
LES GRANDS TRAITES DE LA STRUCTURE GÉOLOGIQUE DE L'HIMALAYA

par Michel LATREILLE

INTRODUCTION

1. Aperçu général. — Limites géographiques.

La chaîne des Himalayas, entre Inde et Tibet, forme un arc de plus de 2 300 kilomètres de longueur, dont la flèche est dirigée vers la péninsule indienne, son extrémité SE (Assam) se trouvant à la latitude d'In Salah par exemple (c'est-à-dire en position plus méridionale encore que Le Caire), son extrémité NW (Karakorum) à la latitude de Tunis.

Du point de vue géographique, il est commode de limiter la chaîne proprement dite à l'Indus au NW (Cachemire) et au Brahmapoutre au SE dans sa courte section N - S dans le Haut-Assam.

Ces limites ne sont pas rigoureuses et certains géographes n'hésitent pas à rattacher à l'arc himalayen certaines chaînes du Baluchistan ou de Burma qui, du point de vue orogénique, dépendent du même grand système de soulèvement pliocène.

Les limites Nord et Sud sont plus nettes : respectivement, le plateau du Tibet et les plaines alluviales de la partie septentrionale de la péninsule indienne (plaine du Gange notamment).

2. Divisions géographiques.

A la suite de BURRARD, nous diviserons le long système himalayen en 4 sections, de l'Ouest à l'Est :

1° *L'Himalaya du Punjab*, de l'Indus au Sutlej (550 km environ).

Nous y rattacherons le Karakorum au N de l'Indus.

- 2° *L'Himalaya de Kumaon*, du Sutlej à la Kali (320 km environ); cette partie renferme notamment le massif du Garhwal.
- 3° *L'Himalaya du Népal*, de la Kali à la Tista (environ 800 km).
- 4° *L'Himalaya de l'Assam*, de la Tista au Brahmapoutre (un peu plus de 700 kilomètres).

De la même façon, nous diviserons la chaîne en 3 zones longitudinales parallèles, division fondée sur des caractères orographiques. Du Nord au Sud :

- 1° *Le Grand Himalaya* : au-dessus des limites des neiges éternelles (de très forte altitude moyenne, 6 000 mètres environ). C'est dans cette zone que se trouvent les plus hautes montagnes de la chaîne et du monde : Everest, K2, Kangchenjunga, Lhotsé, Makalu, Dhaulagiri, Nanga-Parbat, Nanda-Devi, etc...
- 2° *Les chaînes médianes* (Lesser Himalayas) : leur largeur est d'environ 80 kilomètres, leur altitude moyenne de 2 à 3 000 m.
- 3° *Les chaînes des Siwaliks* : leur largeur, faible, varie de la dizaine à la quarantaine de kilomètres. Ce sont de basses collines entre chaînes médianes et plaines alluviales de la péninsule de l'Inde.

3. Divisions géologiques.

Dans le détail, elles ne se retrouvent pas inchangées d'un bout à l'autre de la chaîne, mais d'une façon schématique et très générale on peut appliquer aux différents secteurs définis précédemment les trois grandes subdivisions suivantes, dans le sens de l'allongement de la chaîne.

- 1° *La zone septentrionale ou tibétaine.* — Elle se trouve en fait au-delà de l'axe culminant de la chaîne (Grand Himalaya). Elle se trouve constituée d'une épaisse série sédimentaire marine et fossilifère, allant du Paléozoïque à l'Eocène. Elle repose, par l'intermédiaire de ses assises les plus anciennes et avec un pendage Nord parfois accusé, sur la zone suivante.
- 2° *La zone centrale ou himalayenne.* — Elle comprend le Grand Himalaya et les chaînes médianes, en général formés de roches cristallines ou métamorphiques et les séries sédimentaires métamorphisées ou pas, le plus souvent non fossilifères et d'âge très ancien. Dans le détail, les choses sont naturellement fort compliquées.
- 3° *La zone subhimalayenne.* — Elle correspond essentiellement à la chaîne des Siwaliks, presque entièrement tertiaire (principalement Miocène).

Généralités sur la géologie de l'Himalaya.

En bien des points de la chaîne, la géologie himalayenne n'a guère dépassé le stade d'Elie DE BEAUMONT, au mieux de Charles LORY pour les Alpes. Certains secteurs, tel l'Himalaya de l'Assam, sont même totalement inconnus aussi bien géographiquement que géologiquement. Tout au plus sait-on qu'il y existe des sommets dépassant 7 000 mètres. Les difficultés d'accès, parfois seulement d'ordre diplomatique ou matériel, mais plus encore les conditions de travail imposées par la nature, en sont les causes principales. Le climat (la mousson y règne durant 4 mois), les dénivellations considérables, les difficultés de ravitaillement ou de pénétration, la forêt tropicale ou les glaciers, mais plus encore l'altitude, sont autant d'obstacles pour le géologue qui, à la différence de l'alpiniste, doit accompagner sa marche d'observations scientifiques. Ajouté à ces différents facteurs, le fait que l'exploration géologique de l'Himalaya a commencé bien plus tardivement que dans les Alpes ou d'autres régions du globe, on concevra qu'il serait bien prématuré d'en tenter la moindre synthèse structurale. Suivant les massifs, les observations ont été le plus souvent faites par des auteurs différents, et il se passera encore un long temps avant que la corrélation d'unités définies par les uns et les autres puisse être tentée avec quelque chance de profit. Certaines régions enfin, bien que fréquemment parcourues (mais par des expéditions strictement sportives), n'ont donné lieu qu'à de minces apports scientifiques et leur connaissance s'en trouve d'autant moins avancée.

D'une façon générale, nous l'avons dit, les séries les plus favorables à l'étude, parce que constituées d'assises sédimentaires fossilifères, se trouvent être d'accès malaisé, voire même, à l'heure actuelle, impossible. C'est la zone septentrionale de l'Himalaya, où les séries tibétaines constituent sans doute l'un des « résumés des séries géologiques marines les plus parfaites du monde » (D. N. WADIA) puisqu'elles se trouvent formées de la totalité des assises du Cambrien à l'Eocène.

Cette série n'est pas connue tout au long de la chaîne himalayenne, mais il est vraisemblable qu'elle s'y trouve représentée. Parfois même, elle pousse des indentations dans la chaîne himalayenne proprement dite (Himalaya du Cachemire, région de Simla et du Garhwal, revers Nord du Dhaulagiri et de l'Annapurna) où, plus facilement accessible, elle a donné lieu, dans certaines de ces régions, à des études très détaillées (vallée de Spiti notamment, dans l'Himalaya central).

Ailleurs, la reconstitution de la stratigraphie de séries peu ou pas fossilifères, et partant délicates à dater, se complique du fait qu'elles se trouvent parfois fortement métamorphosées. C'est le cas, nous le verrons, dans l'Himalaya du Népal et, sans doute, dans bien d'autres secteurs de la chaîne.

Du point de vue tectonique, les auteurs admettent pour la plupart que la chaîne himalayenne est un pays de recouvrements tangentiels plus ou moins accusés, ayant pour origine une poussée venue du Nord (Tibet). Cette dynamique à plusieurs stades se serait trouvée accompagnée de phénomènes de métamorphisme et d'intrusions granitiques d'âge alpin. Enfin la surrection — ou mieux encore la surélévation — de la chaîne serait un phénomène ultime très récent, voire même mesurable de nos jours (?), les grands tremblements de terre de l'Assam en étant l'une des manifestations les plus tangibles à échelle humaine.

Plan de l'étude.

Respectant les subdivisions géologiques de la chaîne en 4 sections juxtaposées du NW au SE, nous étudierons successivement pour chacune d'elles les caractères stratigraphiques et structuraux qui les différencient, en insistant particulièrement sur leur éventuelle autonomie dans le contexte de la chaîne et en essayant, dans la mesure du possible, une corrélation des unes avec les autres.

Nous ne dirons rien cependant de la géologie de l'Himalaya de l'Assam, totalement inconnue à l'heure actuelle.

ETUDE GEOLOGIQUE REGIONALE **(Du NW au SE)**

A) L'Himalaya du Punjab.

Nous y rattacherons le Massif du Karakorum au Nord de l'Indus. C'est par lui que nous commencerons notre étude.

1. Le Karakorum.

Chaîne annexe de l'Himalaya, orientée NW-SE, il culmine au K2 (8 611 mètres, 2^e sommet du monde), gravi par l'expédition italienne du Professeur Ardito DESIO en 1954.

La connaissance géologique de ce très vaste massif n'est que fragmentaire, bien que les premières explorations scientifiques

datent d'expéditions himalayennes parmi les plus anciennes (GODWIN-AUSTEN, 1861). Par la suite, un certain nombre d'expéditions italiennes (duc des ABRUZZES, duc de SPOLETE), accompagnées de géologues (NOVARÈSE, DESIO), soulignaient tout l'intérêt que devaient porter les Italiens à ce secteur himalayen. A. DESIO, notamment, en plusieurs explorations (la première date de 1929) devait dessiner une carte au 1/300 000^e, puis entreprendre l'établissement du 1/75 000^e du bassin de Baltoro (1953).

C'est sur ce glacier que se trouve axé l'ensemble de la chaîne dont l'ossature semble correspondre à une grande « masse plutoïque » (A. DESIO) constituée presque exclusivement de roches granitiques et de leurs cortèges (diorites du Massif du Broad Peak).

A côté de cela, A. DESIO distingue dans le bassin de Baltoro deux ensembles :

- Une formation « semimétamorphique » représentée par des terrains sédimentaires plus ou moins modifiés par le métamorphisme, mais en général assez peu;
- Une « zone intermédiaire » entre les deux précédentes, principalement formée de roches à faciès gneissique à grands feldspaths et de lambeaux de la formation semimétamorphique.

Dans un secteur limité, sur le flanc du Mitre Peak, A. DESIO a noté un contact direct du batholite granitique avec la formation semimétamorphique.

1° *La masse plutonique* de A. DESIO correspond à un batholite granitique de direction SE-NW formant notamment les Tours du Paiju (6 600 m), les Tours de Trango (6 617 m), le groupe du Masherbrum (7 800 m), etc... D'une façon générale, et dans l'état actuel des connaissances, il n'est guère possible de dire si le batholite vient directement en contact avec les gneiss ou s'il y a passage progressif. De façon assez constante cependant, ce contact, lorsqu'il semble exister, se trouve souligné par des filons pegmatitiques ou aplitiques soit en discordance, soit en concordance avec la roche encaissante.

Le faciès le plus généralement représenté correspond à un granite à biotite où la muscovite, lorsqu'elle existe, ne se trouve que sous forme d'inclusions dans les feldspaths plagioclases. Ceux-ci sont du type Albite-Oligoclase.

Les roches filoniennes sont de deux types : acides, c'est-à-dire granitiques; pegmatitiques ou aplitiques. On les rencontre dans tout le bassin du Baltoro et spécialement au voisinage du batholite granitique. Plus rares, les filons basiques sont cantonnés au haut Bassin du Baltoro : ils se rapprochent d'une porphyrite à augite et biotite baptisée ici « baltorite ».

2° *La formation semimétamorphique.* — Dans le haut Baltoro et ses affluents, affleurent des formations dont le métamorphisme régional n'a pas masqué l'origine sédimentaire. Suivant l'origine clastique ou organique de ces assises, elles constituent des groupes variés où les termes pélitiques et psammitiques, notamment des paragneiss ou des phyllades de couleur noire ou gris sombre à grain très fin, sont les mieux représentés.

L'étude pétrographique de ces schistes noirs est rendue délicate par l'intensité des laminages. Le faciès le plus compact (que l'on rencontre sur la rive gauche du bassin Godwin-Austen) correspond à des phyllades séricitisées chloriteuses ou biotitiques, où le quartz se présente en petits granules isolés et étirés. Mais dans le détail, les faciès sont extrêmement variés, renfermant même parfois de l'andalousite.

Les fossiles récoltés dans cette série sont relativement rares. Ils l'ont été dès 1913 par une expédition italienne puis, soit en 1929, soit en 1954, par A. DESIO.

Ce sont, notamment dans un faciès calcaire, une *Neoschwagerina craticulifera* du Permien et quelques restes de Schwagerines et Quinqueloculines.

Dans le groupe du Gasherbrum, certains faciès calcaires renferment des Algues, des Coraux, Lamellibranches et Bryozoaires, mais toujours indéterminables parce que fortement étirés, mais qui semblent permettre de rattacher la série du Gasherbrum au Trias.

Une autre série enfin, calcaréo-arénacée et conglomératique, forme le groupe du Baltoro-Kangri.

3° *La formation gneissique.* — Il s'agit en général d'un gneiss à biotite et amphibole. Cette formation affleure sur le versant droit du Baltoro et dans la partie médiane du glacier de Godwin-Austen. Sur la rive droite du Baltoro, elle forme notamment la Tour de Mustagh.

Dans le Bassin de Godwin-Austen, la masse de gneiss constitue une grande partie du groupe du K2. De la région de la Tour de Mustagh au K2 il n'existe pas de continuité d'affleurement, la zone semimétamorphique du glacier Savoia les séparant, mais l'analogie pétrographique de l'un et de l'autre permet de penser que les deux domaines sont dans le prolongement l'un de l'autre.

Le faciès « gneiss du K2 » est un faciès à deux micas au litage mal défini, gris sombre à gris verdâtre. Les feldspaths appartiennent à la zone oligoclase-andésine. Il n'est pas rare d'y trouver de l'épidote.

Certains faciès semblent correspondre, d'après les descriptions de A. DESIO et bien qu'il n'utilise pas le terme, à des anatexites.

D'une façon générale, toute la formation de gneiss du K2 est traversée de nombreux filons d'aplite ou de pegmatite.

A. DESIO ne précise pas l'âge éventuel de cette formation.

Enfin, d'après G. O. DYRHENFURTH, on n'observerait pas de grands plis couchés ni de tendance aux chevauchements dans le Baltoro. On se trouverait ici dans la partie axiale du système montagneux, dont le soulèvement récent se poursuivrait encore de nos jours, mais ce problème orogénique ne semble pas avoir encore donné lieu à des recherches approfondies.

2. Le Cachemire.

La géologie du Cachemire est, pour la plupart des assises stratigraphiques, l'une des mieux connues des divers secteurs himalayens. Cela s'explique du fait de l'accès relativement aisé de la région, de son climat particulièrement favorable et parce qu'on y rencontre une série marine complète, du Paléozoïque et du Mésozoïque.

— « Le gneiss fondamental » et les intrusions granitiques occupent une large place dans l'Himalaya du Cachemire. L'âge archéen, généralement admis pour le granite du Cachemire, reste à préciser, et la vieille idée que l'axe de l'Himalaya est essentiellement composé de granite et de gneiss anciens qui formeraient les plus hauts sommets ne résiste pas toujours aux découvertes des récentes expéditions. Celles-ci ont ainsi montré qu'un grand nombre de sommets de la partie axiale sont formés de sédiments métamorphisés et que le granite n'en formait parfois que le substratum (Everest), et que ces granites pouvaient être intrusifs dans la série et d'âge récent.

C'est ainsi, par exemple, que dans la région qui nous intéresse ici (district du Rupshu, Cachemire oriental) le géologue danois A. BERTHELSEN estime que certains phénomènes de granitisation peuvent avoir pris place au cours de la phase principale de plissement de la chaîne (postérieure à l'Eocène supérieur).

Pétrographiquement, le complexe archéen du Cachemire comprend trois espèces de granites; quant aux assises sédimentaires les plus anciennes, elles ont été groupées sous le nom de « Salkhala series » formées de schistes, phyllades, cipolins, quartzites, etc. Cette série forme le soubassement de la série azoïque de Purana et, par là même, de tous les systèmes sédimentaires du Cachemire. Une discordance manifeste sépare les « Salkhala series » de cet ensemble superposé. La série de Salkhala a fréquemment été l'objet d'intenses granitisations.

Le Nanga-Parbat, point culminant de la région (8 125 m), se trouve formé presque entièrement de gneiss à biotite finement lités,

interstratifiés de cipolins, schistes graphiteux, etc... de la série de Salkhala. A travers ce complexe se trouve injecté du matériel granitique de deux périodes plus récentes.

La série de Purana repose donc en discordance sur les Salkhala, mais elle passe, semble-t-il, progressivement au Cambrien inférieur. Les géologues indiens ont distingué dans le Cachemire un Cambrien supérieur, base de leur complexe dravidien. Les séries qui viennent au-dessus (Ordovicien, Silurien, Dévonien, Carbonifère et Permien) sont l'équivalent exact des classiques séries de Spiti. Nous les détaillerons donc plus loin dans l'étude de l'Himalaya de Kumaon.

La suite de la série est complète. Le Trias, notamment, est le plus largement développé. Le Jurassique et le Crétacé ont jusqu'alors été relativement peu étudiés par les géologues. Ils se trouvent confinés dans les montagnes de Ladakh. Quant au Tertiaire, bien représenté dans les chaînons externes (Siwaliks), il a fait l'objet de l'étude de nombreux géologues.

— Le *Trias* du Cachemire a été divisé en trois parties (inférieur, moyen, supérieur). Les séries sont épaisses, constituées de calcaires bleus, schistes et dolomies, en général très fossilifères à part le Trias supérieur. Les calcaires du Trias ont fréquemment été utilisés dans la construction d'édifices, temples, etc. de l'ancien Cachemire.

— Le *Jurassique* du Cachemire (Ladakh) et la série de Spiti sont en prolongement direct; dans l'une et l'autre région il se trouve représenté par les calcaires de Kioto (calcaires à *Megalodon* notamment) et les couches de Spiti.

— *Crétacé* : le grand développement du Crétacé de Spiti n'a pas encore été retrouvé dans le Cachemire où on a rencontré cet étage dans un nombre restreint de localités. Dans le district du Rupshu, par exemple, semblent se retrouver les séries de Chikkim (Flysch) qui forment quelques sommets de la chaîne de Ladakh. Dans cette région de Ladakh également ont été trouvées dans le Crétacé des assises fossilifères à *Orbitolines*, *Hippurites*, *Gryphées*, etc... A certaines de ces assises se trouvent associées des roches volcaniques stratifiées (conglomérats, tufs, basaltes, etc.). Parfois même des injections de granite recoupent ces niveaux crétacés. Nous verrons un phénomène analogue au Nord de l'Himalaya du Népal.

— *Nummulitique et Miocène*. Eocène et Miocène sont séparés par une discordance (absence d'Oligocène). La base de la série du Cachemire est formée de calcaire à *Nummulites* bien lités, le sommet de schistes argileux à *Nummulites*, de marnes, gypses et calcaires finement lités.

— Le Néogène enfin est divisé de la façon suivante :

Miocène inférieur : Murree inférieur et Murree supérieur essentiellement formés de grès;

Miocène moyen : Siwaliks inférieurs, schistes argileux et grès;

Miocène supérieur : Siwaliks moyens; grès gris épais (1 800 m);

Pliocène inférieur et Pléistocène : Siwaliks supérieurs; conglomérats, sables, argiles (1 800 m).

STRUCTURE DE L'HIMALAYA DU CACHEMIRE (Coupe 1).

Tectoniquement, on peut distinguer dans l'Himalaya du Cachemire trois éléments structuraux :

1° *L'avant-pays*, formé de sédiments de Murree (Miocène);

2° *La zone autochtone*, formée de plis refoulés sur l'avant-pays et constituée d'assises allant du Carbonifère à l'Eocène;

3° *La zone de nappe*, recouvrant plus ou moins largement l'autochtone, venant parfois même contre l'avant-pays, suivant un plan de chevauchement subhorizontal (Panjal thrust). La nappe du Cachemire est essentiellement formée de sédiments précambriens (séries de Salkhala); c'est la base du géosynclinal de l'Himalaya qui a été surélevé, puis refoulé en avant vers le SW.

D'une façon générale, la zone autochtone insérée entre deux lignes de chevauchement (Murree et Panjal thrusts) est parautochtone, « ses racines » étant en quelque sorte en place.

De son côté, la chaîne du grand Himalaya est formée du complexe cristallin et des racines de la nappe du Cachemire qui se trouvent parfois injectées de granite intrusif ou de roches basiques. La deuxième période de granitisation semble postcrétacée ou encore plus récente, en relation avec la surrection de la chaîne. Enfin la série marine paléozoïque et mésozoïque du Tibet forme un élément annexe de la chaîne du Grand Himalaya du Cachemire.

B) L'Himalaya de Kumaon ou Himalaya central.

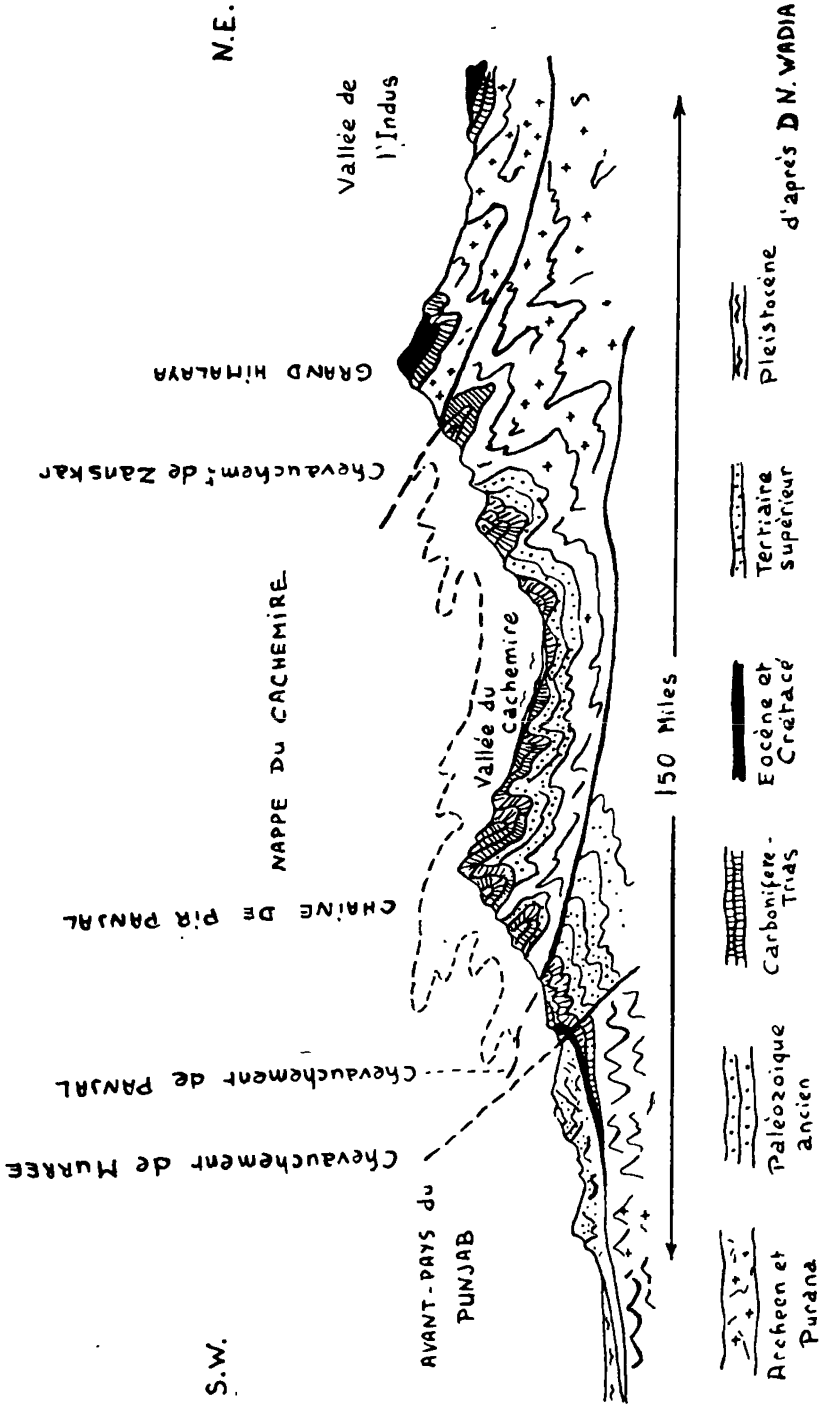
STRATIGRAPHIE.

C'est essentiellement le domaine des bassins de Spiti et de Simla et la région du Garhwal.

Ce secteur de l'Himalaya, relativement accessible, a été exploré de longue date (dès le milieu du siècle dernier) par de nombreux géologues (GRIESBACH, OLDHAM, MIDDLEMISS, etc.).

Dans la partie Nord de cette région, la série tibétaine présente des escarpements où se lit une stratigraphie, notamment dans le

Coupe 1



bassin de Spiti, où la succession des assises, continue du Cambrien au Crétacé, est l'une des plus célèbres d'Asie et du monde.

Le Bassin de Spiti forme un synclinal de direction NW-SE dont les assises mésozoïques les plus récentes se trouvent au centre. Toutes les assises en sont fossilifères et ont été spécialement étudiées par HAYDEN, qui s'est tout spécialement attaché à débrouiller la géologie du Paléozoïque.

Les assises de base de la série de Spiti reposent sur les gneiss archéens et la série de schistes métamorphiques rapportés au Cambrien (séries de Vaikrita).

Le Cambrien forme ici d'épaisses séries plissées de schistes et quartzites qui constituent le « système d'Haimanta ». La partie supérieure en est fossilifère (*Olenus*, *Agnostus*, *Obolus*, etc.), ces faunes étant d'affinités européennes.

La série d'Haimanta se trouve surmontée d'épaisses assises de grès et quartzites rouges passant vers le haut à des schistes, calcaires et dolomies. L'ensemble représente l'Ordovicien et le Silurien des géologues indiens. Il est fossilifère (Trilobites, Brachiopodes, Gastropodes, Cystidés).

Les couches qui viennent au-dessus ne le sont pas, ce sont les *quartzites de Muth*, peut-être partie du Silurien supérieur et peut-être du Dévonien.

Les quartzites de Muth se trouvent surmontés d'une épaisse série (600 m) de calcaires et quartzites; c'est la série de Lipak, datée par des fossiles du Carbonifère inférieur.

Les « séries de Po » qui lui succèdent (schistes noirs et quartzites) sont datées du Carbonifère moyen.

Au-dessus se trouve un conglomérat du Carbonifère supérieur ou du Permien, d'importance capitale puisqu'il témoigne d'une rupture de sédimentation généralisée dans les séries indiennes, ce qui a permis aux géologues de ces régions d'y voir la limite de leurs ensembles, dravidien au-dessous et aryen au-dessus. Le complexe aryen débute donc dans l'Himalaya par ce conglomérat de base, auquel succèdent des grès calcaires, puis des schistes noirs charbonneux (schistes à *Productus*) datés du Permien.

Dans les montagnes du district de Simla, au-dessus des calcschistes de Simla, viennent les « séries Infrakrol » (schistes charbonneux épais), puis les séries de Krol (calcaires dolomitiques, grès et schistes) que l'on peut paralléliser, les premières au Carbonifère, les suivantes au Permien.

Le Trias de Spiti est extrêmement bien connu et tout à fait classique. On le connaît parfois sous le nom de « Lilang system ».

Tous les horizons en sont fossilifères et ont été groupés en trois subdivisions qui paraissent l'équivalent des assises du Trias alpin :

Bunter (environ 15 mètres) : calcaires, schistes et calcaires noduleux; à la partie inférieure : zone à *Otoceras*;

Muschelkalk (120 mètres) : calcaires à *Ceratites* et à *Daonella*;

Keuper (850 mètres) : calcaires à *Halobia*; schistes gris, calcaires dolomitiques, grès, calcaires coralliens, quartzites, schistes et calcaires à Limes.

Le *Bunter* repose en concordance sur les schistes à *Productus*.

Les ressemblances faunistiques avec prédominance des Céphalopodes entre les assises du Trias des Alpes et de l'Himalaya suggèrent (D. N. WADIA) des intercommunications par une mer ouverte (Tethys) entre les deux domaines depuis le commencement du Permien.

Dans les domaines de Spiti de Kumaon et du Garhwal, le Norien se trouve directement surmonté d'une série de calcaires et de dolomies de grande épaisseur, dont la partie inférieure rappelle le Rhétien alpin, la partie supérieure le Lias. C'est la formation des « *calcaires de Kioto* ».

C'est au-dessous que viennent les « *couches de Spiti* » (schistes micacés de 90 à 150 m d'épaisseur contenant de nombreuses concrétions calcaires, enrobant parfois une Ammonite. On retrouve cette formation de la région du Karakoram au Sikkim sans aucune modification des faciès. C'est donc un horizon-repère particulièrement précieux surtout dans les cas où intervient la tectonique. La faune y est très abondante (en prépondérance des Ammonites).

Les célèbres assises jurassiques de Spiti et de la zone himalayenne du Tibet se trouvent surmontées de grès siliceux jaunes et de quartzites, horizon crétacé connu sous le nom de « grès de Giupal ». A Spiti la série de Giupal a 900 m d'épaisseur. La profondeur de la mer n'est plus celle du Jurassique et les faunes, à part celles de petits bassins profonds localisés, sont essentiellement des faunes de Lamellibranches ¹.

La série crétacée se termine alors par les assises de Chikkim et, par place, d'un faciès Flysch qui les surmonte. L'apparition de ce faciès semble correspondre à un rétrécissement de la Tethys et à son brutal comblement par des apports détritiques. Ces formations terminent le cycle de sédimentation marine proprement dite de l'aire himalayenne.

¹ Dans le Garhwal, le Jurassique se trouve représenté par les séries de Tal (grès et schistes noirs à empreintes de plantes).

Dans les zones externes enfin, l'Eocène et avec doute l'Oligocène sont présents (Dagshai et Kasauli series), tandis que les Siwaliks ne semblent, dans la partie externe de la chaîne, être représentés que par leur partie supérieure (Pliocène).

STRUCTURE DE L'HIMALAYA CENTRAL (SIMLA ET GARHWAL).

1° *Les nappes de Simla* (voir Coupe 2).

G. W. PILGRIM et W. D. WEST ont montré que les assises de la région de Simla et Chakrata au Nord du chaînon externe de l'Himalaya central (Siwaliks) ne se trouvaient pas en position normale comme on l'avait tout d'abord pensé, mais qu'elles étaient affectées par des charriages et des inversions de couches.

Quatre plans de recouvrement ont été notés avec charriages du Nord au Sud, les assises précambriennes notamment se trouvent refoulées sur le Carbonifère et le Permien (séries de Krol). Le Précambrien forme notamment des klippes isolées au sommet des montagnes ou sur des crêtes faîtières. Ces niveaux se trouvent ainsi séparés de leurs racines situées au Nord, par la profonde vallée du Sutlej.

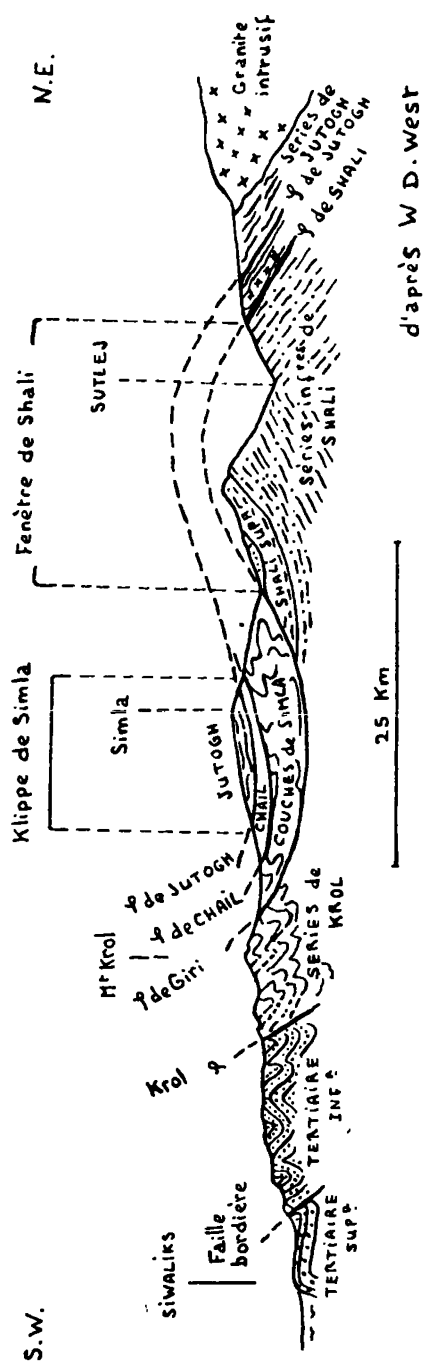
Au front méridional de cette zone charriée, le Tertiaire lui-même se trouve affecté d'une grande faille inverse correspondant au « Murree thrust » du Cachemire. Par son intermédiaire, le Tertiaire inférieur chevauche les assises des Siwaliks.

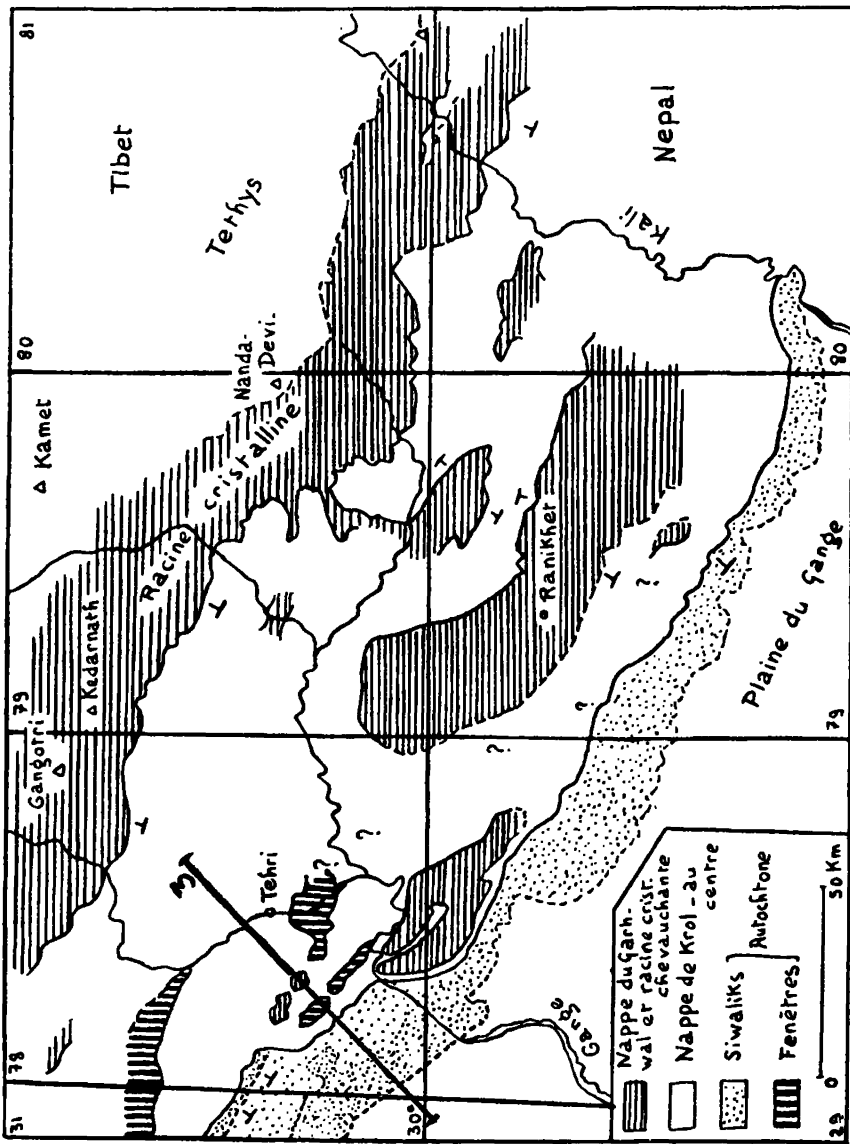
D'une façon générale, le phénomène de recouvrement est encore plus accusé dans la région de Simla que dans le Cachemire. C'est ainsi que les séries de Krol, que l'on peut considérer comme le prolongement de la zone autochtone du Cachemire, se trouvent refoulées vers le SW à tel point que le Nummulitique plus externe peut apparaître en fenêtre sous ces unités. Enfin, du matériel granitique peut se trouver intrusif dans les séries précambriennes. Comme au Cachemire, ce granite fait partie de l'axe cristallin central de l'Himalaya.

2° *Les nappes du Garhwal* (voir Coupe 3 et Carte 1).

La synthèse structurale de cette région (prolongement oriental de la précédente) est essentiellement l'œuvre de A. HEIM et A. GANSSER d'une part, de J. B. AUDEN d'autre part. Les premiers observateurs, GRIESBACH et MIDDLEMISS, n'avaient invoqué aucun déplacement tangentiel dans l'interprétation de leur coupe de la région.

Coupe 2





d'après J. B. Ruden

CARTE I

Selon leurs successeurs, au contraire, deux nappes, celles de Krol et du Garhwal, se trouvent superposées et refoulées vers le SW jusqu'à masquer par places les formations autochtones.

C'est ainsi qu'AUDEN définit de la plaine indienne au Tibet :

a) Une bordure autochtone comprenant un substratum de « schistes de Simla » plissés et les séries des Siwaliks;

b) La nappe de Krol (notamment séries de Krol permocarbonifères et séries de Tal, jurassiques) refoulée sur le Nummulitique;

c) La nappe du Garhwal superposée à la précédente, de telle sorte que du Jurassique peut être totalement recouvert par des schistes métamorphiques paléozoïques anciens;

d) La chaîne du Grand Himalaya : paragneiss, schistes cristallins et granite intrusif;

e) La zone sédimentaire du Tibet qui plonge vers le Nord, mais dont la structure proprement dite est mal connue.

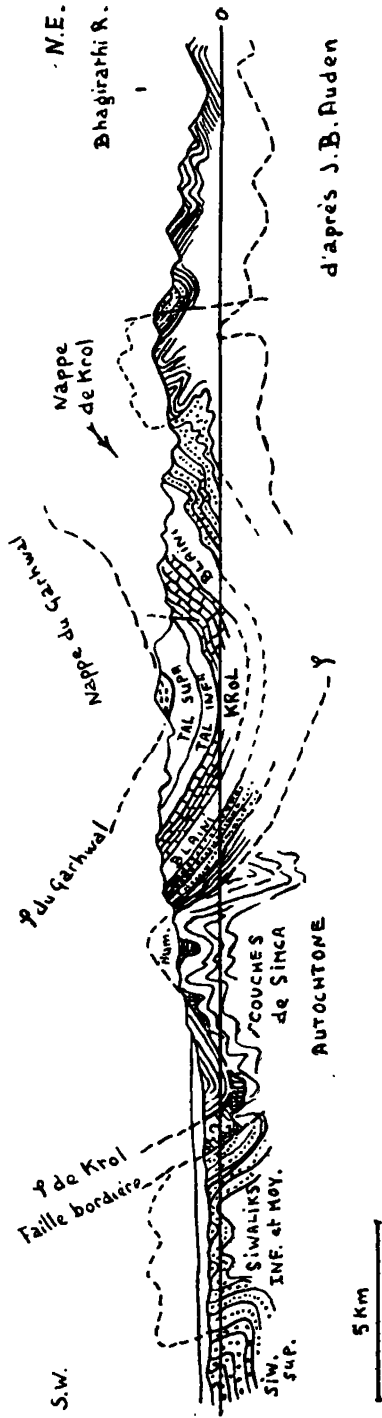
Il est admis que les racines de la nappe du Garhwal doivent se trouver dans la partie formée de schistes cristallins du Grand-Himalaya qui détermine, comme au Cachemire, l'axe du géantoclinal qui accidenté d'une façon assez générale le géosynclinal principal du domaine himalayen.

C) L'Himalaya du Népal.

Jusqu'à ces dernières années (1950), la géologie du Népal était inconnue de façon quasi absolue. Seules la région de Katmandu, les régions extrêmes orientales (basses vallées de la Tamur et de la Tista, région du Kangchenjunga) et le secteur tibétain situé au droit de l'Everest avaient été partiellement reconnues (BOWMAN, DYRHENFURTH, HAYDEN, WAGER, AUDEN, etc.). Les premières expéditions anglaises qui donnaient assaut à ce sommet, évitant le Népal interdit, réunissaient en effet un certain nombre d'observations concernant les abords mêmes de l'Everest et, dès cet instant, envisageaient pour ce dernier quelques hypothèses concernant sa structure.

Quand bien même l'Expédition française à l'Annapurna (1950) n'était pas accompagnée de géologue, les récoltes d'échantillons du cinéaste M. ICHAC permettaient de se faire une idée, aussi faible soit-elle, de la géologie de ce secteur. Par la suite, les explorations de divers géologues, et notamment du Suisse A. LOMBARD dans le secteur de l'Everest, de P. BORDET puis de P. BORDET et M. LATREILLE dans la vallée de l'Arun et le Massif du Makalu, les longues investigations de T. HAGEN, géologue de l'O.N.U. pour le compte du

COUPE 3



Népal à Katmandu, devaient conduire ces différents auteurs, et malgré certaines divergences, à envisager pour ce secteur himalayen une synthèse structurale que nous allons tenter de reconstituer brièvement ici :

Nous partirons pour cela des régions les plus orientales (Darjeeling, vallées de la Tista et de la Tamur), puisque c'est dans celles-ci qu'ont été effectuées les premières observations sur la géologie du Népal. C'est ainsi que les auteurs (voir notamment J. B. AUDEN) ont distingué deux ensembles lithologiques bien caractérisés :

1° *La série de Daling* : généralement formée de phyllades chloriteuses ou sériciteuses, de quartzites et de schistes à hornblende. Elle affleure tout particulièrement de la vallée de la Tista au Sikkim et jusqu'au Bouthan, mais aussi dans certaines vallées telle celle de la Tamur et, pour J. B. AUDEN, la basse vallée de l'Arun.

2° *Les gneiss de Darjeeling* : à l'inverse de la série précédente, ces gneiss forment les crêtes plus ou moins lourdes qui séparent les vallées NS de l'Arun, de la Tamur ou de la Tista et même de très hauts sommets tels le Kangchenjunga, et cela jusqu'à la frontière tibétaine.

La position haute, structurellement, de ces gneiss par rapport à la série moins métamorphique de Daling, a naturellement prêté à discussion. C'est ainsi que pour G. O. DYHRENFURTH et WAGER, il y a recouvrement de la série de Daling par les gneiss de Darjeeling et, par conséquent, plan de chevauchement subhorizontal. J. B. AUDEN d'une part, et A. M. HERON d'autre part, et indépendamment, soutiennent l'idée que la granitisation (apport lit par lit) de la partie supérieure d'un ensemble lithologique primitivement indifférencié explique le fait qu'il est en général difficile de tracer un contact net entre les gneiss et la série de Daling. Pour J. B. AUDEN notamment, une gradation des phénomènes de métamorphisme aurait permis une différenciation avec limite incertaine entre les deux ensembles. Nous y reviendrons par la suite.

C'est T. HAGEN le premier, qui devait débrouiller la structure de la géologie du Népal proprement dit au départ de Katmandu, la capitale. Rappelons seulement que les auteurs précédents (MEDLICOTT, BOWMAN et AUDEN) avaient récolté à Chandragiri, au S de Katmandu, dans des calcaires gris-bleu non métamorphisés (qu'ils rattachaient aux séries de Daling), quelques faunes paléozoïques vraisemblablement ordoviciennes. Ces mêmes auteurs avaient de plus retrouvé, au Nord de la capitale, des gneiss type Darjeeling.

L'idée de structures charriées émise par T. HAGEN est admise

de façon générale, mais avec des modalités d'application parfois différentes, surtout notablement simplifiées.

Brièvement, le schéma de T. HAGEN se résume à ceci : Au Nord de la bordure des Siwaliks et en avant de la zone sédimentaire du Tibet, le pays népalais correspond à un empilement de nappes dont l'ordonnance des plus élevées aux plus inférieures est la suivante :

- 1° Nappes de Katmandu au nombre de 5;
- 2° Zone de Hiunchuli (4 écaïlles);
- 3° Nappes de Piuthan, 5 nappes;
- 4° Nappes de Nawakot, 6 nappes;
- 5° Zone de Pokhara (voir Carte 2 et Coupe 4).

C'est dans la zone septentrionale des nappes de Katmandu que se trouvent les plus hauts reliefs de la chaîne (Dhaulagiri, Annapurna, Manaslu, Ganesh, Langtang). C'est sur celle-ci que se trouve appuyée la série sédimentaire tibétaine que l'on rencontre par exemple dans la région de Tukucha-Manangbhot au Nord de la barrière de l'Annapurna, et qui se trouve là accidentée de flexures anticlinales et synclinales allongées parallèlement à la chaîne : c'est « le synclinorium bordier de la zone du Tibet » de T. HAGEN. Les nappes de Katmandu se trouvent essentiellement formées de matériel métamorphique et notamment de calcaires siluriens. Les intrusions de granites, aplites et pegmatites sont courantes dans ces nappes, même dans leurs parties frontales les plus méridionales. Le granite de la partie radicale des nappes de Katmandu se rattache au NW de la région du Manaslu (racine de la nappe 5) aux grandes masses de granite à tourmaline de Mustang bien développé en bordure de la zone tibétaine, au Nord du synclinorium bordier. Pour T. HAGEN, ces granites tibétains seraient plutôt crétacé supérieur que tertiaires. T. HAGEN tend à rapprocher les nappes de Katmandu de la nappe du Garhwal de HEIM-GANSSER et AUDEN.

Les nappes de Piuthan se trouvent essentiellement formées de matériel permo-carbonifère, triasique et jurassique inférieur. Les intrusions granitiques n'y sont par rares non plus, et au voisinage du contact avec les Siwaliks (faille bordière principale) se trouvent quelques intrusions basiques (amphibolites).

Les nappes de Nawakot, aussi largement développées que les précédentes, sont en contact avec les Siwaliks sur près de 400 kilomètres (faille bordière principale). C'est avec les nappes de Katmandu le principal élément structural du pays népalais. Elles semblent être formées de séries allant du Carbonifère au Jurassique inférieur.

Comme dans les nappes supérieures, les intrusions basiques ou granitiques ne sont pas rares : gabbros et amphibolites au NW de

Pokhara dans les racines des nappes de Nawakot, granite au N de Luitel Bhanjang, etc...².

A la base de l'édifice, enfin, la zone de Pokhara a été interprétée par T. HAGEN comme une zone parautochtone, voire autochtone, apparaissant en fenêtre sous les nappes de Nawakot.

De son côté, A. LOMBARD, géologue de l'Expédition suisse à l'Everest en 1952, retrouvait, notamment le long de la vallée de la Sun Kosi, le prolongement oriental, d'une part des nappes de Nawakot, refoulées sur les Siwaliks, d'autre part des nappes de Katmandu. Il identifiait au-dessous de celles-ci d'autres unités, les nappes de Khumbu sur lesquelles reposeraient pour lui, par l'intermédiaire de l'écaïlle de gneiss et granite du Nuptse, la série de la « dalle du Tibet » entaillée en murailles hautes de 1 000 à 3 000 mètres et culminant à l'Everest.

A la suite des expéditions françaises au Makalu enfin (P. BORDET, 1954; P. BORDET et M. LATREILLE, 1955), la structure des régions plus orientales encore — vallée de l'Arun et Massif du Makalu — se trouvait à son tour, dans ses grandes lignes, débrouillée.

Les ensembles définis que nous allons plus spécialement détailler ici, et dont nous tenterons la corrélation avec les unités contiguës (LOMBARD, HAGEN) sont les suivants, de la plaine du Gange au Tibet :

1. L'ensemble de bordure.

Il comprend deux formations :

a) *La série de Dahran* : elle correspond au chaînon des Siwaliks. Cette formation plissée, essentiellement gréseuse, plus rarement conglomératique, doit atteindre plusieurs centaines, voire même plusieurs milliers de mètres.

b) *La série de Sangouri* :

— à la base une épaisse série de phyllades colorées, peu métamorphique;

— au-dessus environ 500 mètres de quartzites.

2. L'ensemble du bas Himalaya.

D'altitude inférieure à 4 000 mètres, son extension transversale est considérable puisqu'il s'étend jusqu'au pied des plus hauts sommets de la zone frontière, c'est-à-dire près de 60-80 kilomètres.

² Notons à ce propos la présence de roches à glaucophane dans les séries permo-carbonifères de la zone tibétaine au N du Manaslu.

Bien que débitée en plusieurs éléments structuraux, elle présente une grande homogénéité des caractères stratigraphiques.

De bas en haut :

a) *Les migmatites* : ces gneiss semblent atteindre plusieurs milliers de mètres d'épaisseur. Généralement ce sont des gneiss à deux micas, parfois à grenats rouges et disthène bleu ou vert. La tranche est feldspathique.

Le faciès embréchite oëillée n'est pas rare. Certains faciès enfin présentent des phénoblastes de feldspath sans orientation, mais à tendance idiomorphe.

Tout cet ensemble se trouve recoupé de filons d'amphibolites, pegmatites, aplites, etc...

b) *Les micaschistes* : ils renferment des grenats, de la tourmaline, en moindre abondance du staurotide et du disthène. Leur épaisseur paraît être de plusieurs centaines de mètres.

Le contact entre les deux est plus ou moins net.

c) *Les quartzites inférieurs* : à biotite, parfois grenat et disthène. Des schistes noirs graphiteux et des cipolins bleus sont généralement associés.

L'épaisseur, parfois quasi nulle, peut atteindre près de 500 mètres dans la vallée du Barun.

d) *Les phyllades inférieurs* : gris bleutés à grenat, séricite, quartz d'exsudation. Il s'y trouve associés des schistes graphiteux (région de Thosé notamment) très métamorphisés (rappellent les schistes à Graptolites siluriens). L'épaisseur totale est de 300 à 400 mètres.

e) *Les quartzites supérieurs* : de 10 à 100 mètres, à chlorite.

f) *Les calcschistes* : phyllades jaunes, riches en niveaux carbonatés et amphibolites (à trémolite ou actinote radiée, 150 mètres d'épaisseur).

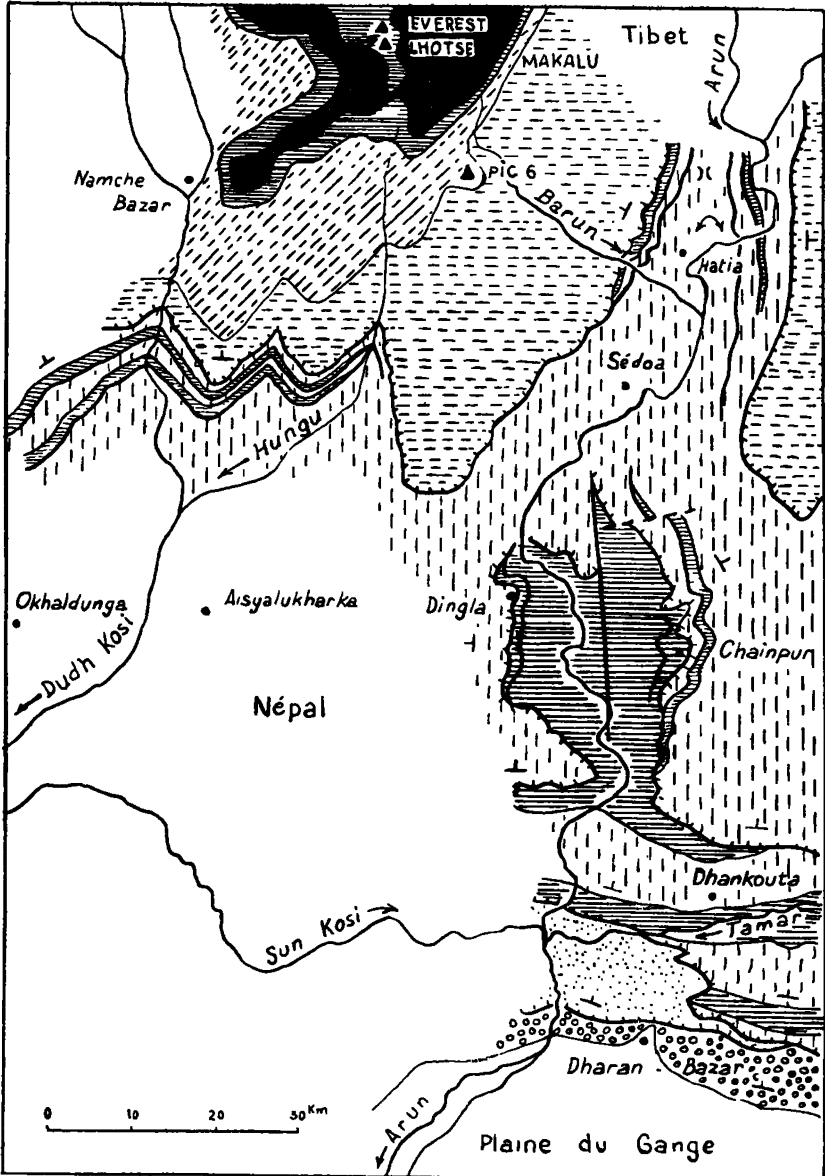
g) *Les phyllades supérieurs* : phyllades clairs, 300 mètres; puis phyllades satinés à quartz d'exsudation, 100-200 mètres d'épaisseur.

C'est, dans la région traversée, le niveau le plus élevé de la série dont l'ensemble mesure donc, depuis les quartzites de base, 1 000 à 1 200 mètres. Mais il est fréquemment laminé et incomplet.

3. L'ensemble du haut Himalaya.

Il se trouve, de façon générale, en recouvrement sur le précédent.

Il forme la zone des plus hauts sommets du monde en bordure du Tibet.



d'après P Bordes H Latreille

- | | |
|---|---|
|  Granite du Makalu |  Couverture épimetamorphique des migmatites du Bas-Himalaya. |
|  Gneiss noirs du Barun et Série de l'Everest |  Migmatites du Bas-Himalaya. |
|  Migmatites du Barun |  Série de Sangouri |
|  Gneiss du Barun |  Série de Dharan (Siwaliks) |

CARTE 3

L'épaisse semelle de la formation est constituée par les *gneiss ectinites du Barun*, bien lités, dépourvus de muscovite, mais riches en grenat et sillimanite.

Le grenat peut atteindre de grandes tailles (25 cm), il est alors pœcilitique. Certains échantillons peuvent contenir du disthène bleu. On peut trouver dans cette formation quelques bancs de cipolins et d'amphibolite. La série, très homogène, forme une sorte d'épaisse dalle tabulaire.

Les migmatites du Barun, qui viennent au-dessus, sont des embréchites œillées assez semblables à celles du bas Himalaya. Leur épaisseur semble très variable (500 m dans la base du Pic 6). Ce sont sans doute ces gneiss que l'on retrouve formant à Namché-Bazar l'énorme masse de migmatites de cette région. Mais le raccord entre les deux secteurs reste à élucider.

Les gneiss noirs : riches en cordiérite violette et surtout en biotite, ils forment des clochetons déchiquetés. L'épaisseur de la formation peut atteindre 1 500 à 2 000 m. Vers le haut, elle se trouve injectée par le granite du Makalu.

Le granite du Makalu : c'est un granite leucocrate à grain fin et à biotite et tourmaline où la cordiérite n'est pas rare. Les contacts du granite avec les formations du toit et du mur se trouvent soulignés par un liseré de pegmatite à muscovite et tourmaline. De tels filons existent d'ailleurs dans le granite lui-même.

La zone injectée, diffuse, est extrêmement épaisse à la base (parfois un millier de mètres), moins au-dessus (quelques centaines de mètres).

L'épaisseur même du granite stratoïde, en quelque sorte interstratifié dans la formation, est très variable, d'une centaine de mètres dans le Hungu à 2 000 mètres au Makalu, et sans doute 4 à 5 000 mètres plus au Nord, au Tibet.

La série de l'Everest : elle fait suite au granite et se trouve formée de gneiss sombre, puis de micaschistes passant progressivement à des phyllades noirs. Il semble bien que le hiatus formé dans la série par le granite du Makalu ne soit qu'apparent et qu'il y ait eu à l'origine continuité des assises de son toit et de son mur. On doit en conclure que le granite du Makalu, étranger à la série, s'est injecté tel une lame plus ou moins boursouflée dans une surface de discontinuité mécanique, mouvements différentiels et injections étant contemporains, les premiers facilitant le second.

Dans cette série, le métamorphisme s'atténue progressivement vers les assises les plus élevées où les auteurs britanniques ont décrit des séries jaunes et grises, pélitiques, formant le sommet de l'Everest. Le plongement des couches est Nord, assez faible,

20-30°, c'est-à-dire qu'il se fait vers le Tibet. Dans cette région, la suite de la coupe normalement superposée à la série métamorphique est formée d'assises sédimentaires fossilifères étudiées lors des expéditions britanniques d'avant 1939, puisque jusqu'alors elles empruntaient le Tibet lors de leur marche d'approche.

C'est ainsi que fut mise en évidence, sur les pentes Nord de l'Everest, une épaisse dalle de calcaires jaunes métamorphiques (1 000 mètres) à laquelle, à la suite de la découverte de *Productus* et *Spirifer*, A. M. HERON attribua un âge permo-carbonifère. C'est la « série des calcaires de l'Everest ».

L. R. WAGER, géologue de l'Expédition britannique à l'Everest en 1933, élargissait par la suite (1934-37) les premiers levés et publiait en 1939 sa découverte de séries fossilifères à Lachi (Sikkim), qu'il date du Permien supérieur. En 1934, non loin de Lachi, J. B. AUDEN devait à son tour découvrir des assises triasiques (couches de Tso-Lamo). La série tibétaine se poursuit alors par les fameuses couches de Spiti du Jurassique, analogues, nous l'avons vu, à celles de l'Himalaya de Kumaon, et se termine par les « couches de Kampa » du Crétacé et de l'Eocène. Ces assises, toujours marines (Alvéolines) sont continues de Gartok au Nord du Garhwal et, par Manasarowar, jusqu'à Gyantse au SW de Lhasa.

Au-delà enfin, et reposant sur la série marine, se trouvent des assises néogènes et pléistocènes renfermant des ossements de Mammifères.

Naturellement la série fossilifère tibétaine n'a pu être parcourue par les géologues de l'Expédition française au Makalu.

AGE DES FORMATIONS DÉCRITES.

— *La série de Dharan* semble correspondre aux Siwaliks moyens, c'est-à-dire correspondrait au Miocène moyen.

— *La série de Sangouri* semble correspondre, par ses faciès, à certaines formations des nappes de Nawakot de T. HAGEN. Elle serait donc permo-triasique.

— La coupe de la partie de couverture de *l'ensemble du bas Himalaya* est métamorphique et non fossilifère, et l'interprétation donnée par ailleurs (P. BORDET et M. LATREILLE, 1955) quant à l'âge de la série fondée sur des comparaisons n'a peut-être qu'une valeur approchée. Il a été ainsi admis qu'elle pourrait correspondre à une série allant du Cambrien au Dévonien supérieur ou au Carbonifère inférieur.

Rappelons à ce sujet la découverte faite naguère par J. B. AUDEN à Chandragiri, à l'W de Katmandu, de fossiles attribués par lui à l'Ordovicien. Or, la région de Chandragiri se trouve dans le pron-

gement occidental de l'ensemble du bas Himalaya, défini ici par T. HAGEN sous le nom de nappes de Katmandu.

L'hypothèse a été appliquée (P. BORDET et M. LATREILLE) à la région de l'Arun, mais il semblerait (renseignement oral de P. BORDET), à la suite de recherches ultérieures dans les nappes de Katmandu, que la série de couverture pourrait dans sa partie supérieure passer à des couches beaucoup plus récentes, mésozoïques, peut-être jurassiques ou crétacés. Aurait-on là, au Sud de la barrière des sommets de la haute chaîne supportant la série tibétaine basculée vers le Nord, l'équivalent métamorphique de cette série ? La chose ne serait pas surprenante a priori et donnerait même tout son relief à l'idée d'un géosynclinal himalayen, puisque dans le cas où la série de couverture serait uniquement paléozoïque et les semelles de gneiss des divers ensembles plus anciennes encore, on concevrait qu'une telle notion aurait une valeur bien restrictive dans le temps.

— Quant à la *série de l'Everest*, étant entendu qu'elle supporte en continuité des couches carbonifères, il semblerait qu'elle puisse être datée du Paléozoïque inférieur, tandis que les gneiss du Barun seraient précambriens.

STRUCTURE DE L'HIMALAYA DE L'ARUN.

Il y a interférence de plis de direction orthogonale. Nous distinguerons donc successivement les deux types de structures.

1° *Les structures E-W.*

Elles correspondent donc à l'allongement de la chaîne. Les grands ensembles définis plus haut sont en effet séparés par des accidents tectoniques d'orientation E-W.

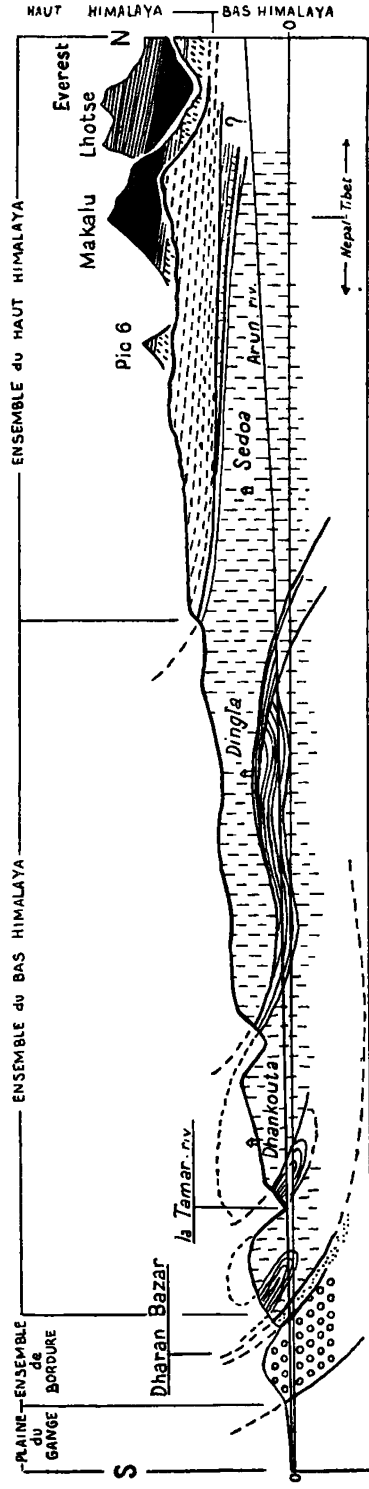
D'une façon générale, la poussée est venue du Nord et, comme dans les régions précédemment étudiées, c'est donc dans le sens N-S que se sont produits les recouvrements (Coupe 6).

a) *La formation des Siwaliks* chevauche vraisemblablement les dépôts de la plaine du Gange; la série est en effet extrêmement plissée, froissée, avec déversements vers l'extérieur, mais le contact n'est pas visible (formations de piedmont).

b) *La série de Sangouri* est également plissée. Les quartzites en particulier dessinent sur la crête de Sangouri un synclinal pincé. La largeur d'affleurement de cette zone se rétrécit considérablement de l'E à l'W. Cette série chevauche la précédente.

c) *L'ensemble du bas Himalaya* ne forme pas une unité structurale. Il se trouve, au contraire, débité en plusieurs éléments d'inégale importance, dont la plupart n'ont que la valeur de plis alors

Coupe 6



d'après P. Borden - M. Larreille

qu'à l'extrême il a pu se faire un véritable recouvrement (nappe de Tinjuré). D'une façon générale, ces structures sont d'autant plus couchées qu'on se dirige vers le Nord. Nous ne les détaillerons pas ici.

Les synclinaux sont constitués de la série de couverture; dans les anticlinaux affleurent au contraire les noyaux gneissiques. La nappe de Tinjuré notamment se trouve formée par une épaisse dalle de migmatites dans laquelle la vallée de l'Arun a ouvert la « demi-fenêtre de l'Arun », ce qui permet d'estimer le recouvrement sur la série de couverture de Légua à environ 40 kilomètres.

d) De la même façon, *l'ensemble du haut Himalaya* recouvre la nappe de Tinjuré. Ici encore le recouvrement est mis en évidence par l'érosion de la vallée de l'Arun, qui a ouvert une demi-fenêtre indiquant un chevauchement d'une cinquantaine de kilomètres, mais il doit, en fait, être plus considérable encore puisque la fermeture de la demi-fenêtre s'effectue au-delà de la frontière tibétaine dans une région qui n'a pas été explorée.

L'ensemble du haut Himalaya se trouve tectoniquement divisé en deux par l'épaisse lame de granite du Makalu, mais cet élément étranger a dû se mettre en place à la faveur d'une surface de discontinuité mécanique dans un ensemble stratigraphiquement continu et unique. Ces mouvements relatifs et le phénomène d'injection semblent relativement récents. C'est ainsi qu'il apparaît, à la lumière des recherches faites plus à l'W notamment par A. LOMBARD et T. HAGEN, que ce granite se retrouve de façon continue sur la bordure Sud de la zone tibétaine. C'est lui qui forme le soubassement du Lhotse et de l'Everest, A. LOMBARD l'a retrouvé dans une situation analogue au Cho-Oyu, plus à l'W encore il forme le Manaslu et se relie ici à la grande masse du granite de Mustang, qui a métamorphisé et digéré des formations crétacées. L'âge récent de ce granite, Crétacé supérieur ou Tertiaire, ne semble donc pas faire de doute. Un phénomène analogue, nous l'avons vu, se retrouve plus à l'W encore, puisque dans l'Himalaya du Cachemire (chaîne de Ladakh) les géologues indiens ont reconnu des injections de granite dans des niveaux crétacés.

2° Les plissements transverses.

D'importants plissements se trouvent perpendiculaires à la direction de la chaîne. Ils donnent ainsi de grands transanticlinaux et transsynclinaux.

Le plus important, mis en évidence en 1954 par P. BORDET, est le « transanticlinal de l'Arun », qui se trouve d'ailleurs jalonné par le cours de l'Arun. C'est à la faveur de cet anticlinal qu'appa-

raissent les demi-fenêtres de l'Arun et, vers le Nord, en direction du Tibet que la structure paraît le plus accusée. Elle est d'ailleurs dissymétrique, le pendage du flanc oriental (50°) étant, de beaucoup, plus fort que celui du flanc occidental (20°).

La flèche du transantoclinal de l'Arun paraît considérable, 10 000 mètres probablement.

De part et d'autre, il se trouve flanqué d'un transsynclinal : le premier à l'Est forme le Jaljal Himal, à l'W le second, de beaucoup le plus important, se trouve jalonné par le plus haut sommet du monde, l'Everest, et par le Lhotsé. On arrive donc à l'idée, contrairement à A. LOMBARD qui voudrait voir à l'Everest une culmination transverse, transantoclinal, que le plus haut sommet du monde correspondrait à une inflexion transsynclinale. A l'appui de cette thèse il faut noter que la base de la série de l'Everest se trouve à l'aplomb du sommet aux environs de 5 000 mètres, alors qu'elle est de 7 000 m à l'E et à l'W. De plus, la conservation au sommet de l'Everest de calcaires métamorphiques permo-carbonifères s'expliquerait très mal dans le cas d'une structure anticlinale. Enfin le Changtsé, sommet qui au Tibet se trouve structurellement dans le prolongement de l'Everest, dessine une nette inflexion synclinale bien visible à distance depuis les contreforts orientaux de Pumori.

Une telle inversion de relief est tout à fait saisissante, mais ne doit pas faire nécessairement penser que des sommets supérieurs en altitude à l'Everest ont pu exister à l'E et à l'W de ce sommet, l'érosion décapant l'édifice tandis que s'effectuait sa surrection. C'est ainsi que si le cours de l'Arun se trouve entaillé dans une structure anticlinale, il faut envisager que ce cours est vraisemblablement très ancien, antérieur à la phase des plissements transverses, et que la gorge s'est creusée sur place au fur et à mesure du plissement.

L'âge relatif des deux phases de plissements ne peut être élucidé de façon sûre dans l'état actuel des connaissances, mais il semblerait que les plissements transverses soient postérieurs à la formation des nappes, étant donné que celles-ci s'en trouvent affectées en totalité.

Enfin nous ne manquerons pas de souligner que l'Himalaya est un édifice encore tectoniquement vivant. Les tremblements de terre périodiques, tel celui qui a secoué l'Assam en 1953, en sont une des manifestations les plus spectaculaires, aux conséquences parfois catastrophiques. Mais plus encore, en de nombreux points du massif, il n'est pas rare de voir des terrasses alluviales fortement redressées (15° de pendage ou plus) ou recoupées par des rivières qui rem-

blaient leur vallée. C'est le cas notamment à Dingla, à la clef de voûte de l'unité tectonique de Dhankuta.

T. HAGEN, de son côté, signale en arrière (N) de la barrière de l'Annapurna, des lacs de barrage tectoniques dus au fait que les eaux de la Kali Gandaki n'ont pu s'écouler vers le Sud lors de la surrection de la chaîne. Dans la vallée de la Trisuli, certains dépôts lacustres se trouvent même à l'heure actuelle redressés par les mouvements tectoniques. D. N. WADIA rapporte des observations analogues faites dans le Cachemire. Divers auteurs, par ailleurs, ont noté le chevauchement d'alluvions pléistocènes par les plus anciennes assises du complexe himalayen.

Mieux encore, des couches contenant des restes d'Elephas et d'outillage humain préhistorique se trouvent fortement plissées dans les montagnes de Rawalpindi et de Kangra. La surrection de l'Himalaya, commencée dès la fin du Nummulitique, s'est donc poursuivie durant le Pléistocène et, peut-on dire, jusqu'à nos jours. Mais cette longue histoire, encore mystérieuse par bien de ses aspects, a vraisemblablement été précédée d'autres phases, telle la granitisation fini-crétacée ou éocène sans doute en relation avec l'amorce de premiers mouvements différentiels.

INTERPRETATIONS. — CONCLUSIONS

Il est difficile d'établir, dans l'état actuel des connaissances, une corrélation entre les unités définies dans le secteur de l'Arun et les séries décrites plus à l'Est dans les vallées de la Tamur, de la Tista et la région de Darjeeling. Mais les contours de ces régions, esquissées par J. B. AUDEN, font ressortir certaines analogies avec ceux de P. BORDET et M. LATREILLE dans la vallée de l'Arun, où ces auteurs ont décrit des unités chevauchantes. D'après J. B. AUDEN lui-même, les gneiss de la région de Chainpur se relie sans solution de continuité aux gneiss de Darjeeling (gneiss qui forment le Kangchenjunga). Or, les gneiss visibles à Chainpur ne sont autres que les gneiss de la nappe de Tinjuré (ensemble du bas Himalaya) en recouvrement tectonique sur la série de couverture.

Or, certains faciès décrits par J. B. AUDEN dans les séries de Daling semblent correspondre aux assises de la série de couverture du bas Himalaya. Si l'identité proposée ici des gneiss de Tinjuré et de Darjeeling d'une part, des séries de couverture du bas Himalaya et de Daling d'autre part, est un jour une chose acquise, on rejoindrait dans cette optique l'idée de G. O. DYHRENFURTH et

L. R. WAGER d'un recouvrement mécanique des séries de Daling par les gneiss de Darjeeling. Et cela en contradiction avec l'hypothèse de J. B. AUDEN et A. M. HERON, d'une gradation des phénomènes de métamorphisme dans un ensemble unique avec granitisation de sa partie supérieure.

Plus à l'Est encore, rappelons que la stratigraphie de certaines chaînes birmanes (qui, à une certaine échelle et géologiquement — sinon géographiquement — font partie du complexe himalayen) s'apparente beaucoup à celle rencontrée dans la série de couverture de la région de l'Arun. En Birmanie, par contre, les séries ne sont pas métamorphiques.

Vers l'W, les choses semblent plus claires, malgré des différences dans la numération de détail des unités tectoniques. C'est ainsi qu'il a été proposé (P. BORDET et M. LATREILLE, 1955) une équivalence entre les nappes décrites par ces auteurs et celles définies dans le reste du Népal par T. HAGEN.

La série de Sangouri correspondrait aux nappes de Nawakot de T. HAGEN et A. LOMBARD; l'ensemble du bas Himalaya aux nappes de Katmandu (1 à 4). Dans l'ensemble du haut Himalaya, la série de Barun correspondrait à la nappe 5 de Katmandu; les migmatites de Namché-Bazar aux nappes de Khumbu de A. LOMBARD; le granite du Makalu au granite de Mustang de T. HAGEN (rattaché à K5) et à la dalle du Tibet de A. LOMBARD. Il y a donc parallélisme à une certaine échelle, c'est-à-dire dans le cadre de grandes coupures, alors que dans le détail les choses paraissent moins nettes. Mais il faudrait savoir quelle valeur attache T. HAGEN au terme même de nappe, dans le cas de subdivisions qu'il introduit dans ses grands ensembles structuraux. Certains écaillages de la série du bas Himalaya, notés par P. BORDET et M. LATREILLE, sous le recouvrement du haut Himalaya, ne correspondraient-ils pas dans l'optique de T. HAGEN à autant de nappes? La chose n'est pas impossible a priori. De la même façon, certaines récurrences lithologiques dans la série n'ont-elles pas été considérées par T. HAGEN comme le fait de répétitions mécaniques?

Quoi qu'il en soit et dès à présent il ne semble donc pas y avoir impossibilité de raccorder, quel que soit le nom qui leur a été donné, les grands ensembles structuraux définis dans le Népal oriental et dans le reste du pays. Dans l'un comme dans l'autre, l'idée de séries métamorphiques anciennes, de recouvrements mécaniques, d'intrusions granitiques d'âge récent, semble un fait acquis. Qui plus est, elles ne déparent pas les synthèses structurales plus anciennes faites naguère dans l'Himalaya central ou dans le Cachemire. Poussée à l'extrême, cette idée nous conduit à la notion d'une

impressionnante unité structurale du pays himalayen. T. HAGEN lui-même voit volontiers dans les nappes de Katmandu le prolongement des nappes du Garhwal de J. B. AUDEN. De la même façon, la position structurale des nappes de Nawakot (à l'Est unité de Sangouri de P. BORDET - M. LATREILLE) et, dans bien de ses aspects, la nature même de leur matériel stratigraphique, les rapprochent de la nappe de Krol définie dans l'Himalaya central (Garhwal et région du Simla). Plus à l'W encore, tandis que la nappe du Cachemire correspondrait à la nappe du Garhwal, la zone bordière parautochtone du Cachemire (entre le Murree Thrust et le Panjal Thrust) serait le prolongement occidental de l'unité de Krol.

Ainsi donc, mis à part l'Assam inconnu et le Karakorum qui, au Nord de l'Indus, semble former une unité indépendante dans le contexte himalayen, la structure de la chaîne s'avère relativement homogène sur près de 2 000 kilomètres. De façon très schématique et simplifiée à l'extrême, cette structure serait la suivante :

1° Au Sud: la zone des Siwaliks, parautochtone, légèrement chevauchante sur les formations récentes de la partie septentrionale de la péninsule indienne.

2° Au Nord : la zone sédimentaire du Tibet en repos normal sur une épaisse semelle métamorphique chevauchante vers le Sud, accompagnée ou non de venues granitiques de type Mustang ou Makalu.

3° Entre ces deux zones extrêmes, deux nappes superposées (le terme pouvant signifier deux ensembles de plusieurs nappes : voir T. HAGEN) correspondant respectivement, vers l'extérieur de la chaîne, à la nappe de Krol, et vers l'intérieur à la nappe du Garhwal.

Un tel schéma, valable semble-t-il structurellement, peut ne pas s'appliquer aussi simplement du point de vue stratigraphie. Mais ceci n'est peut-être qu'apparent : par places, en effet, la série sédimentaire du Tibet « franchit » vers le Sud l'axe de la chaîne du Grand-Himalaya, formant ainsi des bassins annexes tel celui du Cachemire. Vers l'Est au contraire, si la série tibétaine se retrouve au Sud de la frontière Népal-Tibet (région de l'Annapurna - Dhaulagiri : synclinorium bordier de la série du Tibet), elle reste néanmoins cantonnée dans le domaine situé au Nord de l'axe principal de la chaîne. D. N. WADIA voit, dans l'évolution de cette disposition structurale de l'E à l'W de la chaîne, le fait que l'axe du « géantoclinal » qui accidente le « Géosynclinal himalayen » se trouve divisé longitudinalement en deux parties par un axe métamorphique accompagné de corps cristallins (la chaîne du Grand-Himalaya = « géantoclinal »), l'une au N, où la série métamorphique est complète du Cambrien à l'Eocène (série du Tibet), l'autre au S, formée

de matériel ancien, le plus souvent déformé par le métamorphisme et empilé en nappes.

Cette distribution stratigraphique dissymétrique n'est d'ailleurs pas l'un des aspects les moins curieux du complexe himalayen en tant que géosynclinal. Il est, à l'heure actuelle, difficile de dire si le géanticlinal auquel correspond la chaîne du Grand-Himalaya a joué un tel rôle durant toute l'histoire géologique de la région. Mais quand bien même la série de couverture des unités de Katmandu et de Nawakot contiendrait du Jurassique, l'absence de niveaux supérieurs n'en apparaît pas moins étonnante, eu égard aux séries tibétaines marines complètes jusqu'à l'Eocène. On peut naturellement penser au jeu des érosions, surtout lorsqu'il s'agit de reliefs portés à une certaine altitude. Mais le cas devrait être comparable au Tibet, où certains très hauts sommets (le Kailas, par exemple) se trouvent pourtant formés d'Eocène. En fait, si les actuelles chaînes himalayennes ne semblent correspondre qu'à un gigantesque écaillage en bordure d'un complexe à bien plus grande échelle, il apparaît, en fin de compte, que c'est dans les séries tibétaines seules que doit se lire l'histoire stratigraphique d'un « géosynclinal himalayen » d'une impressionnante permanence au cours des temps géologiques.

De ce domaine on sait l'extension spatiale considérable en regard de l'étroite chaîne montagneuse de l'Himalaya. C'est donc dans un contexte extrêmement vaste que s'intègre la chaîne himalayenne, étroite bordure méridionale de tout le système montagneux de l'Asie centrale. Dans cette optique, l'Himalaya, surtout privilégié par l'altitude, apparaît doublé de tout un ensemble de chaînes de très grandes dimensions, de même orientation et dépendant du même complexe orogénique : Hindu-Kush, en prolongement du Karakorum, système Tien-Shan-Alai, Muztagh Ata, Kuen Lun, etc.. De la même façon, par exemple, que se produit dans la région du Nanga-Parbat, à l'extrémité NW de l'Himalaya, une brutale virgation de la direction de la chaîne (syntaxis de D. N. WADIA), la même inflexion se retrouve, un peu atténuée, au raccord Karakorum-Hindu Kush, plus au N encore de la chaîne Trans-Alai à celle de Muztagh-Ata. Le pivot est commun aux différents systèmes malgré leur éloignement, leur origine également commune. Cette virgation d'ailleurs apparaît comme l'un des traits majeurs de l'orographie de cette partie de l'Asie, elle semble correspondre au moment crucial de l'orogénèse, au réajustement des plis plastiques de la chaîne en formation contre le horst rigide du Deccan ³.

³ Un phénomène analogue se retrouve à l'autre extrémité de la chaîne, au raccord Himalaya - chaînes birmanes. Ces dernières, comme les chaînes

Pour terminer, nous retiendrons donc, à la suite de D. N. WADIA, les deux idées qu'à la « Chaîne du Grand-Himalaya », des gorges du Brahmapoutre au Nanga-Parbat, a dû correspondre l'axe paléogéographique du complexe au cours des temps géologiques (géantoclinal), dont la disposition initiale n'a fait que s'accroître lors du soulèvement du fond du géosynclinal (« Tethys Himalaya »). Et, d'autre part, que l'écaillage à son front méridional est l'effet d'un obstacle à l'avancement, constitué par la bordure septentrionale du bloc de Gondwana (Deccan), dont les angles rigides ont déterminé des inflexions aux deux extrémités de la chaîne plissée.

BIBLIOGRAPHIE

- AUDEN (J.-B.) (1935). — Traverses in Himalaya (*Rec. geol. Survey India*, vol. 69, p. 123-167).
 — (1937). — Geological structure of the Garhwal Himalaya (*ibid.*, vol. 73).
 BERTHELSEN (A.) (1953). — On the Geology of the Rupshu district, NW Himalaya (*Meddel. fra Dansk Geologisk forening*, 12, p. 350-414).
 BORDET (P.) (1955). — *a*) Les éléments structuraux de l'Himalaya de l'Arun (*C.R.A.S.*, CXL, p. 102-104).
 — *b*) La tectonique de l'Himalaya de l'Arun (*C.R.A.S.*, p. 212-214).
 BORDET (P.) et LATREILLE (M.) (1955). — *a*) Précisions sur la stratigraphie de l'Himalaya de l'Arun (*C.R.A.S.*, t. 241, p. 1400-1402).
 — *b*) Précisions sur la tectonique de l'Himalaya de l'Arun (*C.R.A.S.*, t. 241, p. 1594-1597).
 — *c*) La géologie de l'Himalaya de l'Arun (*Bull. S. G. F.*, t. V, 6^e s., p. 529-542).
 BORDET (P.) et LOMBARD (A.) (1956). — Une coupe géologique dans la région d'Okhaldunga (Népal oriental) (*Bull. S. G. F.*, t. VI, fasc. 1-3, p. 21-25).
 BURRARD (S.-G.) et HAYDEN (H.-H.) (1933). — A Sketch of the Geography and Geology of the Himalaya Mountains and Tibet. Revised by Sidney Burrard and A. M. Heron (*Delhi Manager of Publications*, X, 359 et xxxii p.).
 DESIO (A.) (1930). — Geological work of the Italian Expedition to the Karakoram (1929) (*Geogr. somm.*, vol. LXXV, p. 402-411).
 — (1936). — La spedizione geografica italiana al Karakorum (1929). Milano, Arti Grafiche Bertarelli.
 — (1955). — Le ricerche scientifiche della Spedizione italiana al Karakorum, K2, 1954 (*Istituto di Geologia, Paleontologia e Geografia fisica dell'Università di Milano*, Serie Ge, Pubblicazione n° 7).
 DESIO (A.) et ZANETTIN (B.) (1956). — Sur la constitution géologique du K2 (8 611 m) dans la chaîne du Karakorum (Himalaya) (*Bull. S. G. F.*, t. VI, 6^e s., p. 829-837).

du Baluchistan à l'autre extrémité de l'Himalaya, sont de structure géologique plus simple que celui-ci et sont formées d'une succession régulière de plis de style appalachien.

- DESIO (A.) et ZANETTIN (B.) (1957). — Spedizione scientifica-alpinistica Italiana al Karakorum (Himalaya), 1953-1955. Notizie geologico-petrografiche preliminari sul bacino del ghiacciaio Baltoro (*Istituto di Geologia, Paleontologia e Geografia fisica dell-Università di Milano*, Serie 6, Pubblicazione n° 95).
- DYHRENFURTH (G. O.) (1953). — Himalaya, troisième pôle. Paris, Payot.
- GARWOOD (E. J.) (1903). — The Geological Structure and Physical Features of Sikkim. Appendix to « Round Kanchenjunga » by D. Freshfield, London.
- GYSIN (M.) et LOMBARD (A.) (1955). — Esquisse géologique du Massif du Cho-Oyu (Himalaya du Népal) (Extrait des *Eclogæ Geologicæ Helvetiæ*, vol. 48, n° 2, p. 366-372).
- HAGEN (T.) (1952). — Über die räumliche Verteilung der Intrusionen in Nepal-Himalaya (*Schw. Min. u. Petrogr. Mitt.*, Bd 34, p. 300-308).
- (1954). — Über Gebirgsbildungen und Talsysteme im Nepal Himalaya (*Geogr. Helvet.*, IX, p. 325-332).
- HAGEN (T.) et HUNGER (J. P.) (1952). — Über geologische-petrographische Untersuchungen im Zentral-Nepal (*Schw. Min. u. Petrogr. Mitt.*, Bd 32, p. 309-333).
- HAYDEN (H. H.) (1904). — Geology of Spiti (*Mem. Geol. Surv. India*, vol. XXXVI, Part. 1).
- (1907). — The Geology of the province of Tsang and U in Central Tibet (*ibid.*, vol. XXXVI, Calcutta).
- (1913). — Relationship of the Himalaya to the Indo-Gangetic Plain and the Peninsula (*Rec. Geol. Surv. India*, vol. XLIII, part. 2).
- HEDIN SVEN (1917). — Southern Tibet. Vol. 1-5, Stockholm, Etat-Major général de l'Armée suédoise.
- (1923). — Mount Everest. Leipzig, Brockhaus, 194 p., 8 croquis, 9 cartes, 3 profils.
- HEIM (A.) et GANSSER (A.) (1939). — Central Himalaya. Geological observations of the Swiss Expedition 1936 (Zürich, *Deutschr. d. Schweiz. Naturforsch.-Geol. Ges.*, 246 p., 162 ill., 1 carte, 86 ph. et cartes).
- HÉRON (A.-M.) (1922). — Geological Results of the Mount Everest Reconnaissance Expedition (*Rec. Geol. Surv. India*, p. 215-234).
- Himalaya du Népal 1952. Mission scientifique genevoise, 1 album illustré chez Scheber, 56 p., 56 phot.
- ICHAC (M.) et PRUVOST (P.) (1951). — Résultats géologiques de l'Expédition française de 1950 à l'Himalaya (*C.R.A.S.*, t. 232, p. 1617-1619).
- LOMBARD (A.) (1952). — La tectonique du Massif de l'Everest; partie occidentale. Note préliminaire (Extr. des *Archives des Sciences*, vol. 5, fasc. 6, p. 403-405).
- (1953). — a) Les grandes lignes de la géologie du Népal oriental (*Bull. de la Soc. belge de Géol. de Pal. et d'Hydrol.*, t. XLI, fasc. 3).
- b) Présentation d'un profil géologique du Mont Everest à la plaine du Gange (Népal oriental) (*ibid.*, t. LXII, fasc. 1).
- c) La tectonique du Népal oriental (*Bull. Soc. Géol. Fr.*, 6^e série, III, p. 321-328).
- d) La Mission géologique genevoise à l'Everest (Extr. des *Actes de la Soc. helvet. des Sc. nat.*, Lugano, 1953, p. 28-30).
- e) Les racines des nappes de Katmandu dans le Népal oriental et les nappes de Khumbu (*Arch. Sc.*, vol. 6, fasc. 1, p. 46-49).
- (1954). — Observations sur la morphologie du Mont Everest (*Académie royale de Belgique*, Bull. de la Classe des Sciences, 5^e série, t. XL, p. 320-331).
- MALLET (F.-R.) (1874-1875). — The Geology and mineral Resources of the Darjeeling district and the Western Duars (*Rec. Geol. Surv. India*, vol. XI, part. 1).

- ODELL (N.) (1938). — Geological and some other observations in the Mount Everest region. *In* Tilman : Mount Everest. Londres, Cambridge University Press, p. 143-154.
- SPATE (1954). — India and Pakistan. Londres, Methien, 827 p.
- TILMAN (H. W.) (1948). — Mount Everest 1938 (Londres, *Cambridge University Press*, 160 p.).
- LA TOUCHE (T.H.D.) (1913). — Geology of the Northern Shan States (*Mem. Geol. Surv. India*, vol. 39, p. 1-379).
- WADIA (D.N.) (1931). — Syntaxis of the Nord West Himalaya : its Rocks, Tectonics and Orogeny (*Rec. Geol. Surv. India*, vol. LXV, part. 2).
- (1932). — Note on the Geology of Nanga Parbat (Mont Diamir) and adjoining portions of Chilas, Gilgit District, Kashmir (*Rec. Geol. Surv. India*, 66, part. 2).
- (1934). — Cambrian - Trias, Sequence of NW Kashmir (*ibid.*, vol. LXVIII, part. 2).
- (1953). — Geology of India. Mc Millan, Londres, 3^e édit., 531 p.
- WAGER (L. R.) (1934). — A Review of the Geology and some new observations (*In* Rutledge, « Everest 1933 », Londres).
- (1937). — The Arun River drainage pattern and the rise of the Himalaya (*Geogr. Journal*, vol. 89, n^o 3).
- (1939). — The Lachi Series of North Sikkim and the Age of the Rocks forming Mount Everest (*Rec. Geol. Surv. India*, vol. LXXIV, part. 2).