres gneiss sont d'un tout autre caractère: ils sont finement grenus à très finement grenus, et contiennent de la biotite, de la tourmaline et du diopside.

Gneiss granitiques à biotite et tourmaline (141/3/4, 6).

Structure très finement grenue, un peu lépidoblastique, litée.

Certains lits semblent un peu détritiques: on reconnaît encore la forme anguleuse des grains de quartz et l'allure

arrondie des feldspaths (?) (orthose principalement et andésine 40-45% An). La biotite moule les grains et souvent y pénètre.

D'autres lits sont plus riches en orthose, qui prend une allure franchement granoblastique, et englobe des restes de quartz blastique et de nombreuses gouttelettes de quartz secondaire. Ces blastes sont entourés d'un fin agrégat de quartz et de feldspath submicroscopiques, dans lequel on reconnaît la myrmécite.

Certains lits enfin sont plus riches en quartz, évoquant d'anciennes traînées de quartz écrasé et dentelliforme, ultérieurement recristallisées. Cette roche est vraisemblablement un quartzite feldspathique argileux recristallisé, en voie de feldspathisation.

Gneiss finement grenu rubané à biotite et diopside (141/3/8).

Structure finement grenue, poeciloblastique, anciennement cataclastique, litée.

Certaines zones sont grenues et contiennent surtout de l'orthose, accompagnée de petits grains de quartz arrondi et de fines lamelles de biotite orientées dans tous les sens.

D'autres zones, lenticulaires, sont riches en quartz dentelliforme, allongé perpendiculairement à la direction du lit, en orthose et en biotite finement lamellaire.

Le reste de la roche est constitué par un assemblage assez finement grenu de quartz, de taille variable, indenté, d'orthose, de plagioclase 35% An finement maclé, enfin de diopside en grands xénoblastes poecilolitiques.

Minéraux accessoires: Quelques losanges de hornblende verte; sphène, apatite, zircon assez commun, magnétite rare.

Gneiss monzonitique à biotite (141/2/6').

La structure est granoblastique parallèle.

Ce gneiss banal est formé de biotite brun-jaune en grandes lamelles parallèles, parfois chloritisées. Le plagioclase, séricitisé par endroits, un peu idiomorphe (27% An), est en voie de remplacement par l'orthose.

Le feldspath potassique apparaît en grandes plages xénomorphes.

Minéraux accessoires: Apatite arrondie.

Gneiss dioritique finement grenu à diopside (141/3/7).

Structure finement granoblastique et poeciloblastique.

Le quartz, indenté, finement grenu, est très fréquent; le plagioclase, un peu maclé, forme de petites plages arrondies (env. 40% An). Le diopside se présente en petits grains, à

côté de quelques grands xénoblastes de hornblende poecilitique ne dérivant pas de l'ouralitisation du pyroxène.

Minéraux accessoires: Apatite, zircon, sphène.

Gneiss gabbroïque à diopside plus ou moins ouralitisé (141/2/3).

Structure grenue, parallèle, poeciloblastique.

Dans cet échantillon, le diopside est très abondant, en grands xénoblastes poecilitiques (inclusions de quartz et de plagioclase) en voie d'ouralitisation totale. Le plagioclase contient 80% An et s'altère par place en zéolite. Le quartz est peu fréquent et arrondi, parfois en trainées, formant quelques grandes plages indentées. L'orthose est très rare.

Minéraux accessoires: Sphène, apatite, zircon.

Cornéennes.

Cornéenne feldspathique à hornblende et biotite (141/3/5);

» » à diopside plus ou moins ouralitisé et biotite (141/2/8);

» » à diopside et hornblende (141/3/1);

» » à diopside (141/3/2).

Elles sont très semblables aux cornéennes précédemment décrites, et se rapprochent des gneiss dioritiques finement grenus (voir par ex. 141/3/7) par diminution de la grosseur du grain de ces derniers.

Leur structure est très finement granoblastique, légèrement litée.

Le quartz forme toujours de petites plages indentées; le feldspath, parfois altéré, est surtout représenté par du plagioclase (45-70% An), et, suivant les lits, par de l'orthose.

Le diopside, formé de petits grains xénoblastiques déchiquetés, s'ouralitise parfois totalement, ou se trouve côte à côte avec l'ouralite (ext. 16° de Ng/mn, 2V = env. —75°). La biotite brune, en lamelles irrégulières et sans forme, s'altère en pennine très dispersive.

Minéraux accessoires: Apatite, zircon, sphène.

Calcschiste à deux micas (141/4).

Structure lépidoblastique, grenue, anciennement clastique.

On observe un fond grenu de calcite maclée, allongée, avec des grains de quartz arrondis, d'albite (10% An au plus) rare (la structure clastique de ces deux minéraux est encore bien visible), et de nombreuses lamelles parallèles de séricite. La biotite, dont on aperçoit certains restes dans la chlorite,

semble avoir donné naissance à des produits d'altération sous forme de concrétions allongées, jaune-brun.

On reconnaît encore quelques petits grains mal formés d'épidote jaunâtre (éventuellement de sphène). Un peu de zircon.

CONCLUSIONS.

Les comparaisons entre les divers ensembles examinés, apportant utilement une contribution aux problèmes géologiques, seront faites à la fin du chapitre suivant.

Mais on peut d'ores et déjà remarquer que la série dite des Clochetons se rapproche beaucoup pétrographiquement de la Série du Thibet qui la surmonte. En outre, le métamorphisme y est identique. (L'échantillon le moins métamorphique est le calcschiste 141/1, qu'on peut approximativement attribuer à la partie inférieure de la mésozone. Les autres échantillons correspondent à une zone plus profonde (catazone) ou à une zone d'injection, avec phénomènes de contact.

En bref, la série des Clochetons contient surtout des roches intrusives (granites, aplites, diorites) et de contact (cornéennes, roches de contact, etc...).

CHAPITRE III.

MORAINE DU GLACIER DESCENDANT DU NUPTSE

Les géologues A. Lombard [11] et T. Hagen (Les Alpes, août 1956) ont reconnu dans le Nuptsé une écaille anticlinale coïncée entre la Dalle du Thibet et les nappes du Khumbu.

Cette écaille serait un fragment des nappes du Khumbu [11]. Elle semblerait responsable de la haute altitude de l'Everest et du Lhotsé, car la Dalle du Thibet, constituant ces deux sommets, se serait dressée à cet endroit sur l'écaille du Nuptsé, lors des dernières poussées du N au S, formant ainsi une culmination transverse.

PÉTROGRAPHIE.

Les échantillons qui vont être décrits dans ce chapitre constituent un mélange provenant non seulement de l'écaille du Nuptsé, mais aussi de la Dalle du Thibet et des nappes du Khumbu avec leur couverture.

Mais connaissant un peu la constitution de tous ces ensembles, sauf celle de l'écaille du Nuptsé, on pourra par déduction en tirer un aperçu de la composition de cette dernière.

Granites aplitiques et alcalins.

Granite aplitique alcalin à muscovite, un peu écrasé (158/1/10).

Structure aplitique, à plagioclases automorphes, un peu cataclastique.

Le quartz forme de petites inclusions arrondies dans les feldspaths, et des plages allongées, indentées, un peu cataclastiques.

Les plagioclases (albite) sont très nettement automorphes, un peu séricitisés: leurs macles sont souvent tordues. Le feldspath potassique (orthose triclinique, éventuellement microcline, macles floues, ext. sur Snp = 8°), xénomorphe, est parfois en inclusions dans les plagioclases. La muscovite se présente en très belles lamelles rectangulaires, dont l'extrémité forme souvent une association très fine avec le quartz. On observe çà et là quelques lamelles de biotite brune, parfois entièrement chloritisées, avec exsudats foncés. Les micas sont toujours un peu ployés.

Minéraux accessoires: Zircon, très peu de tourmaline.

Les autres échantillons présentent des caractères sinon analogues, du moins très rapprochés:

Granites aplitiques à tourmaline et muscovite (158/1/28, 20 b).

Ces granites sont très semblables à l'échantillon 158/1/10, mais moins riches en muscovite; par contre, la tourmaline bleutée apparaît.

Ici encore, le feldspath potassique montre de fines macles polysynthétiques; l'extinction sur la Snp atteint 4° .

Granite aplitique à tourmaline (158/1/23).

Ce granite ne montre, comme élément foncé, que la tourmaline verte à centre bleuté, contenant souvent des inclusions arrondies de quartz.

Le feldspath potassique est le microcline (macles polysynthétiques peu visibles, ext. sur Snp = 10°).

	Quartz	Feldspath potassique	Plagio- clase	Autres minéraux
Echantillon 158/1/18	18,5 %	41 %	24,5 %	16 %

Granite grossier aplitique à deux micas et tourmaline (158/1/18).

Structure grenue, un peu en mortier.

Quartz, brisé, formant de longues zones cataclastiques; muscovite, criblée d'inclusions de sphène (?), tordue et allongée; biotite altérée (pennine), avec exsudats.

Le feldspath potassique est l'orthose.

On observe quelques grains squelettiques de tourmaline.

Gneiss.

Gneiss quartzitique à deux micas et tourmaline (158/1/11).

Structure granoblastique.

Entre les zones formées de quartz granoblastique et de feldspath arrondi, avec quelques petites lamelles de biotite parallèle brune, on observe des zones allongées formées de lamelles de biotite et de muscovite, contenant parfois des prismes de tourmaline à inclusions de quartz.

Cette roche, ayant la composition d'un gneiss, évoque néanmoins un quartzite feldspathique par sa structure et sa richesse en quartz.

Gneiss alcalin à deux micas (158/1/0).

Structure lépidoblastique.

Quartz, en grains lenticulaires à extinction onduleuse. Séricite et biotite, formant un tissu lépidoblastique assez fin. Feldspath potassique, en poeciloblastes assez grands, englobant les autres minéraux tout en repoussant légèrement les feuillets de mica.

On reconnaît encore un peu d'albite et de chlorite, dispersive dans les tons brique, en petits amas allongés.

Minéral accessoire: Apatite.

Cette roche représente très certainement un grès riche en ciment argileux, en voie de feldspathisation.

Gneiss dioritiques.

Gneiss dioritique à deux micas et magnétite (158/1/25);

» » à deux micas et tourmaline (158/1/6);

» » à biotite (158/1/20a).

Structure grano- à lépidoblastique.

Le quartz se présente en petites plages arrondies à extinction un peu onduleuse (certains lits s'enrichissent en plages plus importantes).

Le plagioclase se distingue difficilement du quartz (macles peu apparentes, composition autour de 20% An) et forme également des plages arrondies.

Les micas entourent quartz et plagioclase; ils sont assez régulièrement alignés.

L'échantillon 158/1/25 est riche en magnétite, l'échantillon 158/1/6 contient une quantité assez importante de petits prismes de tourmaline idiomorphe, de couleur bleu-vert.

Ces gneiss ont un caractère nettement para para par leur richesse en quartz et leur structure en mosaïque.

Gneiss à deux micas riche en magnétite (158/1/14).

Ce gneiss a une structure très finement grenue.

Quartz et feldspaths formant de petites plages granoblastiques assez arrondies. Biotite, en lamelles vert-brun bien développées, orientée dans tous les sens. Ce gneiss contient passablement de magnétite, d'apatite et de zircon.

Gneiss à bytownite, hornblende et épidote (158/1/16).

Ce gneiss est proche des amphibolites par sa composition et sa structure.

Cette dernière est grano- à lépidoblastique.

La hornblende, vert-beige, pléochroïque, forme des plages allongées, poeciloblastiques (inclusions de quartz); le plagioclase (bytownite) se présente en grands poeciloblastes maclés, contenant de nombreuses gouttelettes de quartz. L'épidote, légèrement pléochroïque, forme des grains arrondis. La magnétite se présente en très beaux octaèdres.

Minéraux accessoires: Sphène fréquent, apatite, zircon.

Phyllite à deux micas (158/1/1), (voir fig. 7).

Structure lépidoblastique.

De petits grains de quartz allongés, à tendance lenticulaire et extinction roulante, sont entourés d'un feutrage de lamelles de séricite et d'un peu de biotite. Quelques grandes lamelles déchiquetées de ce mica repoussant le feutrage de phyllites. La calcite, constellée d'inclusions, forme quelques lits allongés, grenus, avec très peu de quartz et de mica.

Minéraux accessoires: Zircon, magnétite, tourmaline bleutée, chlorite.

Grès calcaire à biotite (158/1/3).

Structure très finement grenue.

Quartz en petits grains arrondis et bien recristallisés; calcite en petites plages xénomorphes un peu plus grandes.



Fig. 7.

Echantillon 158/1/1. ($G = 20 \times$) Phyllite à deux micas.
Tissu lépidoblastique de micas. Passées de calcite et de quartz.
Apatite, magnétite.

Biotite, en petites lamelles brun-vert parallèles, ceinturant la calcite et le quartz.

Les minéraux accessoires sont la magnétite, le sphène, la séricite, la tourmaline.

Grès calcaire phylliteux (158/1/5, 7a, 30).

Ces deux échantillons ne diffèrent des précédents que par une structure à tendance lépidoblastique (biotite orientée) et la présence d'un peu de feldspath (plagioclase et feldspath potassique).

Calcaires métamorphiques.

Calcaires un peu gréseux (158/1/8, 9, 24, 26, 34).

Leur structure est grenue. La calcite forme des grains arrondis, légèrement allongés, très maclés; les petites plages de quartz arrondies sont disposées en petits lits un peu lenticulaires.

On observe encore quelques fines lamelles de séricite et de biotite, avec des granules opaques.

Calcaire recristallisé à phlogopite (158/1/29).

Il est presque identique aux précédents.

On observe un assez grand développement des lamelles de phlogopite, disposées dans tous les sens.

Calcaire gréseux à épidote et chlorite avec cornéenne feldspathique à épidote et séricite (158/1/27).

Cet échantillon contient des associations minérales différentes, se répartissant en deux zones.

L'une contient en prépondérance de la calcite, grenue, maclée, avec quelques grains de quartz, feldspath, et des lamelles de biotite et chlorite entremêlées. L'épidote et le sphène sont communs.

L'autre zone a la composition d'une cornéenne. Elle est constituée de petits grains d'albite séricitisée, de feldspath potassique en petites plages, de quartz arrondi, de petits grains d'épidote, et de quelques lamelles de chlorite. Le sphène est très commun.

Quartzites.

Quartzites feldspathiques à biotite (158/1/2, 4, 13, 19).

Structure granoblastique, parallèle.

Quartz en plages arrondies, en mosaïque.

Feldspath, souvent altéré (oligoclase 20% An ou orthose), se distinguant difficilement du quartz par ses indices et éventuellement ses macles, peu apparentes.

Biotite fraîche, brun-vert, en lamelles parallèles.

L'échantillon 158/1/19 contient en plus un peu de séricite orientée dans tous les sens, avec des zones riches en magnétite.

L'échantillon 158/1/4 contient de la tourmaline bleu-vert et des zones où le quartz forme de grandes plages dentelliformes, à extinction roulante.

L'échantillon 158/1/4 contient une zone oblique par rapport à la direction générale, sorte de filonnet, à partir duquel la biotite est chloritisée, le feldspath altéré, et apparaissent quelques petits grains d'épidote.

Cette roche est riche en magnétite.

Enfin, l'échantillon 158/1/2 est un quartzite riche en feldspath (maclé selon Karlsbad, vraisemblablement orthose). On reconnaît encore de nombreux petits prismes idiomorphes de tourmaline bleu-vert-rose, contenant fréquemment des inclusions de quartz.

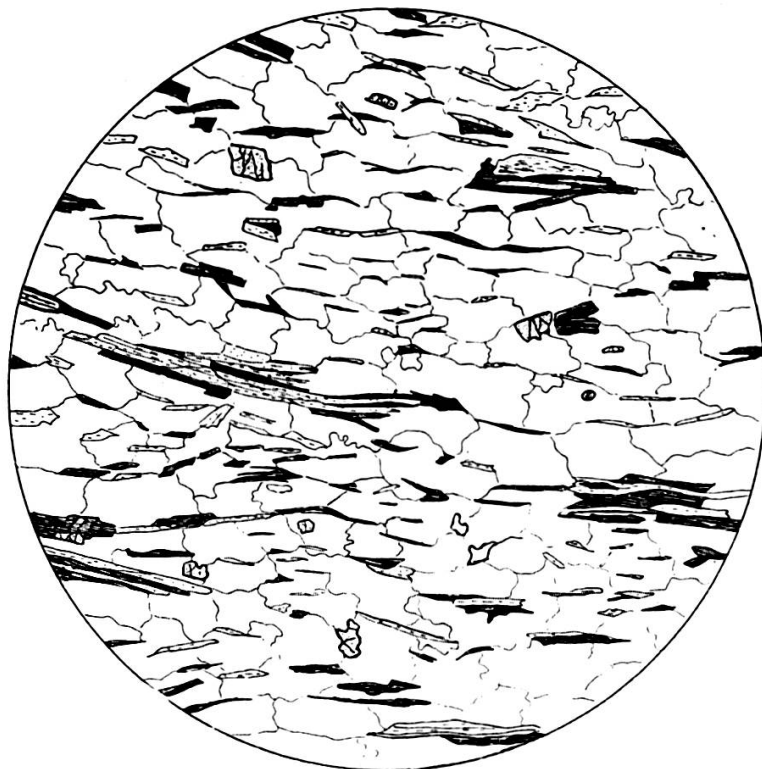


Fig. 8.

Echantillon 158/1/31. ($G = 20 \times$) Quartzite à deux micas
et tourmaline.
Quartz, muscovite et biotite, tourmaline.

Dans tous ces quartzites, le zircon et l'apatite sont fréquents.

Dans les deux échantillons suivants, le grain est nettement plus grand :

Quartzite à deux micas et tourmaline (158/1/31), (voir fig. 8).

Cette roche a une structure grano- à lépidoblastique. La structure est proche de celle des micaschistes, mais la grande richesse en quartz fait néanmoins classer cet échantillon dans les quartzites.

Le quartz est dentelliforme et constitue de grandes plages.

La biotite, lorsqu'elle accompagne les grains de quartz, se présente en petites lamelles brunes orientées ; elle s'accumule

aussi, entremêlée de séricite, en de longues bandes entourant les zones riches en quartz, leur donnant un aspect lenticulaire.

On observe encore de petits prismes verts de tourmaline, corrodés et contenant souvent des inclusions de quartz et quelques petites plages de feldspath potassique perthitique et d'albite.

Minéraux accessoires: Apatite, zircon.

Quartzite albitique à biotite (158/1/33).

A peu de chose près, cette roche est parfaitement semblable à la précédente. Le mica est plus régulièrement réparti et lité, et la tourmaline moins fréquente.

Micaschistes.

Micaschiste à épidote et biotite plus ou moins chloritisée (158/1/21).

Structure très finement grenue à lépidoblastique.

On observe des petits grains très fins de quartz endenté et d'épidote; la biotite vert-brun, très fréquente, se présente en lamelles trapues un peu parallèles. Quelques petits prismes bleutés de tourmaline.

Minéral accessoire: Apatite.

Micaschiste à biotite, polyolithionite et tourmaline (158/1/33').

Structure lépido- à poeciloblastique.

Quartz apparaissant en grandes plages irrégulières, souvent très dentelliformes. Micas (biotite vert-brun et polyolithionite à feuillets passant par pléochroïsme du violet au rose) très serrés, formant des ondulations autour de grands porphyroblastes de tourmaline, parfois chavirés, bourrés d'inclusions alignées de quartz. Ce minéral repousse tous les autres, et près de sa bordure, le quartz est plus finement dentelliforme et cataclastique.

Minéraux accessoires: Apatite, zircon, minéral de fer.

Tourmalinite à microcline (158/1/15).

Structure grano- à poeciloblastique.

La tourmaline, qui constitue la plus grande partie de la roche, forme de grands poeciloblastes déchiquetés, contenant de multiples inclusions de quartz. Le microcline (ext. sur $\text{Sn} = 10^\circ$), à treillissage très flou, se présente en plages grenues, irrégulières, parfois perthitiques, entre les poeciloblastes de tourmaline. On observe encore un peu d'albite en inclusion dans le microcline avec de la myrmécite.

Minéraux accessoires: Apatite, chlorite, magnétite.

CONCLUSIONS.

La pétrographie des échantillons prélevés sur les moraines du glacier descendant du Nuptsé se résume comme suit :

Granites aplitiques, alcalins, riches en tourmaline.

Gneiss : alcalins, quartzitique, dioritiques, riches en éléments mélanocrates ;

Phyllites à deux micas ;

Grès calcaires à biotite, phylliteux ;

Calcaire gréseux, à phlogopite et épidote ;

Cornéenne feldspathique ;

Quartzites feldspathiques à biotite, à deux micas et tourmaline, albitique ;

Micaschistes à biotite, épidote, polyolithionite ;

Tourmalinite à microcline.

Lorsque l'on compare cette composition avec celle que nous connaissons de la Dalle du Thibet, des Clochetons et des nappes du Khumbu [9], il n'apparaît que deux groupes un peu nouveaux de roches : c'est celui des quartzites et des micaschistes.

L'écaille du Nuptsé semble donc contenir une plus grande proportion de quartzites et de micaschistes que les autres ensembles limitrophes.

Enfin, cette écaille anticlinale offre un métamorphisme assez profond. La présence de biotite bien développée, même dans l'échantillon 158/1/1 (phyllite à deux micas), permet d'attribuer à ces roches le métamorphisme de la partie médiane de la mésozone (voir aussi les conclusions générales à la fin de ce chapitre).

Conclusion à l'étude de cette première partie.

Comparaisons entre les ensembles examinés jusqu'ici.

Il ne reste plus qu'à examiner, par un tableau comparatif, les similitudes et les différences pétrographiques entre les nappes du Khumbu, l'écaille du Nuptsé, la série des Clochetons (gneiss noirs du Barun), et la Dalle du Thibet.

Notons encore que les échantillons, pris sur les moraines, l'ont été statistiquement en nombre suffisant pour permettre à l'ensemble géologique ou tectonique, dont sont issues les moraines, d'être déterminé pétrographiquement avec assez d'exactitude; en outre, la fréquence des échantillons de même sorte permet de se rendre compte de la fréquence de cette sorte dans l'ensemble examiné.

	Nappes de Khumbu ¹	Dalle du Thibet	Ecaille du Nuptsé	Cloche- tons
Granites alcalins	63	5	—	—
Granites aplitiques, aplites	14	16	5	18
Granites normaux	8	3	—	—
Granites monzonitiques	7	5	—	—
Granodiorites	2	1	—	—
Diorites quartziques	6	1	—	—
Diorites leucocrates	1	—	—	1
Diorites	2	—	—	4
Gabbros à hornblende	2	4	—	—
Gneiss alcalins	15	7	1	1
Gneiss granitiques	12	4	—	7
Gneiss syénodioritique, syénitique	2	—	—	—
Gneiss monzonitiques	1	5	—	1
Gneiss granodioritique	—	1	—	—
Gneiss dioritiques	22	20	5	2
Quartzites	4	—	7	1
Cornéennes variées	9	9	1	5
Calcaires à minéraux	18	6	1	—
Micaschistes	2	—	2	—
Amphibolites	5	5	—	1
Brèche	1	—	—	—
Calcaire gréseux	1	—	9	—
Argilite recristallisée	1	—	—	—
Pyroxénite à grenat	—	—	—	1
Roches de contact, grena- tites	—	6	—	2
Phyllites à deux micas	—	1	1	—
Tourmalinite	—	—	1	—
Total des échantillons	198	99	33	44

¹ Nous ne prenons dans cet ensemble que les parties supérieures, c'est-à-dire celles qui sont le plus proches de la Dalle du Thibet. Nous les avons définies dans notre précédente note [9] comme: zone à tourmaline et microcline, zone à tourmaline et orthose triclinique, zone à tourmaline et orthose.

COMPARAISONS ET REMARQUES PÉTROGRAPHIQUES.

La similitude entre les ensembles que nous avons pétrographiquement analysés est assez évidente.

Les particularités de chaque groupe sont les suivantes:

Les nappes de Khumbu sont riches en granites alcalins et calcaires à minéraux.

Les Clochetons sont riches en granites alcalins et roches contenant des éléments mélanocrates.

La Dalle du Thibet est riche en roches de contact.

L'écaille du Nuptsé est riche en quartzites et calcaires gréseux, pauvre en granites alcalins et en gneiss.

Profondeur de métamorphisme de ces ensembles.

Nous avons déjà établi, dans les conclusions relatives à chaque ensemble, une profondeur approximative du métamorphisme.

L'estimation de la profondeur est approximative, car souvent ce métamorphisme a été oblitéré par des intrusions ultérieures.

Dalle du Thibet: partie supérieure (sommet du Cho-Oyu): limite entre mésozone et épizone.

Partie inférieure (roches récoltées par A. Lombard, au Pumori et au Nangpa La): zone médiane ou inférieure de la mésozone.

Série des Clochetons: (roches les moins métamorphiques) partie inférieure ou médiane de la mésozone.

Ecaille du Nuptsé (comprenant aussi la Dalle du Thibet et des gneiss du Khumbu): (roches les moins métamorphiques) partie médiane de la mésozone.

Nappes du Khumbu: partie supérieure [9] (roches les moins métamorphiques) mésozone supérieure.

CONCLUSIONS INTÉRESSANT LA TECTONIQUE ET LA GÉOLOGIE.

1. *La Dalle du Thibet.*

Il semble peu probable que le charriage de la Dalle du Thibet sur les nappes du Khumbu soit extrêmement important.

En effet, les roches, des deux côtés du plan de chevauchement, montrent d'importantes similitudes.

D'une part, le métamorphisme (qui est antérieur aux injections des granites de la Dalle du Thibet) ne paraît pas être essentiellement différent de part et d'autre de cette discontinuité tectonique (voir tableau ci-dessus).

D'autre part, la composition pétrographique des roches de ces ensembles, avant d'avoir subi les nombreuses injections du granite leucocrate à tourmaline de la Dalle du Thibet, était assez uniforme.

2. *La série des Clochetons.*

La couleur foncée de cette série et les sommets d'allure caractéristique qu'elle forme ont éveillé l'attention de A. Lombard (qui a donné le nom évocateur à cette série) et P. Bordet (qui les a appelés gneiss noirs du Barun).

Pétrographiquement, rien ne distingue très typiquement cette série des autres ensembles limitrophes. Elle représente une zone riche en roches intrusives (aplites, pegmatites, granites, diorites), en roches de contact (cornéennes, pyroxénites...) et en gneiss divers.

On peut noter la fréquence élevée des pyroxènes et des amphiboles dans les gneiss et les cornéennes. Ces minéraux sont peut-être responsables de la couleur foncée de la série des Clochetons.

3. *L'écaille du Nuptsé.*

Le métamorphisme le plus faible observé dans cette écaille est celui de la partie médiane de la mésozone.

On ne peut vérifier si cette écaille appartient réellement aux nappes du Khumbu ou à la Dalle du Thibet, puisque ces deux ensembles sont très semblables à plusieurs points de vue.

On peut toutefois remarquer que l'écaïlle du Nuptsé n'a pas beaucoup été injectée par les granites de la Dalle du Thibet. L'origine de ce fait est vraisemblablement à rechercher dans la position tectonique particulière de cette écaïlle.

En effet, si cet ensemble provient de la partie supérieure des nappes du Khumbu [11], on devrait y reconnaître une composition pétrographique un peu semblable à celle des Clochetons (intrusions non comprises, qui sont postérieures au métamorphisme général), puisque les Clochetons constituent le sommet des nappes du Khumbu. Or, la richesse en quartzites de l'écaïlle du Nuptsé, et celle en minéraux mélanocrates, des Clochetons, ne nous incline pas à attribuer une même position à ces deux ensembles.

On peut encore supposer que l'écaïlle du Nuptsé représente un compartiment assez élevé dans la série de la Dalle du Thibet, car il semble moins métamorphique et moins injecté (l'injection se trouvant à la base de la Dalle du Thibet), ce compartiment ayant été chevauché ultérieurement par la Dalle du Thibet.

Mais il reste évident que seul le géologue ou le pétrographe qui a parcouru la région peut trancher définitivement ces problèmes tectoniques.

CHAPITRE IV.

LES NAPPES DE KATHMANDU ET DE NAWAKOT

Les nappes de Kathmandu et de Nawakot (ensemble du Haut Himalaya et du Bas Himalaya [2]) forment les chaînes de montagne situées entre les nappes de Khumbu au N et les molasses du Siwalik s'enfonçant au S sous les alluvions du Gange.

D'après T. Hagen [6] — qui le premier a démontré l'existence de ces nappes dans le Népal Central —, les nappes de

Kathmandu se parallélisent avec les nappes du Gharwal de Auden (1937) et Heim (1939), et les nappes de Nawakot avec celle du Krol (Auden 1937, Heim 1938). A l'inverse de ces auteurs, T. Hagen a montré que la structure de ces nappes est très compliquée; il rapproche les nappes de Kathmandu des nappes penniques, et celles de Nawakot des nappes helvétiques des Alpes.

Les nappes de Kathmandu.

Elles constituent une bonne partie des montagnes de l'Himalaya du Népal et sont formées de quatre nappes au moins (T. Hagen en a reconnu postérieurement cinq). L'existence de cette superposition se reconnaît, soit à l'aide d'horizons fossilifères, soit grâce à des critères lithologiques.

De haut en bas, on peut observer dans chaque nappe la série suivante [6]:

- Calcaire (Ordovicien);
- Quartzites clairs à cassure rougeâtre;
- Quartzites argileux et schistes bariolés;
- Schistes micacés et phyllites (Phyllites de Dailing de Auden, d'âge supposé Précambrien).

Ces nappes contiennent des intrusions (surtout dans la zone des racines et la zone frontale) en général antérieures aux chevauchements.

Ces injections sont représentées soit par des dykes de pegmatites et des granites (par ex. granite de Kulikhani, dans la zone frontale), soit par des injections d'allure migmatitique (certains grès passent parfois à des gneiss ou des diorites quartziques d'une manière graduelle).

T. Hagen remarque encore qu'à la différence des Alpes, le cristallin des nappes de Kathmandu n'est pas séparable de son enveloppe moins métamorphique. Enfin, dans les racines des nappes, le métamorphisme prend une plus grande ampleur, et il devient alors difficile de différencier les divers termes de la série. Quelques dykes post-tectoniques recoupent la zone des racines.

D'après P. Bordet et M. Latreille [2], les nappes de Kathmandu (que ces auteurs appellent Ensemble du Bas Himalaya et dont ils excluent la nappe de Kathmandu 5, appartenant à la série du Barun) « ne sont que la répétition tectonique, parfois perturbée, d'une unique série stratigraphique, dont la coupe est la suivante de haut en bas :

- » a) Phyllades bleues (carbonifère inférieur);
- » b) Phyllades rouges ou jaunes plus ou moins irrégulières (Dévonien sup.);
- » c) Phyllades du même type, mais contenant des passées de roches carbonatées brunes, ainsi que des amphibolites noduleuses ou sphérolitiques, à amphiboles blanches, plus rarement des amphibolites noires, du talc, des lits de quartzites (Dévonien moyen);
- » d) Quartzites supérieurs souvent colorés en vert par de la chlorite (Dévonien inférieur);
- » e) Phyllades bleues avec quartz d'exsudation jaune, souvent grenatiformes; ce niveau contient assez fréquemment une passée de schistes graphiteux noirs à faciès « schistes à graptolithes » (Silurien supérieur);
- » f) Quartzites inférieurs contenant de la biotite, du grenat, parfois du disthène; à ce niveau sont souvent associées des lentilles de cipolin bleu très typique et des passées de schistes graphiteux (Silurien inférieur);
- » g) Micaschistes à muscovite, superposés à des micaschistes à deux micas, avec localement passées d'amphibolites vertes (Cambrien);
- » h) Migmatites (souvent embréchites œillées) en contact avec les micaschistes par l'intermédiaire d'un front de métamorphisme plus ou moins net.

Le faciès de cette série est très constant dans l'E du Népal. L'épaisseur maximum de ces niveaux semble atteindre 1500 à 1800 m ».

Quant à la nappe de Kathmandu 5 de T. Hagen et A. Lombard, attribuée à la série du Barun par P. Bordet et M. Latreille,

elle affleure dans la région de Namche Bazar sous forme de gneiss ectinites. A cet endroit, l'épaisseur de cette série est réduite; elle semble avoir été en bonne partie migmatisée par la granitisation qui a formé les migmatites de Namche Bazar, constituant la base des nappes de Khumbu.

Les nappes de Nawakot.

D'après T. Hagen, qui le premier les a reconnues dans le Népal central, elles se comparent aux chaînes du Pilate et du Sântis. Elles sont formées, avec certitude, au moins de deux nappes distinctes [6].

On aurait, de haut en bas, dans chaque nappe:

- a) Brèches polygéniques souvent rougeâtres (Rhétien?).
- b) Calcaires et dolomies (Trias?).
- c) Quartzites, phyllites, conglomérats (Verrucano, Permien?).
- d) Quartzites, phyllites plus ou moins charbonneuses (Carbonifère?). (On y exploite le charbon à certains endroits; cette dernière couche semble avoir souvent servi de lubrifiant à l'avancée des nappes de Nawakot; c'est pour cette raison qu'on n'en retrouve seulement que quelques lentilles exploitables).

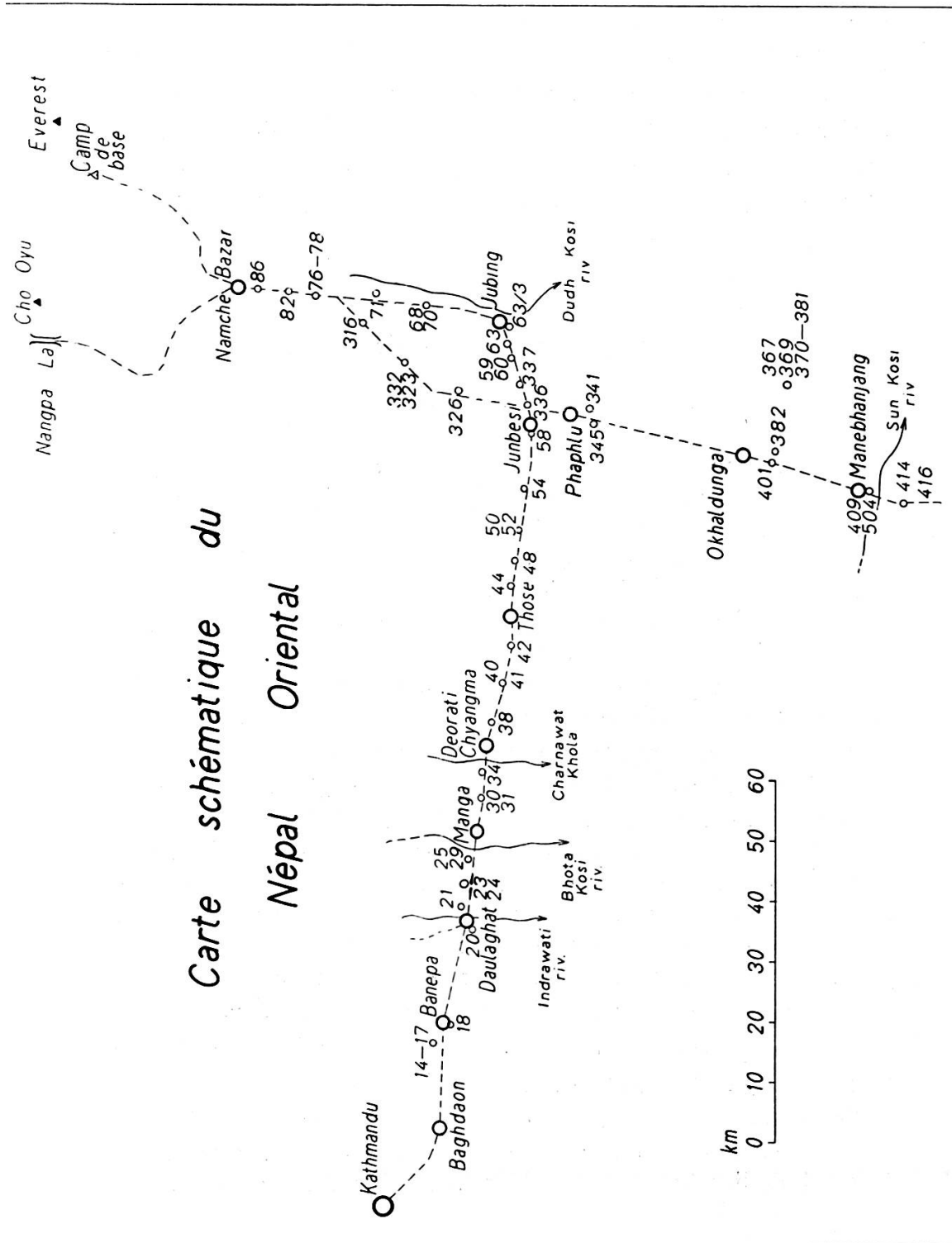
La zone des racines est aussi métamorphisée (les schistes deviennent des schistes micacés, les grès des gneiss) ou injectée (pegmatites à minéraux de Cu, quelques roches basiques, amphibolites). La partie médiane des nappes de Nawakot semble libre de toute intrusion.

D'après P. Bordet et M. Latreille, les nappes de Nawakot (appelées par ces auteurs série de Sangouri), sont formées dans la région que nous examinons, de phyllades vertes et violacées, supportant une épaisse formation de quartzites blancs à faciès werfénien — grès bigarré [1].

Les nappes de Nawakot ont été recoupées dans la région d'Okhaldunga, par A. Lombard et P. Bordet, et sont le sujet d'une note commune [12]. A part quelques intrusions, ils y ont reconnu un métamorphisme pratiquement nul.

PÉTROGRAPHIE DES NAPPES DE KATHMANDU ET DE NAWAKOT
ENTRE KATHMANDU ET NAMCHE BAZAR.

L'itinéraire suivi par A. Lombard est schématisé par le croquis suivant :



(Les numéros renvoient aux échantillons et à leur emplacement sur le terrain.)

Nous donnerons ci-dessous la composition microscopique de chaque échantillon; nous indiquerons aussi son lieu de provenance et son attribution géologique ou tectonique (A. Lombard, communication orale).

Tous les échantillons décrits dans ce chapitre ont été recueillis sur des affleurements. C'est pour cette raison que nous préférons donner la description des échantillons les uns après les autres, dans l'ordre où A. Lombard les a récoltés pendant sa marche, à l'aller et au retour, plutôt que présenter la pétrographie statistique d'un ensemble géologique, comme nous l'avons fait jusqu'à présent ([8,9], chap. I à III de cette note), ce qui nous était commandé par le mode d'échantillonnage sur les moraines.

Pétrographie microscopique.

Un peu avant Banepa (nappes de Kathmandu).

15/1/a. Quartzite fin albitique à deux micas.

Structure finement grenue. Les petits grains de quartz forment une mosaïque; la séricite, en très fines lamelles, souligne les contours des grains de quartz et cristallise aussi à l'intérieur de ce dernier minéral.

La biotite se présente en lamelles plus grandes, brunes, assez parallèles.

L'albite, en petites plages de la même grandeur que celles du quartz, a une allure détritique.

Minéraux accessoires: Zircon, tourmaline.

16/1. Quartzite fin feldspathique à deux micas (voir fig. 9).

Cet échantillon est assez semblable au précédent. La biotite forme des lamelles parallèles, la séricite quelques poeciloblastes en travers du litage. Le quartz est arrondi, en mosaïque. L'oligoclase montre une tendance à se développer en plus grands cristaux, repoussant un peu la biotite et englobant des grains arrondis de quartz. On observe encore un peu de calcite, du zircon, de l'apatite, du rutile et de la magnétite.

16/1/a. Quartzite fin albitique à deux micas, (voir 15/1/a.)

17/1. Quartzite albitique à deux micas.

Cette roche est presque semblable à l'échantillon 16/1.

Structure un peu plus grossière. Biotite se présentant en petites lamelles brunes, orientées dans tous les sens, et déchi-

quetées. Quartz formant des grains arrondis, ayant tendance à être cimentés par de l'albite.

Minéraux accessoires: Calcite squelettique, sphène, épidote, apatite, zircon, magnétite.

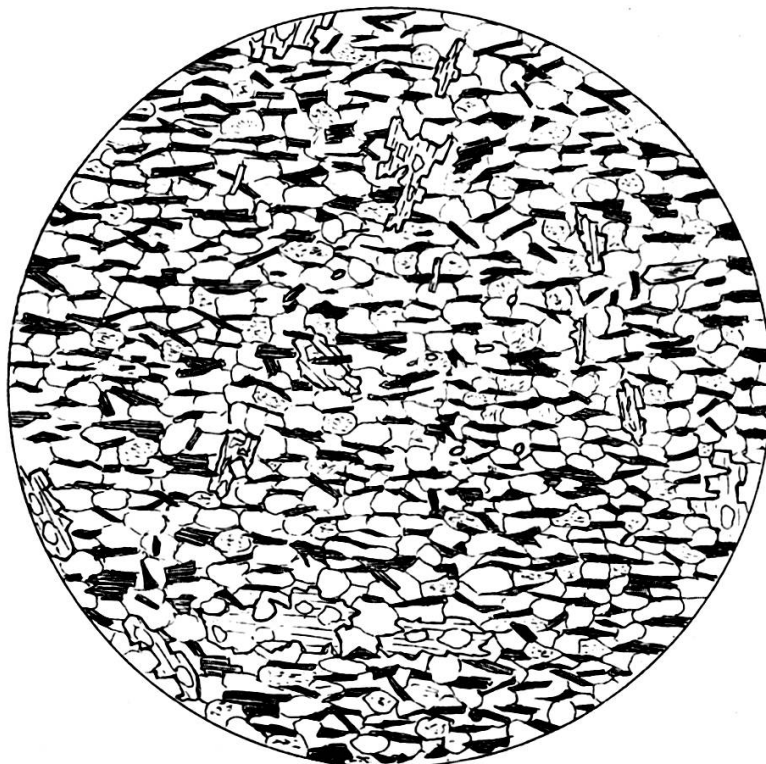


Fig. 9.

Echantillon 16/1. ($G = 25 \times$.) Quartzite feldspathique à deux micas.

Quartz, orthose. Petites lamelles de biotite, grandes lamelles déchiquetées de muscovite.

Un peu après Banepa (nappes de Kathmandu).

18/1. Micaschiste séricitique à biotite, à lentilles de quartzite à deux micas.

Cet échantillon contient une très forte proportion de micas, et spécialement de la séricite. Ces minéraux forment de multiples ondulations à angles aigus. Ça et là, on observe, ceinturées de micas, des zones subcirculaires de quartzite à deux micas. Quelques grandes lamelles de séricite tardive recoupent à l'emporte-pièce les autres micas.

A Daulaghat (nappes de Kathmandu).

20/1. Calcaire gréseux séricitique.

Structure grano- à lépidoblastique.

On observe des alignements de grains lenticulaires de calcite, entourés de lamelles de séricite très allongées et parallèles, avec des trainées de granules opaques (charbon). Le quartz forme de petites zones et lentilles contenant des grains de diverse grandeur, un peu indentés; cette structure semble résulter du broyage et de l'étirement de grains de quartz plus importants.

20/2, 20/3/a. Calcaire recristallisé.

Cet échantillon est formé presque uniquement de grains de calcite en mosaïque, saupoudrés de granules opaques, un peu allongés, à macles nombreuses et tordues. Quelques rares grains de quartz.

20/3. Schiste quartzito-séricitique charbonneux et ferrugineux.

On observe de nombreux petits grains arrondis, de quartz noyés dans un tissu de lamelles plissotées de séricite entourées d'un enduit brun ferrugineux, avec des granules opaques.

20/4. Phyllite séricitique à chlorite.

Structure lépidoblastique.

Lamelles de séricite et de chlorite formant le feutrage caractéristique des phyllites. Quartz en grains très fins, détritiques, avec un peu de tourmaline roulée, des granules opaques (peut-être sphène altéré?) et des croûtes brunâtres indéterminables.

Un peu après Daulaghat (nappes de Kathmandu).

21/1/b. Phyllite gréseuse à séricite (voir fig. 10).

Cette roche contient des alignements de grains de quartz très fins et lenticulaires, entourés de bandes phylliteuses (séricite avec dépôts brunâtres). Le quartz se présente aussi en gros grains détritiques. Un peu de tourmaline roulée et quelques granules charbonneux.

21/1. Schiste séricitique ferrugineux.

Cette roche est semblable à l'échantillon 21/1/b, et s'en distingue par une structure plus fine, et l'absence de grains roulés de quartz et de tourmaline.

21/2, 21/2/a. Microconglomérat à ciment quartzo-séricitique ferrugineux.

Cette roche ne se distingue de l'échantillon 21/1/b que par sa richesse en gros grains de quartz roulé et souvent anguleux

(leur extinction est très onduleuse; certains grains sont cassés et forment de petites plages indentées). Le ciment est quartzeux, très fin, et contient des accumulations séricitiques et ferrugineuses. Un peu de tourmaline roulée.

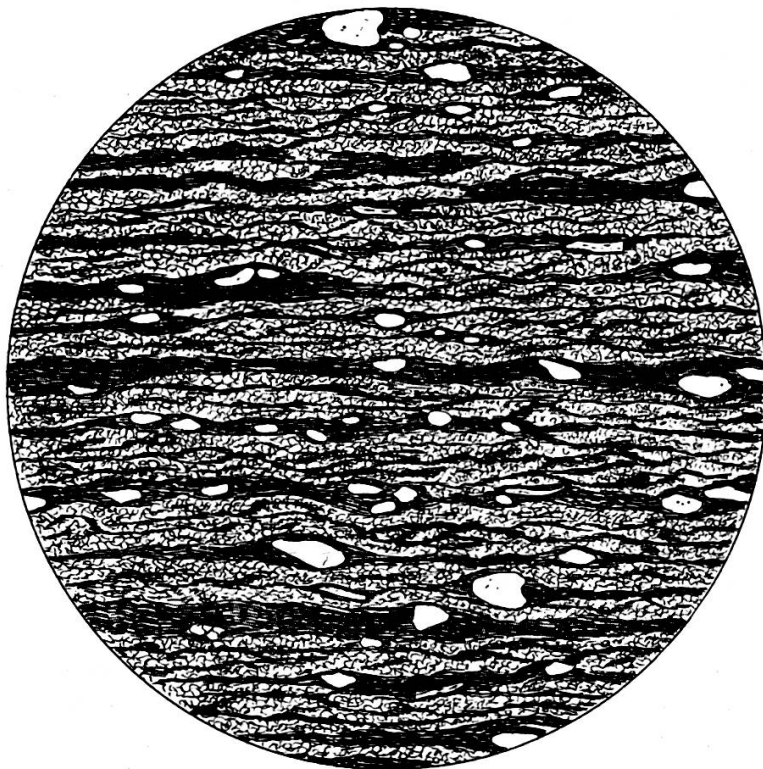


Fig. 10.

Echantillon 21/1/b. ($G = 15 \times$) Phyllite gréseuse à séricite.
Grains détritiques de quartz. Fond quartzeux. Séricite et oxyde de fer.
Quelques lamelles de muscovite détritique.

21/3. Quartzite séricitique charbonneux.

Cette roche résulte de l'écrasement d'un grès à gros éléments quartzeux. Certains grains de quartz, arrondis, ont été un peu préservés; d'autres sont complètement cassés et lenticulaires.

Les zones quartzeuses sont entourées par des phyllites.

On observe encore des grains de tourmaline roulée, presque complètement altérés en produits micacés; des galets de charbon, des traînées charbonneuses soulignent les lits phylliteux.

21/4. Phyllite séricitique.

Roche formée de séricite un peu brunâtre, en très fines lamelles parallèles, de petits grains de quartz très allongés,

de granules opaques, et de quelques grains de tourmaline verte, d'apatite et de zircon.

23/1. Quartzite séricitique.

On observe une alternance de lits phylliteux et de lits quartzeux, résultant vraisemblablement de l'écrasement de grains plus grands.

Le quartz forme aussi de plus gros grains arrondis, ainsi que la tourmaline. Quelques lamelles de muscovite détritique.

23/2. Phyllite séricitique un peu chloriteuse.

Roche formée presque exclusivement de phyllites. La séricite est très finement cristalline, ondoyante, parfois un peu verdâtre; dans certains lits, elle est remplacée par de la chlorite très fine.

Un peu de quartz lenticulaire.

23/3, 23/4. Quartzites.

Ces roches sont formées uniquement de grains de quartz arrondis, de diverses grandeurs, et de quelques lamelles de chlorite.

24. Roche argilo-séricitique à résidus (?).

Echantillon formé de séricite fibreuse et submicroscopique, formant des zones assez grandes s'éteignant simultanément, et par place de chlorite. Ces deux minéraux ont peut-être remplacé des éléments bréchoïdes ou conglomératiques (?). On observe aussi l'altération complète d'un minéral en produits sériciteux, dont il ne reste plus que des résidus grisâtres, de forme bizarre, géométrique, faisant un peu penser à de l'andalousite ou de la staurotide.

Peut-être s'agit-il aussi d'une argile en voie de cristallisation?

24/1. Quartzite phylliteux à séricite.

Roche rappelant beaucoup les quartzites précédents (voir par ex. 21/2: cette dernière est un peu moins cristalline).

Quartz en grains arrondis, de grandeur inégale, parfois subdivisés, recristallisés. Les grands grains sont souvent entourés de petites plages de quartz secondaire et envahis par des minéraux phylliteux sur les bords.

Muscovite détritique et tourmaline roulée en voie de totale séricitisation.

24/2. Phyllite à trainées quartzieuses, à deux micas.

Micas très fins, incolores à verdâtres, avec de nombreux granules opaques, parfois allongés. Un peu de quartz formant des zones lenticulaires, résultant de l'écrasement de grains assez grands.

24/3. Quartzite phylliteux à séricite (voir 24/1).

24/5. Phyllite séricitique. (voir 21/4).

Un peu avant Manga-Deorali (nappes de Kathmandu, flanc normal?).

25. Tuf de quartz porphyre recristallisé.

Structure microconglomératique.

On observe des débris de phénocristaux de quartz corrodé, de feldspaths et de roches diverses, en voie de cristallisation. Ces éléments sont enrobés dans une masse spongieuse, peu cristalline, quartzo-feldspathique, contenant un feutrage capricieux de séricite, quelques veinules de quartz secondaire et de carbonate.

25/2. Phyllite quartzreuse à séricite.

Cet échantillon est assez semblable à l'échantillon 24/1; il est un peu plus riche en micas. Le quartz est lenticulaire, mais on reconnaît encore son origine détritique. Dans la séricite très plissotée, on observe parfois des lamelles de muscovite détritique.

Un peu de chlorite très fine.

29/1. Quartzite chloriteux.

Quartz se présentant en grains assez petits et réguliers, formant mosaïque, entre les lits de chlorite parallèle. Un peu de séricite, de magnétite en trainée et de tourmaline bleutée. La recristallisation de cette roche est assez avancée.

29/2. Calcaire un peu gréseux métamorphique.

Calcite en grandes plages indentées à extinction roulante, en général criblée d'inclusions opaques, entourée de grains plus petits et allongés.

Quelques lamelles de séricite, parfois en nids lenticulaires criblés d'inclusions, un peu de phlogopite en petites paillettes allongées.

Quelques grains de quartz formant des plages irrégulières.

Cette roche résulte de l'écrasement d'un calcaire marneux grossier un peu gréseux.

29/3. Calcschiste rubané à phlogopite, contenant des lits d'arkose et de phyllite quartzo-séricitique charbonneuse.

Structure et composition très irrégulière.

Lits de calcite grenue, bien maclée, contenant quelques grains détritiques et arrondis de quartz. Lits lenticulaires de phyllite, constitués principalement de séricite finement lamellaire, avec quelques petits grains de quartz et nombreux granules de charbon. Enfin lits de phlogopite verdâtre incolore,

avec quartz arrondi, feldspath potassique altéré, tourmaline roulée et calcite.

Roche légèrement écrasée et recristallisée.

29/4. Phyllite quartzo-calcique à phlogopite.

Cette roche est un peu plus riche que la roche précédente (29/3) en zones phylliteuses.

Un peu après Manga (nappes de Kathmandu).

30/1. Quartzite séricitique.

Cette roche est un quartzite banal. Mosaïque de petits grains de quartz, alignés régulièrement entre quelques zones séricitiques. Un peu de tourmaline détritique.

30/1/a. Quartzite à deux micas.

Grains de quartz arrondis, entourés de petites lamelles de séricite et de biotite, disposées dans tous les sens.

Un peu d'apatite, de zircon et de tourmaline. Quelques lamelles de muscovite, disposées dans tous les sens, vraisemblablement d'origine détritique.

30/2. Grès calcaire arkosique un peu micacé.

Structure microconglomératique.

Des éléments arrondis de quartz, de feldspath potassique très altéré et de tourmaline roulée en quantité moindre, sont disposés sur un fond finement grenu formé de calcite, d'une mosaïque irrégulière de quartz, de zones phylliteuses à multiples inclusions charbonneuses, de lamelles brun clair de phlogopite formant de petites ondulations capricieuses, enfin de petites plages irrégulières de feldspath frais, indentées avec du quartz.

Un peu après Manga (nappes de Kathmandu, flanc renversé?).

31/1. Calcaire finement grenu, gréseux, à phlogopite et séricite (voir fig. 11).

Ce calcaire est formé de petits grains allongés et isométriques de calcite un peu trouble et de quartz. La phlogopite se présente en lamelles parallèles brun incolore (angle 2V très petit).

Ça et là apparaissent de minces zones phylliteuses, formées de séricite et de magnétite, ondulant dans la masse du calcaire.

31/1/a. Quartzite feldspathique calcique micacé.

Roche un peu plus pauvre en calcite que l'échantillon 30/2. Les zones phylliteuses sont absentes de cet échantillon.

31/1/b. Quartzite feldspathique calcique.

Echantillon de même nature que le précédent. On peut encore observer plus distinctement l'accroissement de feldspath frais autour des grains roulés et altérés de feldspath.

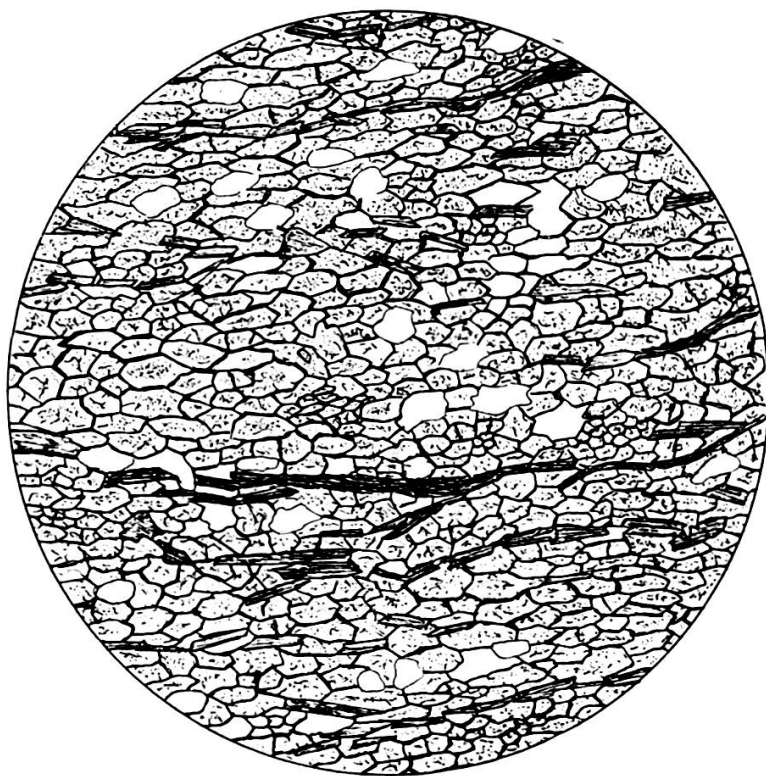


Fig. 11.

Echantillon 31/1. (G = 50 ×.) Calcaire un peu gréseux, finement grenu, à phlogopite.
Calcite, phlogopite, quartz.

Un peu après Manga (cristallin des nappes de Kathmandu?).

34/1, 34/1/a. Arkose métamorphique à deux micas (voir fig. 12).

	Quartz	Feldspath potassique	Plagio- clase	Autres minéraux
Echant. 34/1/a	46,2%	27,6%	2%	24,2%

Structure granoclastique, anciennement microconglomératique.

Le feldspath potassique se présente en gros éléments de forme variable, anguleux, saupoudrés d'inclusions, en voie d'albitisation. L'albite envahit le feldspath potassique en for-

mant à l'intérieur de ce dernier des plages maclées, parfois séricitisées, ou l'entoure d'une couronne irrégulière et limpide.

Des éléments de quartz, qui devaient être assez importants, sont concassés, et forment des zones lenticulaires et indentées.



Fig. 12.

Echantillon 31/1/a. ($G = 12 \times$.) Arkose métamorphique à deux micas.

Eléments de feldspath potassique (M), quartz (Q), biotite (B), muscovite (S), un élément d'oligoclase (P).

La mésostase est quartzo-albitique et contient un peu de feldspath potassique; elle corrode nettement les éléments clastiques et en soude les débris. Les micas (muscovite et biotite brune en petites lamelles trapues) soulignent les contours des grains par des accumulations et des trainées capricieuses, et se présentent aussi en petites lamelles dispersées dans la mésostase. Un peu d'apatite.

A Déorati-Chyangme (nappes de Kathmandu, flanc normal?).

38/1. Phyllite séricitique, (voir 21/4).

38/1a. Quartzite très séricitique charbonneux, (voir 21/3).

38/2. Phyllite séricitique, (voir 21/4, 38/1). Cette roche contient de minuscules grains de quartz encore anguleux, avec un peu de biotite (ou de phlogopite) en rares petites lamelles.

38/2/a, 38/2/b. Schiste charbonneux séricitique.

Cette roche est formée de petits grains de quartz en mosaïque, noyés dans des trainées de granules opaques de charbon entremêlés de petites lamelles de séricite, formant de petites ondulations.

38/3. Quartzite séricitique à biotite.

Quartz, constituant presque la totalité de la roche, se présentant en petits grains allongés, formant une mosaïque. Séricite en petites lamelles régulièrement réparties et parallèles.

Biotite se concentrant en petits lits irréguliers. Un peu de tourmaline roulée.

38/4. Quartzite écrasé.

Quartz en grandes plages de taille très variable, dentelliformes, à extinction roulante. Quelques minuscules paillettes de séricite disposées parallèlement.

38/5. Quartzite.

Cet échantillon n'est formé que de grains de quartz, en grandes plages indentées, riches en trainées d'inclusions se poursuivant parfois de grain en grain.

38/6. Quartzite séricitique à zones phylliteuses charbonneuses.

Grains de quartz peu indentés et assez isométriques, avec quelques écailles de séricite et des granules de charbon. Débris de tourmaline roulée nombreux, surtout dans les zones à séricite charbonneuse. On rencontre fréquemment dans cet échantillon, ainsi que dans les suivants, un minéral que nous n'avons pu identifier: il est allongé, de couleur rouge sang à opaque, en très petits grains (oligiste?).

38/7. Quartzite chlorito-séricitique.

L'allure de cette roche est bien semblable à celle de la précédente.

Quartz en grains arrondis, un peu indentés. Séricite et chlorite dispersées, ou formant des zones phylliteuses, avec un peu de charbon en grains allongés. Tourmaline vert-bleuté, détritique, enrobée de tourmaline fraîche incolore, très abondante. Certaines zones contiennent de petites lamelles de biotite.

Minéraux accessoires: Zircon, apatite.

Après Deorati-Chyangme (cristallin des nappes de Kathmandu?).

40/1. Schiste séricitique chloriteux.

Quartz, en grandes plages engrenées, voire dentelliformes, entouré de zones séricitiques et d'amas chloriteux. Il s'agit d'un grès écrasé, à gros grains de quartz.

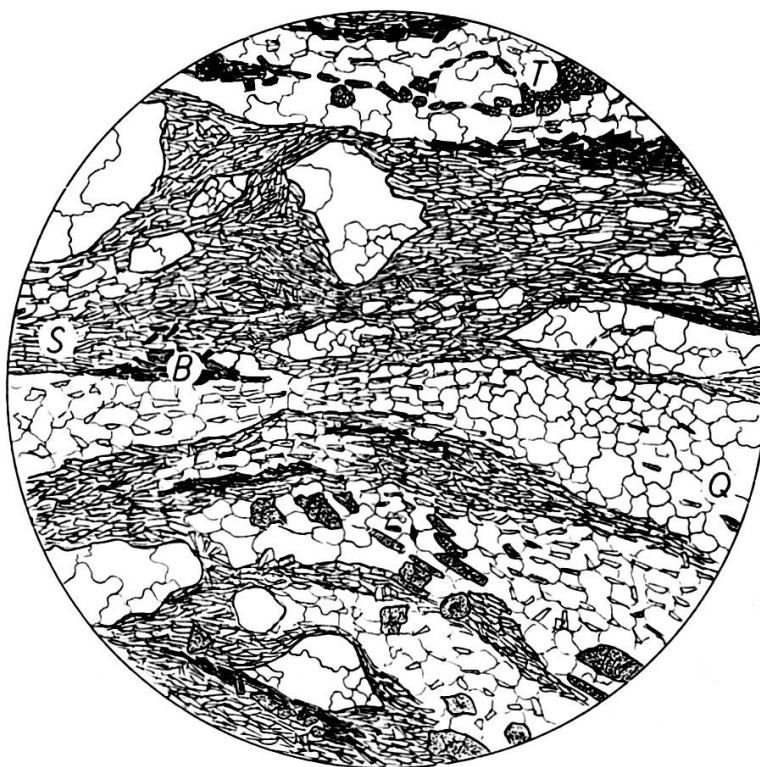


Fig. 13.

Echantillon 41/2. (G = 15 ×.) Micaschiste à séricite et tourmaline.

Quartz lenticulaire et engrené (Q), biotite (B), séricite (S), tourmaline (T).

41/1, 41/1/a. Arkose métamorphique.

Roche semblable à l'arkose précédemment décrite; elle en représente un terme un peu plus écrasé.

Le quartz, très fréquent, se présente en grandes plages allongées, dentelliformes, à extinction roulante, résultant d'une structure en mortier recristallisée. Le feldspath potassique (orthose triclinique, ext. sur Snp = 2 à 8°) forme aussi des plages dentelliformes, souvent carrées, séparées par des zones quartzeuses; isolé dans une purée quartzique, il est souvent criblé de multiples plages arrondies de quartz.

Quelques petits grenats et un peu de tourmaline en petits grains bleutés.

Après Deorati-Chyangme (nappes de Kathmandu, flanc renversé?).

41/2. Micaschiste à séricite et tourmaline, (voir fig. 13).

Cette roche dérive d'un microconglomérat à ciment argileux, métamorphisé.

Zones lenticulaires de quartz, formées de plages dentelliformes, entourées de petites lamelles de séricite et de plus rares écailles de biotite. Tourmaline très abondante, en grains idiomorphes et colorés.

41/3. Arkose séricitique métamorphique.

Quartz indenté formant des zones un peu lenticulaires, entourées de séricite en petites lamelles trapues, à disposition désordonnée. Reliques de feldspath potassique presque complètement albitisées, l'albite étant elle-même en voie de séricitisation. Ce plagioclase se rencontre aussi en petites plages fraîches, bien maclées. Apatite commune.

Après Thosé (nappes de Kathmandu, cristallin?).

44/1a. Micaschiste à biotite et disthène.

Quartz, en lentilles allongées, contenant des éléments indentés, entouré de traînées de biotite bien cristallisée, avec quelques grands cristaux de disthène.

Un peu d'albite.

44/1/6. Pegmatite à oligoclase, biotite et disthène.

Oligoclase formant de grandes plages bien maclées. Quartz en petits grains arrondis, entourant souvent les plagioclases. Biotite, très belle, brune, irrégulièrement concentrée. Un peu de disthène et de sillimanite.

48/1. Quartzite à deux micas.

Roche contenant du quartz allongé entouré de nombreuses lamelles de séricite concentrées en bandes et de biotite en plus petites paillettes uniformément réparties.

50/1. Quartzite métamorphique à deux micas.

Roche entièrement recristallisée. Le quartz est granoblastique, mamelonné; la séricite et la biotite, peu abondantes, apparaissent en petites lamelles parallèles. Quelques granules opaques.

50/1a. Quartzite feldspathique métamorphique à deux micas.

Ce quartzite ne diffère du précédent que par la présence de quelques plages d'albite et de feldspath potassique xénomorphe. Un peu de zircon.

52/1. Quartzite feldspathique à biotite, (voir 50/1a.)

La biotite est plus fréquente dans cet échantillon.

52/1a. Quartzite séricitique.

Plages de quartz atteignant un grand développement, indentées et mamelonnées. Un peu de tourmaline roulée et de grenat idiomorphe.

52/1b. Quartzite à deux micas, un peu feldspathique. (voir 50/1a).

52/1c. Quartzite feldspathique à deux micas.

Quartzite proche des gneiss par sa composition; les recristallisations sont intenses. Quartz complètement recristallisé, allongé, granoblastique.

Feldspath potassique laissant parfois deviner son ancienne forme détritique (?).

Mésostase rare constituée de quartz engrené, oligoclase 15% An, myrmécite et d'un peu de feldspath potassique.

Petites lamelles parallèles de séricite et biotite. Un peu de grenat idiomorphe.

Un peu avant Junbési (nappes de Kathmandu, cristallin?).

54/1. Gneiss à oligoclase et deux micas riche en quartz.

Gneiss représentant très vraisemblablement une arkose complètement recristallisée. Quartz semblant présenter encore çà et là une forme détritique; feldspath (oligoclase 15% An) aussi un peu arrondi et contenant quelques petites inclusions globuleuses de quartz. Longues lamelles de biotite et muscovite, marquant peut-être l'ancienne structure litée.

A Junbési (nappes de Kathmandu, cristallin?).

58/1. Arkose métamorphique à deux micas et disthène.

Structure microconglomératique écrasée.

Cette arkose ressemble aux précédentes (voir par ex. 41/1, 41/1/a). Le feldspath est l'oligoclase 20% An, en grains arrondis, entourés d'une couronne de débris. Le quartz, écrasé, forme des lentilles allongées à éléments indentés. Le ciment a recristallisé en petits grains de quartz et en longues lamelles de biotite et muscovite. Le disthène se développe dans les micas, en cristaux allongés.

Quelques nids de chlorite.

58/2. Quartzite arkosique métamorphique à biotite et disthène.

Voir échantillon précédent. Biotite et muscovite moulant les lentilles de quartz à éléments indentés et des grains encore arrondis de feldspath potassique frais. Un peu d'albite 10% An. Une purée de petits grains de quartz et de feldspath accompagne les micas.

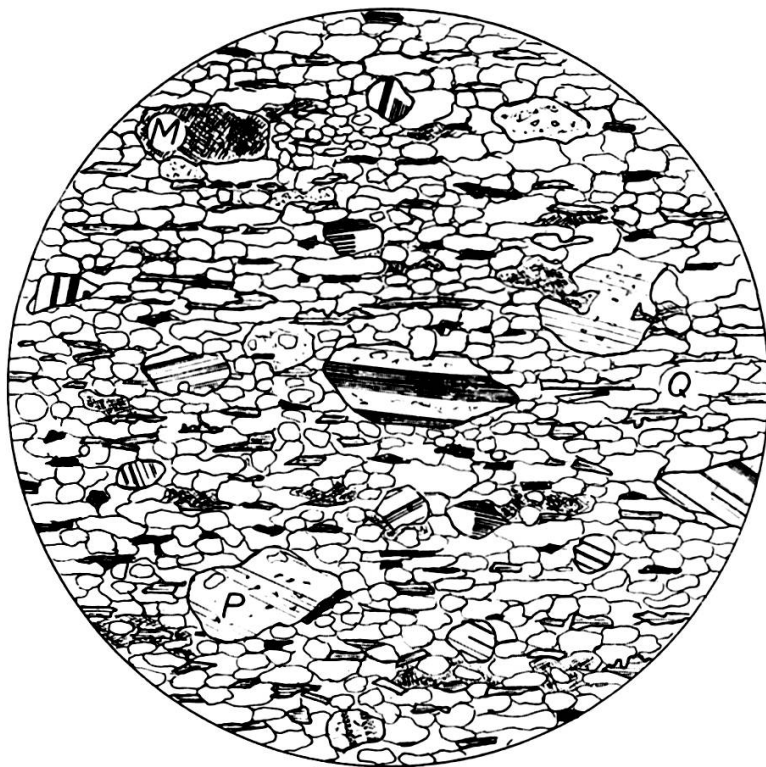


Fig. 14.

Echantillon 58/4. ($G = 14 \times$.) Quartzite arkosique métamorphique à deux micas.

Quartz (Q), petites lamelles de séricite et de biotite, éléments de microcline (M) et d'albite (P).

58/3. Arkose métamorphique à andésine, grenat et biotite.

Voir 58/1 et 58/2. Le feldspath est de l'andésine 40% An; le grenat forme quelques grains idiomorphes.

58/4, 58/4/a. Quartzite arkosique métamorphique à deux micas, (voir fig. 14).

Petits grains de quartz granoblastiques, arrondis; petites lamelles parallèles de séricite et de biotite; microcline xénomorphe (macles, $Snp = 10^\circ$) allongé.

Quelques grandes plages d'albite bien maclée, de microcline et de quartz, d'origine nettement détritique, nagent dans ce fond quartzo-feldspathique.

L'échantillon 58/4/a contient un grand cristal de sphène, tordu, peut-être d'origine détritique.

58/4/b. Quartzite arkosique métamorphique à séricite.

Les recristallisations sont plus intenses que dans l'échantillon 58/4/a. On reconnaît encore des feldspaths détritiques, mais le microcline est plus nettement mobilisé (grains rongés par de petites plages de quartz et cristallisant plus loin en petites plages xénomorphes limpides, entourant les restes détritiques).

Un peu avant Jubing (nappes de Kathmandu, gneiss unité III ?).

63/1. Arkose métamorphique à deux micas, albitisée.

Le grain de cette arkose a subi un grand écrasement. Quartz brisé, formant des lits lenticulaires onduleux. Microcline par endroits totalement albitisé, remplacé en grande partie par des cristaux presque idiomorphes d'albite maclée polysynthétiquement, ou envahi par une plage xénomorphe et arrondie d'albite, elle-même séricitisée. Biotite, muscovite et mésostase souvent grossière entourant les gros éléments.

Minéraux accessoires: Apatite, zircon, magnétite.

63/3. Quartzite arkosique métamorphique à deux micas.

Fond finement grenu formé de quartz, d'un peu de feldspath potassique, de plagioclase altéré et souvent criblé de petits cristaux d'épidote jaune brunâtre, des lentilles de quartz écrasé et des plages d'albite assez bien développées. Les deux micas entourent les grains détritiques. Un peu d'apatite et de tourmaline.

Entre Jubing et Namche Bazar (nappes de Kathmandu, gneiss unité III?).

68/1a. Arkose métamorphique à séricite.

Cette roche est très semblable aux précédentes arkoses. La structure détritique résiduelle est très visible.

Plagioclases parfaitement arrondis, plus ou moins rongés par de petites plages circulaires de quartz. Quartz lui-même souvent arrondi, d'allure détritique. Séricite lamellaire, microcline et quartz xénomorphe formant le fond de la roche.

Minéral accessoire: Apatite.

Entre Jubing et Namche Bazar (nappes de Kathmandu, gneiss unité IV?).

68/2. Quartzite séricitique métamorphique.

Quartz granoblastique, formant des plages mamelonnées, un peu indentées.

Quelques petites lamelles peu fréquentes de séricite.

68/3. Quartzite chloriteux.

Les éléments phylliteux sont la chlorite et accessoirement de la séricite et de la biotite.

70/2. Micaschiste à deux micas et grenat.

Cet échantillon est un micaschiste banal. Quartz lenticulaire, avec un peu de plagioclase, entourés de grandes lamelles de séricite et de biotite en quantité moindre. Un peu de grenat arrondi.

70/2/a. Quartzite feldspathique à biotite.

Ce quartzite est totalement recristallisé. Eléments à structure granoblastique, un peu parallèle. Biotite brune en feuillets. Quelques grenats roses, un peu d'apatite et de zircon.

Entre Jubing et Namche Bazar (nappes de Kathmandu, unité V = base des gneiss du Barun?).

70/3. Micaschiste à deux micas et grenat.

Micaschiste caractéristique. Quartz lenticulaire, indenté, accompagné d'un peu de plagioclase (env. 25% An), entouré de biotite brune et de muscovite en longues lamelles. Grenat formant de grands idioblastes un peu allongés. Sillimanite se présentant en petits nids.

70/3/a. Quartzite feldspathique à deux micas et grenat. (Voir 70/2/a.)

71/1. Gneiss alcalin à muscovite (sillimanite, chlorite, grenat).

Structure granoblastique parallèle.

Microcline en grandes plages granoblastiques, parallèles, arrondies, rongant souvent les plagioclases (albite 10% An altérée).

Quartz engrené, irrégulier et aussi granoblastique. Longues lamelles de muscovite et biotite plus ou moins chloritisée, contenant des excréments de magnétite et de rutile.

Minéraux accessoires: Apatite, sillimanite apparaissant çà et là, grenat. Myrmécite fréquente.

76/1. Gneiss dioritique à biotite (voir fig. 15).

Cette roche est vraisemblablement une ancienne arkose.

Quartz	Feldspath potassique	Plagio- clase	Autres minéraux
36,5%	9,8%	18,7%	35,2%

Quartz indenté, un peu brisé et plagioclase (andésine 35% An) apparaissant en grains un peu arrondis, entourés de biotite

et de quartz. Un peu de feldspath potassique, d'apatite, de zircon et de séricite.

76/2. Gneiss dioritique grossier à biotite.

Structure granoblastique, un peu en mortier.

Plagioclase (oligoclase 20% An) largement cristallisé. Quartz, ici en zone lenticulaire, là en plages écrasées, entourant les



Fig. 15.

Echantillon 76/1. ($G = 14 \times$.) Gneiss dioritique à biotite
(ancienne arkose?).

Quartz (Q), plagioclase (P), feldspath potassique (M), biotite (B).

plagioclases, avec de la biotite verte, de la muscovite et des granules opaques.

L'origine de ce gneiss n'est plus visible, les recristallisations étant trop avancées.

76/2a. Gneiss granodioritique à biotite.

L'allure générale de cette roche fait penser aux arkoses précédentes.

Certains grains de feldspath et de quartz sont encore arrondis. Les micas, composés surtout de biotite brun-vert, contournent les grains et les rongent. Le plagioclase, souvent

maclé, semble en voie de remplacement par le microcline: il est en effet criblé d'inclusions, à contours géométriques, de feldspath potassique; ce dernier s'insinue un peu partout et se développe en plages allongées indépendantes (microcline, macles polysynthétiques floues).

Apatite, zircon, magnétite fréquents. Sillimanite formant de petits grains, alignés parallèlement à la biotite.

77/1. Gneiss dioritique très quartzeux à biotite.

Structure granoblastique parallèle.

Grains de quartz, bien recristallisés, engrenés; plagioclase (28% An) peu fréquent, maclé (macles souvent tordues); biotite brun-vert, en lits réguliers. Un peu de chlorite, de zircon et d'apatite.

78/1. Gneiss dioritique très quartzeux à biotite.

Roche presque identique à la précédente. Elle est plus écrasée.

Quartz formant de grandes plages dentelliformes à extinction roulante. Plagioclase contenant 12% An.

Minéraux accessoires: Apatite, zircon, magnétite, sillimanite en petits amas centroradiés, grenats rares et petits.

78/1a. Gneiss dioritique à biotite brune.

Structure granoclastique.

Grands éléments (oligoclase 26% An, quartz engrené bien recristallisé) entourés de lamelles de biotite et d'une pâte très dentelliforme de quartz recristallisé. Sillimanite, avec fréquemment du zircon (peut-être un peu d'amphibole orthorhombique), entourant les grands grains.

Plagioclase contenant de petites inclusions de forme rectangulaire de feldspath potassique.

82/1/A. Diorite micacée, (voir fig. 16).

Structure grenue, un peu cloisonnée.

Grands éléments de plagioclase (29% An), formant une bonne partie de la roche, criblés de feldspath potassique en inclusions orientées parallèlement aux macles du plagioclase, affectant parfois des formes amiboïdes.

Microcline rongant aussi le plagioclase, l'incluant parfois, et s'entourant de zones riches en myrmécite.

Cette roche, bien qu'un peu écrasée (macles des plagioclases tordues par exemple) n'est pas réglée. La biotite a crû dans tous les sens, cimentant les minéraux précédents; elle est associée à quelques petites plages de quartz, à de minuscules zircons, et à de fréquents grains d'apatite.

82/1. Gneiss dioritique à biotite.

Cet échantillon est à rapporter à l'échantillon 76/1. Son plagioclase est de l'andésine 45% An.

82/A/a. Gneiss granitique à biotite.

Structure granoblastique parallèle.

Le microcline commence à prédominer, surtout le long de lits privilégiés. Le plagioclase (oligoclase 25% An), a presque



Fig. 16.

Echantillon 82/1/A. (G = 18 ×.) Diorite micacée.
Plagioclase criblé de feldspath potassique (P), biotite (B),
un peu de microcline (M); apatite.

totalement disparu. Il n'en reste souvent plus que des zones myrmécitiques en voie d'absorption dans le microcline. Le quartz se présente en plages arrondies. La biotite, trouble, est un peu verdâtre à certains endroits. Sillimanite en aiguilles assez larges, quelques grains d'apatite et de zircon, cimentant les minéraux précédents.

Quelques granules opaques et fins, un peu de grenat.

82/A/C. Gneiss granitique à biotite.

Echantillon du même type que le précédent. Oligoclase plus fréquente (25% An). Microcline montrant une tendance à former des cristaux idiomorphes, englobant les plagioclases.

Un peu avant Namche Bazar : (migmatites de Namche Barun).

86/1. Gneiss granitique à biotite et séricite, (voir fig. 17).

Quartz	Feldspath potassique	Plagio- clase	Autres minéraux
31,1%	43,5%	14,5%	10,9%



Fig. 17.

Echantillon 86/1. (G = 22 ×.) Gneiss granitique à biotite et séricite.

Microcline (M), plagioclase (P), sillimanite (S), muscovite (Mu), biotite (B), pinite (C).

Cette roche a une structure granoblastique un peu parallèle et cloisonnée.

Les grains de microcline présentent souvent une tendance à l'idiomorphisme. Ils sont bien maclés, perthitiques, et semblent bien venus en dernier lieu. Le quartz forme des grains bien indentés, recristallisés, résultant vraisemblablement d'une purée d'écrasement en voie de recristallisation.

L'oligoclase est beaucoup moins commune; elle est peu maclée (macles tordues), altérée, rongée par le feldspath potassique et souvent entourée d'une couronne d'albite fraîche.

Il semble qu'il y ait plusieurs générations de biotite. La plus ancienne, altérée, à contours peu nets, bordée d'excrétions opaques, passe souvent à une biotite verdâtre décolorée, un peu pléochroïque; la biotite de néo-formation se présente en très belles lamelles brunes, parfois un peu ployées, contenant des auréoles pléochroïques.

Le mica blanc apparaît soit en petites lamelles tordues passant à une biotite verdâtre (ou l'inverse), soit comme séricite en traînées entourant les grains, avec de la sillimanite. Çà et là, on rencontre de petites plages ovoïdes, remplies de mica blanc et vert, et bien recristallisées: ce sont très vraisemblablement d'anciennes plages de pinite. On note encore la fréquence de la myrmécite, la présence de mouchets de sillimanite et de petits zircons.

Ce gneiss résulte de la potassification d'un ancien gneiss à oligoclase, riche en alumine; l'étude des minéraux montre un jeu complexe entre écrasement, cristallisation et potassification.

86/1a. Gneiss granitique à biotite.

Gneiss ressemblant au précédent. Structure granoblastique écrasée.

Grands éléments (oligoclase 20% An, microcline contenant souvent du plagioclase n'apparaissant qu'en reliques myrmécitiques) plus ou moins déformés (macles et clivages courbes). Pâte quartzitique très dentelliforme en voie de recristallisation, séricite en traînée, lamelles brunes de biotite, entourant les éléments précédents.

Apatite, zircon, sillimanite assez communs.

Entre Namche Bazar et Junbési (nappes de Kathmandu unité V = base des gneiss du Barun?).

316. Gneiss dioritique à biotite.

Structure grenue, un peu catéclastique et parallèle.

Gneiss tout à fait comparable au gneiss 78/1a par exemple. L'oligoclase contient 28% An.

316. Gneiss dioritique grossier à biotite.

Terme plus grossier que le précédent. Grains arrondis d'oligoclase engagés entre des zones quartzeuses dentelliformes, semblant montrer à certains endroits des tendances idiomorphes. Biotite moulant les grains, quartz parfois arrondi, souvent en inclusion dans les plagioclases. Un peu de séricite, de zircon et d'apatite.

322/0. Gneiss dioritique à biotite.

Structure grenue, parallèle. Roche formée d'un agrégat de quartz un peu allongé, d'andésine non maclée (env. 40% An),

de biotite brun-vert en lamelles parallèles et d'amas de petits prismes de sillimanite.

Minéraux accessoires: Apatite, zircon.

Entre Namche Bazar et Junbési (écaille appartenant aux nappes de Khumbu (?), éventuellement nappe de Kathmandu V).

322/1. Diorite quartzique à biotite (grenat).

Structure grenue parallèle.

Oligoclase (28% An) présentant des macles souvent tordues et des contours un peu idiomorphes, contenant çà et là de petites inclusions rectangulaires de microcline, ce dernier feldspath se trouvant aussi en plages xénomorphes et perthitiques. Quartz formant des grains irréguliers à extinction roulante. Très belles lamelles rousses de biotite, orientées dans tous les sens et cimentant les grains de quartz et de feldspath.

322/2. Gneiss albitique à biotite.

Structure grenue, un peu cataclastique.

Roche formée d'albite 10% An, subidiomorphe, à macles tordues, et de quartz lenticulaire. Ces deux minéraux sont entourés de plus petits grains de quartz, et de biotite vert-brun. Un peu de sillimanite, disthène (?) d'apatite et de zircon. Petits squelettes de tourmaline bleutée, peu fréquents.

322/3. Gneiss monzonitique à biotite.

Voir échantillon 78/1a. Ce gneiss est enrichi en microcline.

323. Gneiss albitique à biotite, cordiérite et grenat.

Structure granoblastique parallèle.

Gneiss très riche en minéraux alumineux. Grenats, atteignant la taille de 1 cm., entourés d'une auréole de cordiérite très pinitisée, d'un feutrage de sillimanite (fibrolite) et de très belles lamelles de biotite rougeâtre, souvent ployées. Quartz, indenté, parfois en gouttelettes dans les plagioclases, en plages un peu allongées.

323/2a. Gneiss dioritique à biotite. Voir 77/1.

323/2b. Gneiss à labrador et biotite.

Structure grenue parallèle.

Gneiss formé de grains de quartz allongés, de grains de labrador ovoïdaux, peu maclés, en voie de zéolitisation, de lamelles un peu litées de biotite.

Apatite, magnétite, grenat et zircon, communs.

La richesse en quartz laisse entrevoir une origine para.

326/1/5. Gneiss dioritique fin à biotite.

Structure grenue, quartzitique.

Il s'agit d'un ancien quartzite très feldspathique recristallisé.

Petits grains de quartz arrondis, parfois soudés; petites plages allongées d'oligoclase; petites lamelles de biotite parallèles, parfois chloritisées.

Un peu de séricite, de zircon et d'apatite.

Un peu avant Junbési (cristallin des nappes de Kathmandu, unité 5).

336. Gneiss monzonitique à biotite.

Structure grenue, cataclastique, parallèle, presque totalement recristallisée.

Quartz formant des zones un peu allongées et indentées. Oligoclase, peu maclée (23% An), en voie de remplacement par le microcline ou l'orthose triclinique ($S_{np} = 5-10^\circ$) (elle est tachée et englobée par le feldspath potassique). Biotite, en petites lamelles brunes parallèles.

Minéraux accessoires: Apatite, zircon, grenat.

337. Quartzite recristallisé à deux micas.

Roche formée de grandes plages arrondies de quartz et d'amas de lamelles parallèles de muscovite et de biotite. Un peu d'andésine 33% An et de séricite.

341/a. Gneiss à deux micas riche en quartz.

Roche proche des micaschistes.

Quartz très abondant et plagioclase (oligoclase 20% An) formant des lentilles plus ou moins broyées, entre les alignements de micas.

Minéraux accessoires: grenat, zircon, apatite.

Il s'agit vraisemblablement d'une ancienne arkose du type de celles que nous avons déjà vues, mais plus écrasée et recristallisée. Certains grains d'oligoclase semblent avoir conservé leur forme détritique arrondie.

341/b. Gneiss très quartzitique à deux micas.

Roche à comparer à l'échantillon 341/a. Un peu de feldspath potassique (orthose triclinique).

A Phaphlu (sédimentaire des nappes de Kathmandu).

345. Calcschiste gréseux séricitique.

Ce calcaire était marno-gréseux à l'origine. La calcite a recristallisé en petits grains et constitue une grande partie de la roche. Le quartz a été écrasé et forme des lentilles à éléments de taille diverse. La séricite apparaît en traînées lenticulaires.

Un peu de minerai de fer et d'apatite.

345/5. Calcaire fin métamorphique.

Roche formée presque exclusivement de petits grains de calcite.

Quelques petites lentilles de quartz, quelques paillettes de séricite et des granules opaques.

A l'est d'Okhaldunga (série d'Halési = sédimentaire des nappes de Kathmandu).

367/1. Micaschiste à deux micas.

Micaschiste banal formé de grains peu écrasés de quartz détritique (?), entourés de petites plages de quartz et de nombreuses lamelles de muscovite et accessoirement de biotite. Un grain de tourmaline et quelques zircons.

369/1. Calcaire recristallisé un peu gréseux.

Calcite très maclée et largement grenue. Quelques petits grains de plagioclase assez séricitisé et idiomorphe (anciens feldspaths authigènes?) contenant de nombreuses inclusions de charbon.

369/1a. Calcaire à galets calcaires.

Calcaire composé d'éléments arrondis de calcaire fin écrasé, disposés dans tous les sens, et fortement recristallisés. Ciment contenant des monocristaux cassés de calcite et des enduits presque opaques.

Il s'agit vraisemblablement d'une brèche d'écrasement d'un calcaire.

369/2. Schiste charbonneux bréchoïde.

Structure bréchiforme à lépidoblastique.

Ce schiste est formé de lentilles charbonneuses, avec très peu de séricite, contenant parfois de petits galets de charbon et des débris de quartz. Entre ces lentilles, on observe des bandes de quartz rongées par des veinules de calcite, ce minéral séparant le quartz en éléments d'allure bréchoïde. Il apparaît çà et là un minéral vert-émeraude, que nous n'avons pas observé en quantité suffisante pour pouvoir le déterminer (il existe dans d'autres préparations). Ses caractéristiques sont les suivantes: il forme des croûtes, et passe parfois à un autre minéral franchement vert (?), ou à des amas fibroradiés. Indice = env. 1,75. Il est non-pléochroïque, l'allongement est négatif, la biréfringence atteint 0,045. Angle $2V = + (?) 75^\circ$. Il est orthorhombique ou monoclinique. Il s'agit peut-être d'un phosphate de Cu.

369/5. Quartzite séricitique fin. (Voir 369/5a.)

Structure en mosaïque.

Grains de quartz arrondis, isométriques, se développant plus largement sur certains lits. Quelques minuscules paillettes parallèles de séricite, ainsi que quelques grains du minéral vert décrit ci-dessus (voir 369/2). Un peu de zircon.

370/1. Grès calcaire recristallisé, un peu séricitique.

Grains de quartz, en général très petits (ça et là quelques plus gros grains cassés), calcite en petits cristaux xénomorphes, ces deux minéraux formant presque toute la roche. Un peu de séricite parallèle.

373/1, 373/1a. Calcaire fin à trainées charbonneuses.

Calcite très finement grenue et allongée, minuscules grains de quartz, et trainées charbonneuses onduleuses.

374/1. Grès calcaire recristallisé.

Voir 370/1. La séricite est ici absente ainsi que les galets de quartz de grande taille.

375/2. Schiste charbonneux.

Schiste formé d'un tissu charbonneux plissoté, avec un peu de séricite. Quartz brisé formant quelques lentilles allongées.

375/3. Calcaire à éléments calcareux recristallisés.

Structure irrégulière, peut-être bréchoïde recristallisée.

Zones bordées d'enduits bruns, de composition diverse (il s'agit peut-être d'anciens éléments): grès calcaires séricitiques, concentrations de calcite plus ou moins grenue, calcaire un peu gréseux. Tous ces éléments sont très recristallisés.

A l'est d'Okhaldunga (nappes de Nawakot, fenêtre d'Okhaldunga).

376. Grès à ciment quartzo-séricitique charbonneux. (Voir fig. 18).

Cette roche, ainsi que les suivantes jusqu'à 382/7, n'est pratiquement pas métamorphique. Les recristallisations sont peu avancées. Les éléments sont formés de quartz peu roulé, à extinction très onduleuse. Parfois on peut observer de vagues recristallisations dentelliformes au sein des grains. Un grain de quartzite fin.

Le ciment est quartzeux (quartz submicroscopique), avec quelques lamelles de séricite et des grains de charbon. Certains éléments de ce grès se rejoignent; l'ancienne séparation se reconnaît encore sous forme de zones à extinction floue entre ces grains.

381/1. Quartzite à ciment un peu séricitique, en contact avec un quartzite séricitique fin.

Ce quartzite ne contient presque pas de ciment et n'est pratiquement formé que de grains de quartz, à extinction roulante. Le contact entre les grains est très finement indented. Ça et là, on trouve un élément de quartzite fin à tourmaline (très petites aiguilles de tourmaline bleu-vert), un élément de

quartz engrené provenant vraisemblablement d'un gneiss, et d'un grand élément de quartzite fin séricitique (un peu écrasé; la séricite est en amas peu individualisés). Quelques traînées de charbon.

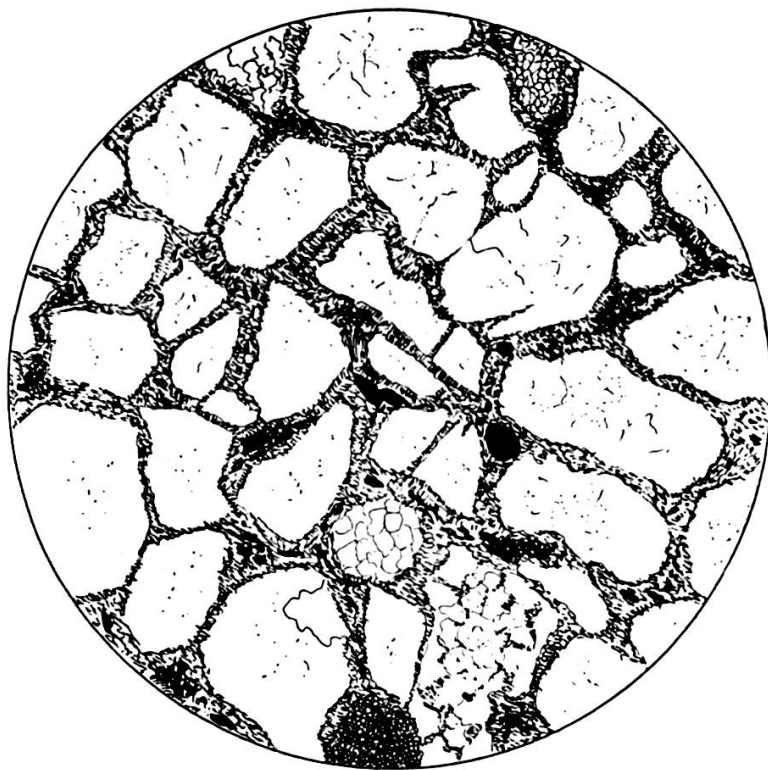


Fig. 18.

Echantillon 376. (G = $17 \times$.) Grès à ciment quartzo-séricitique.

Éléments de quartz à extinction onduleuse, de quartzite plus ou moins fin, de charbon. Ciment quartzo-séricitique charbonneux.

381/2. Grès très fin à ciment quartzo-micacé.

Ce grès est à comparer avec l'échantillon 376. Les grains sont peut-être un peu plus fins, et le ciment semble plus riche en séricite. Un grain de zircon, un peu de tourmaline roulée et de muscovite détritique.

381/10. Grès à ciment quartzo-phylliteux.

Roche ne se distinguant de la précédente que par une richesse en ciment un peu plus grande et par la présence, dans ce dernier, de chlorite en voie de formation. Nombreuses lamelles de muscovite détritique.

382/3. Grès quartzitique.

Dans cette roche, la recristallisation est en voie d'être terminée.

Ciment quartzo-charbonneux rare, avec un peu de séricite et chlorite brunâtre; de nombreux grains de quartz se touchent déjà.

382/4. Phyllite séricitique charbonneuse.

Structure lépidoblastique.

Feutrage parfaitement schisteux de séricite, entourant des granules de charbon et un peu de quartz. Quelques zones plus riches en quartz.

389/5. Argilite chloriteuse.

Structure un peu parallèle et vaguement plissotée.

Sur un fond quartzeux à peine cristallisé, se détachent de minuscules paillettes de séricite et des plages spongieuses de chlorite verte, s'individualisant rarement en petites lamelles.

Quelques granules opaques, grains de quartz arrondis et peu délimités, plages opaques à forme octaédrique (magnétite); petits prismes à extinction droite et granules rougeâtres saupoudrant le fond de la roche (rutile, hématite?).

382/6. Grès à ciment abondant quartzo-phylliteux.

Voir 381/10, 381/2.

382/7-375/1. Calcaire très fin gréseux séricitique.

Roche formée d'un agglomérat de minuscules petits grains de calcite, de quartz et de lamelles de séricite orientées dans tous les sens. Un peu de feldspath, de tourmaline roulée et de magnétite.

Près d'Okhaldunga (nappes de Nawakot).

401/1. Grès à ciment charbonneux séricitique.

Voir échantillon 376. Les grains sont de taille un peu plus irrégulière.

401/1a, 401/1b. Quartzite microconglomératique à ciment séricitique charbonneux.

A comparer avec 401/1. La recristallisation est plus poussée dans ces deux roches.

Près d'Okhaldunga (sédimentaire des nappes de Kathmandu).

409/1. Amphibolite quartzito-feldspathique à hornblende.

Structure finement grenue, un peu nématoblastique.

Hornblende vert-bleu (ext. Ng/mm = 20° env.) formant de petits prismes ou de petits grains; quartz se présentant en petites plages allongées; feldspath (andésine 35% An) en petits cristaux à tendance idiomorphe, parfois en plus grands poeciloblastes.

Un peu de rutile et de biotite souvent complètement chloritisée.

409/2. Quartzite très feldspathique à actinote.

Ce quartzite contient presque autant de feldspath que de quartz; mais la structure est celle d'un quartzite et non celle d'un gneiss; les grains forment une mosaïque un peu schisteuse.

Petites plages arrondies de quartz, entourées de feldspath potassique et d'albite 5% An en moindre proportion. Litage apparaissant surtout grâce à de petites aiguilles d'actinote vert très clair — bleuté, pléochroïque. Roche saupoudrée de petits minéraux fortement réfringents: sphène en petits amas, épidote, zircon et apatite.

409/3. Schiste quartzito-micacé à biotite.

Structure grano- à lépidoblastique.

Lamelles parallèles de biotite, brun-vert, entourant des grains de quartz arrondi et un peu de feldspath.

Quelques grains de tourmaline bleutée, d'épidote et un peu de séricite. On pourrait aussi appeler cette roche: quartzite feldspathique à biotite un peu laminé.

409/4. Cornéenne feldspathique à diopside et épidote.

Structure très finement grenue, un peu rubanée.

Fond finement grenu de quartz et d'albite. Lits, variant en composition, formés de diopside et d'épidote, en grains ou poeciloblastes.

Quelques losanges de hornblende verte et quelques trainées de zircon et de sphène. Très peu de calcite.

409/5. Calcaire gréseux recristallisé.

Structure encore visiblement détritique.

Grès constitué d'éléments de quartz, qui ont gardé leur forme primitive. Calcite en plages xénomorphes et bien maclées. Muscovite en grandes lamelles déchiquetées (peut-être détritiques?). Paillettes de séricite fréquentes, bordant les autres minéraux.

409/6. Gneiss dioritique rubané à hornblende et diopside.

Gneiss présentant plusieurs alternances de lits d'origine sédimentaire: lits contenant du diopside, de la hornblende un peu poeciloblastique, de la calcite, du quartz et de l'oligoclase 24% An; autres lits à hornblende, microcline et biotite chloritisée; enfin, lits quartzitiques, presque uniquement composés de quartz ou constitués de quartz et de calcite.

409/7. Amphibolite quartzo-feldspathique calcique (voir fig. 19).

Les éléments clairs (quartz et plagioclase à 30% An) sont entourés de hornblende vert-bleu banale. La calcite est assez

abondante. Un peu de phlogopite, du zircon, des granules opaques et du minéral de fer.

409/8. Gneiss très fin rubané à clinozoïsite, hornblende, calcite, biotite.

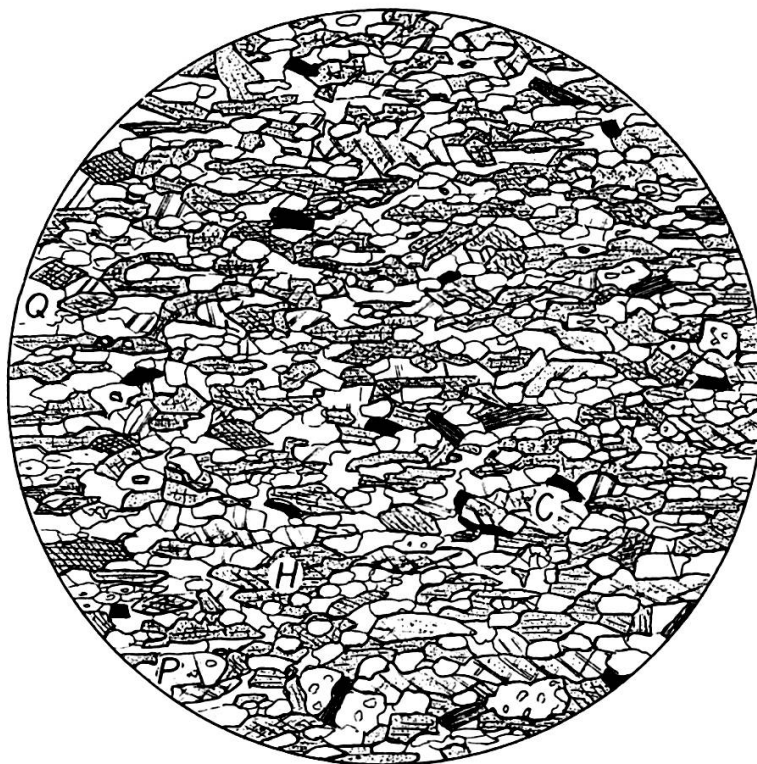


Fig. 19.

Echantillon 409/7. ($G = 20 \times$.) Amphibolite quartzo-feldspathique calcique.

Quartz (Q), plagioclase 30% An (P), hornblende vert bleu (H), calcite (C), phlogopite, magnétite, zircon.

Suivant les lits, structure poeciloblastique ou grenue et schisteuse.

Composition des lits très variable.

Lit à biotite: constitué par des éléments parallèles et dentelliformes de quartz et de feldspath potassique, de biotite lancéolée, allongée, de quelques poeciloblastes de hornblende et de petits grains de clinozoïsite.

Lits à hornblende: formés presque exclusivement de grands poeciloblastes de hornblende verte, contenant des inclusions de clinozoïsite et de quartz, avec quelques plages de calcite.

Lits à clinozoïsite: criblés de petits grains de diverse grandeur de ce minéral, avec du sphène, sur un fond de quartz.

409/9. Gneiss dioritique très riche en amphibole.

Structure grano- à poeciloblastique, un peu schisteuse.

Grain de cette roche très variable. Quartz et hornblende (vert-bleu, peu pléochroïque, en poeciloblastes souvent allongés, ext. $N_g/m = 16^\circ$) formant des accumulations irrégulières un peu rubanées. Un peu d'oligoclase souvent en inclusion dans la hornblende; apatite, phlogopite, rutilé.

409/10. Gneiss dioritique rubané, parfois monzonitique, à diopside plus ou moins ouralitisé.

Structure grenue, un peu schisteuse.

Quartz prédominant largement, oligoclase 25% An en grains allongés. Rubanage marqué par un enrichissement en microcline treillissé, entouré de myrmécite. Amphibole, résultant de la transformation du diopside, surtout fréquente dans les zones à microcline. Diopside formant de petits grains déchiquetés. Quelques lamelles de biotite, un peu d'apatite, de sphène, de tourmaline et de calcite.

409/11. Gneiss rubané potassique à hornblende et clinozoïsite, avec lits calciques.

Alternance marquée par des lits de hornblende prismatique, de quartz, de clinozoïsite, de feldspath potassique et des lits riches en calcite, avec les mêmes minéraux, mais sans feldspath potassique.

Apatite et zircon très fréquents.

409/11/a. Gneiss dioritique rubané à microcline, diopside plus ou moins ouralitisé, clinozoïsite et calcite.

Ce gneiss est un terme moyen entre les deux derniers échantillons (voir 409/10 et 409/11).

409/12. Grès calcaire recristallisé séricitique.

Grandes plages arrondies de quartz, dérivant d'anciens galets, et rongées par les autres minéraux. Quelques grains arrondis d'albite, d'origine détritique, montrant parfois des macles en échiquier. Fond constitué de grains de calcite et de petites plages indentées de quartz.

Autres minéraux détritiques: tourmaline bleutée, zircon, muscovite s'entourant d'une pellicule de séricite secondaire plus réfringente. Quelques plages xénomorphes de microcline, magnétite saupoudrant la roche.

409/14. Gneiss potassique à biotite.

Structure grano- à lépidoblastique.

Petites plages abondantes de quartz et microcline xénomorphe entourées de lamelles parallèles de biotite brun-vert.

Quelques petits prismes de tourmaline bleutée idiomorphe, d'apatite et quelques grains de clinozoïsite.

409/15. Gneiss à bytownite et biotite.

Structure grano- à lépidoblastique.

Grands poeciloblastes de bytownite, envahissant, repoussant et absorbant la trame schisteuse formée de quartz et de biotite. Ce dernier minéral est concentré surtout près du plagioclase, qui contient en outre de nombreuses inclusions d'épidote. Un peu de tourmaline.

409/16. Quartzite albitique à tourmaline et biotite, en contact avec une tourmalinite.

Tourmalinite: surtout formée de tourmaline verte, en petits prismes idiomorphes, et de quartz en mosaïque. Minéraux accessoires: biotite, apatite, rutile.

Quartzite feldspathique: constitué de quartz et d'albite souvent maclée en échiquier, contenant de multiples inclusions.

Petites lamelles trapues de biotite orientée dans tous les sens.

Minéraux accessoires: Rutile, apatite.

409/16a. Quartzite albitique chloriteuse.

Voir quartzite albitique précédent (409/16). Petites lamelles de biotite chloriteuse dispersées dans tous les sens. Quartz et albite très dentelliformes. Il s'agit vraisemblablement d'un grès arkosique fin à ciment quartzeux métamorphique.

Au delà de la Sun Kosi (sédimentaire au sommet des nappes de Nawakot, éventuellement écaille de Gondwana).

414/1/a, 414/1/1b. Calcaire finement grenu rubané.

Roche formée exclusivement de calcite finement grenue ou constituant de grandes plages maclées. Rubanage marqué par des traînées de granules brunâtres (matière argilo-ferrugineuse?). Traces d'écrasement (macles de la calcite courbes).

414/2, 414/2a. Calcaire gréseux très fin, un peu séricitique.

Petits grains informes de calcite, tachée de produits rouges, enrobant de petits grains de quartz souvent anguleux, également répartis, formant la masse principale de la roche. Séricite en fines lamelles, disposées dans tous les sens, avec un peu de biotite vert-brun (ces micas sont secondaires?). Quelques petits grains de tourmaline vert-brun.

Au sud de la Sun Kosi (cristallin des nappes de Nawakot avec écailles sédimentaires).

414/3. Gneiss leucocrate, de composition générale monzonitique, à grenat. (Voir fig. 20).

Structure granoblastique, schisteuse.

Le litage est marqué par l'alternance de zones où prédominent les plagioclases (27% An) avec des grenats de toute taille, et par d'autres zones riches en quartz engrené et microcline.



Fig. 20.

Echantillon 414/3. (G = 14 ×.) Gneiss leucocrate à grenat, de composition générale monzonitique.

Quartz dentelliforme (Q), microcline (M), plagioclase (P), grenat (G); apatite, muscovite, chlorite.

L'oligoclase est fortement séricitisée. Le grenat est souvent réduit à une couronne enrobant des minéraux variés, comme le quartz, la tourmaline, la muscovite centroradiée, la chlorite dispersive dans les tons rougeâtres.

Minéral accessoire: Apatite.

414/4. Tourmalinite quartzo-albitique chloriteuse.

Structure grano- à poeciloblastique.

Roche constituée de quartz grenu, de globules d'albite poeciloblastique parfois maclée selon Karlsbad. Tourmaline criblant ces deux minéraux de petits prismes idiomorphes

vert-beige. Chlorite fréquente, piquetée de granules opaques (elle est issue de l'altération d'une biotite dont on aperçoit quelques reliques). Rutile saupoudrant la roche. Apatite assez commune.

414/5. Schiste charbonneux plissoté.

Structure lépidoblastique, plissotée.

Ce schiste n'est pratiquement constitué que par du charbon. Quelques lamelles de séricite, grains de quartz et de feldspath très rares.

414/6. Gneiss dioritique rubané à épidote, diopside plus ou moins ouralitisé.

On observe dans cette roche les zones suivantes:

Première zone contenant du quartz un peu allongé, grenu, avec un peu d'oligoclase 25% An, des granules de sphène, du diopside en voie d'ouralitisation et quelques grains d'épidote.

Seconde zone très riche en épidote, entourant quelques grains de diopside.

Troisième zone enfin, intermédiaire, formée d'épidote, de diopside, de quartz et d'oligoclase.

Minéraux accessoires: Calcite, zircon, apatite.

416/1, 416/1a. Grès à ciment phylliteux brunâtre.

Quartz, souvent très anguleux, formant le principal élément détritique. (On trouve accessoirement quelques grains de tourmaline roulée bleue, de plagioclase (albite?) et de muscovite détritique, parfois finement auréolée de séricite secondaire).

Quelques lamelles de séricite en formation, peu différenciées, dans le ciment phylliteux; quelques granules opaques.

504/1. Phyllite un peu gréseuse.

Tissu serré de séricite. Quelques grains de quartz. Granules de charbon. Apatite, tourmaline.

504/2. Quartzite fin feldspathique.

Petites plages engrenées de quartz. Grains d'albite, souvent maclée en échiquier. Un peu de feldspath potassique altéré. Séricite très rare, d'origine détritique. Granules opaques.

Conclusions pétrographiques.

Description des zones traversées par l'itinéraire.

Nous rappelons tout d'abord au lecteur que l'itinéraire parcouru par A. Lombard a été schématisé au début de ce chapitre. Il part de Kathmandu, passe par Junbési et Jubing, et aboutit à Namche Bazar; il revient par Junbési (sans passer

par Jubing) et descend vers la plaine du Gange en passant par Okhaldunga et Manebhanjang.

Cet itinéraire traverse tout d'abord les nappes de Kathmandu, puis la base de la série du Barun (nappe de Kathmandu V de T. Hagen et A. Lombard) et atteint les migmatites de Namche Bazar. Le chemin de retour traverse la série du Barun et les nappes de Kathmandu; les nappes de Nawakot apparaissent à la fenêtre d'Okhaldunga et devant le front des nappes de Kathmandu, à la fin de l'itinéraire.

Nous allons considérer ces éléments géologiques les uns après les autres, et les rattacher aux observations micrographiques qui ont formé la majeure partie de ce chapitre.

LES NAPPES DE KATHMANDU.

Il n'est pas possible pétrographiquement de se rendre compte quelle nappe de Kathmandu l'itinéraire traverse.

Mais, en se basant sur la série stratigraphique établie par P. Bordet et M. Latreille [2], (voir au début de ce chapitre), on peut tenter de rattacher les échantillons précédents à l'un des huit niveaux (a. à h.) de la série stratigraphique.

Le tableau ci-dessous résume cet essai.

N° de l'échant.	Niveau (d'après Bordet et Latreille)	Types de l'échantillon
-----------------	---	------------------------

Entre Kathmandu et Namche Bazar.

Un peu avant Banepa.

15/1/a-17/1	Quartzites inf. (f)	Quartzites albitiques à deux micas.
-------------	---------------------	-------------------------------------

Un peu après Banepa.

18/1	Micaschistes (g)	Micaschiste séricitique à biotite et quartzite à deux micas.
------	------------------	--

A Daulaghat.

20/1-20/3	Passées de roches carbonatées dans (c ?)	Calcaires gréseux recristallisés.
-----------	--	-----------------------------------

Un peu après Daulaghat.

20/3-21/2/a	Phyllites, schistes, (a à c)	Phyllites, schistes.
-------------	------------------------------	----------------------

21/3-24/5	Phyllites (<i>c</i> ?)	Quartzites charbonneux, phylliteux et phyllites.
24	? (peut-être autour de <i>c</i> ?)	Roche argilo-séricitique à résidus ?
25	?	Tuf de quartz porphyre.
25/2-29/4	Phyllites et quartzites sup. (<i>c</i> et <i>d</i> ?)	Phyllites, calcaires gréseux, calcschistes.

Un peu après Manga.

30/1	Quartzites sup. (<i>d</i>) ou inf. (<i>f</i>)	Quartzite séricitique.
30/1/a	Quartzites inf. (<i>f</i>)	Quartzite à deux micas.
30/2-31/1	?	Calcaires fins un peu gréseux, un peu arkosiques.
31/1/a-31/1b	?	Quartzites feldspathiques plus ou moins calciques.
34/1-34/1/a	Migmatites (<i>h</i>)	Arkoses métamorphiques.

A Deorati-Chyangme.

38/1-38/2/b	Phyllites à passées charbonneuses et quartzites sup. (<i>e</i> et <i>d</i>)	Phyllites séricitiques, quartzite séricitique charbonneux, schiste charbonneux séricitique.
38/3	Quartzites inf. (<i>f</i>)	Quartzite à deux micas.
38/4-38/7	Phyllites (<i>e</i>) et quartzites sup. (<i>d</i>) (?)	Quartzites plus ou moins phylliteux.

Après Deorati-Chyangme.

40/1	Micaschistes (<i>g</i> ?)	Schiste séricitique.
41/1-41/1a	Migmatites (<i>h</i> ?)	Arkoses métamorphiques.
41/2	Micaschistes (<i>g</i>)	Micaschiste à deux micas et tourmaline.
41/3	Migmatites (<i>h</i> ?)	Arkose séricitique métamorphique.

Après Thosé.

44/1/a	Micaschistes (<i>g</i>)	Micaschiste à biotite et disthène.
44/1/6	(Eventuellement, exsudation dans micaschistes niveau <i>g</i> ?)	Pegmatite à oligoclase et disthène.
48/1-52/1/c	Quartzites inf. (<i>f</i>)	Quartzites plus ou moins feldspathiques à deux micas.

Un peu avant Junbési.

54/1	Migmatites (h)	Gneiss à oligoclase et deux micas.
------	----------------	------------------------------------

A Junbési.

58/1-58/4b	Migmatites (h)	Quartzite arkosique à deux micas, arkose métamorphique à deux micas.
------------	----------------	--

Un peu avant Jubing.

63/1-68/1a	Migmatites (h)	Quartzites arkosiques et arkoses métamorphiques.
------------	----------------	--

Entre Jubing et Namche Bazar.

68/2-68/3	Quartzites inf. (f)	Quartzites séricitiques, chloriteuses avec un peu de biotite.
70/2	Micaschistes (g)	Micaschistes à deux micas et grenat.
70/2/a	Quartzites inf. (f)	Quartzite feldspathique à biotite.
70/3	Micaschistes (g)	Micaschiste.
70/3/a	Quartzites inf. (f)	Quartzite feldspathique à deux micas.

*Fenêtre d'Okhaldunga.**Près d'Okhaldunga.*

409/1	Micaschistes (g)	Amphibolite quartzito-feldspathique à hornblende.
409/2	Micaschistes (g ?)	Quartzite très feldspathique à actinote.
409/3	Micaschistes (g)	Schiste quartzito-micacé à biotite.
409/4	Migmatites (h ?)	Cornéenne feldspathique à diopside et épidote.
409/5	?	Calcaire gréseux recristallisé.
409/6	Migmatites (h ?)	Gneiss dioritique rubané à hornblende et diopside.

409/7	Micaschistes (<i>g</i>)	Amphibolite quartzo-feldspathique calcique.
409/8	Migmatites (<i>h</i>)	Gneiss très fin rubané à clinozoïsite, hornblende, calcite, biotite.
409/0-409/11/a	Migmatites (<i>h</i>) et micaschistes (<i>g</i>)	Gneiss fins divers: à amphibole, diopside, clinozoïsite, calcite, plus ou moins enrichis en microcline et oligoclase.
409/12	?	Grès calcaire recristallisé séricitique.
409/14	Migmatites (<i>h</i>)	Gneiss potassique à biotite.
409/15	Migmatites (<i>h</i>)	Gneiss à bytownite et biotite.
409/16	Quartzites inf. (<i>f</i>)	Quartzite albitique à tourmaline et biotite.
409/16a	Quartzites sup. (<i>d</i>)	Quartzite albitique chloriteuse.
504/1	Phyllites (<i>a</i> à <i>c</i>)	Phyllite un peu gréseuse.
504/2	Quartzites inf. (<i>f</i>)	Quartzite fin feldspathique.

Remarques et conclusions au sujet des nappes de Kathmandu.

Il convient tout d'abord de signaler les différences entre les roches appartenant aux nappes de Kathmandu, rencontrées entre Kathmandu et Namche Bazar, et celles attribuées aux mêmes nappes, dans la fenêtre d'Okhaldunga.

Entre Kathmandu et Namche Bazar.

Voici un tableau récapitulatif des roches rencontrées dans cette région.

Niveau	Roches
<i>a, b, c</i>	Phyllite chloriteuse, gréseuse, séricitique.
<i>c</i>	Calcschiste à phlogopite, phyllite quartzo-calcique à phlogopite, calcaire gréseux séricitique; tuf de quartz-porphyre (?), roche argilo-séricitique à résidus (?).
<i>d</i>	Quartzites chloriteux, séricitiques.

<i>e</i>	Schiste charbonneux, séricitique. Quartzites charbonneux, phylliteux.
<i>f</i>	Quartzites à deux micas, fins albitiques à deux micas.
<i>g</i>	Micaschistes à biotite, schistes séricitiques; micaschistes à biotite et disthène, à deux micas et grenat.
<i>h</i>	Arkoses métamorphiques, à deux micas, séricitique. Gneiss à oligoclase et deux micas. Quartzite arkosique. Gneiss très riche en quartz, à deux micas.
Inconnu	Grès arkosique: 30/2. Calcaire gréseux à séricite: 31/1. Quartzite feldspathique calcique micacé: 31/1/a, 31/1/b. Quartzites purs: 23/3, 23/4, 38/5. Pegmatite à oligoclase, disthène et biotite (intrusive ou de ségrégation?): 44/1/6.

Remarques.

1. On ne peut reconnaître au microscope les niveaux a, b, c de la série stratigraphique de P. Bordet et M. Latreille; les critères qui les différencient sont des critères lithologiques de terrain.

2. Au sujet des migmatites (niveau h.).

Elles constituent la base stratigraphique des nappes de Kathmandu.

Nous avons rattaché (voir tableau précédent) les arkoses métamorphiques et les quartzites arkosiques à ce niveau.

En effet, les échantillons à vue présentent un aspect d'embréchites œillées (faciès fréquent de ce niveau, [2]), ou de gneiss.

Microscopiquement, les éléments détritiques de ces arkoses sont le feldspath potassique (microcline souvent très altéré, presque complètement albitisé), le quartz, souvent réduit à l'état de lentilles ou de purée par écrasement, enfin aussi du plagioclase (oligoclase à andésine) altéré.

En général, la mésostase est quartzo-feldspathique et ronge faiblement les éléments détritiques. Ces derniers éléments sont entourés et moulés par la muscovite ou les deux micas réunis.

Notons encore la présence sporadique du disthène.

Les mobilisations feldspathiques ou les apports sont peu importants dans ces roches: ces dernières sont des ectinites, au sens où l'entendent Jung et Roques [7]. Leur métamor-

phisme est celui de la mésozone inférieure (éventuellement partie médiane ou supérieure de la mésozone dans le cas de l'arkose séricitique). Dans un unique échantillon, on observe une arkose recristallisée dans la partie supérieure de la catazone (voir 54/1): la mésostase quartzo-feldspathique a recristallisé, les éléments se sont regroupés. Mais on peut reconnaître encore, çà et là, les anciennes formes caractéristiques du quartz et du feldspath détritiques.

Mais là encore, aucun apport n'est caractéristique: la roche a seulement subi une recristallisation qui a presque effacé l'ancienne structure.

En conclusion, il n'existe pas de migmatites dans les nappes de Kathmandu, entre Kathmandu et Namche Bazar. Le terme le plus métamorphique de cette série est une arkose recristallisée dans la partie supérieure de la catazone. Toutes les autres arkoses et les quartzites arkosiques, soit à faciès de pseudo-embréchite œillée, soit à faciès de gneiss, appartiennent pratiquement à la partie inférieure de la mésozone.

Ces observations tendent à rejoindre celles de T. Hagen, qui signale des passages progressifs entre certains grès et gneiss œillés, dans ce groupe de nappes [5].

Nappes de Kathmandu entre Phaphlu et la Dudh Kosi, en passant par Okhaldunga.

Nous avons déjà signalé les différences de faciès pétrographique entre cette partie des nappes de Kathmandu et celle située entre Kathmandu et Namche Bazar. Ce fait tient vraisemblablement à la différence de position tectonique: dans le premier cas, les roches proviennent du front des nappes de Kathmandu, chevauchant à cet endroit celles de Nawakot; dans le second cas, les roches proviennent d'une zone proche des racines des nappes de Kathmandu.

Le premier tableau ci-dessous rend compte de la pétrographie des roches des nappes de Kathmandu, dans la région de la fenêtre d'Okhaldunga.

Le second tableau compare le front et la zone des racines des nappes de Kathmandu, du point de vue pétrographique.

Niveau	Roches
<i>a, b, c</i>	Phyllite un peu gréseuse, séricitique.
<i>d</i>	Quartzites albitique, fin feldspathique.
<i>e</i>	—
<i>f</i>	Quartzite feldspathique chloriteux.
<i>g</i>	Amphibolite quartzo-feldspathique à actinote. Schiste quartzito-micacé à biotite. Amphibolite quartzo-feldspathique calcique.
<i>g</i> ou <i>h</i> (?)	Cornéenne feldspathique à diopside et épidote. Gneiss très fin rubané, à clinozoïsite, hornblende, calcite et biotite.
<i>h</i>	Gneiss dioritique rubané à hornblende et diopside. Gneiss dioritique riche en amphibole. Gneiss dioritique, parfois monzonitique, à diopside plus ou moins ouralitisé. Gneiss potassique à hornblende et zoïsite, avec lits calciques. Gneiss potassique à biotite. Gneiss à bytownite et biotite.
Inconnu	Calcaire gréseux recristallisé. Grès calcaire recristallisé séricitique.

Niveau	Entre Kathmandu et Namche Bazar	Fenêtre d'Okhaldunga
<i>a, b, c</i>	Phyllites, calcschistes, etc.	Phyllite un peu gréseuse séricitique.
<i>d</i>	Quartzites chloriteux séricitiques.	Quartzites chloriteux albitique, fin feldspathique.
<i>e</i>	Schistes et quartzite charbonneux.	—
<i>f</i>	Quartzites fins albitiques à deux micas, quartzites à deux micas.	Quartzite feldspathique à tourmaline et biotite.
<i>g</i>	Micaschistes à biotite, à biotite et disthène, à deux micas et grenat.	Amphibolite quartzo-feldspathique calcique à hornblende, quartzite feldspathique à actinote, schiste quartzito-micacé à biotite.
<i>g</i> ou <i>h</i>	—	Cornéenne feldspathique à diopside et épidote. Gneiss très fin rubané à clinozoïsite, hornblende, calcite, biotite.

h	Arkoses métamorphiques à deux micas et séricitique; gneiss à oligoclase et deux micas; quartzite arkosique, gneiss quartzueux à deux micas.	Gneiss dioritique rubané à hornblende et diopside, riche en amphibole; gneiss dioritique parfois monzonitique à diopside plus ou moins ouralitisé. Gneiss potassique à hornblende et zoïsite, à biotite. Gneiss à hytownite et biotite.
Inconnu	Grès arkosique. Calcaire gréseux séricitique. Quartzites purs. Quartzites feldspathiques calciques micacés. Pegmatite à oligoclase.	Calcaire gréseux recristallisé, grès calcaire recristallisé à séricite.

Ce tableau comparatif appelle quelques remarques:

1. Les termes épimétamorphiques (niv. a. à e.) sont un quartzite chloriteux albitique (niv. d.), un quartzite fin feldspathique (niv. d.) et une phyllite (niv. a. à c.). La note de A. Lombard et P. Bordet [12] laisse supposer une plus grande variété de termes peu métamorphiques dans cette région.

Les deux échantillons de niveau inconnu (calcaire gréseux recristallisé et grès calcaire recristallisé à séricite, échant. 409/5 et 409/12), sont peut-être à rattacher à des niveaux de métamorphisme plus faibles que le niveau f.

2. Au sujet du niveau g.

Il semble que ce niveau (niveau des micaschistes à muscovite, à deux micas, avec localement passées d'amphibolites vertes) soit très riche en amphibolites et roches à amphiboles. Ces roches semblent être nettement d'origine para.

Seul un schiste quartzito-micacé à biotite paraît représenter bien typiquement ce niveau de micaschistes.

3. Au sujet du niveau g. ou h. (voir tableau comparatif ci-dessus).

Il est difficile de classer exactement ces gneiss très fins et cette cornéenne feldspathique à diopside et épidote. P. Bordet et M. Latreille ne signalent pas de roches semblables dans la série stratigraphique des nappes de Kathmandu [2]. L'inten-

sité de leur métamorphisme nous autorise à les classer soit dans le niveau g., soit dans le niveau h. (présence de diopside et d'épidote), à moins qu'elles n'appartiennent à une zone de contact.

4. Quant au niveau h. (niveau des migmatites), on peut faire les remarques suivantes:

- a) Les arkoses métamorphiques sont absentes dans la région de la fenêtre d'Okhaldunga. Aucun des gneiss de ce niveau (qui sont des gneiss très fins, potassiques, monzonitiques ou dioritiques) ne pourraient dériver d'arkoses par métamorphose ou migmatisation plus poussée.
- b) Les gneiss fins formant la base de la série stratigraphique dans cette région, semblent avoir été primitivement des sédiments très fins, quartzo-calciques.
- c) Au sujet des migmatites: on remarque une certaine mobilisation feldspathique (voir par exemple bytownite poeciloblastique (409/15), feldspath potassique métagénétique (voir 409/10: gneiss rubané dioritique, parfois monzonitique, par apport potassique lit-par-lit; lits riches en feldspath potassique dans un gneiss rubané potassique; voir aussi 409/11a, etc...).

Mais il ne semble pas que l'apport soit suffisant pour que ces roches puissent être appelées migmatites; tout au plus peut-on les classer dans les ectinites métagénétiques [7].

En conclusion.

Il n'existe pas non plus, dans les échantillons des nappes de Kathmandu recueillis dans la région de la fenêtre d'Okhaldunga, de migmatites typiques, mais seulement des ectinites, métagénétiques par endroits.

Le métamorphisme le plus profond atteint la partie supérieure de la catazone. Ce niveau de métamorphisme semble plus fréquent dans cette région qu'entre Kathmandu et Namche Bazar (?), à moins qu'on se trouve dans une zone de contact assez étendue.

Enfin, il est assez troublant de constater jusqu'à quel point certaines roches (cornéennes, gneiss fins, amphibolites) de cette région ressemblent à celles provenant des nappes de Khumbu [9].

LA SÉRIE DU BARUN AU S DE NAMCHE BAZAR.

Nous rappelons que A. Lombard et T. Hagen appellent cet élément (constitué surtout de gneiss ectinites), nappe de Kathmandu V.

Nous allons rassembler en deux tableaux les principales caractéristiques de ces gneiss. Les échantillons ont été récoltés à l'aller, entre Jubing et Namche Bazar, et, au retour, entre Namche Bazar et Junbési.

<i>Entre Jubing et Namche Bazar.</i>	<i>Un peu avant Junbési.</i>
70/3: Micaschiste à deux micas et grenat.	—
70/3a: Quartzite feldspathique à deux micas et grenat.	Quartzite à deux micas: 337.
71/1: Gneiss alcalin à muscovite.	—
76/1, 78/1a, 82/1: Gneiss dioritiques à biotite.	Gneiss monzonitique à biotite: 336.
76/2, 76/2b: Gneiss dioritiques grossiers à biotite.	—
76/2a: Gneiss granodioritique à biotite.	—
77/1, 78/1: Gneiss dioritiques à biotite très quartzeux	Gneiss dioritiques à deux micas riche en quartz: 341/a, 341/b.
82/1/A: Diorite micacée.	—
82/A/a; 82/A/C: Gneiss granitiques à biotite (migmatites de Namche Bazar).	—

Remarques:

1. Au sujet des gneiss dioritiques, granodioritiques et monzonitique: la richesse en quartz (ces gneiss passent parfois à des quartzites feldspathiques) fait ressortir leur origine para. D'ailleurs, il semble qu'on reconnaisse souvent dans certains échantillons (voir par ex. 341/a, 341/b, 76/1, figure 15) l'ancienne structure détritique des grains.

D'après la composition et la structure, il est bien probable que les gneiss dioritiques, granodioritique et monzonitique de la série du Barun au S de Namche Bazar ne sont que d'anciennes arkoses ou roches similaires, presque complètement recristallisées dans la catazone.

2. Au sujet de la diorite micacée et des gneiss apparemment enrichis en feldspaths: il est raisonnable de penser qu'il pourrait s'agir encore de roches analogues à celles de la base des nappes de Kathmandu, recristallisées dans la catazone. L'apport feldspathique serait le même que celui qui a formé les migmatites de Namche Bazar, terme situé le plus immédiatement au N (voir par ex. le profil de A. Lombard, [11]).

Le tableau suivant tente de rendre compte des similitudes entre les roches que nous avons attribuées au niveau h. dans la région proche des racines des nappes de Kathmandu, et celles que A. Lombard a attribuées à la nappe de Kathmandu V, c'est-à-dire à la base de la série du Barun, au S de Namche Bazar.

Niveau h. dans la région proche des racines des nappes de Kathmandu.

- 34/1, 34/1/a, 41/1, 41/1/a: Arkoses métamorphiques à deux micas (feldspath potassique albitisé, quartz, mésotase quartzo-albitique).
- 41/3: Arkose séricitique métamorphique (idem, sans biotite).
- 54/1: Gneiss dioritique à deux micas riche en quartz (oligoclase 15% An).
- 58/1: Arkose métamorphique à deux micas et disthène (oligoclase 20% An uniquement).

- 58/2: Quartzite arkosique à biotite et disthène (feldspath potassique, un peu d'albite).
- 58/3: Arkose métamorphique à biotite et grenat (andésine 40% An).
- 58/4, 58/4/a, 58/4/b, 63/3: Quartzites arkosiques à deux micas (microcline et albite).
- 63/1: Arkose métamorphique à deux micas, albitisée (microcline albitisé).
- 68/1a: Arkose métamorphique à séricite (microcline et plagioclase).

Série du Barun au S de Namche Bazar.

- 70/3: Micaschiste à deux micas et grenat (à paralléliser avec le niveau g. des nappes de Kathmandu).
- 70/3/a: Quartzite feldspathique à deux micas et grenat (complètement recristallisé).
- 71/1: Gneiss alcalin à muscovite (sillimanite, chlorite, grenat).
- 76/1, 82/1: Gneiss dioritiques à biotite (andésine 35% An, structure rappelant celle des arkoses; voir fig. 15).
- 76/2, 76/2b, 316/0, 322/0: Gneiss dioritiques grossiers à biotite (complètement recristallisés, oligoclase 20% An).
- 76/2a: Gneiss granodioritique à biotite (plagioclase en voie de potassification, microcline).
- 77/1, 78/1: Gneiss dioritiques très quartzeux à biotite (oligoclase 28% An).
- 78/1/a, 316: Gneiss dioritiques à biotite brune (oligoclase 28% An en voie de remplacement par le microcline).
- 82/1/A: Diorite micacée (oligoclase 29% An, en voie de remplacement par le microcline (voir fig. 16).
- 82/A/a, 82/A/c: Gneiss granitiques (microcline tardif).
- 86/1: Migmatites de Namche Bazar (gneiss très riche en microcline).

Le tableau ci-dessus souligne certaines similitudes entre la série du Barun au S de Namche Bazar et le niveau h. des nappes de Kathmandu. La série du Barun paraît n'être ici qu'un terme plus métamorphique du niveau h. des nappes de Kathmandu. Plus on se dirige vers le N, plus les anciennes structures détritiques et compositions typiques du niveau h. des nappes de Kathmandu, semblent se fondre dans la masse

des gneiss du Barun et finir par être oblitérées par une complète recristallisation et un début d'enrichissement en feldspath.

Notons donc qu'il y a similitude pétrographique entre le niveau h. des nappes de Kathmandu et la base de la série du Barun, et légère différence de métamorphisme entre ces deux éléments, différence qui s'accroît à mesure qu'on s'approche des migmatites de Namche Bazar.

Ce fait s'accorde difficilement avec la tectonique de ces deux ensembles: en effet, la série du Barun chevauche les nappes de Kathmandu [2, 11].

LES MIGMATITES DE NAMCHE BAZAR.

Cette zone est située, d'après P. Bordet et M. Latreille [2], au sein de la série du Barun; elle prend une grande extension dans la région de Namche Bazar au dépens des gneiss-ectinites du Barun, alors que dans la région de l'Arun, au pied du Makalu, elle n'affleure que sous la forme d'une passée d'embréchites dans la série du Barun.

La pétrographie des migmatites de Namche Bazar a déjà été examinée succinctement dans notre première note [8]. Nous rappelons qu'on y trouve des:

Granites nébulitiques alcalins (riches en microcline);
Granites normaux (microcline et oligoclase 25% An);
Gneiss à biotite, variant entre les compositions dioritique et monzonitique;
Paragneiss à biotite, grenat, cordiérite et sillimanite, sans microcline.

Les échantillons que nous examinons ici ont été récoltés par A. Lombard à proximité de Namche Bazar, et ne sont qu'au nombre de deux. Ce sont:

86/1: Gneiss granitique à biotite et séricite.

L'étude pétrographique montre qu'il s'agit d'un ancien gneiss à oligoclase (20% An) riche en alumine (présence de sillimanite), imbibé de microcline. On note une seconde génération de biotite.

86/1/a: Gneiss granitique à biotite. Cet échantillon est pratiquement identique au précédent.

Ces deux gneiss sont très riches en feldspath potassique.

Le front des migmatites, dans la région de Namche Bazar, atteint vraisemblablement la catazone inférieure, puisque les parties non migmatisées (voir [8]), paragneiss à oligoclase, biotite, cordiérite et sillimanite) de cette région présentent le métamorphisme de la catazone inférieure.

Le front des migmatites, sur l'itinéraire entre Kathmandu et Namche Bazar, est traversé entre l'échantillon 82/A/C et 86/1. Il se caractérise par un enrichissement considérable en microcline.

Rappelons encore que cet apport potassique semble se faire sentir à l'approche du front des migmatites, par une richesse croissante en microcline. Ce feldspath tend à se substituer au plagioclase (voir par ex. 78/1/a à 82/A/C: au début il apparaît à l'intérieur du feldspath calcosodique sous forme de multiples inclusions, et plus tard se concentre lit-par-lit dans la roche, rongant le plagioclase).

En conclusion, on observerait un apport feldspathique croissant dans la base de la série du Barun, à mesure qu'on s'approche de la zone des migmatites de Namche Bazar, situés au N.

Le métamorphisme des gneiss du Barun, dans la région de Namche Bazar, serait celui de la catazone inférieure.

LES NAPPES DE NAWAKOT.

Rappelons que, d'après T. Hagen, les nappes de Nawakot peuvent se comparer aux nappes helvétiques des Alpes.

Elles sont formées, de haut en bas, de la série non métamorphique suivante [6]:

- a) Brèches polygéniques souvent rougeâtres (Rhétien?);
- b) Calcaires et dolomies (Trias?);
- c) Quartzites, phyllites, conglomérats (Permien?);
- d) Quartzites, phyllites plus ou moins charbonneuses (Carbonifère?).

La zone des racines et le front des nappes sont souvent injectés et métamorphisés (pegmatites à minéraux de Cu, amphibolites, gneiss, etc. . .).

L'itinéraire, près de la fenêtre d'Okhaldunga, recoupe les nappes de Nawakot deux fois de suite. Dans cette région, l'épaisseur des nappes est faible, alors que dans le Népal central et occidental, elles affleurent sur près de 40 km de largeur.

Le tableau suivant présente les types de roches récoltées par A. Lombard dans cette série.

Nappes de Nawakot, fenêtre d'Okhaldunga.

376: Grès à ciment quartzo-séricitique charbonneux.

381/1: Quartzite un peu séricitique.

381/2, 381/10, 382/6: Grès fins à ciment quartzo-micacé.

382/3: Grès quartzitique.

382/4: Phyllite séricitique charbonneuse.

385/5: Argilite chloriteuse.

382/7-375/1: Calcaire très fin gréseux séricitique.

Nappes de Nawakot, au S de la Sun Kosi.

*414/3: Gneiss leucocrate monzonitique à grenat (oligoclase 27% An, microcline, grenat).

*414/4: Tourmalinite quartzo-albitique chloriteuse.

414/5: Schiste charbonneux plissoté.

*414/6: Gneiss dioritique rubané à épidote et diopside plus ou moins ouralitisé.

416/1, 416/1/a: Grès à ciment phylliteux brunâtre.

Exception faite des roches marquées du signe *, aucun des échantillons n'est métamorphique. Les recrystallisations ne dépassent pas celles attribuables à la diagenèse. Le quartz et les quartzites, en éléments dans les grès, conservent très généralement leur forme primitive. (Ça et là, voir par ex. 376., certains grains montrent une propension à se rejoindre; dans les échantillons 382/4 et 382/5, les matières argileuses commencent à se transformer en produits phylliteux encore peu différenciés, submicroscopiques ou spongieux.)

Quant aux roches marquées du signe *, elles n'ont pas conservé de traces de la trame primitive, et certaines sont peut-être intrusives.

L'échantillon 414/3 (gneiss monzonitique leucocrate), se caractérise par un apport en potasse et silice. (Origine incertaine).

L'échantillon 414/4 (tourmalinite quartzo-albitique chloriteuse), est très riche en minéralisateurs. (Peut-être aplite à tourmaline?).

Enfin, l'échantillon 414/6 est un gneiss rubané dioritique à épidote et diopside plus ou moins épigénisé en ouralite. (Peut-être roche de contact?).

Conclusion.

Sur l'itinéraire parcouru par A. Lombard, les nappes de Nawakot affleurent sur une faible largeur dans la région de la fenêtre d'Okhaldunga.

Pour cette raison, l'idée que nous pouvons avoir de cet ensemble géologique est forcément très fragmentaire.

Les caractéristiques qu'on peut mettre en évidence sont les suivantes:

Les roches des nappes de Nawakot sont soit non métamorphiques (surtout grès à ciment quartzo-phylliteux, phyllites et argilites parfois charbonneuses, calcaires très fins gréseux), soit très métamorphiques (gneiss, tourmalinite).

Dans la région de la fenêtre d'Okhaldunga, il semble qu'on puisse différencier les nappes de Kathmandu de celles de Nawakot par l'intensité différente de leur métamorphisme. Les roches non métamorphiques appartiennent aux nappes de Nawakot, les roches faiblement métamorphiques aux nappes de Kathmandu. Quant aux roches très métamorphiques ou intrusives, le doute subsiste. S'agit-il de séries imprégnées métagénétiquement, d'intrusions, de zones de contact ou de coins cristallins tectoniquement emballés dans les nappes de Nawakot, ou s'agit-il d'écailles appartenant aux nappes de Kathmandu?

Seule une étude de terrain permettra de résoudre cette question.

CHAPITRE V.

CONCLUSIONS GÉNÉRALES

LES HYPOTHÈSES GÉOLOGIQUES.

Rappelons tout d'abord que les géologues ont reconnu, du S au N, dans le Népal oriental, plusieurs unités tectoniques et géologiques distinctes:

1. *Série des Siwaliks* [6, 11], *série de Dharan* [2].

Cette zone est constituée par de la molasse tertiaire affleurant en une mince intercalation, entre les alluvions de la plaine du Gange et les premiers chaînons de l'Himalaya.

2. *Nappes de Nawakot* [6, 11], *série de Sangouri* [2].

Ces nappes peuvent se comparer aux nappes helvétiques des Alpes. Elles chevauchent la série des Siwaliks. Elles sont formées de brèches polygéniques, de calcaires plus ou moins dolomitiques, de quartzites, de phyllites et de conglomérats, s'étageant vraisemblablement du Carbonifère au Rhétien. La zone des racines et le front de ces nappes sont parfois injectés et métamorphisés.

3. *Nappes de Kathmandu 1 à 4* [6, 11], *ensemble du Bas-Himalaya* [2].

Elles chevauchent les nappes de Nawakot, parfois sur des distances considérables. Les nappes de Kathmandu s'individualisent en cinq nappes [6, 11], ou quatre [2]. Elles ne seraient que la répétition tectonique d'une unique série stratigraphique formée surtout de phyllades, quartzites, amphibolites, micaschistes et migmatites, allant des termes épimétamorphiques à ceux franchement métamorphiques.

4. *Nappe de Kathmandu 5* [6, 11], *base de la série du Barun* [2].

Cet élément a été attribué aux nappes de Kathmandu par A. Lombard et T. Hagen, car ces auteurs ont reconnu un important chevauchement entre cet élément et les nappes de Khumbu, situées directement au-dessus.

La nappe de Kathmandu 5 a été attribuée à la série du Barun par P. Bordet et M. Latreille, surtout pour des raisons de parenté pétrographique. En effet, la nappe de Kathmandu 5 est beaucoup plus métamorphique que les autres nappes de Kathmandu, et se rapproche de la série du Barun par ses gneiss.

5. *Nappes de Khumbu 1 à 3* [6, 11], *migmatites de Namche Bazar* [2] et *série du Barun* [2].

Ce puissant ensemble, très métamorphique, est constitué surtout de gneiss divers, de calcaires métamorphiques, de cornéennes et granites plus ou moins hétérogènes. Il comprend à sa base un très grand développement de migmatites dans la région de Namche Bazar.

6. *Granite du Makalu* [2], *base de la Dalle du Thibet* [11], *granite du Mustang* [6].

Cette masse granitique constituerait la base d'une nouvelle série, la Dalle du Thibet, chevauchant la précédente (A. Lombard, [11]) ou se serait injectée dans une discontinuité tectonique de faible importance située entre la série thibétaine et celle du Barun (P. Bordet et M. Latreille, [2]).

7. *Série du Thibet* [2, 6], *partie supérieure de la Dalle du Thibet* [11].

Cette série, contenant des termes de métamorphisme moyen jusqu'aux termes non métamorphiques, repose en concordance sur la série du Barun (P. Bordet, [2]) ou en discordance tectonique ([6], [11], A. Lombard et T. Hagen). Cet ensemble est constitué de phyllites, de calcaires plus ou moins gréseux, de quartzites, parfois imprégné à la base de feldspaths métagénétiques, injecté de filons ou masses grani-

tiques issues du granite sous-jacent, aboutissant à la formation de roches de contact.

Le sommet de cette série, non métamorphique, est attribué au Permo-Carbonifère.

Plus au N affleurent les termes mésozoïques, qui forment une grande partie des plateaux tibétains.

LES HYPOTHÈSES TECTONIQUES.

D'après A. Lombard et T. Hagen, les ensembles suivants sont séparés par des discontinuités tectoniques et géologiques majeures:

Série des Siwaliks;
Nappes de Nawakot;
Nappes de Kathmandu 1 à 5 ;
Nappes de Khumbu 1 à 3;

Dalle du Thibet (avec sa semelle granitique et la série tibétaine non métamorphique).

D'après P. Bordet et M. Latreille, seuls les ensembles suivants doivent être nettement séparés:

Série de Dharan (= Série des Siwaliks);
Série de Sangouri (= Nappes de Nawakot);

Ensemble du Bas-Himalaya (= Nappes de Kathmandu 1 à 4).

Ensemble du Haut-Himalaya (comprenant une série continue allant de la série du Barun (= nappes de Kathmandu 5) jusqu'à la série tibétaine non métamorphique).

PÉTROGRAPHIE DE CES ENSEMBLES.

Nous avons précisé la pétrographie de ces ensembles dans nos deux précédentes notes et ce travail-ci. Voici un résumé des conclusions auxquelles nous sommes arrivés à la fin de chaque chapitre traitant chaque ensemble en particulier.

Les nappes de Nawakot.

Ces nappes contiennent, dans la région d'Okhaldunga:

a) Surtout des grès, des quartzites, des phyllites parfois charbonneuses, des calcaires fins. Ces roches ne sont pas du tout métamorphiques: les recrystallisations ne dépassent pas celles attribuables à la diagenèse.

b) Quelques gneiss et tourmalinite, beaucoup plus rares.

Ces roches n'ont pas conservé de restes d'une trame primitive. Peut-être sont-elles intrusives, ou représentent-elles des coins cristallins tectoniquement inclus dans les nappes de Nawakot (?).

Les nappes de Kathmandu.

a) Nous avons facilement pu rattacher les échantillons, récoltés par A. Lombard entre Kathmandu et Namche Bazar, à la série stratigraphique établie par P. Bordet et M. Latreille [2]. Ces échantillons appartiennent à une zone des nappes de Kathmandu proche des racines.

Nous y avons reconnu un métamorphisme s'étageant entre celui de l'épizone jusqu'à la catazone très supérieure. Quant au niveau le plus inférieur de cette série, il n'est pas constitué de migmatites, mais d'arkoses métamorphiques à faciès de pseudo-embréchites œillées, parfois presque complètement recrystallisées.

b) La partie frontale des nappes de Kathmandu semble avoir une constitution différente; ses faciès s'accordent plus difficilement à la série stratigraphique de P. Bordet et M. Latreille.

On y rencontre des termes épimétamorphiques (voir aussi: [12]); les termes plus métamorphiques (en général catazone moyenne à supérieure) sont formés par des quartzites, des amphibolites, des roches à grain très fin (cornéennes à diopside, etc. . . gneiss très fins dioritiques, potassiques, etc. . . rubanés, de plusieurs variétés). Nous avons été frappés par la ressemblance entre ce groupe de roches et celles de même sorte, très fréquentes, appartenant aux nappes de Khumbu.

Il semble donc que les faciès des roches, appartenant aux racines et au front des nappes de Kathmandu, ne soient pas très homogènes, en tous les cas dans cette région.

Nappe de Kathmandu 5.

Cette nappe est constituée surtout par les roches suivantes : micaschistes, quartzites plus ou moins feldspathiques micacés, gneiss divers, principalement dioritiques.

Ces gneiss sont des gneiss-ectinites, plus ou moins parfaitement recristallisés ; leur richesse en quartz indique une origine para et le microscope montre çà et là des restes de structure détritique : il s'agit très vraisemblablement d'anciennes arkoses.

On peut encore noter un léger apport potassique. Le métamorphisme de ces gneiss est celui de la catazone supérieure et moyenne.

La nappe de Kathmandu 5 semble donc s'apparenter par ses gneiss à la base des autres nappes de Kathmandu 1 à 4, tout en étant plus métamorphique. (Ce fait s'accorde difficilement avec la tectonique, puisque la nappe de Kathmandu 5 chevauche les autres nappes de Kathmandu).

Mais d'autre part, le microscope montre un apport potassique et un métamorphisme graduels et de plus en plus importants, à mesure qu'on s'approche des migmatites de Namche Bazar. (Ce fait laisserait supposer une continuité pétrographique entre la nappe de Kathmandu 5 et les migmatites de Namche Bazar).

Migmatites de Namche Bazar.

Ces migmatites se caractérisent par un apport potassique intense, aboutissant à la formation de gneiss et granites nébulitiques, de composition alcaline, monzonitique, etc. . .

Les gneiss non migmatisés de cette région (gneiss à oligoclase, cordiérite, sillimanite, biotite, parfois à grenat et muscovite) appartiennent à la catazone supérieure et inférieure. Nous pensons donc que le front des migmatites a atteint la catazone inférieure dans la région de Namche Bazar.

Nappes de Khumbu 1 à 3.

Cet énorme ensemble contient de nombreuses variétés de roches: granites, gneiss et paragneiss de toutes sortes, calcaires à minéraux, diorites, gabbros, cornéennes, amphibolites, roches de contact, etc. . . (nous y avons délimité des aires minéralogiques [9]).

Les roches les moins métamorphiques appartiennent à la mésozone moyenne. L'imprégnation de minéralisateurs, provenant très vraisemblablement de l'intrusion granitique de la base de la Dalle du Thibet, se fait sentir assez loin dans les nappes de Khumbu, et le sommet de cette série (gneiss noirs du Barun ou Clochetons) est très riche en filons intrusifs et roches de contact.

Granite de la Dalle du Thibet.

Ce granite est leucocrate; il est très souvent tourmalinifère, et son feldspath potassique est de l'orthose.

Ce granite s'est mis en place vers la fin des mouvements tectoniques, car il est rarement écrasé.

Série du Thibet.

Cette série, à sa base, comprend de nombreuses intrusions et roches de contact, similaires à celles de la partie supérieure des nappes de Khumbu (Clochetons).

Le métamorphisme s'assimile ici à celui de la mésozone médiane ou inférieure.

Les roches épimétamorphiques, formant le sommet de cette série, sont des calcaires plus ou moins gréseux, des quartzites et des phyllites. On les trouve approximativement à la cote 8000 au Cho-Oyu et 8500 à l'Everest. Le sommet de l'Everest n'est plus du tout métamorphique.

PASSAGES ET DIFFÉRENCES ENTRE LES ÉLÉMENTS STRUCTURAUX.

Au point de vue pétrographique, les passages et les différences entre les éléments structuraux sont les suivants:

Différence entre les nappes de Nawakot et de Kathmandu.

Elle se manifeste par une différence de métamorphisme. Les roches non métamorphiques appartiennent aux nappes de Nawakot, les roches épimétamorphiques aux nappes de Kathmandu; quant aux roches franchement métamorphiques, à part quelques exceptions, elles appartiennent en règle générale aux nappes de Kathmandu.

A noter que les faciès des nappes de Kathmandu sont beaucoup plus variés que ceux des nappes de Nawakot.

Différences entre les nappes de Kathmandu 1 à 4 et Kathmandu 5.

La nappe de Kathmandu 5 est plus métamorphique (catazone moyenne et supérieure jusqu'à mésozone) que les nappes de Kathmandu 1 à 4 (mésozone inférieure jusqu'à épizone). Les parties profondes de la zone des racines des nappes de Kathmandu 1 à 4 sont très semblables à celles des parties profondes de la nappe de Kathmandu 5.

Différences entre les roches de part et d'autre du granite de la Dalle du Thibet.

Il n'y en a aucune vraiment typique. On observe de part et d'autre de cette limite, les mêmes roches et un métamorphisme semblable.

Différence entre les granites de la Dalle du Thibet et ceux des nappes de Khumbu.

La nature du feldspath potassique permet aisément la distinction entre ces deux roches d'origine différente: le granite de la Dalle du Thibet contient de l'orthose, et celui des nappes de Khumbu du microcline. On peut observer, entre ces deux ensembles, une zone où l'orthose devient triclinique.

LE MÉTAMORPHISME.

La région de Namche Bazar, atteinte par le front des migmatites, appartient à la catazone inférieure.

Au N et au S de cette zone, le métamorphisme décroît régulièrement.

La base des nappes de Khumbu et la nappe de Kathmandu 5 contiennent des roches appartenant à la catazone moyenne.

Le sommet des nappes de Khumbu (Clochetons) et la base des nappes de Kathmandu 1 à 4 appartiennent approximativement à la catazone supérieure et à la mésozone inférieure.

La zone épimétamorphique se retrouve au sommet des nappes de Kathmandu (attribué au Carbonifère inférieur) et approximativement sous le sommet de l'Everest (attribué au Carbonifère).

Enfin, les roches non métamorphiques affleurent au sommet de l'Everest (attribué au Permo-Carbonifère) et à partir de la base des nappes de Nawakot (base attribuée au Carbonifère).

Il semble donc qu'un métamorphisme semblable a atteint le même étage au N et au S de la chaîne himalayenne, dans le Népal oriental.

Université de Genève.

Laboratoires de Minéralogie et de Pétrographie.

BIBLIOGRAPHIE

1. BORDET, P., « Eléments structuraux de l'Himalaya de l'Arun et de la région de l'Everest (Népal oriental). La tectonique de l'Himalaya de l'Arun et de la région de l'Everest (Népal oriental) ». *C. R. Sc. de l'Acad. des Sc.*, 240, pp. 102-104, 3 janvier 1955.
2. — et LATREILLE, M., « Précisions sur la stratigraphie de l'Himalaya de l'Arun. Précisions sur la tectonique de l'Himalaya de l'Arun ». *Ibidem*, 241, pp. 1594-1597, 28 nov. 1955.
3. GYSIN, M., « Sur la coexistence de l'orthose et du microcline dans un granite de l'Himalaya ». *Arch. Sc., Genève*, 9, fasc. 1, 1956.
4. — et LOMBARD, A., « Esquisse géologique du massif du Cho-Oyu (Himalaya du Népal) ». *Eclog. Geol. Helv.*, 48, n° 2, 1955.
5. HAGEN, T., « Ueber die räumliche Verteilung der Intrusionen im Nepal-Himalaya ». *Schweitz. Min. Petr. Mitt.*, 34, 1954.
6. — et HUNGER, J. P., « Ueber geologisch-petrographische Untersuchungen in Zentral-Nepal ». *Schweitz. Min. Petr. Mitt.*, 32, 1952.
7. JUNG, J. et ROQUES, M., « Introduction à l'étude zonéographique des formations cristallophylliennes ». *Bull. du Serv. de la Carte géologique de la France*, 235, tome L, 1952.

8. KRUMMENACHER, D., « Contribution à l'étude géologique et pétrographique de l'Himalaya du Népal. Note n° 1: Sur quelques roches de la région de Namche Bazar ». *Arch. Sc. Genève*, 9/1, 1956.
 9. — « Contribution à l'étude géologique et pétrographique de l'Himalaya du Népal. Note n° 2: Sur quelques roches du Bassin supérieur de la Dudh Kosi, de l'Imja Khola et de la Bhote Kosi ». *Ibidem*, 9/3, 1956.
 10. LOMBARD, A., « La mission géologique genevoise à l'Everest » *A. S. Helv. Sc. nat.*, 1953.
 11. — « La tectonique du Népal oriental. Un profil de l'Everest à la plaine du Gange ». *Bull. Soc. Géol. France*, 6^e série, t. III, pp. 321-327, 1953.
 12. — et BORDET, P., « Une coupe géologique dans la région d'Okhaldunga (Népal oriental) ». *Ibidem*, 6^e série, t. IV, pp. 21-25, 1956.
-

