

LES SERIES DETRITIQUES DU BASSIN DE L'INDUS AU LADAKH: NOUVELLES DONNEES STRATIGRAPHIQUES ET STRUCTURALES

THIERRY VAN-HAVER (1), JEAN-PAUL BASSOULLET (2),
ALPHONSE BLONDEAU (3) & GEORGES MASCLE (1)

Key-words: Indus basin, detritic formations, Cretaceous-Tertiary, stratigraphy, tectonic, Indus suture, Ladakh, Himalaya.

Abstract. The study of the Indus detritic series in the western part of the Indus basin, between Khalsi and the Zaskar river allows us to distinguish various lithostratigraphic units. New datations have been obtained in several sedimentary horizons. Marine deposits ceased at the end of early Eocene (Ilerdian-Cuisian) time; detritical series is mainly continental in feature and younger than early Eocene in age. The Indus formations are folded in a large dissymmetric north vergent synclinorium of N 120 orientation; numerous folds and reverse faults are observed. The deformation and the epimetamorphism increase southward close to the northward thrusting of the Indus flysch nappes against the Indus detritics. Two main tectonic phases have been observed.

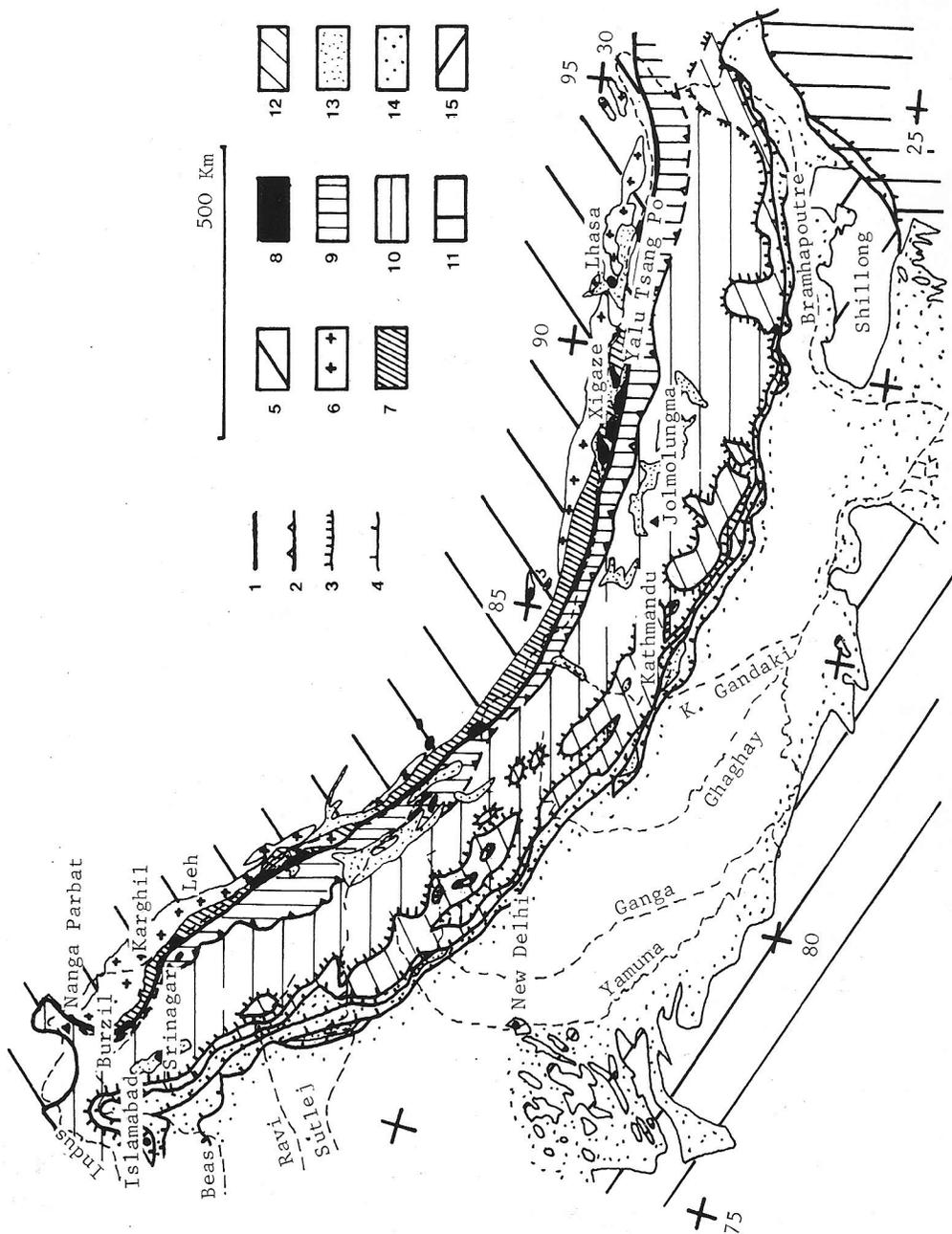
Riassunto. Lo studio della parte occidentale del bacino dell'Indo tra Khalsi e il fiume Zaskar ha permesso di distinguere e caratterizzare diverse unità litostratigrafiche all'interno delle serie detritiche dell'Indo e di precisarne l'età con nuovi ritrovamenti paleontologici. Mentre depositi marini sono documentati fino alla fine dell'Eocene Inferiore (Ilerdiano-Cuisiano), la maggior parte delle serie detritiche risulta essere di età più recente e di facies continentale.

Le Serie dell'Indo formano un largo sinclinorio asimmetrico vergente a nord (asse orientato N 120) e complicato da numerose pieghe e faglie compressive. La deformazione e l'epimetamorfismo sono più intensi sul fianco meridionale della struttura, in corrispondenza dell'accavallamento delle falde di flysch sopra le Serie dell'Indo. Due principali fasi tettoniche vengono messe in luce.

La suture Indus-Yalu Tsang Po représente l'une des zones de discontinuité majeure de la chaîne himalayenne (Gansser, 1964). Elle s'étend (Fig. 1) sur près de 2000 km depuis le Nanga Parbat à l'Ouest, jusqu'au Namché Barwa à l'Est; elle sépare le véritable Tibet au Nord, des unités himalayennes au Sud. A l'Ouest du Nanga Parbat, elle se raccorde progressivement à la suture de Khost-Loralai-Bela (Afghanistan et Pakistan) (Bassoullet et al., 1980); à

l'Est elle se poursuit, au delà de la zone de fracture de Mishmi, par la suture d'Arakan-Chin en Birmanie (in Bassoullet et al., 1980 et Gansser, 1980).

Outre un chapelet d'affleurements ophiolitiques échelonnés tout au long de son tracé, sa caractéristique principale est de montrer un bassin, étroit et



très allongé, rempli de formations détritiques attribuées pour l'essentiel au Crétacé (Academy of Geological Sciences of China, 1975), mais où l'on connaît cependant des termes tertiaires depuis fort longtemps (Lydekker, 1883; Dainelli, 1933–34). Ces séries détritiques s'appuient, au Nord, sur la ceinture granitique du Ladakh–Kangdese qui forme la bordure méridionale du Tibet; elles sont limitées, au Sud, par un contact tectonique jalonné d'ophiolites.

Depuis quelques années les études ont repris, tant au Ladakh qu'en Chine, et les auteurs ont été amenés à distinguer diverses unités sédimentaires, à faciès molassiques et flyschoïdes, dont les rapports stratigraphiques et structuraux sont l'objet de discussions. Pour certains (Gansser, 1977; Sterne, 1979; Baud et al., 1982) existeraient un ensemble molassique, transgressif sur la ceinture granitique, et un ensemble essentiellement flyschoïde et molassique, (Sterne, Baud et al.), charrié sur le précédent. Pour d'autres (Colchen, 1977; Bassoullet et al., 1978, 1980, 1982; Skrikantia & Razdan, 1980) existerait un seul bassin détritique flyschoïde à l'Est et molassique à l'Ouest (Colchen), transgressif sur la ceinture granitique et localement écaillé (Bassoullet et al.).

L'accord n'existe pas davantage en ce qui concerne la bordure sud du bassin où les calcaires à Orbitolinidés sont tantôt rattachés au bassin (Bassoullet et al., 1978, 1982), tantôt séparés de celui-ci par un contact tectonique majeur (Fuchs, 1977, 1979; Sterne, 1979; Skrikantia & Razdan, 1980).

D'autre part, l'âge attribué à ces séries est très variable: Crétacé supérieur à Eocène (Lydekker, 1883; Dainelli, 1933–34; Bassoullet et al., 1978, 1982), Crétacé supérieur à Miocène (Skrikantia & Razdan, 1980).

Enfin, les données anciennes se heurtent parfois à des impossibilités géométriques; ainsi Dainelli (1933–34) figure-t-il en continuité des niveaux attribués au Crétacé qui doivent être considérés comme renversés sous un Eocène en série normale.

En Chine, ces séries forment le groupe de Xigaze et sont attribuées au Crétacé supérieur (Academica Sinica, 1980).

Une analyse détaillée a été entreprise par l'un de nous (T.VH) au Ladakh sur plusieurs coupes qui viennent compléter des observations antérieures (Bassoullet et al., 1982; Van–Haver et al., 1983).

Fig. 1 – Situation de la région étudiée.

- 1) Suture de l'Indus Tsangpo; 2) Front des nappes de l'Indus; 3) Main Central thrust zone (M.C.T.); 4) Main Boundary thrust zone (M.B.T.); 5) Sud Tibet; 6) Ceinture granitique Ladakh–Kangdese; 7) Séries détritiques de l'Indus–Xigaze; 8) Nappes ophiolitiques; 9) Nappes de l'Indus (flyschs, unités carbonatées et socles internes); 10) Séries du Haut Himalaya («dalle du Tibet» et Paléozoïque à Eocène du «Tibet ou Téthys Himalaya»); 11) Unités birmanes; 12) Séries du Moyen pays (et Salt Range); 13) Plio–Quaternaire des bassins intramontagneux; 14) Quaternaire de la dépression gangétique; 15) Inde péninsulaire (socle précambrien et séries sédimentaires carbonifère à éocène).

Les ensembles lithostratigraphiques de la partie méridionale du bassin de l'Indus au Ladakh.

Plusieurs coupes ont été effectuées sur la bordure méridionale du bassin entre les vallées de Zanskar à l'Est et de Yapola à l'Ouest.

1) Coupe de Khalsi—Hangru (Bassoullet et al., 1982).

Cette coupe se situe en rive gauche de l'Indus au niveau du confluent de la Yapola et de l'Indus, le long de la route Srinagar—Leh (Fig. 2), du Sud au Nord la succession est la suivante:

A) 10 m d'alternances de calcaires noirs en bancs pluridécimétriques, intercalés de minces lits de shales, les calcaires contiennent des Orbitolines (détermination de E. Fourcade) et des débris de Mollusques; les microfaciès montrent soit les biomicrites à Foraminifères, Algues, Mollusques et spicules de Porifères (*Orbitolina (Mesorbitolina) gr. texana* Douglas; *Orbitolina (Mesorbitolina) subconca* Leymerie; *Orbitolina (Mesorbitolina) parva* Douglas; «*Cuneolina*» *scarsellai* De Castro; *Nezzazata* sp., *Ammobaculites* sp.; *Lithocodium aggregatum* Elliot; *Ethelia alba* (Pfender); *Boueina* sp.) soit des biomicrosparites associées à des sables calcarénitiques grossiers, soit encore des biomicrites à Algues dominantes (*Lithocodium aggregatum* Elliot et *Solenopora* cf. *melobesoides* Pfender) et Orbitolines; les lits de shales montrent de fines intercalations de microbrèches à débris d'organismes (Orbitolines et bioclastes), feldspaths et fragments de roches microlitiques et ciment chloritique et calcitique; les associations indiquent un âge Aptien inférieur à Albien.

B) 14 m d'alternance de shales gréseux gris vert, de lits de grès fins verdâtres et de shales silteux, intercalés de deux niveaux calcaires épais de 0,60 m et 1,80 m.

C) 5 m de calcaires massifs, bréchiques, avec interlits de shales; les brèches montrent des lithoclastes calcaires (biosparites à Orbitolines et Algues) (*Lithocodium aggregatum* Elliot; *Triploporella* cf. *fraasi* Steinmann; *Ethelia alba* (Pfender) et des fragments de Rudistes.

D) 3 m de conglomérats polygéniques à galets calcaires et volcaniques; la matrice péliro-argileuse est de teinte verte.

E) 5 m d'alternances de shales sombres et de lits et lentilles de brèches calcaires; au sommet un banc massif de brèches calcaires (3 m) montre des Rudistes (*Radiolitinae*).

F) Quelques dizaines de mètres de conglomérats massifs, à galets centimétriques, voire décimétriques, de quartz blanc, rhyolites, andésites, tufs volcaniques, granodiorites et gabbros; le ciment est gréseux.

Les terrasses de l'Indus masquent les niveaux supérieurs. Cette coupe montre des indications de démantèlement d'une plate—forme carbonatée et de son envahissement progressif par un matériel détritique, essentiellement issu du batholite transhimalayen, donc du nord.

2) Coupe de Khalsi—Est.

Cette coupe est située 2,5 km à l'Est du village de Khalsi (Fig. 2); là une barre calcaire traverse l'Indus et est recoupée par la route Khalsi—Leh.

A) Du Sud au Nord on distingue: quelques mètres (12 m) de calcaires noirs fins en petits bancs à *Hedbergella* sp.

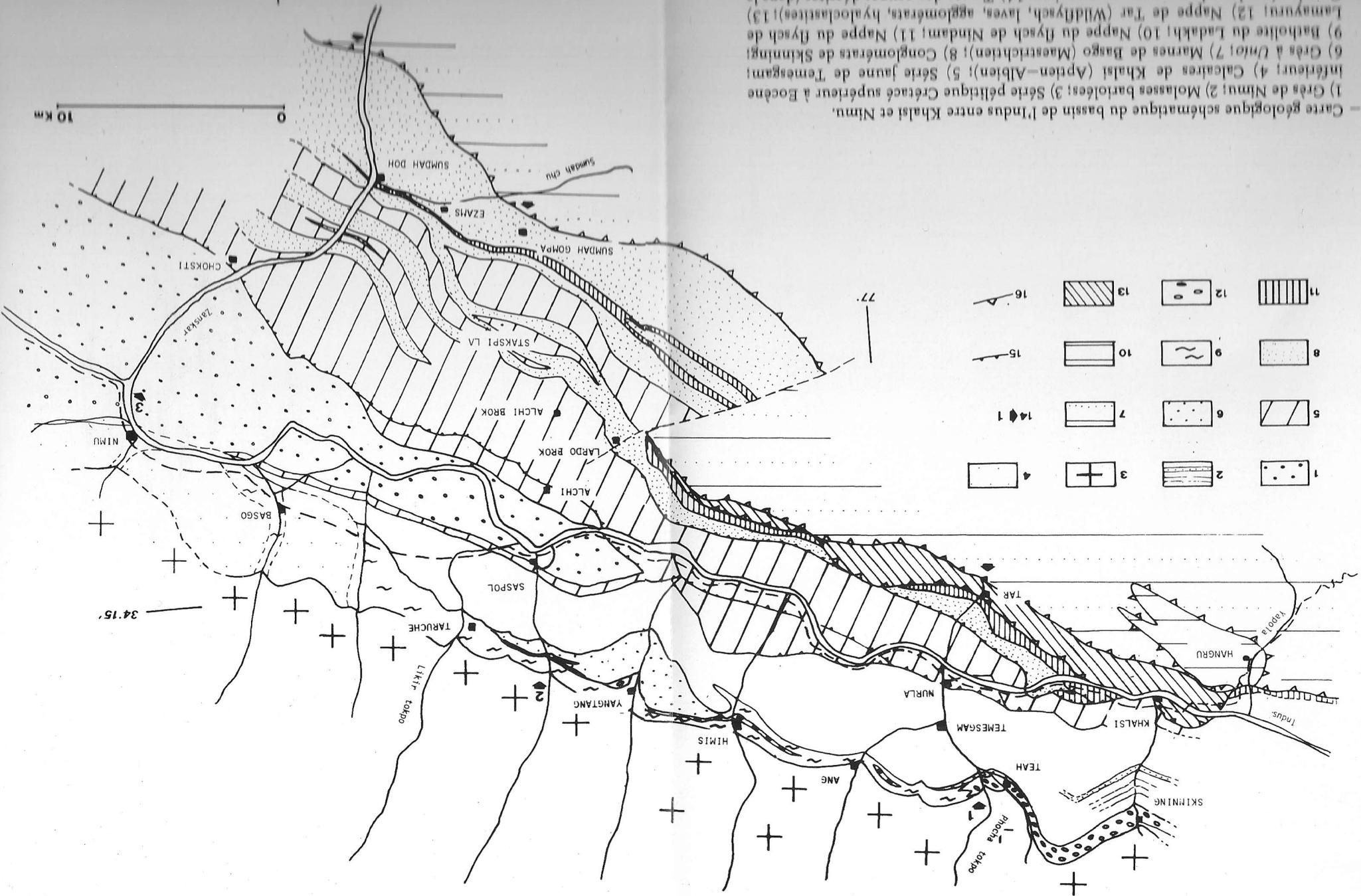


Fig. 2 - Carte géologique schématique du bassin de l'Indus entre Khalasi et Nimu.
 1) Grès de Nimu; 2) Molasses barloises; 3) Série péliitique Crétacé supérieur à Eocène inférieur; 4) Calcaires de Khalasi (Apten-Albien); 5) Série jaune de Temesgam; 6) Grès à Uhol; 7) Marnes de Basgo (Maestrichtien); 8) Conglomérats de Skinning; 9) Barholite du Ladakh; 10) Nappe du flysch de Nindam; 11) Nappe du flysch de Lamayuru; 12) Nappe de Tar (Wildflysch, laves, agglomérats, hyaloclastites); 13) Grandes étendues de terrasses quaternaires; 14) Traces des coupes décrites (dans le texte et Fig. 3); 15) Contact tectonique à l'intérieur d'une même unité; 16) Contact tectonique séparant des unités différentes.

B) 5 m de calcaires bleutés massifs à débris de Rudistes, à bioclastes abondants, *Orbitolina* sp., *Favusella washitensis* Carsey.

C) 1 m de calcaires détritiques à stratifications obliques.

D) 8 m de calcaires massifs, identiques à B, à débris de Rudistes.

E) 2 m de calcaires détritiques, comme C, à nombreuses Orbitolines.

F) 20 m de calcaires massifs bleutés à Rudistes, Chaetetidés et nombreux bioclastes; J. Philip a déterminé *Sphaerulites* sp. cf. *cantabricus* Douvillé datant l'Aptien—Albien.

G) 3 m de calcaires gréseux gris à stratifications obliques, riches en Orbitolinidés.

H) Une épaisse masse de calcaires mylonitisés. Cette coupe est interrompue par un contact tectonique qui sépare l'ensemble calcaire, de pélites rouges et vertes à lits de grès, dites molasses bariolées.

Des éboulis provenant des niveaux F et G ont fourni *Orbitolina* (*Mesorbitolina*) *subconcava* Leymerie (sensu Schroeder); *Orbitolina* (*Mesorbitolina*) *texana* Douglas (dét. E. Fourcade) et *Polyconites* sp., *Eoradiolites* sp. cf. *gilgitsensis* Douvillé (dét. J. Philip).

Ces niveaux avaient antérieurement été rapportés successivement à l'Eocène par Lydekker (1883) qui ne les avait pas distingués des calcaires à Nummulites du Zanskar, puis au Sénonien par Dainelli (1933—34) sur la foi de détermination de Rudistes effectuées par Parona (1928).

3) Coupe de Tar.

Cette coupe est située immédiatement au Nord du village de Tar (Fig. 2 et 3) dans la vallée d'un torrent de rive gauche de l'Indus face à Nurlà; elle montre une série renversée comportant de haut en bas:

A) 250 m de calcaires massifs gris sombre à patine orangée, à rognons de silex et nombreux débris bioclastiques de Rudistes, Nérinées et Orbitolines; A. Arnaud—Vanneau y a déterminé *Preorbitolina* sp. et *Palorbitolina lenticularis* (Blumenbach) datant donc le Bédoulien; ces calcaires sont la continuité vers l'Est de ceux de Khalsi, continuité particulièrement nette sur les enregistrements Landsat (Fig. 4).

B) 80 m d'alternances de pélites verdâtres et de grès plus ou moins conglomératiques en lits minces *en contact stratigraphique* avec les calcaires précédents (Fig. 5); la base montre un très mince banc lenticulaire de grès mal indurés, riche en Belemnites roulées et condensées dans des poches; à leur sommet, ces pélites ont fourni dans un petit banc de calcarenites gréseuses, interstratifié dans des conglomérats, *Siderolites calcitrapoides* Lamarck et *Lepidorbitoides socialis* (Leymerie) (détermination M. Neumann) datant donc du Maestrichtien.

C) Alternance de pélites verdâtres, de grès et de lentilles de conglomérats grossiers localement riches en galets anguleux de calcaires (dont des calcaires de Khalsi) et en petits galets bien arrondis de grès, laves et granodiorites.

Un contact tectonique sépare cet ensemble des séries détritiques continentales dites molasses bariolées affleurant au Nord.

Cette coupe montre donc une forte épaisseur de calcaires aptien—albien et

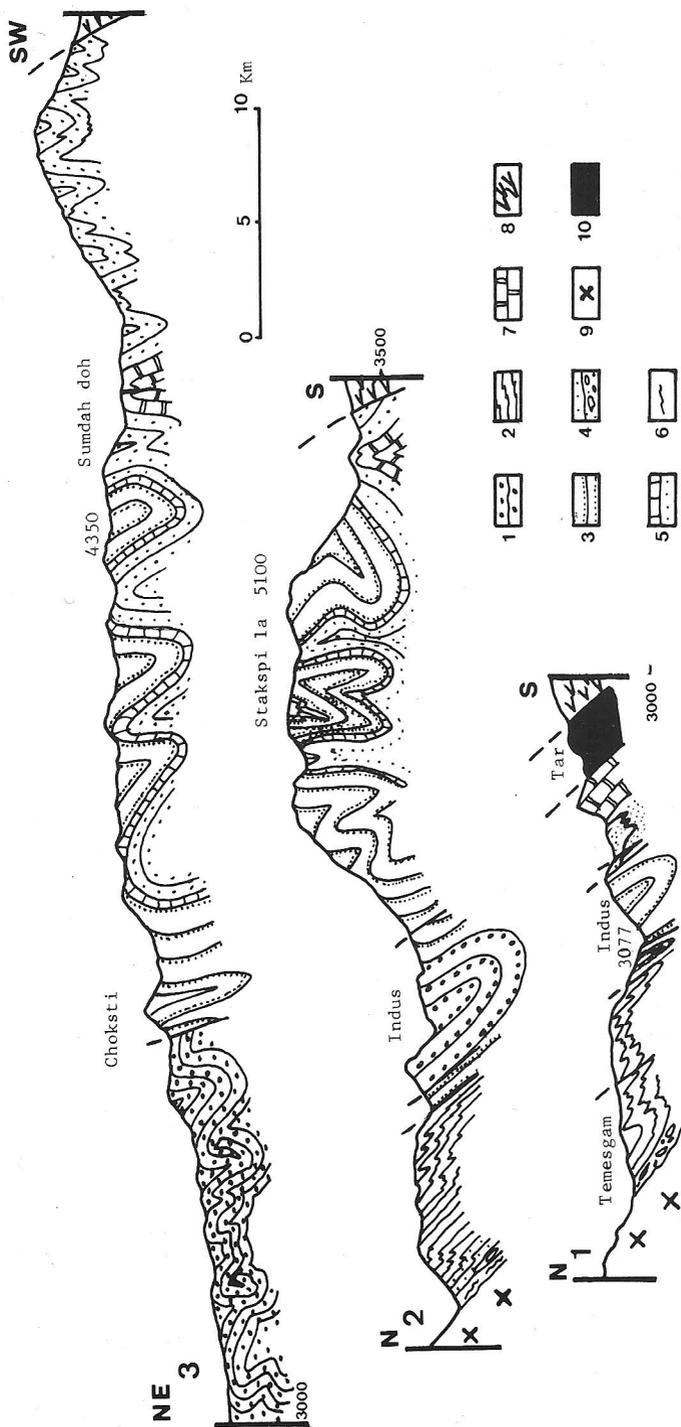


Fig. 3 — Coupes du bassin de l'Indus. (Situation voir Fig. 2).

1) Grès de Nimu; 2) Série jaune de Temesgam; 3) Molasses bariolées; 4) Conglomérats de Skinning; 5) Série à dominante pélitique du Maestrichtien à l'Eocène inférieur et calcaires à Nummulites; 6) Marnes de Bago (Maestrichtien); 7) Calcaires de Khalsi (Aptien-Albien); 8) Série du flysch de Nindam; 9) Nappe de Tar (wildflysch, laves, agglomérats, hyaloclastites).

A) Calcaires massifs à patine claire, très recristallisés, assimilés aux calcaires de Khalsi, grâce à la présence de *Pseudolithothamnium album* Pfender et *Halimeda* sp., ils affleurent sur quelques mètres au coeur d'une antiforme.

B) Alternance de grès quartzitiques roux en bancs décimétriques et de lits de pélites rougeâtres, à moules de Lamellibranches fortement costulés; épais ici de près de 300 m, ces niveaux diminuent très vite latéralement, voire disparaissent tant à l'Ouest qu'à l'Est.

C) Pélites calcareuses gris-argenté à gris-verdâtre, ici azoïques; ces niveaux très re-plissés atteignent vraisemblablement une épaisseur de 50 m.

D) Alternances de niveaux métriques de calcaires noirs en petits bancs centimétriques et de grès intercalés de pélites et calcschistes jaunes; ces niveaux, épais de 150 m, disparaissent latéralement à l'Ouest de Lardo Brok et s'épaississent fortement vers l'Est (Fig. 2); les micro-faunes et flores récoltées sont très riches: *Neomeris* sp.; *Miscellanea miscella* Pfender; *Cymopolia* sp.; *Ovulites* sp.; *Assilina levis* (Shen & Zhang); *Assilina dandotica* Davies; *Assilina umbilicata* De Cizancourt; *Operculina* cf. *salsa* Davies; *Operculina* cf. *subsalsa* Davies; *Operculina jiwani* Davies; *Alveolina globosa* Leymerie; *Alveolina elliptica* Davies; *Opertorbitolites douvillei* Nuttall; *Broeckinella* sp.; *Orbitolites* sp.; *Nummulites* cf. *dolloti* De Cizancourt; *Nummulites* cf. *globulus* Leymerie; *Nummulites* cf. *mamillinus* Douvillé; *Nummulites ataticus* Leymerie; *Nummulites* cf. *lahirii* Davies; *Nummulites* cf. *pinfoldi* Davies; *Rotalia* cf. *trochidiformis* Lamarck emend. Davies; *Keramosphaera tergestina* Stache; *Lockhartia* cf. *conditi* Nuttall; l'ensemble est d'âge Ilerdien moyen-supérieur à Cuisien.

E) La série se renverse et montre une masse d'environ 50 mètres de conglomérats assez grossiers, à galets bien arrondis de calcaires à Nummulites (datées du Cuisien), de granodio-

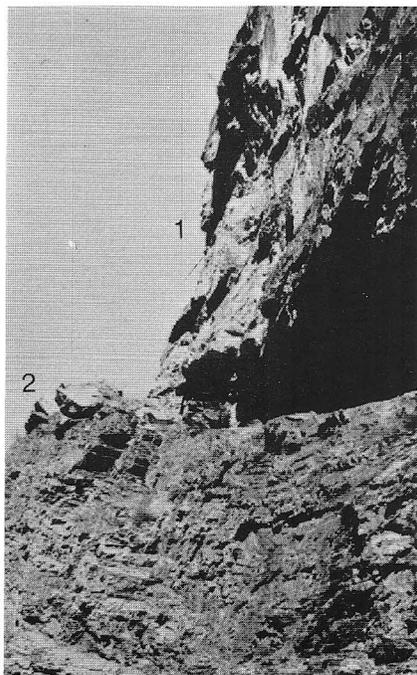


Fig. 5 — Tar, contact entre les calcaires aptiens et la série pélique du Crétacé supérieur.
1) Calcaires aptiens; 2) Série pélique.

rites, laves, tufs et grès; on y note également quelques galets de calcaires de Khalsi; ces conglomérats forment une lentille peu développée et disparaissent très rapidement vers l'Ouest.

F) Molasses bariolées (Baud et al., 1982), il s'agit d'une série épaisse de plusieurs centaines de mètres, très replissée, constituée de l'alternance de termes gréseux verts assez grossiers, parfois conglomératiques, en bancs métriques, et de pélites silteuses rouges, vertes ou noires, en masses plurimétriques; les barres gréseuses sont riches en figures sédimentaires (figures de charges, litages obliques de chenaux imbriqués); on y observe également, entre le Stakspi la et Sumdah gompa, une lentille de brèche calcaire à débris centimétriques de radiolarites; les lits gréseux ont eux-mêmes une extension latérale réduite et tant vers l'Est, que vers l'Ouest, la série tend à être dominée par les pélites rouges; vers son sommet, elle montre deux barres décamétriques de grès conglomératiques comportant parfois des galets bien roulés, pluridécimétriques (définis ici comme les conglomérats de Choksti); les galets sont principalement granodioritiques, cependant on observe également, dans l'ordre décroissant de fréquence, des laves acides (trachytes, trachyandésites et rhyolites assez ressemblantes aux faciès de la série de Lingzizong au Tibet chinois) (Academia Sinica, 1980; Wang et al., 1983), phtanites sombres, épidotites, quartzites, tuffites rouges et vertes, greywackes; ces quatre derniers faciès étant remaniés de formations du type Nindam, nappe de flysch crétacée développée au Sud du bassin déritique de l'Indus (Bassoullet et al., 1978, 1982); l'âge précis de cet ensemble n'est pas connu, les remaniements d'éléments éocènes indiquent qu'il est au moins post-éocène inférieur.

G) Grès de Nimu-Alchi (Sterne, 1979), formant une masse puissante de plusieurs centaines de mètres; entre Alchi et Sasul s'observe par endroit le contact stratigraphique entre ces grès et les molasses bariolées; il s'agit d'alternances de barres décamétriques de grès roux en patine et gris en cassure et de pélites grises à noirâtres; les grès quartzitiques verts sont généralement assez fins et montrent de nombreuses figures sédimentaires; cependant existent quelques passées conglomératiques à galets de granodiorites, grès, laves acides, quartz filonien et calcaires; on observe fréquemment des fragments de plantes dilacérées et des galets mous; ils ont fourni quelques empreintes de Lamellibranches d'eau douce (*Unio?*).

Cette coupe montre donc que l'essentiel de la série est ici postérieur à l'Eocène inférieur.

5) Coupe de la Vallée de Zanskar.

Cette coupe débute au confluent de la Sumdah Chu et de la Zanskar (Fig. 2 et 3), elle a été redécrite par Sterne (1979), en direction du Nord on distingue:

A) Calcaires massifs, très recristallisés, assimilés aux calcaires de Khalsi, formant une anti-forme très pincée.

B) Directement au contact des calcaires, pélites calcareuses gris argenté à gris rougeâtre, admettant quelques lits calcareux roussâtres à *Asterodiscus*; *Orbitolites* sp. cf. *fragilis* et *Broeckinella* sp., d'âge Ilerdien inférieur; ces niveaux forment également une série de replis très serrés au Sud de l'antiforme.

C) Pélites calcareuses rouges et vertes, grès, calcschistes et calcaires à Nummulites, identiques au niveau D de la coupe précédente, et très fossilifères ayant fourni les mêmes espèces (âge Ilerdien moyen-supérieur à Cuisien).

D) La série se poursuit par des molasses bariolées, couronnées à Choksti par des conglomérats à galets de granodiorites, de laves acides et de faciès de Nindam, puis par des

grès de Nimu très replissés; un contact tectonique sépare ici ces derniers des molasses bariolées.

Cette coupe illustre donc ici, la disparition du Crétacé supérieur.

C'est cette coupe, parcourue par Lydekker (1883), qui est à l'origine des âges éocènes attribués aux formations de l'Indus, âges qui ont été partiellement contestés par Parona (1928), dans la mesure où Lydekker avait confondu tous les calcaires, dont ceux de Khalsi, dans une seule formation. Des faunes éocènes avaient été également décrites un peu à l'Est (Rumbak) par Dainelli (1933-34).

Les formations de la partie septentrionale du bassin de l'Indus au Ladakh.

À l'Est de la Zanskar, la bordure septentrionale du bassin est presque partout masquée sous d'anciennes hautes terrasses de l'Indus (Dainelli, 1933-34), aussi les deux coupes décrites ici sont-elles les seules susceptibles de montrer la structure de cette bordure du bassin.

1) Coupe de Teah.

Elle prolonge, au Nord de l'Indus, la coupe de Tar (1-3) (Fig. 2 et 3); elle est observée le long de la Phocha tokpo affluent de rive droite de l'Indus qui conflue à Nurla. Du Nord au Sud, on distingue:

A) Conglomérats grossiers, mal stratifiés, reposant sur une surface ondulée, installée ici sur des laves associées au batholite granodioritique du Ladakh; ces conglomérats sont visibles sur près de 50 mètres; un peu à l'Ouest (Skinning), ils sont puissants de 100 mètres; les éléments parfois anguleux, très mal triés, atteignent plusieurs mètres cubes; ce sont essentiellement des granodiorites et des laves (trachytes, trachyandésites, dacites, rares ignimbrites); vers leur sommet (vers le Sud) apparaissent quelques lentilles de grès grossiers arkhosiques, mal indurés, et des niveaux charbonneux.

B) Série jaune de Temesgam: nous définissons ici par ce terme une très épaisse série (plus de 1000 mètres), essentiellement constituée de pélites silteuses jaunes, intercalées, de manière rythmique, de minces lits de grès fins roux, et dénommée flysch par divers auteurs (Frank et al., 1977; Fuchs, 1979).

Ces grès renferment localement de nombreuses coquilles carbonisées de Lamellibranches d'eau douce (*Unio*) et des débris végétaux; quelques lentilles conglomératiques sont également présentes à la base de la série.

Les grès montrent des structures «ball and pillow», des flûtes et les sommets des lits des ripples marks; des rides de courants ainsi que des corps progradants (Fig. 6) indiquent nettement des directions d'apports venant du Nord ou du Nord-Est; le sommet de la série comporte deux bancs décimétriques de grès arkhosiques verts à grain moyen, avec lentilles conglomératiques; ils montrent de très nombreux restes de végétaux dilacérés.

C) Molasses bariolées (alternance de termes gréseux verts et de pélites essentiellement rouges ici).

Cette coupe permet donc d'observer le contact avec le batholite ladakhi ainsi que le passage aux molasses bariolées.

2) Coupe de Taruche—Basgo.

Cette coupe est effectuée le long de la Likir tokpo (Fig. 2 et 3), elle prolonge au Nord de l'Indus, la coupe du Stakspi la. Du Nord au Sud, on observe:

A) Une centaine de mètres de marnes tendres de teintes variées (rouges, rosées, vertes, noires ou blanches) reposant par l'intermédiaire d'une surface ondulée sur les granodiorites foliées; on y note des lentilles de sables arkhosiques, grossiers, très mal classés, contenant quelques passées de conglomérats à galets granodioritiques ainsi que quelques cristaux de gypse; divers échantillons récoltés à Himis Shukpa, Yangtang et Taruche ont fourni une microfaune assez pauvre d'Ostracodes, composée de *Bhythoceratina* sp. et de valves juvéniles de *Platycythereis* sp. (détermination de R. Damotte), conférant à ces niveaux un âge Crétacé supérieur (Maestrichtien) vraisemblable; les diffractogrammes d'analyse aux rayons X ont montré une composition minéralogique de milieu confiné (Smectites, chlorites bien cristallisées, illites, détermination J. Arahamian).

B) Série jaune de Temesgam.

C) Molasses bariolées.

Cette coupe montre une variation importante de faciès au niveau du contact avec le batholite ladakhi et permet de dater ici le début de la sédimentation du Crétacé supérieur. On doit noter que Pal et al. (1976) in Skrikantia et al. (1980) citent dans les «formations de Nimu» des Ostracodes du Crétacé, il est

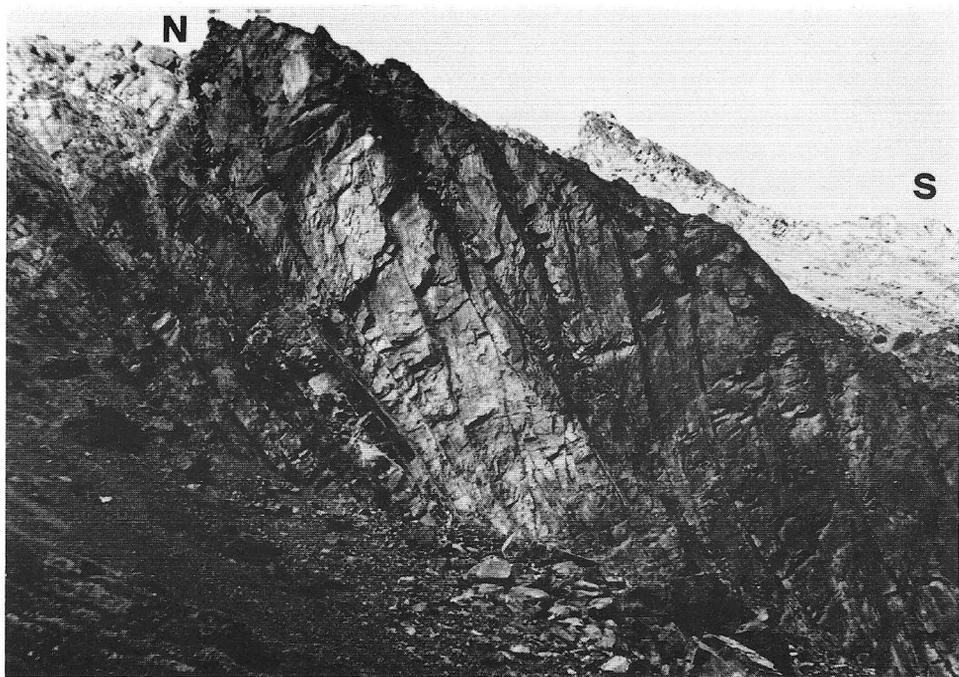


Fig. 6 — Corps progradants dans les grès à *Unio* (Skinning).

possible qu'ils proviennent des niveaux que nous venons de décrire.

Lydekker (1883), Dainelli (1933-34) et Sterne (1979) attribuent également un âge Crétacé supérieur (Sénonien) à ce même ensemble, sans justifications cependant. Au Ladakh oriental, à Nyomo, selon Skrikantia et al. (1980) existeraient des faunes du Cénomanién.

Structure.

1) Structure d'ensemble.

Les coupes, comme la carte (Fig. 2 et 3), montrent que la structure d'ensemble est représentée par un synclinorium dissymétrique dont le coeur est marqué par les molasses bariolées et les grès de Nimu à l'Est. Cette dissymétrie est due tant aux différences lithostratigraphiques que tectoniques de deux flancs.

Entre le batholite et l'Indus qui coule presque dans l'axe du synclinorium, le flanc Nord montre des séries à plongement régulier vers le Sud (Fig. 2, 3), accidentées de plis déversés au Nord d'axe proche de N 110-120 ces plis impliquent un raccourcissement proche du tiers de la largeur originelle de ce flanc du bassin. Quelques failles inverses à rejet modeste accidentent également ce flanc.

La partie méridionale est nettement plus complexe. Elle est globalement renversée. Les séries sont intensément déformées par des plis subisocliniaux d'échelle hecto à kilométrique, d'axe 100-130 à déversement réel au Nord; quelques charnières repliées suggèrent que ces plis soient pluriphasés (Fig. 3); à ces plis, sont associées des failles inverses à plan plongeant généralement fortement au Sud; leur direction générale (120) est parallèle à l'allongement du bassin, mais leur rejet vrai, chaque fois qu'il a pu être calculé, n'a pas dépassé 2 km, ce qui compte-tenu du plongement donne des chevauchements assez modestes. Le raccourcissement dépasse nettement la moitié de la largeur initiale du flanc du bassin.

2) Microstructures et métamorphisme.

Les plis des séries de l'Indus sont accompagnés d'une schistosité de fracture bien exprimée dans les niveaux pélitiques; un deuxième clivage schisteux apparaît dans le Sud-Est du bassin (région de la vallée de Zanskar) où il transpose presque complètement le premier, mais où l'on peut observer son indépendance vis à vis des plis anciens. Enfin, des fractures tardives découpent les formations, elles sont orientées N 100 à 125 et N 10 à 35; cette dernière est ici très dense et représente un élément structural remarquable; cette fracturation est ailleurs très constante dans l'ensemble de la chaîne himalayenne (Brunel et al., 1979; Colchen et al., 1983; Gilbert et al., 1983).

Un léger métamorphisme existe également au Sud—Est du bassin (vallée de Zanskar); il se traduit par la présence de paragonite et un long pic de la chlorite (dét. J. Arahamian), des recristallisations et des épigénies des calcaires tant éocènes que crétacés, et des étirements intenses des galets, principalement calcaires, des niveaux conglomératiques interstratifiés à la base des molasses bariolées.

3) Le contact méridional du bassin de l'Indus.

Le contact méridional des séries de l'Indus est partout tectonique, comme cela avait été clairement vu par De Terra (1935) contrairement à l'opinion de Dainelli (1933—34). Les séries détritiques de l'Indus disparaissent sous le chevauchement des nappes de l'Indus (nappes de flyschs et nappes carbonatées). Ce contact à vergence Nord apparaît comme une structure tardive dans l'histoire structurale de l'ensemble de la chaîne himalayenne (Bassoulet et al., 1978, 1982; Colchen et al., 1983). Ce rétrochevauchement majeur est jalonné par une zone complexe fréquemment traitée en mélange tectonique (coloured melange: Frank et al., 1977; Fuchs, 1977, 1979; Baud et al., 1982). Un examen détaillé montre que cette «semelle tectonique» est en fait constituée d'un certain nombre de faciès ordonnés: pélites sombres interstratifiées avec des laves massives, des agglomérats volcaniques et des hyaloclastites; des flyschs pélitogréseux à blocs gréseux et carbonatés (wildflysch); lentilles de serpentine. Cette unité est bien développée depuis la Yapola, et probablement plus à l'Ouest, jusqu'au Spangting la; elle disparaît ensuite vers l'Est, réduite à quelques lentilles de serpentine jalonnant le contact entre flysch de Nindam et séries détritiques de l'Indus pour reparaître plus à l'Est (Baud et al., 1982).

Conclusions.

Les séries détritiques du bassin de l'Indus forment un vaste synclinorium dissymétrique appuyé sur le batholite granodioritique du Ladakh au Nord et chevauché par les nappes de Flysch au Sud, à la faveur d'un chevauchement dirigé vers le Nord. Pour l'essentiel, les séries sont d'âge éocène inférieur ou plus jeune, ce qui les différencie fondamentalement du groupe de Xigaze en Chine d'âge essentiellement crétacé supérieur (Mu et al., 1973; Academia Sinica, 1980; Bassoulet et al., 1982 et in Tapponier et al., 1981) et tendrait à les apparenter aux séries de Qiuwu (Academia Sinica, 1980) également appuyées au batholite de Kangdese et présumées éocènes (Marcoux et al., 1983; Burg, 1983).

Les faciès caractéristiques d'un bassin relativement profond apparaissent après l'Aptien; ceci suggère que le bassin s'est individualisé après l'Aptien sur le rebord méridional du batholite ladakhi. A diverses échelles et époques, ce bassin montre une tendance à la progradation globale vers le Sud; c'est le cas à

l'échelle des corps sédimentaires élémentaires (Fig. 6) comme à l'échelle du bassin; au Crétacé supérieur, des séries lagunaires se développent sur la bordure Nord dans de petits bassins isolés entre d'importants cônes détritiques grossiers issus du démantèlement du batholite ladakhi, ces formations passent au Sud à des faciès franchement marins finement détritiques et nettement plus minces; à l'Eocène inférieur, la situation est très voisine, une plate-forme progradante détritique subsidente occupe la bordure méridionale du batholite et paraît passer vers le large à des espaces où les flores associées aux Nummulites ont pu prospérer.

Après l'Eocène inférieur, à une époque qu'on ne peut encore fixer avec précision, mais peut être dès l'Eocène moyen, le bassin cesse d'être marin; les apports détritiques proviennent dès lors des deux bords du bassin: le batholite ladakhi et les laves associées au Nord, la nappe du flysch de Nindam et les calcaires aptiens au Sud; les dépôts correspondent alors à une superposition de cônes alluviaux plus ou moins emboîtés, celui des molasses bariolées paraît avoir été proximal au Nord-Est et distal à l'Ouest et au Sud, celui des grès de Nimu paraît proximal à l'Ouest et distal à l'Est.

Notons que c'est également à l'Eocène inférieur, ou au tout début de l'Eocène moyen, que les faciès marins cessent d'être présents dans les séries haut-himalayennes tant au Zanskar (Bassoullet et al., 1982) qu'au Tibet (Blondeau et al., 1983). La saturation effective de l'ensemble indien à la plaque eurasiatique daterait de la fin de l'Eocène inférieur.

Remerciements.

Les missions de recherche sur le terrain ont été financées par le CNRS GRECO Himalaya 13012 (Directeur: M. Colchen); les auteurs remercient tout particulièrement les spécialistes qui leur ont aimablement déterminé fossiles et minéraux: MM. A. Arnaud-Vaneau (Orbitolinidés), R. Damotte (Ostracodes), M. Neumann (Orbitoididés) et MM. J. Aprahamian (Argiles), E. Fourcade (Orbitolinidés), J. Philip (Rudistes) ainsi que M. E. Garzanti qui a bien voulu rédiger le résumé italien.

BIBLIOGRAPHIE

- Academia Sinica (1980) - A scientific guide book to South Xizang, 104 pp., Beijing.
 Academy of Geological Sciences of China (1975) - Geological map of Asia 1/5.000.000.
 Bassoullet J. P., Boulin J., Colchen M., Marcoux J., Mascle G. & Montenat C. (1980) - L'évolution des domaines téthysiens au pourtour du bouclier indien, du Carbonifère au Crétacé. In: Géologie des chaînes alpines issues de la Téthys, Aubouin J., Debelmas J. & Latreille M. Eds., *Mém. B. R. G. M.*, n. 115, pp. 180-198, Paris.
 Bassoullet J. P., Colchen M., Juteau T., Marcoux J., Mascle G. & Reibel G. (1982) - Geological studies in the Indus suture zone of Ladakh (Himalayas). In: Recent researches in the Himalayas, Gupta V. J. Ed., Delhi.

- Bassoullet J. P., Colchen M., Marcoux J. & Mascle G. (1978) - Une transversale de la zone de l'Indus: de Khalsi à Photaksar. *C. R. Ac. Sc.*, v. 286, pp. 563–566, Paris.
- Bassoullet J. P., Colchen M., Marcoux J. & Mascle G. (1982) - Les ensembles sédimentaires de la zone de Tsangpo (Lhaze, Lhasa, Linzhu). Travaux mission franco-chinoise 1980, publ. CNRS (sous presse), Paris.
- Baud A., Arn R., Bugnon P., Crisinel A., Dolivo E., Escher A., Hammerschlag J.G., Marthaler M., Masson H., Steck A. & Thieche J.C. (1982) - Le contact Gondwana – périgondwana dans le Zaskar oriental (Ladakh, Himalaya). *Bull. Soc. Géol. Fr.*, s. 7, v. 24, pp. 341–362, Paris.
- Bignot A. & Cavelier C. (1981) - Stratotype du Paléogène, Pomerol C. (Ed.), Bul. d'information des géologues du bassin de Paris, mém. hors série n. 2, Le contenu de l'Ilerdien et sa place dans le Paléogène (1975). *Bull. Soc. Géol. Fr.*, s. 7, v. 17, n. 2, pp. 126–223, Paris.
- Blondeau A., Bassoullet J. P., Colchen M., Han T. L., Marcoux J. & Mascle G. (1983) - Paleocene and Eocene in Southern Tibet. Comparisons with other himalayan areas. *Terra Cognita*, v. 3, p. 264, Strasbourg.
- Brookfield M. E. (1983) - Reconnaissance geology of the area between Leh and the Markha valley, Ladakh. Contribution to himalayan geology, v. 2, Delhi, à paraître.
- Brunel M., Colchen M., Le Fort P., Mascle G. & Pecher A. (1979) - Structural analysis and tectonic evolution of the central Himalaya of Nepal. In: Structural geology of the Himalayas, Saklani S. K. Ed., pp. 247–264, Delhi.
- Burg J. P. (1983) - Tectogénèse comparée de deux segments de chaîne de collision. Thèse Science, 368 pp., Montpellier.
- Colchen M. (1977) - Sur le flysch et la molasse de l'Indus, Himalaya du Ladakh. *C. R. Ve. RAST*, p. 160, Rennes.
- Colchen M., Gilbert E., Mascle G. & Van Haver Th. (1983) - Some aspects of the collisions tectonics in the Indus suture zone Ladakh Himalaya. *Symposium Intern. Tectonique collision*, London 1983 (note déposée).
- Dainelli G. (1933–1934) - La serie dei Terreni. I e II. Relazioni Scientifiche della Spedizione Ital. de Filippi nell'Himàlaia, Caracorùm e Turchestàn cinese (1913–1914), s. 2, v. 2, Zanichelli Ed., Bologna.
- De Terra H. (1935) - Geological studies in the Northwest Himalaya between the Kashmir and Indus valleys. *Mem. Connecticut Ac. Arts Sci.*, v. 8, pp. 18–76, New Haven.
- Frank W., Gansser A. & Trommsdorff V. (1977) - Geological observations in the Ladakh area (Himalayas), a preliminary report. *Schweiz. Min. Petr. Mitt.*, v. 57, pp. 89–113, Zürich.
- Fuchs G. (1977) - Traverse of Zaskar from the Indus to the valley of Kaschmir. *Jb. Geol. B. A.*, v. 120, n. 2, pp. 219–229, Wien.
- Fuchs G. (1979) - On the Geology of western Ladakh. *Jb. Geol. B. A.*, v. 122, n. 2, pp. 513–540, Wien.
- Gansser A. (1964) - Geology of the Himalayas. J. Wiley Ed., 289 pp., London.
- Gansser A. (1977) - The great suture zone between Himalaya and Tibet. *Coll. Int. CNRS*, n. 268, Ecologie et Géologie de l'Himalaya, pp. 181–191, Paris.
- Gansser A. (1980) - The peri-indian suture zone. In: Géologie des chaînes alpines issues de la Téthys, Aubouin J., Debeltmas J. & Latreille M. Eds., *Mém. B.R.G.M.*, n. 115, pp. 140–148, Paris.
- Gilbert E., Colchen M., Mascle G., Reibel G., Reuber I. & Van Haver Th. (1983) - Multi-plased tectonic in the Indus suture zone Ladakh Himalaya. *Terra Cognita*, v. 3, p. 266, Strasbourg.
- Lydekker R. (1883) - The geology of the Kashmir and Chamba territories and the British

district of Khagan. *Mem. Geol. Surv. India*, v. 22, pp. 1–344, Calcutta.

- Marcoux J., Burg J. P., Girardeau J., Chang C. F. & Xiao X. C. (1983) - A key piece of the Yarlung–Tsangpo suture puzzle: the Xigaze group (s. l.). *Terra Cognita*, v. 3, p. 349, Strasbourg.
- Mu A. T., Wen S. H., Wang Y. K., Chang P. K. & Yin C. H. (1973) - Stratigraphy of the mount Jolmo–Lungma region in southern Tibet, China. *Scientia Sinica*, v. 16, pp. 96–111, Beijing.
- Pal D. & Mathur N. S. (1977) - Some observations on stratigraphy and structure of Indus flysch, Ladakh region. *Himal. Geol.*, v. 7, pp. 464–478, Dehra Dun.
- Parona C. F. (1928) - Faune cretaciche del Caracorùm e degli Altipiani Tibetani. Spedizione Ital. de Filippi nell'Imàlaia, Caracorùm e Turchestàn cinese (1913–14), s. 2, v. 6, pp. 121–134, Zanichelli Ed., Bologna.
- Skrikantia S. V. & Razdan M. L. (1980) - Geology of part of central Ladakh Himalaya with particular reference to Indus tectonic zone. *Journ. Geol. Soc. India*, v. 21, pp. 523–545, Bangalore.
- Sterne E. J. (1979) - Report on geological traverses across the Indus–Tsang Po suture zone in Ladakh, northern India. Mast. Thesis, Hardward. Univ., 61 pp.
- Tapponnier P., Mercier J. L., Proust F., Andrieux J., Armijo R., Bassoullet J. P., Brunel M., Burg J. P., Colchen M., Dupre B., Girardeau J., Marcoux J., Mascle G., Matte P., Nicolas A., Li T., Xiao X., Chang C., Lin P., Li G., Wang N., Chen G., Han T., Wang W., Den W., Zhen H., Sheng H., Cao Y., Zhon J. & Qiu H. (1981) - The Tibetan side of the India–Eurasia collision. *Nature*, v. 294, n. 5840, pp. 405–410, New York.
- Van-Haver T., Bassoullet J. P., Blondeau A., Gilbert E., Mascle G. & Sutre E., (1983) - L'âge des séries détritiques de l'Indus au Ladakh. *Terra Cognita*, v. 3, p. 272, Strasbourg.
- Wang N. W., Wang S., Liu G. F., Bassoullet J. P., Colchen M., Mascle G. & Jaeger J. (1983) - The Juro–Cretaceous marine–terrestrial alternating formations in Lhasa area, Xizang (Tibet). *Acta Geol. Sinica*, 1983, n. 1, pp. 83–95, Peking.