

## Le contact Gondwana - péri-Gondwana dans le Zaskar oriental (Ladakh, Himalaya)

par AYMON BAUD, ROBERT ARN, PIERRE BUGNON, ANNE CRISINEL, ELOI DOLIVO,  
ARTHUR ESCHER, JEAN-GABRIEL HAMMERSCHLAG, MICHEL MARTHALER, HENRI MASSON,  
ALBRECHT STECK et JEAN-CLAUDE TIÈCHE \*

*Mots clés.* — Flysch, Molasse, Volcano-sédimentaire, Secondaire, Tertiaire, Nappe, Collision plaques, Pli couché, Pli en chevron Jammu Kashmir (Zaskar), Ladakh.

*Résumé.* — A l'Est du fleuve Zaskar (Ladakh), la zone de suture de l'Indus sépare les nappes de la bordure nord-indienne du Gondwana (Haut-Himalaya, nappes du Zaskar, cristallin de Tso Morari) des éléments péri-gondwaniens du Trans-himalaya. Des recherches géologiques entreprises entre l'Indus et la Tsarap ont montré que :

— la molasse autochtone du Ladakh est surmontée par un édifice de flysch et molasses tertiaires, rétrocharrié vers le Nord-Est et coiffé par les conglomérats post-éocène moyen du Stok Kangri et une formation continentale de molasse rouge ;

— la zone de suture comprend deux unités principales :

a) au Nord et au Nord-Ouest, l'unité volcano-sédimentaire de Dras-Nindam avec des conglomérats et flysch créacés, des brèches massives à radiolarites et roches vertes ; cette unité est accompagnée d'un mélange coloré à roches ultra-basiques, blocs exotiques divers et une méga lentille de brèche carbonatée polygénique à grands Foraminifères (Nummulites ?) ;

b) au Sud, l'unité de la Markha, un flysch à lentilles de calcaires plus ou moins marmoréens datée de la base du Jurassique moyen et que nous corrélons avec le flysch de Lamayuru ;

— l'unité complexe de Nimaling représente la terminaison occidentale du cristallin de Rupshu (Tso Morari) ; il comprend un socle gneissique, des roches vertes et une couverture de schistes quartzitiques, quartzites et dolomies. Cet ensemble est intrudé par un granite porphyrique et il est surmonté, en contact tectonique, par une épaisse série métamorphique de calcschistes, shales et grès de faciès schistes lustrés, d'âge inconnu ; dans cette série, on note au moins trois phases de fortes déformations superposées (linéations replissées) ; le long de la vallée de la Markha, le style structural évoque, avec des plis isoclinaux de 2<sup>e</sup> phase à axes verticaux, une « zone de racine » et pourrait également témoigner de mouvements horizontaux importants ;

— l'édifice des nappes du Zaskar a été subdivisé en trois unités ; il surmonte vers le Nord-Est les schistes lustrés du groupe de Langtang et vient buter vers le Sud-Ouest, le long d'un accident chevauchant, contre la nappe de Zangla (Haut Himalaya). Les séries sédimentaires (Trias - Crétacé supérieur) sont d'affinité téthysienne. De nouvelles datations sont apportées et nous mettons en évidence, directement à l'Est du fleuve Zaskar, la présence de Crétacé sous faciès calcaires multicolores à microfaune planctique ; transgressif sur les grès de Giimal, ce faciès calcaire débute déjà dans l'Albien supérieur, c'est-à-dire nettement plus tôt que dans les régions plus orientales de l'Himalaya ;

— les nappes du Haut Himalaya comprennent du Nord-Est vers le Sud-Ouest la nappe de Zangla qui chevauche par l'intermédiaire d'une semelle de « Panjal Traps » des témoins écaillés de Paléozoïque inférieur, puis la nappe de cristallin. La nappe de Zangla correspond à l'unité qui, à l'Ouest du Zaskar supporte la klippe ophiolitique de Spongtang.

### The Gondwana - peri-Gondwana relationships in the eastern Zaskar area of Ladakh (Himalaya, N India)

*Abstract.* — East of the Zaskar river (Ladakh), the Indus suture zone separates the North Indian border nappes of Gondwana from the peri-Gondwana elements of Trans-Himalaya. Geological investigations between the Indus and the Tsarap have shown that :

— the Ladakh autochthonous molasse is overlain by Tertiary allochthonous flysch and molasse, the whole sequence being covered by the post-Eocene conglomerates of Stok Kangri and red continental molasse ;

— the suture zone contains the following two main units :

a) the northern Dras-Nindam volcano-sedimentary sequence with Cretaceous conglomerates and flysch, massive ophiolitic and radiolaritic breccias, lenses of large Foraminifera (Nummulites ?) bearing carbonate breccias and coloured melange ;

b) the southern Markha flysch unit with middle Jurassic lenses of limestones and marbles is correlated with the Lamayuru flysch ;

— the Nimaling complex forms the western end of the Tso Morari crystalline massif. It is made of a gneissic basement with a meta-sedimentary cover of quartzites, dolomites and quartz schists. This complex is intruded by a porphyric granite and bordered along a tectonic contact by a thick sequence of calc-schists, shales and grits of unknown age. This sequence is affected by at least three phases of strong deformation which in the Markha valley show a structural style resembling that of a « root zone », evidences of horizontal movements are also present here ;

\* Institut et Musée de géologie, Palais de Rumine, CH-1005 Lausanne, Suisse.

Note déposée le 26 octobre 1981, présentée à la séance du 26 octobre 1981 ; manuscrit définitif reçu le 22 janvier 1982.

— Tethyan sediments belong to Zaskar and Zangla nappes, the last one overthrusting the Lower Paleozoic of the High Himalaya and corresponding to the one with West of the Zaskar is capped by the Spongtang ophiolitic klippe ;

— East of the Zaskar river Cretaceous multicolored limestones with planctonic microfossils are transgressive on the Giumal sandstones sequences. These limestones series start with a late Albian age, which is earlier than in the eastern Himalaya.

The Gondwana - peri-Gondwana contact appears here to be more complex than supposed until now, with the presence of nappes and structures showing late transcurrent movements.

## INTRODUCTION.

Intéressés par des comparaisons entre la chaîne alpine et la chaîne himalayenne, nous avons entrepris au cours de l'été 1979 des recherches géologiques entre la vallée de l'Indus au Sud de Leh et la vallée du Zaskar et de la Tsarap au Nord de Padam (Ladakh, Inde). Les observations que nous avons pu effectuer ont un caractère de reconnaissance, aucune carte topographique précise n'étant disponible. Actuellement, des équipes du Service géologique des Indes, de celui de Jammu et Cachemire ainsi que de l'« Institute of Himalayan Geology » ont commencé une cartographie détaillée de la vallée de la Markha et des régions avoisinantes, ce qui contribuera à améliorer grandement les résultats que nous apportons ici.

Entre l'Indus et la Tsarap, à l'Est du fleuve Zaskar, nous avons distingué les subdivisions majeures suivantes, du Nord-Est vers le Sud-Ouest [Baud *et al.*, sous presse] :

- le groupe des unités péri-gondwaniennes de l'Indus ;
- l'unité complexe de Nimaling (zone du Rupshu) ;
- les nappes du Zaskar ;
- les nappes du Haut-Himalaya.

## LE GROUPE DES UNITÉS DE L'INDUS.

De la vallée de l'Indus à la vallée de la Markha au Sud, ce groupe comprend d'une part les unités qui se trouvent au Nord de la suture, avec l'unité du Ladakh et celle des flysch et molasses charriés, et d'autre part la zone de suture proprement dite avec l'unité de Dras-Nindam et celle de la Markha. En nous référant aux figures 2 et 5 nous allons brièvement décrire ces unités et proposer des corrélations.

### *Les unités situées au Nord de la zone de suture.*

1) *L'unité du Ladakh.* Elle comprend le batholite tonalitique du Trans-himalaya [Ladakh Intrusives de Frank *et al.*, 1977] et sa couverture sédimentaire autochtone. Nous n'avons pas étudié le batholite qui a fait l'objet de plusieurs descriptions récentes [Frank *et al.*, 1977 ; Sharma *et al.*, 1979]. Dessus repose la molasse autochtone : c'est l'équivalent de la « Karro Formation » de Pal *et al.* [1977], des

« Üpshi conglomerates » de Sterne [1978]. Elle transgresse directement sur le batholite par l'intermédiaire d'une surface d'altération continentale, rubéfiée par endroit. D'une granulométrie grossière, avec des stratifications entrecroisées, son épaisseur va de quelques dizaines de mètres à plus de 100 m. C'est un dépôt continental pour Pal *et al.* [1977] qui lui attribue un âge mio-pliocène. Cependant, Lydekker [1883], Dainelli [1935], Sterne [1979] donnent un âge crétacé supérieur (Sénonien). A Nyoma, dans le Ladakh oriental, Srikantia *et al.* [1980] signalent des faunes du Cénomanién.

Des illustrations de la transgression de cette molasse autochtone ont été publiées par Frank *et al.* [1977, Fig. 3, 4, 8] et par Sharma *et al.* [1979, Fig. 8, 9, 10]. Elle a été décrite par Colchen [1977].

2) *Flyschs et molasses charriés.* A partir des observations sur deux transversales, de l'interprétation des photos de satellites et de la littérature, nous présentons un découpage en neuf unités lithologiques et trois ensembles superposés, et nous proposons des corrélations (fig. 2, 4 et 5).

Le premier ensemble (inférieur) représente la semelle des conglomérats charriés. Nous distinguons :

a) *Unité de Basgo* (« red beds »). Ils ont été signalés et figurés par Frank *et al.* [1977, Fig. 4 et 5] qui décrivent une alternance de shales silteux et de grès fins rouges avec rares bancs de grès grossiers à galets verts ; l'âge est inconnu. Cette unité continentale est par endroit fortement déformée.

b) *Unité flyschoidé de Nimu-Alchi* [Nimu grits de Sterne, 1979]. Elle est signalée et figurée par Frank *et al.* [1977, Fig. 5, 6] et par Sharma *et al.* [1979, Fig. 16, 17] ; il s'agit d'une alternance de shales micacés verts et de grès lenticulaires passant à des grès massifs, des conglomérats verts mal triés à intercalations de shales rouges [Frank *et al.* 1977]. Cette unité est fortement déformée et séparée des unités qui l'encadrent par des contacts tectoniques. Des couches de lithologie semblable affluent près du village de Stok où elles ont été datées par Pal *et al.* [1976] in Srikantia *et al.* [1978] sur la base de microfaune de Foraminifères et d'Ostracodes du Crétacé supérieur.

Le deuxième ensemble (intermédiaire) comprend du Sud vers le Nord : la molasse de Sumdo (ou série rouge), la molasse bariolée et les conglomérats d'Hémis (fig. 2 et 5).

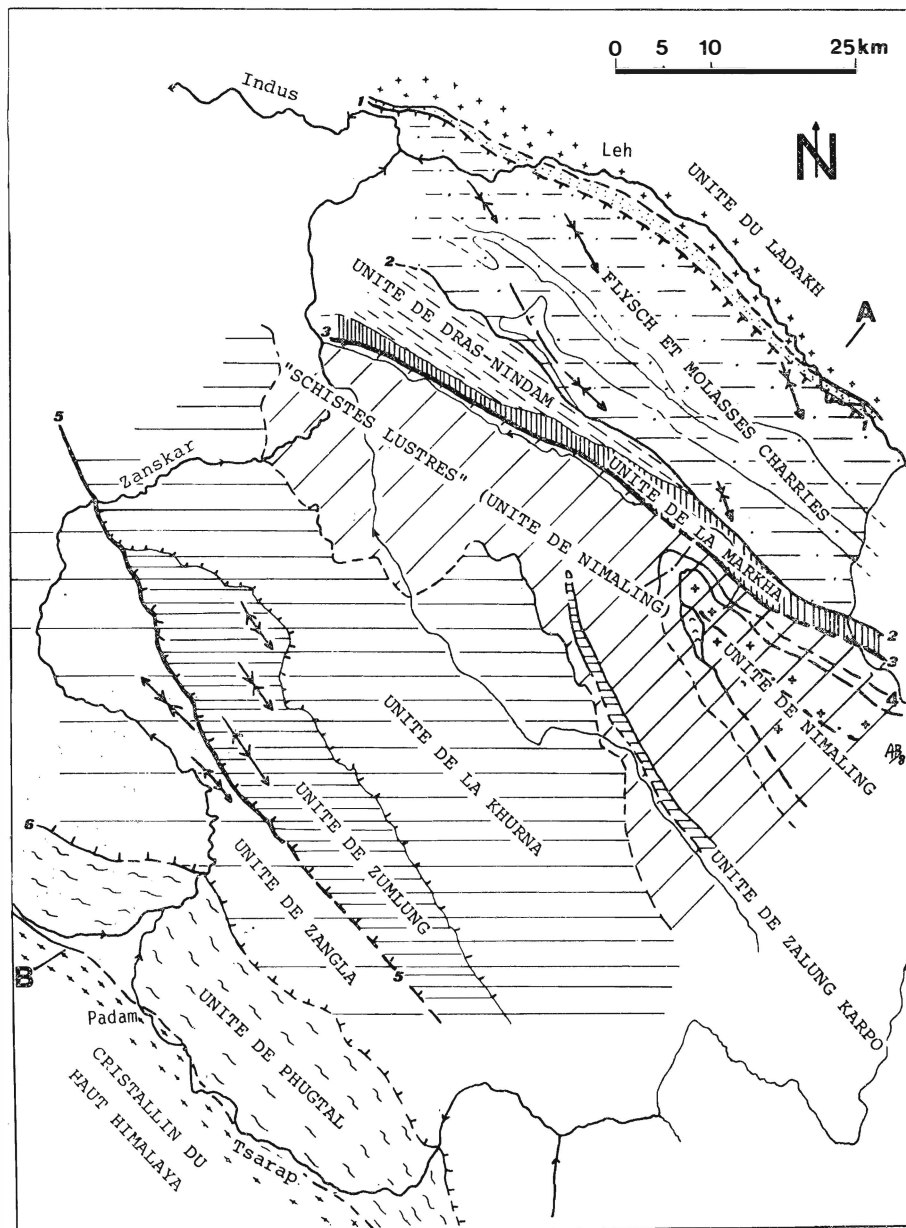


FIG. 1. — Carte structurale.

A-B : emplacement du profil de la figure 4 ; 1 : trace du chevauchement des flysch et molasses charriés sur la molasse autochtone (chevauchement Upshi-Basgo) ; 2 : faille Kanda La - Gongmaru La ; 3 : faille (décrochement) Skio-Lato ; 4 : faille Nimaling-Langtang ; 5 : faille (chevauchement) Naerung-Zangla ; 6 : trace du chevauchement de la nappe de Zangla.

FIG. 1. — Structural map of eastern Zaskar.

A-B : Cross section of figure 4 ; 1 : trace of allocthonous molasse and flysch thrust over autocthonous molasse ; 2 : Kanda La - Gongmaru La fault ; 3 : Skio-Lato strike slip fault ; 4 : Nimaling-Langtang thrust ; 5 : Naerung-Zangla thrust ; 6 : Zangla nappe frontal thrust.

c) *Les conglomérats d'Hémis*. Ils ont été figurés et décrits par Frank *et al.* [1977, Fig. 4, 8, 9, 10, 11] ; ils correspondent au membre A de l'Indus Formation de Pal *et al.* [1979]. Il s'agit d'une alternance très

régulière de conglomérats (poudingues) très indurés en bancs de 1 à 10 m d'épaisseur, de grès et de marnes verdâtres, jaunâtres à rougeâtres. Les éléments sont bien triés, parfaitement arrondis avec

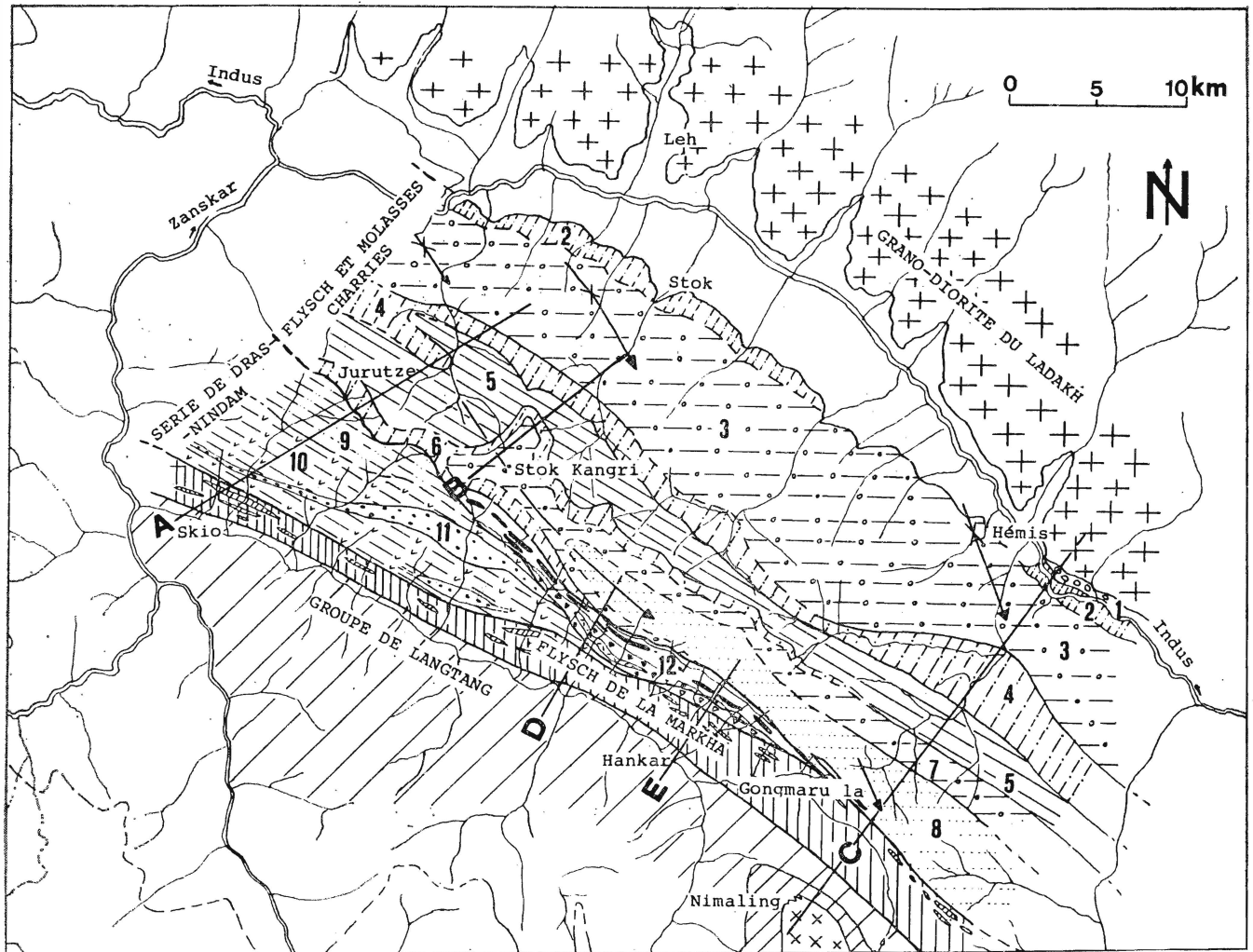


FIG. 2. — Carte géologique de la région comprise entre la vallée de l'Indus et celle de la Markha.

1 : molasse autochtone ; 2 : unité de Nimu-Alchi ; 3 : conglomérats d'Hémis et molasse bariolée ; 4 : molasse de Sumdo ; 5 : série jaune de Chogdo et marnes de Jurutze ; 6 : couches à Nummulites ; 7 : conglomérats du Stok Kangri ; 8 : Molasse rouge du Kongmaru La ; 9 : calcschistes et microbrèches volcaniques (flysch de Nindam) ; 10 : calcschistes verts et grès volcaniques ; 11 : conglomérats à éléments volcaniques et magmatiques ; 12 : mélange coloré, avec en noir : lentilles de serpentine, triangles noirs : brèche volcanique à méga-lentille de marbre. A, B, C, D, E, emplacement des profils des figures 5 et 6.

FIG. 2. — Geological map of the area between the Indus and Markha valleys.

1 : autochthonous Molasse ; 2 : Nimu-Alchi unit ; 3 : Hemis conglomerate and multicoloured molasse ; 4 : Sumdo molasse ; 5 : Chogdo flysch and Jurutze marls ; 6 : Nummulites beds ; 7 : Stok Kangri conglomerate ; 8 : red continental molasse of Gongmaru La ; 9 : calcschist and volcanic microbreccia (Nindam flysch) ; 10 : green calcschist and volcanic sandstone ; 11 : conglomerate with volcanic and magmatic elements ; 12 : coloured melange, with in black : serpentinite lenses black triangles : volcanic breccia with megalenses of marble. A, B, C, D, E : cross sections of figure 5 and 6.

un léger grano-classement. Il s'agit de rhyolites, microgranites, tufs acides, ignimbrites, épidotites, diorites, prasinites, andésites, quartzites et calcaires divers dont l'âge s'échelonne du Permien à l'Éocène inférieur ; des galets de calcaires à Nummulites y

ont été découverts, indiquant ainsi un âge éocène moyen ou plus jeune pour le dépôt de ces conglomérats. Le milieu, continental, est celui d'un cône alluvial proximal (*proximal alluvial fan*). D'après les photos de satellites, la formation des conglomérats

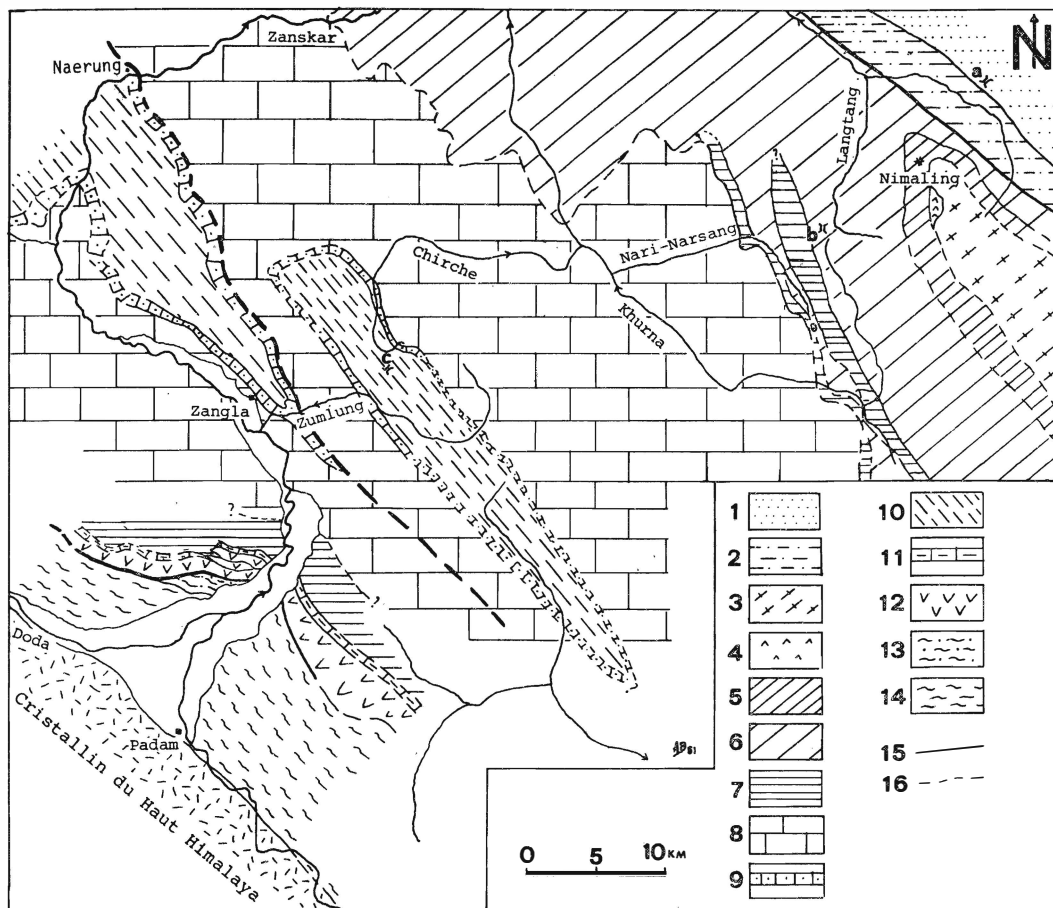


FIG. 3. — Carte géologique de la région comprise entre la vallée de la Markha et la vallée du Zaskar.

a : Gongmaru La ; b : Zalung Karpo La ; c : Charcha La ; 1 : molasse rouge ; 2 : flysch de la Markha à lentilles de calcaires aaléniens ; 3 : cristallin de Nimaling ; 4 : roches basiques dans le cristallin de Nimaling ; 5 : métaquartzites et dolomies liées au massif cristallin de Nimaling ; 6 : schistes lustrés du groupe de Langtang ; 7 : groupe de Lilang (Trias) ; 8 : groupe de Kioto (Trias terminal - Lias) ; 9 : shales de Spiti et grès de Giumal (Jurassique moyen - Crétacé inférieur) ; 10 : calcaires multicolores et flysch du Kangi La (?) (Crétacé supérieur) ; 11 : calcaires et shales à *Productus* (Permien supérieur) ; 12 : Panjal Traps (Permien) ; 13 : formation de Karsha (Cambrien ?) ; 14 : formation de Phe ; 15 : limite géologique observée ; 16 : limite géologique déduite d'après les photos de satellites.

FIG. 3. — Sketch map of the area between Markha and Zaskar valleys.

a : Gongmaru La ; b : Zalung Karpo La ; c : Charcha La ; 1 : red molasse ; 2 : Markha flysch with lenses of Aalenian limestones (equiv. of Lamayuru flysch) ; 3 : Nimaling (Northern) crystalline ; 4 : basic rocks of Nimaling crystalline ; 5 : metaquartzites and dolomites linked with Nimaling crystalline ; 6 : « schistes lustrés » of Langtang group ; 7 : Lilang group (Triassic) ; 8 : Kioto group (Uppermost Triassic-Liasic) ; 9 : Spiti shales and Giumal sandstones (Middle Jurassic to Early Cretaceous) ; 10 : multicoloured limestone, Chikkim limestone and Kangi La flysch (Late Cretaceous) ; 11 : Productus limestones and shales (Late Permian) ; 12 : Panjal Traps (Permian) ; 13 : Karsha Formation (Cambrian ?) ; 14 : Phe Formation (Infracambrian-Cambrian) ; 15 : observed boundary ; 16 : inferred boundary from satellite photographs.

d'Hémis semble disparaître vers l'Ouest où elle est remplacée par la molasse bariolée.

d) *La molasse bariolée*. Elle chevauche les conglomérats d'Hémis et correspond en partie au membre B de Pal *et al.* [1979] ; le charriage est figuré par Frank *et al.* [1977, Fig. 8 et 9]. La couleur plus sombre que celle des conglomérats d'Hémis se marque bien sur la photo de satellite ; elle correspond

à un enrichissement en matériel volcanique ; les niveaux conglomératiques deviennent moins fréquents et la lithologie consiste surtout en une alternance de grès plus ou moins grossier et de marnes et silts de couleur rouge, verte ou jaune, ceci sur la transversale de Martselang. Plus à l'Ouest, par contre, les conglomérats prédominent (transversale Stok-La à Stok village). Le milieu de dépôt est

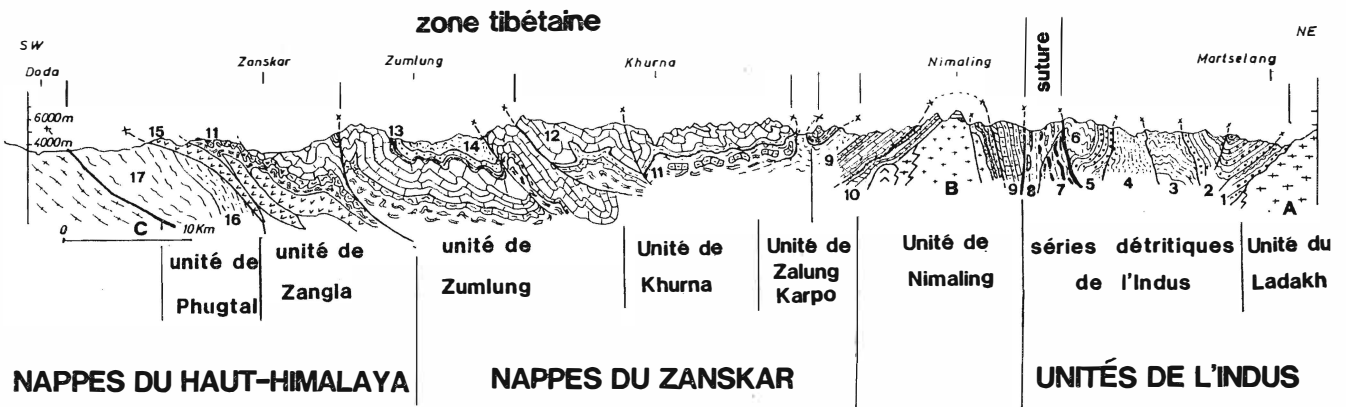


FIG. 4. — Coupe géologique à travers le Zanskar oriental, de Martselang sur l'Indus à Tingri sur la Doda.

A : batholite du Ladakh ; B : cristallin de Nimaling ; C : cristallin du Haut Himalaya ; 1 : molasse autochtone ; 2 : conglomérats d'Hémis et molasse bariolée ; 3 : molasse de Sumdo ; 4 : série de Chogdo ; 5 : conglomérats du Stok Kangri ; 6 : molasse rouge ; 7 : mélanges colorés ; 8 : flysch de la Markha ; 9 : schistes lustrés (groupe de Langtang) ; 10 : méta-quartzites et dolomies ; 11 : groupe de Lilang ; 12 : groupe de Kioto ; 13 : formations de Spiti et de Giumal ; 14 : calcaires multicolores ; 15 : Panjal Traps ; 16 : formation de Karsha ; 17 : formation de Phe.

FIG. 4. — Geological cross section through East Zanskar from Martselang to Tingri.

A : Ladakh batholith ; B : Nimaling Northern Crystalline ; C : High Himalayan Crystalline (Central crystalline) ; 1 : autochthonous molasse ; 2 : Hemis conglomerate and multicoloured molasse ; 3 : Sumdo molasse ; 4 : Chogdo flysch ; 5 : Stok Kangri conglomerate ; 6 : red molasse ; 7 : coloured melange ; 8 : Markha flysch (= Lamayuru flysch) ; 9 : « schistes lustrés » (Langtang group) ; 10 : metaquartzites and dolomites ; 11 : Lilang group ; 12 : Kioto group ; 13 : Spiti and Giumal formations ; 14 : multicoloured limestone ; 15 : Panjal traps ; 16 : Karsha formation ; 17 : Phe formation.

également celui d'un cône alluvial, proximal à l'Ouest plus distal à l'Est. L'âge est inconnu.

e) *La molasse de Sumdo.* Elle est en contact tectonique avec la molasse bariolée ; elle correspondrait en partie au membre B de Pal *et al.* [1979]. Il s'agit d'une série très replissée de marnes rouges, silteuses avec rares bancs de grès plus ou moins grossier dans la partie supérieure, mais qui deviennent plus abondants dans la partie inférieure et montrent une patine jaune-vert, et des rides de courant et d'oscillation sur les surfaces. Nous avons corrélié cette série rouge avec celle affleurant au Stok-La ; nous proposons également la corrélation avec la série rouge à Nummulites qui affleure au Sud du Kanda-La, en aval de Jurutze et sous les conglomérats du Stok Kangri, bien que nous n'ayons pas trouvé de couches à Nummulites sur la transversale de Sumdo. Si nos corrélations sont correctes, l'âge de cette série est Éocène inférieur à moyen [Fossa Mancini, 1928], et le milieu marin peu profond.

Le troisième ensemble comprend le flysch et les molasses supérieures (fig. 2 et 5).

f) *Série jaune de Chogdo.* Le contact semble tectonique avec les séries sous et sus-jacentes ; elle correspond au membre C de Pal *et al.* [1979]. Elle est formée d'une alternance de bancs décimétriques de grès et microgrès silteux avec des pélites gris-clair à altération jaunâtre. On observe des « flute casts »

sur les surfaces de base des bancs et des structures de « ball and pillows » ; c'est le seul lithofaciès qui s'apparente à un flysch. Nous proposons la corrélation de cette série avec celle affleurant du Kanda-La à Jurutze qui montre aux environs de cette localité des horizons riches en Gastropodes et Foraminifères benthiques indiquant un milieu peu profond, confiné (dessalé ?). D'après Fossa Mancini [1928], l'âge de ces fossiles (Gastropodes) est Éocène inférieur. Dainelli [1935] a dénommé ces couches marnes de Jurutze [également Sterne, 1978].

g) *Couches à Nummulites.* Nous ne les avons pas reconnues sur la transversale de Martselang à Nimaling mais elles affleurent bien au Sud du Kanda-La, dans la région entre Jurutze et Rumbock [d'après Dainelli, 1935], et sous le Stok Kangri (au Sud du Stok-La). Découvertes par Lydekker [1883], ces couches à Nummulites ont été décrites par Fossa Mancini [1928] et Dainelli [1935]. Sterne [1978] a retrouvé ces couches plus à l'Ouest soit dans la vallée de Zanskar entre Choksti et Sumdah Doh et au Sud d'Alchi près du Stakspi La. Les Foraminifères ont été déterminés et décrits par Fossa Mancini [1928] qui leur attribue un âge éocène inférieur à moyen. Il s'agit d'une alternance de marnes et pélites rouges qui peuvent contenir des Nummulites, de calcaires à Nummulites et de bancs gréseux plus ou moins calcaires. Ces couches semblent passer en

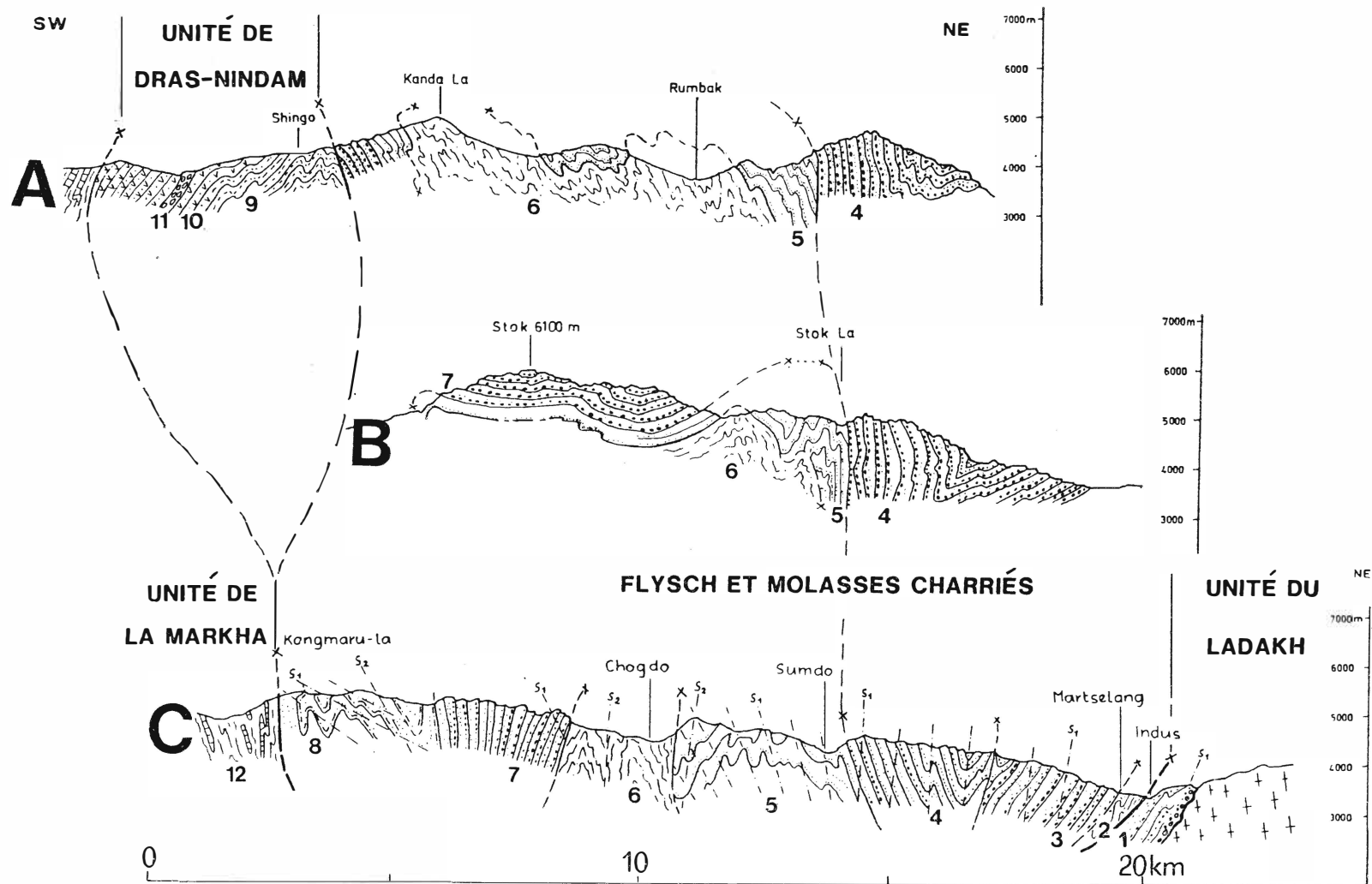


FIG. 5. — Profils à travers les flysch et molasses de l'Indus ; l'emplacement des profils est donné sur la figure 2.  
 1 : molasse autochtone ; 2 : unité de Nimu-Alchi ; 3 : conglomérats d'Hémis ; 4 : molasse bariolée ; 5 : molasse de Sumdo ; 6 : série jaune de Chogdo et marnes de Jurutze ; 7 : conglomérats du Stok Kangri ; 8 : molasse rouge du Gongmaru La ; 9 : calcschistes et microbrèches volcaniques ; 10 : calcschistes verts et grès volcaniques ; 11 : conglomérats à éléments volcaniques et magmatiques ; 12 : flysch de la Markha.  
 FIG. 5. — Cross sections through the Indus flysch and molasses ; figure 2 gives the position of each section.  
 1 : autochthonous molasse ; 2 : Nimu-Alchi unit ; 3 : Hemis conglomerate ; 4 : multicoloured molasse ; 5 : Sumdo molasse ; 6 : Chogdo flysch and Jurutze marls ; 7 : Stok Kangri conglomerate ; 8 : red continental molasse of Gongmaru La ; 9 : calcschist and volcanic microbreccia ; 10 : green calcschist and volcanic sandstone ; 11 : conglomerate with volcanic and magmatic elements ; 12 : Markha flysch (= Lamayuru flysch).

CONTACT GONDWANA - PÉRI-GONDWANA DANS LE ZANSKAR ORIENTAL

continuité aux conglomérats du Stok Kangri sus-jacents.

h) *Conglomérats du Stok Kangri*. Ils correspondent en partie au membre E soit les « Lato conglomerates » de Pal *et al.* [1979]. Ils surmontent les couches à Nummulites et forment les sommets du Mashro et du Stok Kangri. Sur la transversale Martselang - Gongmaru-La, ils affleurent en couches verticales et bancs massifs d'abord de couleur jaune-vert puis rouge, au Sud de Chogdo ; vers le haut, cette série se charge en niveaux gréseux et pélitiques verts et rouges.

Le milieu du dépôt semble être celui d'un cône alluvial proximal.

En contact stratigraphique avec les couches à Nummulites, ces conglomérats seraient Éocène moyen ou plus jeune. Nous les corrélons provisoirement avec les conglomérats d'Hémis et nous leur avons donné le même figuré sur la figure 2.

i) *Molasse rouge du Gongmaru-La*. Elle serait l'équivalent du membre D de Pal *et al.* [1979]. Elle semble être en contact stratigraphique avec les conglomérats du Stok Kangri sous-jacents. Elle est principalement composée de bancs de grès rouges et verts, assez fins, micacés, alternant avec de grosses épaisseurs de marnes et silts rouges, et quelques niveaux lenticulaires de conglomérats grossiers et mal triés à éléments de calcaires et de quartzites.

On y trouve (Gongmaru-La) des faunes de Gastropodes, des débris de plantes ainsi que des traces de pattes d'oiseaux, des marques de gouttes de pluie et des terriers de Crustacés, indiquant un milieu continental à côtier (plaine alluviale distale). Nous n'avons pas d'indication précise d'âge (post-Éocène moyen). Il semble que nous ayons là les couches les plus jeunes de la molasse charriée. Elles n'affleurent qu'à l'Est du Stok Kangri.

En conclusion à ce chapitre, nous constatons que l'ensemble des flyschs et molasses charriés comprend une grande variété d'unités lithologiques, comme le laissaient prévoir les travaux de Sterne [1979] et de Pal *et al.* [1979]. Il est encore trop tôt pour apporter une solution aux problèmes de corrélations, de successions stratigraphiques et de passages latéraux de faciès, solution que seule une cartographie de détail et de nouvelles datations pourront préciser.

La déformation de la molasse, très faible dans sa partie autochtone transgressive sur le batholite du Ladakh, s'accroît vers le Sud dans les unités charriées où les plis, de dimension couramment hectométrique, ouverts à isoclinaux, droits ou un peu déversés vers le Sud, souvent en chevron et disharmoniques, sont accompagnés d'un clivage schisteux subvertical  $S_1$  auquel se superpose progressivement, au Sud de Sumdo, un deuxième clivage  $S_2$ .

*Bull. Soc. géol. Fr.*, 1982, n° 2

СООБЩЕНИЕ О НЕКОТОРЫХ СЛОЖЕНИЯХ

*Bull. Soc. géol. Fr.*, 1982, n° 2

### *Les unités de la zone de suture.*

La zone de suture *sensu stricto* (fig. 4 et 6) est séparée de l'ensemble flysch et molasse charriés par un grand accident subvertical souligné vers le Nord-Ouest par des lentilles de roches vertes. Elle comprend deux unités, soit du Nord au Sud celle de Dras-Nindam à laquelle nous associons les mélanges colorés, et celle du flysch à lentilles de la Markha.

3) *L'unité de Dras-Nindam*. Au travers du Ladakh, cette unité volcano-sédimentaire forme une bande d'affleurements continus depuis Dras jusqu'à la vallée de la Markha. De là, en rive droite, elle se pince progressivement pour disparaître avant le col du Gongmaru-La entre deux accidents subverticaux (fig. 1 et 2). Elle réapparaît dans la vallée de Gya en amont de Rumtse [Sharma *et al.* 1979], à l'Est. Les roches vertes qui accompagnent cette unité ont déjà été signalées et cartographiées dans la vallée de la Markha par Lydekker [1880, 1883] puis analysées par Mac Mahon [1886, 1901]. C'est De Terra [1935] qui propose de nom de « Dras Volcanics » pour les séries volcano-sédimentaires qu'il a étudiées plus à l'Ouest ; Frank *et al.* [1977] reprennent ce terme, mais en séparant les mélanges colorés. Bassoulet *et al.* [1978] donnent le nom d'unité de Nindam pour ces séries dans la région de Khalse-Lamayuru. Srikantia *et al.* [1980] subdivisent ce qu'ils appellent « Sangeluma group » en Formations de Khalsi, Dras Volcanics, Nindam et Shergol. Plus à l'Est, elle correspond en partie à la « Samdo Formation » de Shanker *et al.* [1974] et aux « Indus Volcanics » de Sharma *et al.* [1979].

Nous avons étudié trois profils qui recoupent cette unité. Ils sont illustrés figures 6, A, D, E. Le plus occidental, celui de la région de Skio, a montré trois ensembles lithologiques distincts, du Sud au Nord (fig. 6 A) :

a) des calcschistes verts et gris, et des grès d'origine volcano-détritique probable (épaisseur environ 600 m) ;

b) 300 m de conglomérats à éléments de roches volcaniques et de roches magmatiques (gabbro, diorite) ;

c) une alternance très monotone de calcschistes clairs et de microbrèches volcaniques vertes.

Le deuxième profil est celui de la petite vallée du monastère d'Omlung (fig. 6 D). Du Sud-Ouest vers le Nord-Est ce profil montre au contact (mal visible) avec l'unité de la Markha une alternance de schistes verts et calcaires fins ; au-dessus vient une épaisse série de brèches polygéniques à éléments volcaniques qui entoure et s'infiltré dans un méga-bloc kilométrique de marbre clair. Trois échantillons de roches volcaniques ont été analysés par Dietrich (Zurich) qui conclut à la présence de basalte et de mugearite ; cet auteur associe ces roches à celles, de

magmatite, cet auteur associe ces roches à celles, de



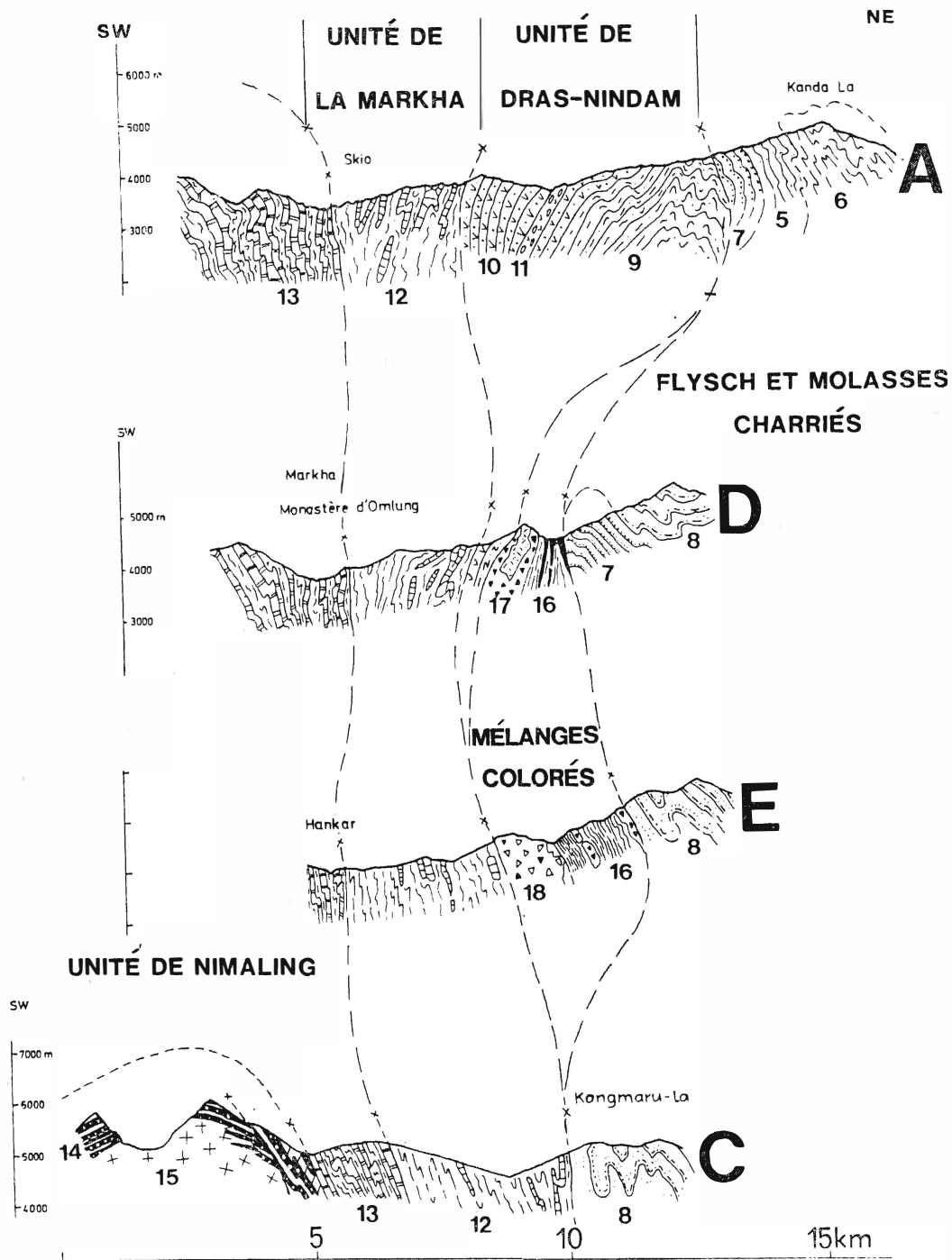


FIG. 6. — Profils à travers la zone de suture le long de la vallée de la Markha : l'emplacement des profils est donné sur la figure 2.

5 à 12 : même légende que la figure 5 ; 13 : schistes lustrés (groupe de Langtang) ; 14 : métaquartzites et dolomites ; 15 : cristallin de Nimaling ; 16 : schistes noirs à lentilles de serpentine ; 17 : brèche volcanique à méga-lentille de marbre ; 18 : brèche carbonatée polygénique.

FIG. 6. — Cross sections through the Indus suture zone along the Markha valley. Figure 2 gives the position of each section.

From 5 to 12, same legend as on figure 5. 13 : « schistes lustrés » of Langtang group ; 14 : metaquartzites and dolomites ; 15 : Nimaling crystalline ; 16 : black schists with serpentinite lenses ; 17 : volcanic breccia with marble lenses ; 18 : polygenic carbonate breccia.

composition très semblable et datées du Trias inférieur, qui caractérisent la zone de suture péri-indienne depuis les îles d'Andaman au Sud-Est jusqu'à Karachi au Nord-Ouest [Honegger *et al.*, sous presse]. Les autres éléments de la brèche sont des calcaires plus ou moins métamorphiques et des radiolarites. Au-dessus et jusqu'au contact avec la molasse rouge, des schistes sombres alternent avec des lentilles de serpentine. A la différence du profil précédent, nous sommes ici entièrement dans le mélange coloré.

Le troisième profil, recoupe également le mélange coloré (fig. 6 E). Il débute par une brèche calcaire chaotique à patine orangée, polygénique, montrant des calcaires fins, des dolomies, des radiolarites et des roches vertes ; ces dernières montrent des auréoles de refroidissement ce qui indiquerait qu'elles sont contemporaines de leur encaissant. De grands Foraminifères (Nummulites ?) ont été observés localement en abondance dans les éléments calcaires et dans la matrice. Cette brèche calcaire est surmontée par une brèche basaltique qui mime localement parfois une structure en pillow-lavas et qui semble être replissée avec. Au-dessus viennent des schistes siliceux noirs qui montrent encore une bande de brèche basaltique puis plus haut des lentilles de serpentine au contact de la molasse rouge. Nos observations sont trop partielles pour traiter des blocs exotiques et des roches ultrabasiques qui accompagnent ici également cette unité.

4) *L'unité de la Markha* (fig. 1 et 2) : c'est une unité de flysch à lentilles qui longe de manière continue sur une bande de 1,5 à 2,5 km de largeur le flanc droit de la vallée de la Markha. Elle est séparée des unités qui l'encadrent par deux contacts tectoniques subverticaux majeurs. Elle est caractérisée par une matrice de schistes noirs ou beiges accompagnés de microgrès et grès à patine brune à verdâtre qui entourent de nombreux blocs, lentilles ou bancs discontinus, métriques à décamétriques, de calcaires spathiques, parfois bréchiés et dolomitiques, le plus souvent fortement déformés et marmorisés. Malgré les déformations et recristallisations, les microfaciès de ces lentilles montrent une certaine parenté : ce sont des calcarénites et calcilutites en lits (laminae) parfois granoclassés, avec ooïdes, peloïdes et intraclastes et un matériel squelettique comprenant des débris d'Échinides et de Crinoïdes, de Bryozoaires, d'Algues calcaires et exceptionnellement des Foraminifères ; c'est le cas de l'échantillon 41946 provenant du vallon de Doltal qui a livré une riche microfaune parfaitement reconnaissable. Celle-ci a été aimablement examinée par Wernli (Genève) qui a déterminé : *Glomospira* sp., *Lucasella* sp., *Lucasella cayeuxi* (LUCAS), *Planinivoluta carinata* LEISCHNER ?, *Timidonella sarda* BASSOULLET, CHABRIER & FOURCADE ?, *Lenticulina* sp., ainsi que des

*Ophthalmidium* ?, *Haplophragmoides* ?, *Textularidae*, *Valvulinidae* à siphon et *Verneulinidae*. Cet assemblage est représentatif du passage Lias-Dogger (Aalénien). La présence de cette microfaune aalénienne est très importante et significative : elle permet d'une part d'exclure l'âge carbonifère et le rattachement aux unités de Zanskar qui avait été proposé par les anciens auteurs et plus récemment par Gupta *et al.* [1975] ; d'autre part cette unité est à distinguer de celle de Dras-Nindam dont les flyschs sont essentiellement crétacé (et tertiaire ?). Nous proposons une corrélation de cette unité de la Markha avec l'unité de Lamayuru de Bassoullet *et al.* [1978] ; ces auteurs signalent une microfaune semblable près de Lamayuru [Bassoullet *et al.*, 1981], ceci dans une lentille calcaire. Bien que nous n'ayons pas trouvé de fossiles triasiques, cette unité de la Markha correspondrait en partie au « Lamayuru Flysch » de Gansser [1977], Frank *et al.* [1977] et à la série de Lamayuru d'Andrieux *et al.* [1977].

Nous n'avons pas trouvé de calcaires multicolores à *Globotruncana* dans la vallée de la Markha, bien que ceux-ci aient été signalés dans une position structurale semblable soit plus à l'Ouest près du Fotu La [Bassoullet *et al.* 1978] soit à l'Est dans la vallée de Gya, près de cette localité [Gupta *et al.* 1971].

On observe un saut dans l'intensité des déformations entre les molasses charriées et l'unité de la Markha ; il en est de même pour le métamorphisme qui passe de l'anchizone à l'épizone. L'examen de quelques lentilles du flysch de la Markha a montré, sous le col du Gongmaru La, des plis isoclinaux accompagnés d'une forte schistosité plan axiale et une linéation d'extension qui replissent une schistosité  $S_1$ .

#### L'UNITÉ COMPLEXE DE NIMALING.

La nouvelle unité que nous introduisons ici comprend un cristallin, une couverture métasédimentaire adhérente et en contact tectonique une épaisse série de calcschistes, grès et shales, métamorphiques (schistes verts) d'âge inconnu (groupe de Langtang).

1) *Le cristallin*. Il représente la terminaison occidentale du cristallin de Tso Morari [Berthelsen, 1953].

Les moraines de la vallée de Nimaling sont composées de plus de 90 % d'un métagranite à biotite et à phénocristaux de feldspaths potassiques. Dans les parois au fond de la vallée qui se trouvent immédiatement à l'Est du sommet de Nimaling, ce métagranite forme des contacts nets, probablement intrusifs avec des gneiss rubanés.

Dans un échantillon de métagranite pris en place nous avons identifié la paragenèse du faciès schistes

verts suivante : du quartz bien recristallisé et formant une texture polygonale, des phénocristaux de microcline perthitique, de l'albite, souvent avec de nombreuses inclusions de mica blanc, de la pistachite et de la zoïsite, des grenats idiomorphes, de la biotite verte, et, comme minéraux accessoires : la tourmaline, le zircon, le sphène et des opaques.

Sur un cône d'alluvion au Sud-Ouest du massif de Nimaling, nous avons collectionné quelques échantillons d'une roche métabasique verte, prove-

Proche du contact intrusif du granite, les quartzites sont transformés en cornéennes noires, parfois à petites taches blanches millimétriques, et les dolomies en marbres blancs à silicates de Ca de couleur brune et verte.

L'étude microscopique confirme une zone de métamorphisme de contact. Ainsi on observe dans les quartzites semi-pélitiques, en se rapprochant de l'intrusion granitique, la succession des paragenèses suivantes :

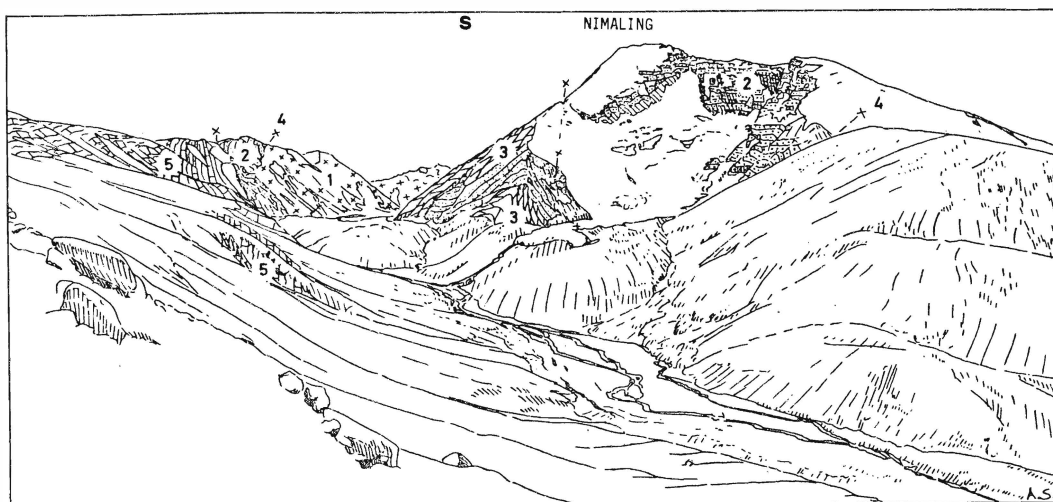


FIG. 7. — Le sommet de Nimaling vu du Nord, avec le glacier du même nom à gauche.

1 : méta-granite de Nimaling ; 2 : métaquartzites avec rares intercalations de bandes décimétriques à métriques de dolomies jaunes ; 3 : marbre dolomitique ; 4 : faille postmétamorphique (ou épizonale) ; 5 : schistes lustrés.

FIG. 7. — Nimaling peak seen from North, with Nimaling glacier.

1 : Nimaling metagranite ; 2 : metaquartzites with rare dolomite beds ; 3 : dolomitic marble ; 4 : post-metamorphic fault ; 5 : « schistes lustrés ».

nant très probablement du socle cristallin. Comme dans les métagranites la paragenèse indique un faciès schistes verts élevé : quartz, albite, épidote, biotite verte et brune, chlorite, hornblende bleu-vert, sphène, opaques et apatite, et comme reliques de la hornblende brune et de la pigeonite.

Nous proposons les corrélations du métagranite de Nimaling avec le granite de Polakongka-La (Rupshu) et des gneiss avec la « Puga Formation » de Sah [1980].

2) *La couverture métasédimentaire adhérente* (fig. 7, 1 in fig. 8 A). Le granite (méta-) de Nimaling forme des apophyses dans une série de quartzites semi-pélitiques, régulièrement stratifiée et à niveaux dolomitiques déci- à décamétriques. Cette série métasédimentaire est replissée et traversée de failles postmétamorphiques.

a) quartz, albite, muscovite, chlorite, tourmaline, opaques et zircon détritique ;

b) quartz, albite, muscovite, biotite verte, tourmaline et calcite ;

c) quartz, plagioclase sodique, muscovite, biotite brune, taches formées de petits grains d'andalousite, orthite, opaques et chlorites, ces dernières de formation secondaire.

Il n'est pas exclu que les deux premières paragenèses soient les produits du métamorphisme régional qui a également transformé le granite.

Nous retrouvons également dans les roches dolomitiques des paragenèses cristallisées lors du métamorphisme de contact :

a) quartz, dolomite, calcite, mica blanc (à environ 150 m du granite) ;

b) quartz, calcite, actinote, épidote, sphère et tourmaline ;

c) diopside, grossulaire, wollastonite (calcite sur fissures tardives) ;

b et c proviennent de la paroi nord du Nimaling, donc à quelques dizaines de mètres du granite.

3) *Le groupe de Langtang (schistes lustrés)*. Les quartzites et dolomies sont surmontés tectoniquement (faille postmétamorphique, chevauchement ?) par des calcschistes satinés noirs, gris, devenant

clairs vers le haut (niveau 3, fig. 8 A) ; on y note une très forte variation des fractions quartzesuses, calcaires et pélitiques (micacées). Nous n'avons pas levé de coupe continue de ces schistes lustrés, mais nous avons synthétisé à la figure 8 A les quelques observations que nous avons effectuées dans la vallée de Langtang. Au-dessus des calcschistes satinés (environ 500 m d'épaisseur) viennent des marbres clairs (épaisseur variable, jusqu'à 100 m), puis environ 500 m d'une alternance de grès micacés à patine rousse et de shales gris (niveau 5). Une

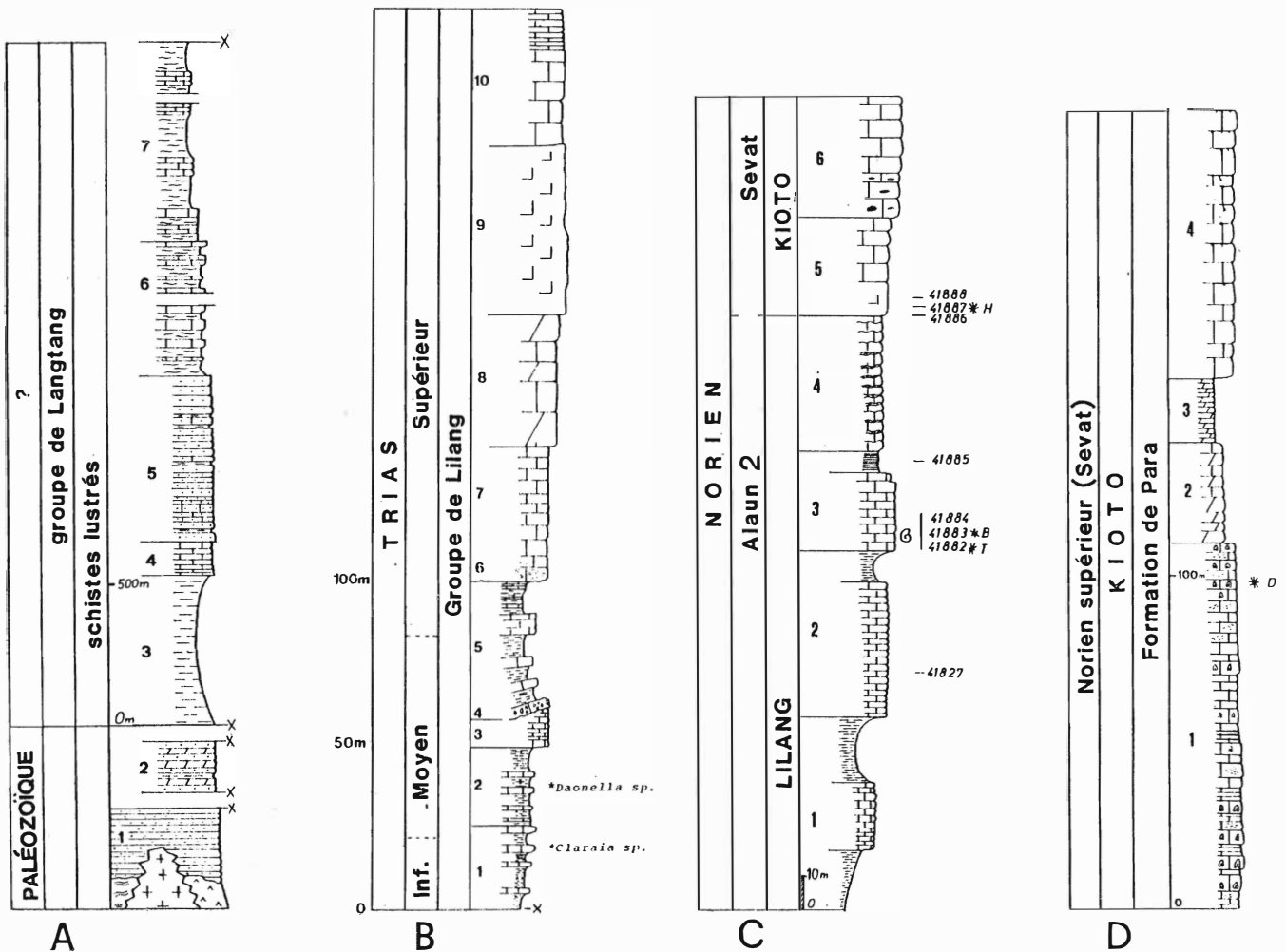


FIG. 8. — Profils stratigraphiques.

A : profil synthétique de l'unité de Nimaling ; B : partie inférieure du groupe de Lilang dans l'unité du Zalung Karpo, à l'Ouest du col du même nom ; C : passage du groupe de Lilang au groupe de Kioto dans la haute vallée de Nari Narsang ; D : partie inférieure du groupe de Kioto (calcaires à Megalodon) dans la basse vallée de Nari Narsang. Légende dans le texte.

FIG. 8. — Stratigraphic sections.

A : reconstructed profile of Nimaling unit ; B : lower part of Lilang Group (Zalung Karpo unit) ; C : Lilang-Kioto Group boundary in the upper Nari Narsang valley ; D : lower part of the Kioto Group in the lower Nari Narsang valley. Legend in the text.

épaisse série de calcschistes et de marbres à rares débris de Crinoïdes (plus de 1 000 m) surmonte les grès. Enfin, une succession très monotone de calcschistes micacés, de calcaires gréseux et de marbres (plus de 1 000 m) termine ce groupe. Il n'a révélé jusqu'à présent aucun fossile qui permette de le dater. Diverses interprétations : Paléozoïque supérieur, Trias, ont été données par les anciens auteurs. Cette série sédimentaire affleure très largement depuis le massif cristallin jusqu'à l'Ouest du fleuve Zanskar où elle disparaît sous l'unité de la Shillakong de Bassoullet *et al.* [1978]. Vers le Sud-Ouest elle forme le soubassement des unités du Zanskar et vers le Nord elle disparaît verticalement dans la vallée de la Markha. Dans cette dernière, des plis isoclinaux à axes verticaux, accompagnés d'une forte schistosité plan-axiale et d'une linéation d'extension parallèle aux axes, replissent des schistosités et linéations plus anciennes. Ce style structural contraste très fortement avec celui des unités molassiques ; il évoque une zone de racine et pourrait également témoigner de l'existence de mouvements horizontaux tardifs importants.

Les paragenèses métamorphiques sont : le quartz, la calcite, la chlorite, le mica blanc, la limonite et accessoirement le sphène, la tourmaline et le zircon. Elles indiquent le faciès schistes verts, comme dans le cristallin et sa couverture, mais il semble là un peu moins élevé.

#### LES NAPPES DU ZANSKAR.

Unités de couverture, elles forment les chaînons calcaires qui apparaissent vers le Sud, au-delà de la vallée de la Markha, depuis le Zalung Karpo La jusqu'aux gorges de Zumlung. Elles comportent des séries sédimentaires faiblement métamorphiques, fossilifères, d'affinités téthysiennes. Avec les nappes du Haut Himalaya, ces unités semblent dessiner un vaste synclinorium que l'on trouve dans la littérature cité sous le nom de « Spiti-Zanskar » synclinorium [Fuchs, 1979]. En fait, nous montrons que ce synclinorium est beaucoup plus complexe qu'admis autrefois, ce qui est également prouvé à l'Ouest du Zanskar où Bassoullet *et al.* [1980] ont montré qu'il s'agissait d'un complexe de nappes charriées vers le Sud puis rétrodéversées vers le Nord sur les séries détritiques de l'Indus. A l'Est du fleuve Zanskar, nous avons vu que l'enveloppe sédimentaire de l'unité de Nimaling disparaissait verticalement dans la vallée de la Markha où elle semblait s'enraciner. Cette enveloppe sédimentaire ne correspond pas à celle qui surmonte le cristallin de la Haute Chaîne et ne peut être, dans l'état actuel de nos connaissances corrélée avec elle.

Nous avons distingué provisoirement trois unités que nous avons dénommé du Nord-Est vers le

Sud-Ouest (fig. 1) : unité du Zalung Karpo, unité de la Khurna, unité de Zumlung.

1) *L'unité du Zalung Karpo.* Cette unité surmonte les schistes lustrés du groupe de Langtang et borde vers le Sud-Ouest la zone des cols Zalung Karpo La et Yar La. Elle n'atteint pas la vallée de la Markha. Comme sa base est formée de shales et calcschistes, son contact avec l'unité sous-jacente n'est pas apparent. S'agit-il d'un contact stratigraphique ou d'un contact tectonique replissé, nous ne pouvons trancher actuellement, encore que la seconde solution nous paraisse plus vraisemblable comme nous l'avons indiqué sur la figure 4. La série stratigraphique synthétique est donnée figure 8 B. De bas en haut nous avons :

1) ensemble de calcschistes, shales et marbres d'abord non fossilifères puis fossilifères ; ceux-ci débutent vers 5 200 m directement à l'Ouest du col (Zalung Karpo La) ; nous y avons découvert *Claraia* sp. (dét. Gruber, Linz) ;

2) alternance de shales, de calcsiltites à rares filaments, de calcaire à Bivalves très recristallisés ; parmi les échantillons fossilifères, Tozer (Ottawa) a reconnu de petites Daonelles qui indiquent un âge Trias moyen ;

3) environ 20 m de calcarénites à débris de Crinoïdes, Bivalves et Brachiopodes alternant avec des calcsiltites à Calcisphères ;

4) discordant avec un angle d'environ 10°, une brèche calcaire à éléments hétérométriques de calcaires sombres et clairs ;

5) sur 70 m environ, alternance de calcschistes et de calcarénites en gros bancs riches en débris d'Échinodermes ;

6) calcaire noir, bréchique à la base ;

7) calcaire fin à terriers dolomités ;

8) alternance de calcaire brun et dolomie claire en gros bancs ;

9) calcaire récifal à gerbes de Coraux en position de vie ;

10) calcaire lité à patine brune ; au sommet de parois inaccessibles, ce calcaire semble passer à une série de shales gris clairs.

Nous proposons la corrélation de cette succession lithologique avec les couches de Lilang, nom donné par Stoliczka [1866] d'après une localité de la vallée de Spiti pour l'ensemble des couches du Trias de cette région. Elles comprennent un ensemble de formations et de membres détaillés par Hayden dans son mémoire sur la géologie de Spiti [1904]. Bien que le nom de Lilang soit rejeté par cet auteur, il a été repris, avec justesse, par la suite ; nous n'avons pas de coupe complète de ce groupe de Lilang, le profil de l'unité de Zalung Karpo se corrélant avec la partie inférieure et le profil de Nari Narsang montrant le sommet avec le passage au groupe de Kioto (fig. 8 C).

Nous interprétons l'unité du Zalung Karpo comme la base, dilacérée, restée en arrière de l'unité de Khurna dont la série stratigraphique débute au sommet du Trias.

2) *L'unité de Khurna*. Cette unité très replissée est caractérisée par une ossature de plus de 1 000 à 1 500 m de calcaires périrécifaux (Groupe de Kioto). La base est formée par les calcschistes supérieurs du groupe de Lilang qui ont servi de niveaux de clivage avec l'unité de Zalung Karpo restée en arrière. Elle affleure largement à l'Ouest de cette dernière, mais comme elle, n'atteint pas la vallée de la Markha. D'après Kelemen *et al.* (sous presse) les calcaires de Kioto (de cette unité) traversent le fleuve Zanskar en aval de Naemlung à l'Est de Lingshed ; il est probable que ce soient eux qui forment la masse principale de l'unité de la Shillakong-Zanskar décrite par Bassoulet *et al.* [1978, 1980] et Fuchs [1977, 1979], à l'Ouest du Zanskar. Au cours de notre traversée, nous n'avons cependant jamais trouvé dans l'unité de la Khurna de calcaires multicolores à *Globotruncana* tels que ceux qui, dans la Shillakong, transgressent directement sur les calcaires de Kioto.

Le groupe de Kioto tire son nom d'une localité de la haute vallée de Spiti. Il s'agit d'une série lithologique présentant des caractères très constants dans tout l'Himalaya septentrional [Gupta, 1976]. Il comprend deux subdivisions : la formation de Para avec les calcaires à Coraux et les calcaires à *Megalodon*, et la formation de Tagling avec une épaisse série de calcaires et dolomies dans laquelle se trouvent les calcaires à *Litholites*, et qui se termine par des niveaux à Bélemnites (Laptal beds). Comme pour les couches de Lilang, ces unités lithologiques ont été découvertes et inventoriées par Stoliczka [1866].

Nous avons effectué deux profils partiels dans cette unité de Khurna ; le premier, dans la haute vallée de Nari Narsang, montre le passage du groupe de Lilang au groupe de Kioto (formation de Para). La base de ce profil (fig. 8 C) montre une alternance de shales et calcschistes à patine claire avec des calcilitites et calcarénites riches en débris d'Échinodermes (niveaux 1, 2 et 3). F. Tatzreiter (Wien) nous a aimablement déterminé deux Ammonoidés qui ont été découvertes dans le niveau 3 ; il s'agit de *Baenites parvus* TATZREITER et d'un *Tibetitide* (éch. 41883 et 41882) dont l'âge correspond à la fin de la zone à Colombianus, soit l'Alaun II (Norian supérieur). Puis viennent environ 40 m de calcaires riches en débris squelettiques, à aspects noduleux avec interlits de schistes sombres qui terminent le cycle lithologique de Lilang (niv. 4). Au-dessus, avec des calcaires récifaux, nous avons la base du groupe de Kioto ; ils contiennent des Coelentérés, des Hydrozoaires, des Spongiaires et des Bivalves. On note

également la présence de petits *Heterastridium* sp dont le diamètre atteint à peine 15 mm (niv. 5). Vers le haut (niv. 6) des calcaires massifs formant paroi montrent à la base des bandes de silex clairs. De ce profil, nous pouvons conclure que les calcaires de Kioto, avec la formation de Para à la base, débutent très haut dans le Trias supérieur, soit au passage Alaun-Sevat, soit dans le Sevat ou « Rhétien » des auteurs.

Le deuxième profil a été relevé dans la partie inférieure des gorges de Nari Narsang à environ 5 km de la confluence avec la Khurna. Il débute par une série calcaire bien litée de plus de 100 m d'épaisseur avec des accumulations régulières d'épaisses coquilles de *Megalodon* et de *Dicerocardium* sp (détermination de M<sup>me</sup> Vegh Neubrandt, Budapest) en bancs de 1 à 2 m d'épaisseur séparés par des barres de calcarénites à stratifications entrecroisées (niv. 1, fig. 8 D). Le niveau 2 montre des dolomies plaquetées à patine brune et gros yeux de calcite claire (stromatactis). Puis viennent des dolomies beiges riches en lits de conglomérats à galets plats (niv. 3). Des fissures et sills remplis d'argiles bauxitiques rouges indiquent des émerisions répétées dans les calcaires sombres du niveau 4 ; ces tendances continentales soulignent le sommet du cycle sédimentaire de la formation de Para.

Les unités de Zalung Karpo et de Khurna montrent en grand le même style structural : de grands plis couchés (hectométriques à kilométriques) sont repris par des plis en chevrons, d'amplitude décamétrique à hectométrique, de plan axial subvertical (2<sup>e</sup> phase), accompagné d'un clivage espacé en éventail. Le métamorphisme semble nettement plus bas dans ces 2 unités que dans les schistes lustrés (groupe de Langtang) sous-jacents.

3) *L'unité de Zumlung*. Elle apparaît sous le chevauchement de l'unité septentrionale de Khurna et elle vient buter vers le Sud-Ouest sur un grand accident chevauchant de direction Nord-Ouest qui passe au Nord de Zangla et qui traverse le fleuve Zanskar en aval de Naemlung [Kelemen *et al.*, sous presse]. Du point de vue structural, nous n'avons pas retrouvé dans cette unité, ni dans celle de Zangla directement au Sud-Ouest, les grands plis couchés de première phase. Par contre, les plis en chevron deviennent déversés vers le Sud-Ouest et leur amplitude maximale augmente. Les grandes structures traversées comprennent deux anticlinaux chevauchants vers le Sud-Ouest et encadrant un vaste synclinal complexe à cœur crétacé.

Deux profils principaux ont été levés. Le premier, dans la haute vallée de Chirche montre le passage aux couches du Crétacé supérieur (calcaires multicolores couches qui étaient inconnues dans le Zanskar oriental (fig. 9 D). Sous le front chevauchant des calcaires de Kioto, viennent des shales silteux noirs

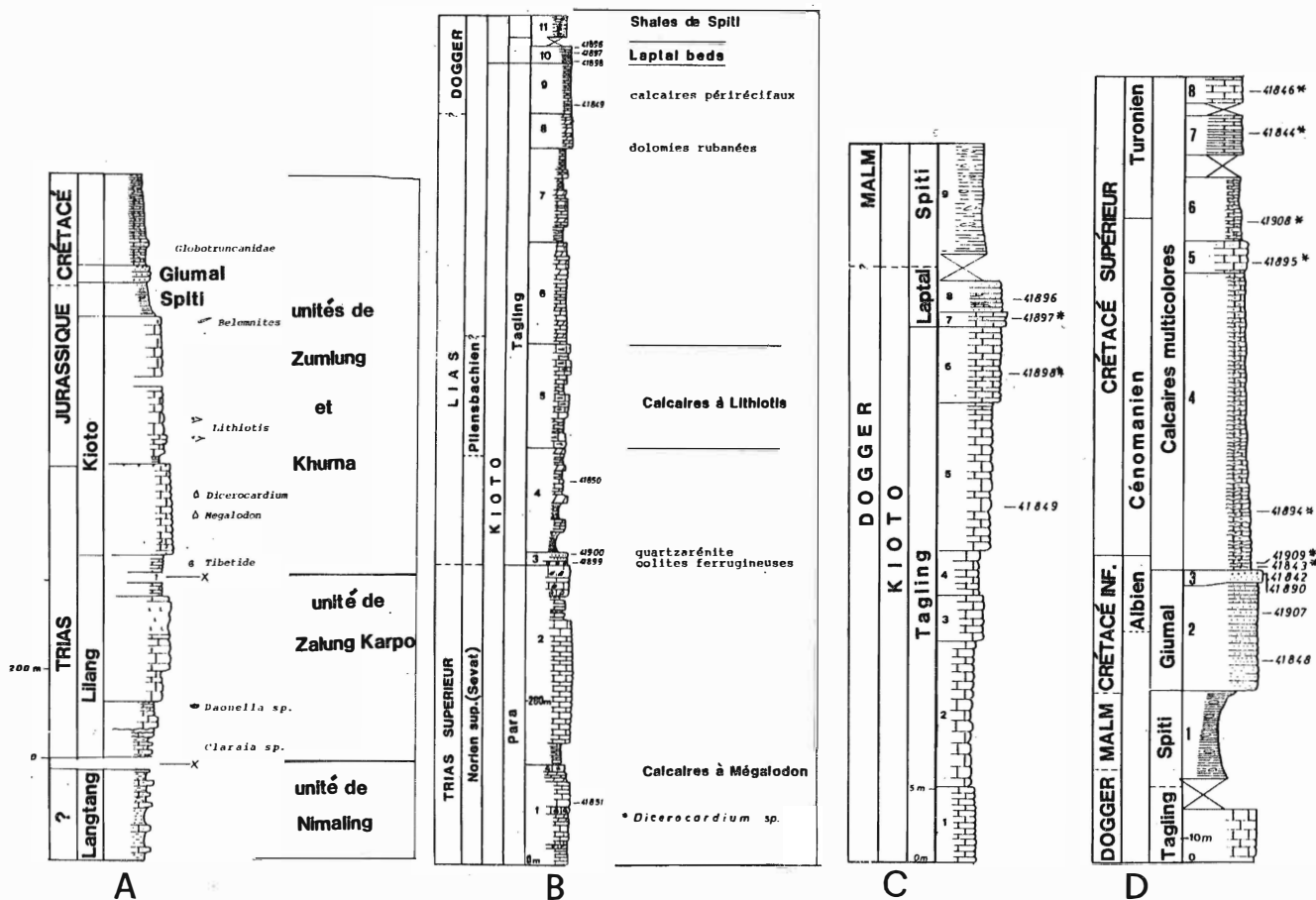


FIG. 9. — Profils stratigraphiques.

A : série stratigraphique reconstituée des nappes du Zanskar ; B : le groupe de Kioto dans les gorges de Zumlung ; C : détail du sommet du groupe de Kioto à l'entrée des gorges de Zumlung ; D : passage des shales de Spiti aux calcaires multicolores dans la haute vallée de Chirche. Légende dans le texte.

FIG. 9. — Stratigraphic sections.

A : reconstructed profile of the Zanskar nappes ; B : Kioto group in the Zumlung gorge ; C : upper part of the Kioto group at the entrance of the Zumlung gorge ; D : Spiti shales to multicoloured limestone section in the upper Chirche valley. Legend in the text.

à nodules carbonatés ; c'est la formation de Spiti du Jurassique supérieur, bien connue dans les séries téthysiennes du versant nord de l'Himalaya. Au-dessus, une quarantaine de mètres de grès quartzitiques et glauconieux (grès de Giupal) en bancs métriques indiquent un profond changement dans la sédimentation. Au sommet, un grès à gros nodules phosphatés noirs a livré une microfaune (éch. 41842) à *Ticinella* ssp. de l'Albien (détermination M. Caron, Fribourg). Ces grès sont surmontés par des calcaires marneux, bioturbés, de couleur rouge, verte ou beige (niv. 4) ; ce sont les calcaires multicolores. Pratiquement tous les échantillons ont livré en lames minces des microfaunes reconnaissables ; elles ont été déterminées très méticuleusement par M. Caron (Fribourg). Le premier banc sur

les grès a livré (éch. 41843) : *Ticinella* ssp., *Schackoina* sp., *Rotalipora ticinensis* (GANDOLFI) et *Rotalipora subticinensis* (GANDOLFI), dans un calcaire micritique bioturbé. Dans un banc voisin, l'échantillon 41909 montre : *Ticinella* sp., *Hedbergella* sp., *Rotalipora appenninica* (RENZ), *Planomalina praebuxtorfi* WONDERS, *Planomalina buxtorfi* (GANDOLFI) et *Rotalipora ticinensis* (GANDOLFI). Ce sont des assemblages de l'Albien supérieur (Vraconien).

A 20 m, nous avons *Rotalipora* cf. *appenninica* ? dans une micrite comportant une microschiostose importante (éch. 41894). A 100 m de la base nous avons noté une récurrence importante de quartz détritiques qui envahissent la boue calcaire ; l'échantillon 41895 a fourni : *Rotalipora appenninica* (RENZ), *R. brotzeni* (SIGAL) et *R. reicheli* MORNOD, ainsi





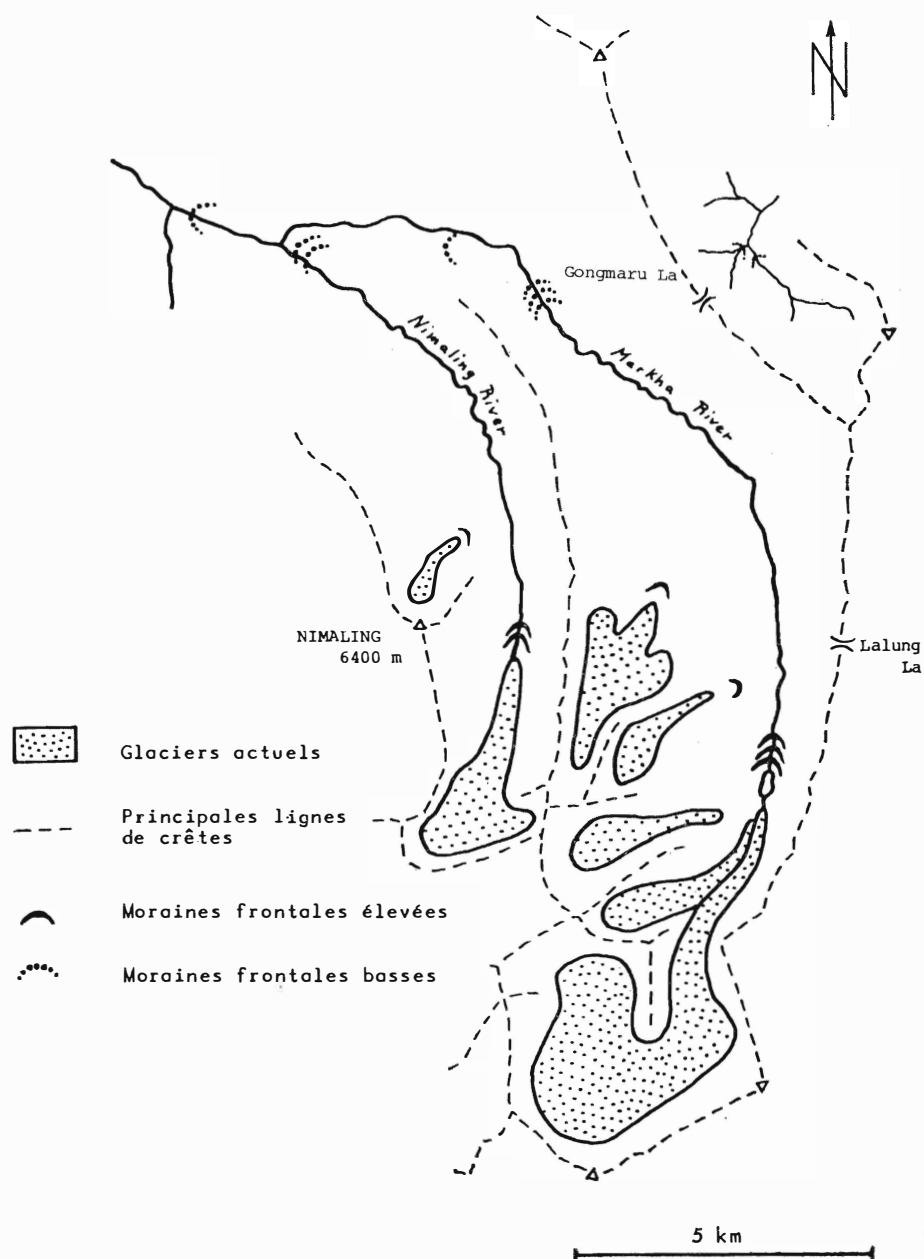


FIG. 10. — Glaciers et moraines au Nord du massif de Nimaling (haute vallée de la Markha).

FIG. 10. — *Glaciers and moraines North of the Nimaling massif (upper Markha valley).*

3) *Le cristallin du Haut Himalaya*. Il a fait l'objet de plusieurs publications récentes [bibliogr. in Honegger *et al.*, sous presse] et nous ne le traiterons pas ici.

#### LE QUATERNAIRE DE LA VALLÉE DE LA MARKHA.

1) *Les stades glaciaires de la région du Nimaling*. Le Nimaling (6 400 m) domine à l'Est un vaste

*Bull. Soc. géol. Fr.*, 1982, n° 2

*Bull. Soc. géol. Fr.*, 1982, n° 2

pâturage d'altitude traversé par deux vallées principales, ayant toutes deux une orientation Sud-Nord en amont et Est-Ouest peu avant leur confluence au Nord du sommet. Ces deux vallées ont un profil transversal évasé en auge qui contraste fortement avec celui, encaissé, de la vallée de la Markha moyenne et inférieure. Leurs versants sont recouverts d'une épaisse moraine riche en blocs allochtones. Nous appellerons « Haute-Vallée de la Markha » la plus orientale, et vallée du Nimaling celle qui longe le versant est du sommet.

La partie amont de ces vallées est occupée par des glaciers dont les limites inférieures des langues s'échelonnent entre 5 200 et 5 500 m. Deux séries principales de moraines frontales marquant un stade glaciaire ont été observées (voir fig. 10).

La première est assez proche des limites inférieures actuelles des langues. La seconde est distante de plus de 6 km du front actuel. Elle se subdivise en deux stades distants d'environ 2 km l'un de l'autre. En aval de ces vallums, aucun dépôt franchement morainique n'a été observé [Fort, sous presse].

Le tableau I suivant résume l'ensemble des observations d'altitude et de distance :

-	Haute-vallée de la Markha		Vallée du Nimaling	
	Altitude ± 50m	Distance front- stade ± 0,5 km	Altitude ± 50m	Distance front- stade ± 0,5 km
Limite inférieure des glaciers actuels	5200	---	5250	---
Stade des moraines élevées	5150	1	5200	0,5
Stade amont des moraines basses	4780	10	4300	7
Stade aval des moraines basses	4600	12	4200	9

Aucun élément de datation n'étant disponible, l'âge de ces différents stades est difficile à préciser. La seule ressource est de tenter de corréler les données locales avec celles des Alpes. C'est une entreprise évidemment hasardeuse au vu de l'éloignement de ces régions d'étude et de la différence considérable de climat.

Le stade des moraines basses peut correspondre à la glaciation würmienne puisqu'il représente un maximum d'extension. Cette dernière semble peu étendue pour une glaciation d'une telle ampleur, mais la région du Zanskar septentrional jouit d'un climat extrêmement sec peu favorable aux grosses accumulations glaciaires.

Il se peut toutefois que d'éventuels dépôts morai-

niques plus anciens et d'extension plus importante aient été déjà totalement érodés lors de la fin du Würm. Le stade des moraines basses correspondrait dans ce cas à l'une des périodes froides du tardi-glaciaire (Dryas).

2) *Les terrasses de la Markha moyenne et inférieure.* Les premières terrasses se rencontrent tout de suite en aval des derniers arcs morainiques. Elles tapissent dès lors plus ou moins régulièrement les versants de la vallée jusqu'à sa confluence avec le Zanskar. Trois niveaux différents sont généralement observables :

— une terrasse ancienne (T 1) portant à sa surface des galets qui présentent souvent une patine désertique, et dominant le lit actuel de la Markha de 100 à 250 m ;

— une terrasse plus récente (T 2) dont la surface supérieure se situe entre 10 et 50 m au-dessus du lit ;

— enfin une terrasse subactuelle (T 3) d'une hauteur variant entre 1 et 5 m, qui est d'ailleurs présente également dans la haute vallée et qui correspond souvent au lit majeur de la rivière.

De façon générale, l'importance et la hauteur de chacune de ces terrasses s'accroissent au fur et à mesure que l'on descend la vallée jusqu'à Markha

(chef-lieu). A partir de cette localité, elles deviennent plus rares. L'érosion les entame fortement, emportant la partie supérieure qu'il est ainsi impossible de repérer. A Skio, il n'y a plus de traces de T 1 et il ne subsiste que quelques fantômes de T 2 (tabl. II).

Lieu / dist*	Ranka/37	Markha/25	Chalko/13	Skio/6
Hauteur T1	100	245	> 200	---
Hauteur T2	10	45	> 30	> 20
Hauteur T3	1	5	4	5

\* Distance en km à partir de la confluence avec le Zanskar

Ces terrasses sont constituées essentiellement par des graviers anguleux à matrice sablo-limoneuse. Des niveaux de sables et de limons sont parfois rencontrés. La composition pétrographique reflète presque toujours celle des roches environnantes. Le matériel a donc subi un transport relativement peu important. Ces terrasses se présentent d'ailleurs souvent sous forme de cônes de déjection tronqués en liaison avec les accumulations horizontales plus fluviales de la vallée principale.

Quelques prélèvements de matériaux fins ont été effectués. L'analyse pollinique de ces échantillons a montré qu'ils étaient totalement stériles. Une datation par les pollens est donc à exclure.

Les relations de ces terrasses avec les moraines de la Haute-Vallée n'ont pu être observées. Deux remarques peuvent cependant être faites : — T 3 est postérieure au dépôt des moraines basses puisqu'elle est présente à l'intérieur des limites morainiques ; — les premiers dépôts de T 2 sont visibles immédiatement après les moraines frontales les plus avancées. Ils sont donc probablement plus anciens ou tout au moins contemporains.

La vallée de la Markha montre un exemple typique de terrasses alluviales emboîtées résultant d'une alternance de phases de dépôt courtes et de périodes d'érosions longues. Ce dernier facteur domine nettement. Il peut être attribué à deux causes : — un soulèvement général relativement récent de la région. La pente de la rivière augmente, ainsi que son pouvoir érosif. Ce mouvement tectonique a dû ou doit être important puisque l'on observe une grande différence d'altitude entre T 1 et le lit actuel ; — une évolution climatique favorisant l'installation d'une couverture végétale dans les pâturages d'altitude. Ces derniers soustraient ainsi une partie de la charge potentielle de la rivière.

#### CONCLUSIONS.

La zone de suture de l'Indus, zone du contact Gondwana - péri-Gondwana, a fait l'objet de nombreuses recherches au cours de ces dernières années ; cependant, celles-ci se sont concentrées soit à l'Ouest du fleuve Zanskar, soit le long de la route Kargil-Leh et Leh-Manali, soit plus à l'Est encore dans la province de Rupshu et la haute vallée de l'Indus. Le secteur où nous avons travaillé forme un lien entre ces diverses régions et se trouvait peu exploré. C'est ce qui nous a permis de faire quelques découvertes et de proposer de nouvelles interprétations et corrélations, mais cela nous a aussi amené à buter sur de nombreuses questions qui concernent d'abord un manque de datations. En dégagant maintenant quelques faits significatifs que nous avons apportés, nous pouvons affirmer :

— les flyschs et molasses charriés, appartenant au bloc péri-gondwanien, forment un édifice complexe d'unités lithologiques variées, chevauchant vers le Nord-Ouest sur la molasse autochtone ou directement sur le batholite transhimalayen ;

— l'unité de Dras-Nindam disparaît dans la vallée de la Markha où elle se pince progressivement entre deux accidents subverticaux ; elle est intimement associée dans ce secteur à des mélanges colorés riches en brèches volcaniques ;

— l'unité de Lamayuru (flysch à lentilles triasico-liasiques) est continue depuis la vallée de la Dras à l'Ouest jusqu'au moins à la vallée de Gya à l'Est, en passant par la vallée de la Markha où nous l'avons mise en évidence ;

— le cristallin de Tso Morari (Northern Crystalline), extrémité septentrionale du bloc gondwanien, disparaît au Nord-Ouest dans le massif de Nimaling ; l'enveloppe sédimentaire de ce massif, de faciès schistes lustrés et d'âge inconnu, se poursuit vers l'Ouest jusqu'au fleuve Zanskar ; elle supporte au Sud-Ouest les séries mésozoïques téthysiennes et elle s'enracine au Nord-Est verticalement, dans la vallée de la Markha ;

— les structures et microstructures observées dans cette vallée suggèrent d'importants mouvements coulissants tardifs ;

— nous corrélons les nappes du Zanskar avec l'unité Zanskar-Shillakong de Bassoulet *et al.* [1981] ; du point de vue structural, ces nappes sont caractérisées par des grands plis couchés qui s'atténuent vers le Sud-Ouest et qui sont repris par une deuxième phase de plis en chevron ;

— les nappes du Haut Himalaya forment un ensemble structural et métamorphique distinct.

Ces quelques affirmations font ressortir la complexité du contact Gondwana - péri-Gondwana dans le Zanskar oriental. Une approche de la cinématique nécessitera encore de très nombreuses recherches dans ce secteur crucial.

*Remerciements.* Notre expédition a été rendue possible grâce à la Fondation Herbette à qui nous témoignons notre reconnaissance pour son subside très généreux. Nous remercions le professeur A. Gansser et le professeur V. J. Gupta pour leur aide et encouragements. Nos vifs remerciements vont aux paléontologues et micropaléontologues qui nous ont apporté leur aide précieuse pour toutes les déterminations et recherches sur le matériel que nous avons échantillonné : Dr M. Caron (Fribourg), Dr. B. Gruber (Linz), Dr A. Nicora (Milano), Dr M. Septfontaine (Rabat), Dr F. Tatzreiter (Wien), Dr. T. Tozer (Ottawa), Prof. Dr Vegh Neubrandt (Budapest), Dr R. Wernli (Genève). Nous remercions également les membres de l'expédition qui nous ont soutenus, C. Bugnon et D. Meyer, ainsi que nos amis ladakhis et népalais qui nous ont accompagnés tout au long

de notre périple. Le Dr K. Honegger et le Dr P. Kelemen nous ont communiqué les résultats de leurs travaux de terrain ainsi que des manuscrits sous presse, durant la rédaction de ce travail ; nous leur en sommes très reconnaissants. Nous remercions enfin nos amis de Milan et de Paris, particulièrement Maurizio Gaetani et Jean Marcoux pour les discus-

sions stimulantes sur la géologie de l'Himalaya et l'échange d'informations.

1. Nous tenons compte dans ce chapitre des nouveaux résultats obtenus lors d'une reconnaissance géologique (été 1981) effectuée par l'un de nous (A. B.) en compagnie de M. Gaetani, E. Fois, D. Garzanti, A. Nicora et A. Tintori de l'Université de Milano, résultats qui sont résumés dans Baud *et al.* [1982].

## Bibliographie

- ANDRIEUX J., BRUNEL M. et SHAH S. K. (1977). — La suture de l'Indus au Ladakh (Inde). *C. R. Ac. Sc.*, Paris, t. 284, D, p. 2327-2330.
- BASSOULLET J. P., COLCHEN M., MARCOUX J. et MASCLE G. (1978 a). — Une transversale de la zone de l'Indus de Khalsi à Photaksar, Himalaya du Ladakh. *C. R. Ac. Sc.*, Paris, t. 286, D, p. 563-566.
- BASSOULLET J. P., BELLIER J. P., COLCHEN M., MARCOUX J. et MASCLE G. (1978 b). — Découverte du Crétacé supérieur calcaire à faciès pélagique dans le Zaskar (Himalaya du Ladakh). *Bull. Soc. géol. France*, (7), t. XX, p. 964-968.
- BASSOULLET J. P., COLCHEN M., JUTEAU TH., MARCOUX J. et MASCLE G. (1980). — L'édifice des nappes du Zaskar (Ladakh-Himalaya). *C. R. Ac. Sc.*, Paris, t. 290, D, p. 389-392.
- BASSOULLET J. P., COLCHEN M., MARCOUX J. et MASCLE G. (1980). — Les masses calcaires du flysch Triasico-Jurassique de Lamayuru (zone de la suture de l'Indus, Himalaya du Ladakh) : klippe sédimentaires et éléments de plate-forme remaniés. *Riv. Ital. Paleont. Stratigr.*, 86/4, p. 825-844.
- BASSOULLET J. P., COLCHEN M., JUTEAU T., MARCOUX J., MASCLE G. et REIBEL G. (sous presse). — Geological studies in the Indus suture zone of Ladakh (Himalaya). *In* : Stratigraphy and Structure of Kashmir and Ladakh Himalaya. V. J. GUPTA édit. Dehli, Hind. Publ. Co.
- BAUD A., ARN R., BUGNON P., CRISINEL A., DOLIVO E., ESCHER A., HAMMERSCHLAG J.-G., MARTHALER M., MASSON H., STECK A. et TIÈCHE J. C. (sous presse). — Geological observations in the Eastern Zaskar Area, Ladakh (Himalaya). *In* : Stratigraphy and structure of Kashmir and Ladakh, Himalaya. V. J. GUPTA édit. Dehli, Hind. Publ. Co.
- BAUD A., GAETANI M., FOIS E., GARZANTI D., NICORA A. et TINTORI A. (1982). — Lesséries tibétaines de l'Himalaya sont-elles allochtones : nouvelles observations dans le Zaskar oriental (Inde du N). IX<sup>e</sup> Réun. Ann. Sc. Terre, Paris. Livre en dépôt à la S.G.F.
- BERTHELSEN A. (1953). — On the Geology of the Rupshu District NW Himalaya. *Medd. dansk geol. Foren.*, 12/3, p. 360-414.
- COLCHEN M. (1977). — Sur le flysch et la molasse de l'Indus, Himalaya du Ladakh. V<sup>e</sup> Réun. Ann. Sc. Terre, Rennes, p. 160. Livre en dépôt à la S.G.F.
- DAINELLI G. (1933-34). — La serie dei Terreni, I and II. *Sped. ital. De Filippi nell'Himalaya. Caracorum e Turchestan cinese (1913-1914)*, II/2. Bologna, Zanichelli, 1 096 p.
- DE TERRA H. (1935). — Geological studies in the North-West Himalaya between the Kashmir and Indus Valleys. *Mem. Connecticut Acad. Arts. Sc.*, 8, p. 18-76.
- FOSSA MANCINI E. (1928). — Fossili Eocenici del Ladakh. Relazioni scientifiche della Spedizione italiana De Filippi, nell'Himalaya, Caracorum e Turchestan cinese (1913-1914), sér. II, vol. 6, p. 225-331, Bologna.
- FORT M. (sous presse). — Geomorphological observations in the Ladakh area (Himalayas) : Quaternary evolution and present dynamics. *In* : Stratigraphy and structure of Kashmir and Ladakh Himalaya. V. J. GUPTA édit. Dehli, Hind. Publ. Co.
- FRANK W., GANSSER A. et TROMMSDORFF V. (1977). — Geological observations in the Ladakh area (Himalayas). A preliminary Report. *Schweiz. mineral. petrogr. Mitt.*, 57, p. 89-113.
- FUCHS G. (1977). — Traverse of Zaskar, from the Indus to the valley of Kashmir. A preliminary note. *Jb. Geol. B-A Vienne*, 120 (2), p. 219-229.
- FUCHS G. (1979). — On the Geology of Western Ladakh. *Jb. Geol. B-A Vienne*, B. 122, (2), p. 513-540.
- GAETANI M., NICORA A. et PREMOLI SILVA I. (1980). — Uppermost Cretaceous and Palaeocene in the Zaskar Range (Ladakh Himalaya). *Riv. Ital. Paleont. Stratigr.*, 86/1, p. 127-166.
- GANSSER A. (1977). — The great Suture Zone between Himalaya and Tibet. A preliminary account. *Coll. Internation. C.N.R.S. n° 268, Écologie et Géol. de l'Himalaya*, Paris, p. 181-191.
- GANSSER A. (1980). — The significance of the Himalayan suture zone. *Tectonophysics*, 62, p. 37-52.
- GEYER O. F. (1977). — Die « Lithiotis-Kalke » im Bereich der unterjurassischen Tethys. *N. Jb. Geol. Palaönt. Abh.*, Bd. 153/3, p. 304-340.
- GUPTA V. J. (1976). — Zur Stratigraphie des Kiotokalkes (Obere Trias Unterer Jura) des Himalaya. *Sitz. mathem.-naturw. Kl., Oester. Akad. Wissensch.*, Abt. 1, 185. Bd. H. 7-10, p. 113-123, Wien.
- GUPTA V. J., GAUTAM MAHAJAN S., KUMAR D. K., CHADRA P. C., BISARIA N. S., VIRDI N., KICHAR N. et KASHYAP S. P. (1970). — Stratigraphy along the Manali-Leh road. *Publ. Cent. Adv. Stud. Geol. Panjab Univ., Chandigarh*, 7, p. 77-84.
- GUPTA V. J. et KUMAR S. (1975). — Geology of Ladakh, Lahaul and Spiti regions of Himalaya with special reference to the stratigraphic position of flysch deposits. *Geol. Rdsch.*, 64, p. 540-563.
- HAYDEN H. H. (1904). — The Geology of Spiti, with part of Bashahr and Rupshu. *Mem. G.S.I.*, 36, (1), p. 1-129, Calcutta.
- HONEGGER K., DIETRICH V. J., FRANK W., GANSSER A., THÖNI M. et TROMMSDORFF V. (1982). — Magmatism and Metamorphism in the Ladakh Himalaya. *Earth Planet. Sc.* (sous presse).

- KELEMEN B. et SONNENFELD M. D. (sous presse). — Observations on stratigraphy, structure, petrology and tectonics from Traverses in Central Ladakh and Zanskar. *Bull. Suisse Minér. Petr.*
- LYDEKKER R. (1880). — Geology of Ladakh and neighbouring Districts. *Rec. Geol. Surv. India*, vol. 13/1, p. 26-59, Calcutta.
- LYDEKKER R. (1883). — The Geology of the Kashmir and Chamba territories and the British District of Khan-gan. *Mem. Geol. Surv. Ind.*, 22, p. 108-112.
- McMAHON C. A. (1886). — On the microscopic characters of some eruptive rocks from the central Himalaya. *Rec. Geol. Surv. India*, vol. XIX/2, p. 115-119, Calcutta.
- McMAHON C. A. (1901). — Petrological notes on some peridotites serpentinites gabbros and associated rocks from Ladakh, Northwest Himalaya. *Mem. Geol. Surv. Ind.*, 21, pt. 3, p. 303-329.
- METZELTIN S. et NICORA A. (1977). — A new Eocene outcrop from Zanskar range, Himalaya. *Riv. Ital. Paleont., Stratigr.* Milan, vol. 83, n° 4, p. 803-824.
- NANDA M. M. (1978). — On the volcanics of the Zanskar valley, Ladakh, J & K. *Rec. Geol. Surv. India*, vol. 110/2, p. 194-202, Calcutta.
- NANDA M. M. et SINGH M. P. (1977). — Stratigraphy and sedimentation of the Zanskar area, Ladakh and adjoining parts of the Lahul region of Himachal Pradesh. *Himalayan Geology*, vol. 6, p. 367-388.
- PAL D., SRIVASTAVA R. A. K. et MATHUR N. S. (1977). — Tectonic framework of the miogeosynclinal sedimentation in the Ladakh Himalaya, a critical analysis. *Himalayan Geology*, vol. 7, p. 500-523.
- SAH S. C. D. (1980). — Contributions to geodynamic research in the Himalaya. *Tectonophysics*, 62/1, p. 121-126.
- SHARMA K. K. et KUMAR S. (1979). — Contribution to the geology of Ladakh, North Western Himalaya. *Himalayan Geology*, vol. 9, p. 252-287.
- SRIKANTIA S. V. et BHARGAVA O. N. (1978). — The Indus tectonic belt of Ladakh Himalaya : its geology, significance and evolution. Tectonic geology of the Himalaya, Sklani édit., p. 43-62, New Dehli.
- SRIKANTIA S. V. et RAZDAN M. L. (1980). — The ophiolite-sedimentary belt of the Indus tectonic zone of the Ladakh Himalaya. Its stratigraphic and tectonic significance. Ophiolites : proceedings of international Ophiolite Symposium, Cyprus, p. 430-443.
- STERNE E. J. (1979). — Report on geological traverses across the Indus-Tsangpo suture zone in Ladakh, Northern India. Unpublished Thesis, Harvard University, Cambridge, U.S.A.
- STOLICZKA A. (1866). — Summary of the geological observations during a visit to the provinces Rupshu Karnag, South Ladakh, Zanskar, Sumdo and Dras of western Tibet. *Mem. Geol. Surv. Ind.*, 5, pt. 5, p. 337-354.