Etude stratigraphique, sédimentologique et structurale d'un bassin d'avant arc : exemple du bassin de l'Indus, Ladakh, Himalaya

Thierry van Haver

▶ **To cite this version:**

Thierry van Haver. Etude stratigraphique, sédimentologique et structurale d'un bassin d'avant arc : exemple du bassin de l'Indus, Ladakh, Himalaya. Tectonique. Université Scientifique et Médicale de Grenoble, 1984. Français. NNT : . tel-00641418v2

HAL Id: tel-00641418

https://theses.hal.science/tel-00641418v2

Submitted on 21 Aug 2013

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

tel-00641418, version 1 - 15 Nov 2011

THESE DE 3° CYCLE

Titre de l'ouvrage

ETUDE STRATIGRAPHIQUE, SEDIMENTOLOGIQUE ET STRUCTURALE
D'UN BASSIN D'AVANT ARC:
EXEMPLE DU BASSIN DE L'INDUS, LADAKH, HIMALAYA

Nom de l'auteur: Thierry VAN HAVER
Etablissement: Université Scientifique et Médicale de Grenoble

RESUME

L'analyse stratigraphique, la découverte de faunes et microfaunes et l'étude des modes et milieux de dépôts permettent de distinguer plusieurs unités lithostratigraphiques, qui malgrè quelques variations de faciès, se suivent latéralement d'Ouest en Est et ont pu être cartées au 1/125.000e.

La structure d'ensemble en synclinorium dissymétrique affecté de failles inverses à vergence nord résulte de deux phases de plissements majeures. L'analyse microstructurale permet d'estimer une direction de raccourcissement proche de N 10.

L'importance des déformations et l'intensité du métamorphisme décroissent toutes deux du Sud vers le Nord. Ceci peut être mis en relation avec un rétrochevauchement vers le Nord.

L'histoire de l'évolution du bassin de l'Indus est celle d'une marge active prise dans une collision intercontinentale. En avant d'un arc magmatique, mis en place le long de la marge active sud tibétaine, s'individualise dès l'Albien supérieur un bassin semblable au "fore arc" interne des marges andines actuelles.

Pendant toute la fin du Crétacé et jusqu'à l'Eocène inférieur, des conditions marines franches règnent au Sud du bassin, tandis qu'au Nord les produits terrigènes issus du démantèlement du batholite ladakhi constituent d'importants cônes torrentiels ou fluviatiles.

A partir de l'Eocène moyen, consécutivement à la collision des blocs indien et sud tibétain s'observe une régression généralisée; la sédimentation devient continentale sur tout le bassin, et correspond à la superposition de cônes alluviaux plus ou moins distaux.

La dérive vers le Nord du bloc continental indien se poursuivant un serrage important règle les déformations et le métamorphisme qui affectent les séries du bassin de l'Indus; celles-ci finissent par être chevauchées par les formations du fore-arc externe: **la cicatrice de l'Indus est alors définitivement structurée.**

Mots clefs: Himalaya, Indus, Ladakh, suture, marge active, sédimentation, flysch, molasse continentale, plate-forme carbonatée, détritisme terrigène, Crétacé, Paléocène, Eocène, structures, déformations et métamorphisme.

-=-=-

GEOLOGIE GRENOBLE UJF
D 050 031146 5

CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

GROUPEMENT DE RECHERCHES COORDONNEES HIMALAYA KARAKORUM 130012

THESE

PRÉSENTÉE À

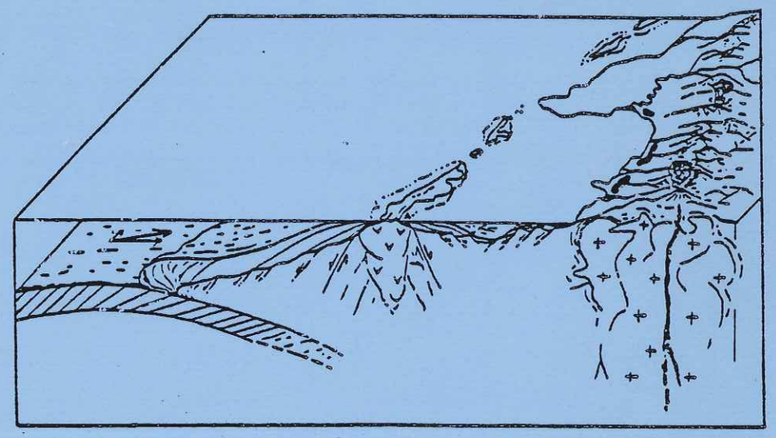
L'UNIVERSITE SCIENTIFIQUE ET MEDICALE DE GRENOBLE

POUR OBTENIR LE TITRE DE DOCTEUR DE 3° CYCLE
DE GÉOLOGIE APPLIQUÉE

PAR

THIERRY VAN HAVER

ETUDE STRATIGRAPHIQUE, SEDIMENTOLOGIQUE ET STRUCTURALE
D'UN BASSIN D'AVANT ARC:
EXEMPLE DU BASSIN DE L'INDUS, LADAKH, HIMALAYA



Soutenue le 10 octobre 1984 devant la Commission d'Examen:

MM.	J. DEBELMAS	Président
	G. MASCLE	Directeur de Thèse
	M. COLCHEN	Examinateur
	J. PERRIAUX	Examinateur
	A. BAUD	Examinateur
	M. GAETANI	Examinateur

-=-=-

R (Th.)
VAN HAVER
1984

tel-00641418, version 1 - 15 Nov 2011

RESUME

L'analyse stratigraphique, la découverte de faunes et microfaunes et l'étude des modes et milieux de dépôts permettent de distinguer plusieurs unités lithostratigraphiques, qui malgrè quelques variations de faciès, se suivent latéralement d'Ouest en Est et ont pu être cartées au 1/125.000e.

La structure d'ensemble en synclinorium dissymétrique affecté de failles inverses à vergence nord résulte de deux phases de plissements majeures. L'analyse microstructurale permet d'estimer une direction de raccourcissement proche de N 10.

L'importance des déformations et l'intensité du métamorphisme décroissent toutes deux du Sud vers le Nord. Ceci peut être mis en relation avec un rétrochevauchement vers le Nord.

L'histoire de l'évolution du bassin de l'Indus est celle d'une marge active prise dans une collision intercontinentale. En avant d'un arc magmatique, mis en place le long de la marge active sud tibétaine, s'individualise dès l'Albien supérieur un bassin semblable au "forearc" interne des marges andines actuelles.

Pendant toute la fin du Crétacé et jusqu'à l'Eocène inférieur, des conditions marines franches régnent au Sud du bassin, tandis qu'au Nord les produits terrigènes issus du démantèlement du batholite ladakhi constituent d'importants cônes torrentiels ou fluviatiles.

A partir de l'Eocène moyen, consécutivement à la collision des blocs indien et sud tibétain s'observe une régression généralisée; la sédimentation devient continentale sur tout le bassin, et correspond à la superposition de cônes alluviaux plus ou moins distaux.

La dérive vers le Nord du bloc continental indien se poursuivant un serrage important règle les déformations et le métamorphisme qui affectent les séries du bassin de l'Indus; celles-ci finissent par être chevauchées par les formations du fore-arc externe: **la cicatrice de l'Indus est alors définitivement structurée.**

Mots cléfs: Himalaya, Indus, Ladakh, suture, marge active, sédimentation, flysch, molasse continentale, plate-forme carbonatée, détritisme terrigène, Crétacé, Paléocène, Eocène, structures, déformations et métamorphisme.

tel-00641418, version 1 - 15 Nov 2011

STRATIGRAPHY, SEDIMENTOLOGY, AND STRUCTURE OF A FORE ARC BASIN

THE INDUS BASIN

Stratigraphic analysis, together with discovery of faunas and of microfaunas, and study of depositional and environmental patterns in the Indus formations, Ladakh, allow characterization of several lithostratigraphic units. Despite facies variations they have been identified along more than 100 km from West to East, and mapped on a 1/125.000 scale.

The overall structure consists of a dissymetric synclinorium, faulted by northward-trending reverse faults. It results from two major deformations. Microstructural analysis indicates shortening along a direction close to N 10.

Both deformation and metamorphism increase from N to S. This has been related to a Northward-trending retrothrusting phase.

The geodynamic history of the Indus basin is the one of an active margin involved in an intercontinental collision. By the end of late Albian times, a sedimentary basin makes its appearance in front of the magmatic arc linked to the South Tibetan active margin. This basin brings to mind the inner fore-arc of the present days Andean margin.

From upper Cretaceous until Lower Eocene time, open sea conditions prevail in the southern part of the basin, whereas thick torrential and fluviatile formations originating from the erosion of the Ladakh magmatic arc, are deposited in its Northern part.

After the Middle Eocene, a general regression follows the collision between South Tibet and India; sedimentation becomes continental throughout the whole basin; its corresponds to the superposition of several imbricated detrital forms.

The continuing Northward drifting of India causes a strong tightening resulting in deformations and metamorphism in the Indus inner fore-arc series, which finally undergo overthrusting by the outer fore-arc's formations, the Indus suture zone is now completely closed.

-=-

Key-words: Himalaya - Ladakh - suture - active margin - sedimentation flysch - continental molasse - carbonate plateform - terrigenous detritics - Cretaceous - Paleocene - Eocene - structures - deformation - metamorphism.

tel-00641418, version 1 - 15 Nov 2011

REMERCIEMENTS

Cette recherche effectuée dans le cadre du Gréco-Himalaya*, portera certes mon nom, mais n'aurait pu être correctement menée à son terme sans l'aide précieuse de nombreuses personnes.

Tout d'abord, je me dois de remercier ceux qui avec moi ont cheminé le long des sentiers Ladakhi: Mrs BASSOULLET, BUCHER, COLCHEN, GARZANTI, GILBERT, JAILLARD, MASCLE et SUTRE. Leurs précieux conseils et leur présence m'ont été souvent utiles.

De retour en France, plusieurs paléontologistes m'ont aimablement prêté leurs concours afin de déterminer la faune et la flore récoltées dans les diverses séries du bassin de l'Indus. Je remercie Mme A. ARNAUD (Orbitolines), DAMOTTE (Ostracodes) et NEUMANN (Siderolites et Lepidorbitoïdes) ainsi que Mrs BASSOULLET (Siderolites, Lepidorbitoïdes et Algues..), BAUD et BLONDEAU (Nummulites, Alvéolines, Orbitolines), FISCHER (Lamellibranches et Gastéropodes), MOULLADE (Hedbergelles), THIEULOY (Ammonites) et Mr. PAIRIS pour ses conseils.

A l'Institut Dolomieu et à l'Université Pierre & Marie Curie (Paris), c'est toujours avec le sourire que Mme USELLE (analyses chimiques), Mrs BESSE (paléomagnétisme), BONHOMME et VIVIER (datations), APRAHAMIAN (détermination des argiles), J. GIRAULT (détermination optique des minéraux lourds) et PERRIAUX (détermination des figures sédimentaires) m'ont reçu et initié aux diverses méthodes d'analyses en laboratoire. Je leur en suis très reconnaissant.

Le travail de laboratoire nécessite la préparation des échantillons. Les techniciens et techniciennes des laboratoires de l'Institut Dolomieu (Mme DOMPNIER, Mrs DEMENJON, REVOL et SENEBIER), ainsi que Mr ROUGET de l'Université Pierre & Marie Curie (Paris) se sont très bien acquittés de cette tâche, sans laquelle je n'aurais pu soutenir ma thèse de 3ème cycle.

Enfin, il me tient particulièrement à coeur de remercier deux personnes. Tout d'abord Monsieur MASCLE, qui au cours de ces deux années a su de par sa présence, ses conseils, son enseignement et parfois ses réprimandes être un remarquable Directeur de Thèse et qui, je l'espère, comptera toujours parmi mes amis.

Ensuite ma femme, dont l'amour et le dévouement ont été les principaux facteurs d'aboutissement de ce travail.

-=-=-=-

* Directeur Monsieur COLCHEN

tel-00641418, version 1 - 15 Nov 2011

SOMMAIRE

Introduction 4

I - Situation géographique et conditions de travail .....
II - Aperçu géologique général .....
1/ Généralités .....
2/ Position du bassin de l'Indus par rapport aux divers domaines structuraux de la suture 5
a) La marge active .....
a1) La ceinture granodioritique Ladakh Gangdese et les formations volcaniques de Dras .....
a2) Les formations du bassin de l'Indus .....
a3) Le flysch de Nindam 6
a4) Les flyschs à blocs .....
b) La marge passive
b1) Le flysch de Lamayuru..... 7
b2) Les carbonates de plate-forme (nappes du Zanskar).....
c) Les vestiges de la croûte océanique téthysienne.....
3/ L'équivalent des formations du bassin de l'Indus à l'Est du Ladakh 8

CHAPITRE I - DESCRIPTION DES FORMATIONS

Introduction 12

A) LES ENSEMBLES LITHOSTRATIGRAPHIQUES DE LA PARTIE MERIDIONALE ET CENTRALE DU BASSIN DE L'Indus au LADAKH .....

I - Les calcaires de Khalsi 13
II- Série verte de Tar 15
III - Les calcaires de Sumdah Gompa et les sédiments terrigènes associés 16
IV - La série à Nummulites..... 20
V - Marnes d'Urucha..... 22
VI - La molasse continentale 23
VII - Les grès de Nimu Alchi 24

B) LES ENSEMBLES LITHOSTRATIGRAPHIQUES DE LA PARTIE SEPTENTRIONALE DU BASSIN 25

I - Série de Basgo-Skinning.....
II- Série jaune de Témesgam 26

C) CONCLUSION

CHAPITRE II - ETUDE SEDIMENTOLOGIQUE

Introduction 29

A) FIGURES ET STRUCTURES SEDIMENTAIRES 30

B) ANALYSE SEQUENTIELLE 37

Univ. J. Fourier - O.S.U.G.
MAISON DES GEOSCIENCES
DOCUMENTATION
B.P. 53
F. 38041 GRENOBLE CEDEX
Tél. 04 76 63 54 27 - Fax 04 76.51 40 58
Mail : ptalour@ujf-grenoble.fr
25 AOUT 2003

- ANALYSE GRANULOMETRIQUE

a) Méthode d'analyse 61
b) Signification des différents indices et diagrammes 62
c) Résulats..... 66

- ETUDE PETROGRAPHIQUE DES FORMATIONS DETRITIQUES

Introduction 72

A) COMPTAGE PETROGRAPHIQUE DES GALETS 73

I) Flancs nord du bassin .....
II) Partie centrale du bassin 74
III) Flanc sud du bassin 75

B) ETUDE DES GRES 77

I) Comptage pétrographique au microscope .....
II) Analyse roche totale aux Rayons X 81
III) Analyses aux Rayons X de la fraction orientée inférieure à deux microns 86
IV - Analyses chimiques 88

C) CONCLUSION A L'ETUDE PETROGRAPHIQUE 92

CHAPITRE III - RECONSTITUTION PALEOGEOGRAPHIQUE ET ESSAI DE CORRELATION DES DIVERSES FORMATIONS

A)
1/ Au Nord 93
2/ Au Sud 94

B) SCHEMA D'EVOLUTION GENERALE 99

C) CONCLUSION 103

CHAPITRE IV - TECTONIQUE ET METAMORPHISME

A) TECTONIQUE 104
Historique.....
1) Tectonique à l'Ouest de Lardo Brok 107
2) Le contact méridional du bassin de l'Indus entre Khalsi et Lardo Brok 108
3) La faille de Lardo Brok 112
4) Tectonique à l'Est de Lardo Brok 118
5) Le contact méridional du bassin de l'Indus entre Lardo Brok et le Gongmaru-La 126
6) Dépliage des structures .....
7) Etude microtectonique .....
8) Conclusion 128

B) METAMORPHISME 129

1) Au Nord .....
2) Au Sud 132
3) Age du métamorphisme .....

CHAPITRE V - TELEDETECTION & PALEOMAGNETISME

A) TELEDETECTION

1) Méthode 133
2) Intérêts des images Landsat .....
3) Défauts des images satellites
4) Résultats 134

B) PALEOMAGNETISME 136

CHAPITRE VI - LE BASSIN DE KARGIL

Introduction

A) DESCRIPTIONS ET ANALYSES LITHOSTRATIGRAPHIQUES..... 137

1) Coupe de Pashkyum .....
2) Observations lithostratigraphique entre Marpoil et Chaskor ... 142

B) PROBLEME DES CONGLOMERATS DE SHERGOL 146

C) ANALYSE GRANULOMETRIQUE .....

1) Méthode d'analyse .....
2) Résultats .....

D) ESSAI DE RECONSTITUTION PALEOGEOGRAPHIQUE 147

E) TECTONIQUE 149

CHAPITRE VII - LE LADAKH : UNE ANCIENNE MARGE PRISE EN COLLISION

A) LES DIFFERENTS DOMAINES DE LA MARGE 153

B) ESSAI DE COMPARAISON AVEC LES MODELES DE MARGES ACTIVES ACTUELLES..... 155

1) Les principaux schémas actuels .....
2) La marge Sud-Tibétaine-Une ancienne marge de type andin au Crétacé supérieur - Paléocène.....
3) La marge Sud-Tibétaine-Une ancienne marge de type canadien au Crétacé supérieur-Paléocène .....
4) Le bassin de l'Indus après le Paléocène .....

C) EVOLUTION DU BASSIN DE L'INDUS APRES LE PALEOCENE 160

CHAPITRE VIII - CONCLUSION GENERALE 161

LISTE DES FIGURES 165

ANNEXES 168

tel-00641418, version 1 - 15 Nov 2011

tel-00641418, version 1 - 15 Nov 2011

INTRODUCTION

I - SITUATION GÉOGRAPHIQUE ET CONDITIONS DE TRAVAIL

- Le Ladakh est une province indienne située au Nord de la haute chaîne himalayenne, le long du cours supérieur de la rivière Indus (voir carte localisation générale, Fig.1).

Cette région, coupée du reste du monde par la neige pendant plus de 6 mois par an, reçoit en fait peu de précipitations (rôle de barrière climatique exercé par la haute chaîne). La végétation y est pratiquement inexistante (moonland) ce qui, pour un géologue représente un énorme avantage.

La circulation dans cette haute vallée est rendue possible par l'unique route qui mène à Leh, capitale du Ladakh (altitude 3 800 mètres).

- Le Bassin de l'Indus, entre Khalsi à l'Ouest et Hémis à l'Est: les différents itinéraires parcourus (Fig. 3) dessinent un maillage tributaire des possibilités de circulation (fonds de vallée, chemins et cols) et de l'impossibilité d'accès à certaines parties de ce territoire (zones militaires interdites aux étrangers).

La région étudiée se situe à des altitudes comprises entre 3 090 m (Khalsi) et 6 100 m (Stok Kanri).

Les cartes géologiques et structurales levées couvrent une surface d'environ 100 km de long sur 20 km de large.

J'ai bénéficié sur le terrain d'un support topographique au 1/250 000e dont la faible précision et les lacunes se sont parfois révélées gênantes.

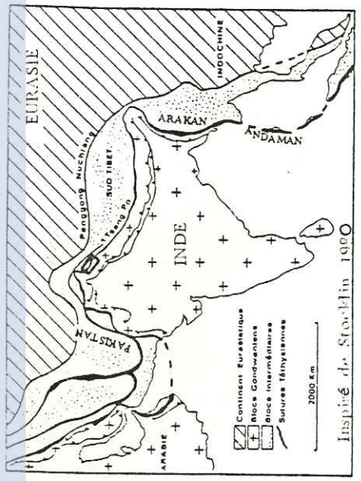
- Le bassin de Kargil: Kargil se situe 200 km à l'Ouest de Leh, très près de la ligne de "Cessez le feu" avec le Pakistan. Un seul grand itinéraire (cf. carte) nous a permis d'étudier ce bassin en s'appuyant sur le même genre de fond topographique.

II - APERÇU GÉOLOGIQUE GÉNÉRAL

1- GENERALITES

La suture de l'Indus-Tsangpo se suit sur 2 500 km; elle est considérée depuis fort longtemps (LYDEKKER,1883; BLANFORD, 1879; ARGAND,1924; NORIN, 1946) comme marquant une limite structurale majeure séparant l'Inde de l'Eurasie.

Vers l'Est, cette suture se connecte avec celle d'Arakan-Yoma-Andaman-Nicobar et vers l'Ouest avec celle de Khost-Zhob-Bela (Fig.1).



Situation de la région étudiée (encadrée)

Inspiré de Stocklin 1980

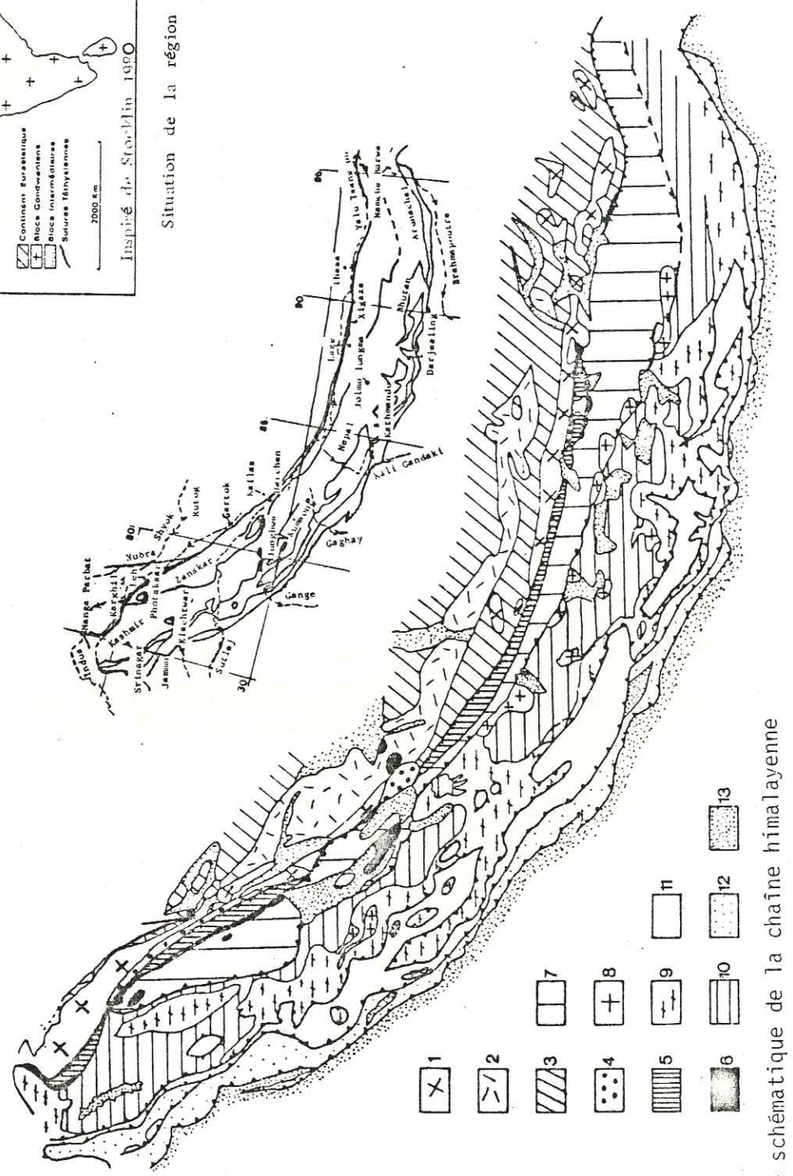


Fig. 1: Carte schématique de la chaîne himalayenne

1, 2, 3, 4, : chaîne andine du transhimalaya (1. Ceinture grano-dioritique du Ladakh-Kangdese
2. volcanisme calco-alcalin; 3. séries sédimentaires du bloc Sud Tibet; 4. séries détritiques de l'Indus-Kailas-Qiuwu)
5, 6, 7 : chaîne alpine, nappes de l'Indus (5. unités des flysch pélito-greywackeux; 6. ophiolites; 7. unités issues
de la marge indienne) 8, 9, 10, 11: chaîne himalayenne (8. leucogranites; 9. dalle du Tibet; 10. séries sédimentaires
haut-himalayennes; 11. séries du moyen pays); 12. Siwaliks; 13. Quaternaire gangétique et Plioquaternaire des dépression
intra-montagneuses

2- POSITION DU BASSIN DE L'INDUS PAR RAPPORT AUX DIVERS DOMAINES STRUCTURAUX DE LA SUTURE

Au Ladakh sont distinguées plusieurs unités structurales caractérisant des formations de marges actives (type pacifique) d'une part (granodiorite du Ladakh - Unité de Dras) - formations du bassin de l'Indus - Unité de Nindam et flysch à blocs) et des formations de marges passives d'autre part (Unité de Lamayuru - carbonates du Zanskar) (BASSOULLET et al., 1978). Leur juxtaposition ainsi qu'un chapelet de roches ophiolitiques marquent la suture (Fig. 1 et 2) (GANSSER, 1964, 1967, 1977, 1980).

a) La marge active

Cette marge est installée sur la bordure méridionale du continent eurasiatique (marge tibétaine, fig.2). Du Nord au Sud, il apparait:

- La ceinture granodioritique Ladakh Kangdese et les formations volcaniques de Dras

Cette ceinture est composée d'une série de plutons tonalitiques et granodioritiques qui se suivent de façon discontinue du Ladakh au Tibet (granite du Ladakh Deosaï, granite du Kailas (GANSSER, 1964), granite du Kangdese (CHANG-1980, WANG et DENG-1980, proceeding of symposium on Quinghai Xizang (Tibet) plateau 1980; DEBON et al., 1981, 1982; BURG, 1983).

L'énorme volume de cette intrusion, issue d'un magmatisme calco-alcalin est la réponse à l'engloutissement, le long d'un plan de subduction plongeant vers le nord, de la croûte océanique comprise entre le subcontinent Indien et le bloc du Tibet.

Au Ladakh, les âges absolus disponibles s'échelonnent de 103 MA à 27 MA (SHARMA et al., 1981; HAKIM RAI, 1982; HONNEGER et al., 1982; REYNOLDS et al., 1983; SHARMA et CHOUBEY, 1983; SCHARER et al., 1984) avec de nombreuses mesures groupées autour de 40 MA.

A Kargil, BASSOULLET et al. (1978), REIBEL et REUBER (1982), HONNEGGER et al. (1982) ont observé que les granodiorites du Ladakh sont intrusives dans les formations volcaniques de Dras (Jurassique supérieur - Crétacé moyen) représentant des tholéïtes d'arc (REIBEL, 1984), ce qui suggère un système composite d'arcs imbriqués (MASCLE, 1984)

- Les formations du bassin de l'Indus

Directement discordantes sur la ceinture granodioritique du Ladakh apparaissent des formations détritiques et carbonatées qui constituent parallèlement à l'axe principal de la chaîne (N 120), un domaine étroit et très allongé réferable au bassin de l'Indus.

a) Ce bassin montre une grande variété d'unités lithostratigraphiques comme le laissaient entrevoir les travaux de BHANDARI et al., (1977), STERNE (1979), PAL et al. (1979), BAUD et al. (1982), BROOKFIELD (1983) et MATHUR (1983).

Ces auteurs n'ont étudié que trop localement ce bassin pour apporter une réponse aux problèmes de corrélations, de successions lithostratigraphiques et de passages latéraux de faciès.

tel-00641418, version 1 - 15 Nov 2011

tel-00641418, version 1 - 15 Nov 2011

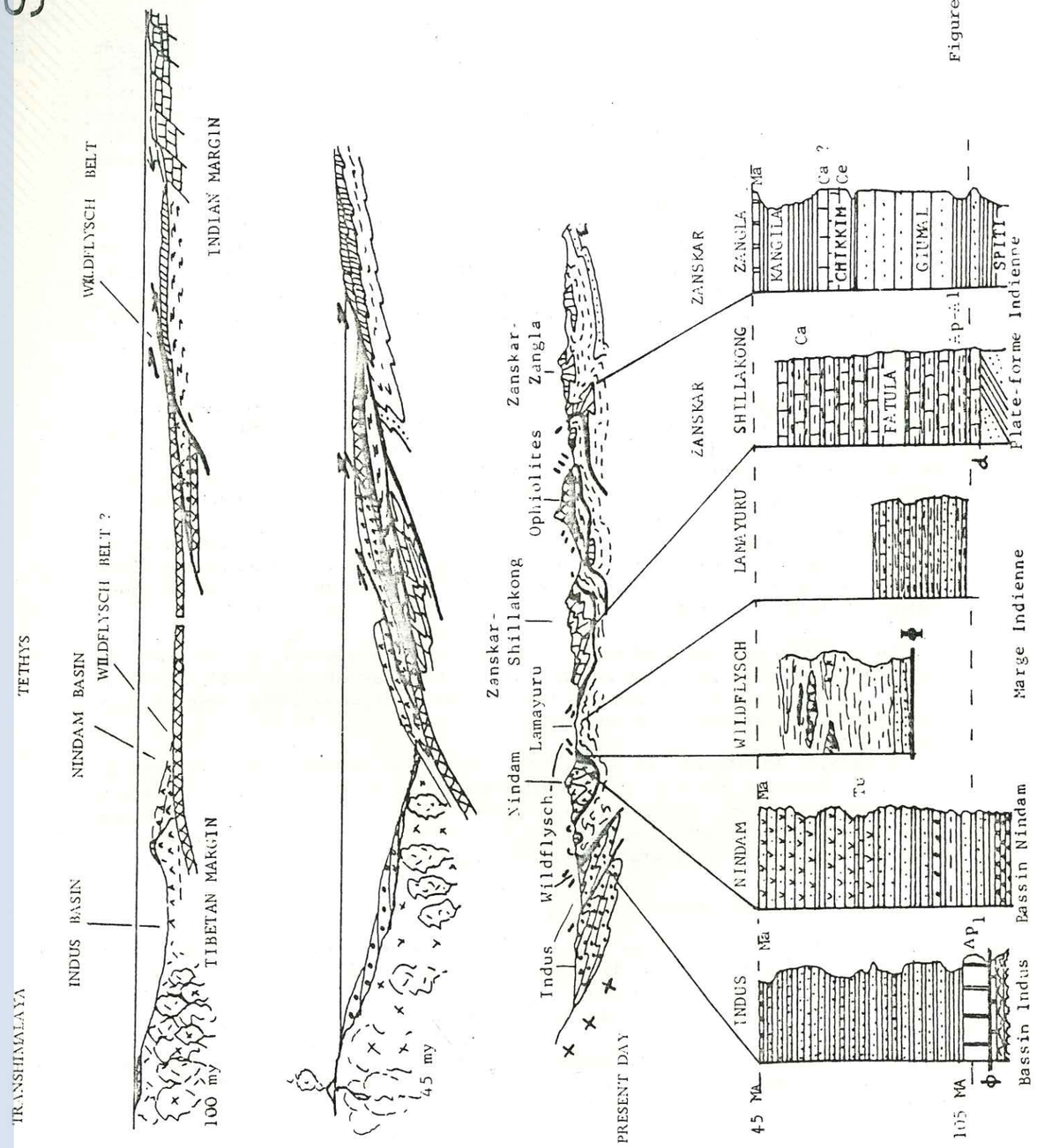


Figure 2

Seule une **cartographie de détails** couvrant une grande surface ainsi qu'une **analyse sédimentologique, pétrographique et paléontologique** nous ont permis de mieux comprendre ce bassin. L'étude des images satellites et du paléomagnétisme est venue compléter nos observations de terrain.

. Données stratigraphiques anciennes

Pour certains (GANSSER, 1976; STERNE, 1979; BAUD et al., 1982) existeraient au Nord un ensemble molassique transgressif sur la ceinture plutonique et un ensemble essentiellement flyschoïde charrié depuis le Sud sur le précédent. Pour d'autres (COLCHEN, 1977; BASSOULLET et al., 1978-1980-1982; SKRIKANTIA et RAZDAN, 1980) existerait un seul bassin détritique flyschoïde à l'Est et molassique à l'Ouest.

L'accord n'existe pas davantage en ce qui concerne la bordure méridionale du bassin où les calcaires de plate-forme de Khalsi 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 et RAZDAN, 1980).

D'autre part, l'âge attribué à ces séries est très variable: Crétacé supérieur à Eocène (LYDEKKER, 1883; DAINELLI, 1933-1934; BASSOULLET et al., 1978, 1982), Crétacé supérieur à Miocène (SKRIKANTIA et RAZDAN, 1980).

b) La succession lithostratigraphique établie, il a été possible d'étudier les diverses déformations (plis, failles, schistosités) affectant la pile sédimentaire des séries de l'Indus. Le contact sud entre la "nappe du flysch de Nindam" et le bassin de l'Indus, considéré depuis fort longtemps (DE TERRA,1935)comme un contact tectonique majeur, a été systématiquement observé. Il en ressort l'existence d'une corrélation entre le gradient de déformation -métamorphisme et l'allure, ou la nature, de ce contact.

- Le flysch de Nindam (Ladakh): flysch pélito-greywackeux et pélito-quartzitique , d'âge essentiellement crétacé qui correspondrait en partie au démantèlement (couverture sédimentaire) de l'arc tholéïtique de Dras (BASSOULLET et al.,1980; REIBEL, 1984).

Cette partie qui représenterait la partie externe de l'arc sédimentaire (voir fig. 2), est prise en "sandwich" tectonique entre la zone triasico-jurassique au Sud-Ouest (flysch de Lamayuru, cf. paragraphe 2) et les formations de l'Indus au Nord-Est. Le flysch de Nindam affleure également dans le massif de Photaksar où il est coincé entre la nappe ophiolitique (cf. paragraphe 3) et les autres unités.

Des comparaisons de faciès ont permis (MASCLE, 1984) de corréler le flysch de Nindam vers l'Est avec le flysch de Darchen (Kailas: GANSSER, 1964) et avec le groupe de Xigaze (Tibet chinois: MU et al., 1973; CHANG et CHENG, 1973; Academia Sinica, 1980; BASSOULLET et al., 1983; BURG, 1983 MARCOUX et al., 1983). Vers l'Ouest (Pakistan), il semblerait que le flysch de Nindam corresponde aux métasédiments crétacés de la couverture du groupe hornbleindique supérieur de Swat (équivalent des volcanites de Dras ?) (HAYDEN, 1916; ABU BAKR, 1965; TAHIRKHELI et al., 1979; TAPPONNIER et al., 1980).

- Les flysch à blocs: d'âge inconnu, ils sont toujours situés à la base du flysch de Nindam, constituant certaines des "zones de mélange" des auteurs (FRANK et al., 1967; FUCHS, 1977, 1979; BAUD et al., 1982). Parmi les blocs, se rencontrent des radiolarites vertes très déformées, des laves et des agglomérats, des calcaires et des grès. Il est possible que ce flysch à blocs se soit formé dans l'axe de la fosse de subduction. Les

lames d'ophiolites (et de schistes bleus) considérées jusqu'à présent comme des "éléments de mélange" pourraient tout aussi bien constituer des blocs.

b) La marge passive

Elle correspond à la marge du subcontinent indien (fig. 2). Du Nord au Sud, il apparaît:

- Le flysch de Lamayuru

Flysch argileux et argilo-calcaire où l'on a caractérisé des niveaux du Trias moyen (Ladinien, FRANK et al., 1976) à supérieur (Norien: FUCHS, 1977) et du Dogger. Interstratifiés dans le flysch du Lamayuru se rencontrent des débris de toutes tailles de calcaires issus du démantèlement des séries de plate-forme de la marge indienne (olistolites, brèches sous-marines d'écroulement, calcaires oolitiques resédimentés grains par grains in BASSOULLET et al., 1981).

Dans les schémas classiques ce flysch représente des dépôts détritiques de la base de la pente continentale du subcontinent indien. Il se suit de façon pratiquement continue d'un bout à l'autre de la chaîne, et est séparé de l'unité de Nindam par une bande de formations à blocs (blocs de radiolarites rouges très déformées et de calcaires permiens et triasiques (BASSOULLET et al., 1978)).

- Les carbonates de la plate-forme (nappes du Zanskar) (BASSOULLET et al., 1979; BAUD et al., 1982).

Il s'agit de séries mésozoïques à tertiaires très nettement apparentées aux séries encore adhérentes au haut Himalaya, dont elles diffèrent par leur Crétacé supérieur à faciès pélagique (BASSOULLET et al., 1978). Ces unités ont subi plusieurs phases de déformation, la nappe supérieure est épimétamorphique.

A l'Est du Ladakh apparaît sous la nappe carbonatée supérieure une unité cristalline (Nimaling) comportant des métagranites, des quartzites et dolomies métamorphiques et des calcschistes (schistes lustrés) et marbres (BAUD et al., 1982). Elle se prolonge dans les massifs cristallins internes de Tso Morari et Rupshu (BERTHELSEN, 1953), et représente peut être le socle des nappes carbonatées (in MASCLE, 1984).

c) Les vestiges de la croûte océanique téthysienne

Les témoins de la croûte océanique apparaissent soit de façon discrète, pincés dans les contacts tectoniques majeurs qui séparent les diverses unités flyschoïdes (écailles ophiolitiques et radiolaritiques, flysch à blocs ?), soit sous forme de klippes ophiolitiques (klippe de Photaksar au Ladakh, klippes de Jungbwa et Amlang-La au Kailas, klippe de la région de Xigaze, klippe de Dargaï et de Zhob au Pakistan) seuls vestiges des nappes charriées vers le Sud sur les sédiments de la marge indienne (obduction).

3- L'EQUIVALENT DES FORMATIONS DU BASSIN DE L'INDUS A L'EST DU LADAKH

Au Tibet central, les granodiorites sont recouvertes par les molasses de Kailas, série conglomératique continentale de près de 4 km d'épaisseur, d'âge mal connu, attribuée à l'Eo-Oligocène (GANSSER, 1964), ou parfois au Mio-Pliocène par comparaison avec les Siwaliks du sub-himalaya (TEWARI, 1964). Les éléments détritiques sont des granodiorites issus des batholites et des laves de la ceinture calco-alcaline. Ces séries sont peu déformées et chevauchées au Sud par des flyschs (HEIM et GANSSER, 1937; GANSSER, 1964) (in MASCLE, 1984).

Dans la région de Xigaze, des conglomérats à galets de granitoïdes issus du batholite de Kangdese et de matériel ignimbritique, andésitique et pyroclastique, provenant des séries de Lingzizong reposent directement sur le batholite. Ils sont localement interstratifiés avec des nappes d'ignimbrites (BURG et al., 1983). Cette série, nommée formation de Qiuwu, a été rapportée au Crétacé (WU et al. 1977) lorsqu'elle était considérée comme la base du groupe de Xigaze; elle est actuellement attribuée au Cénozoïque (KAUFFMAN, 1981) et séparée de la série de Xigaze avec laquelle elle est en contact tectonique (BURG, 1983).

Les conglomérats de Kailas et les formations de Qiuwu pourraient se corréler aux formations du bassin de l'Indus.

tel-00641418, version 1 - 15 Nov 2011

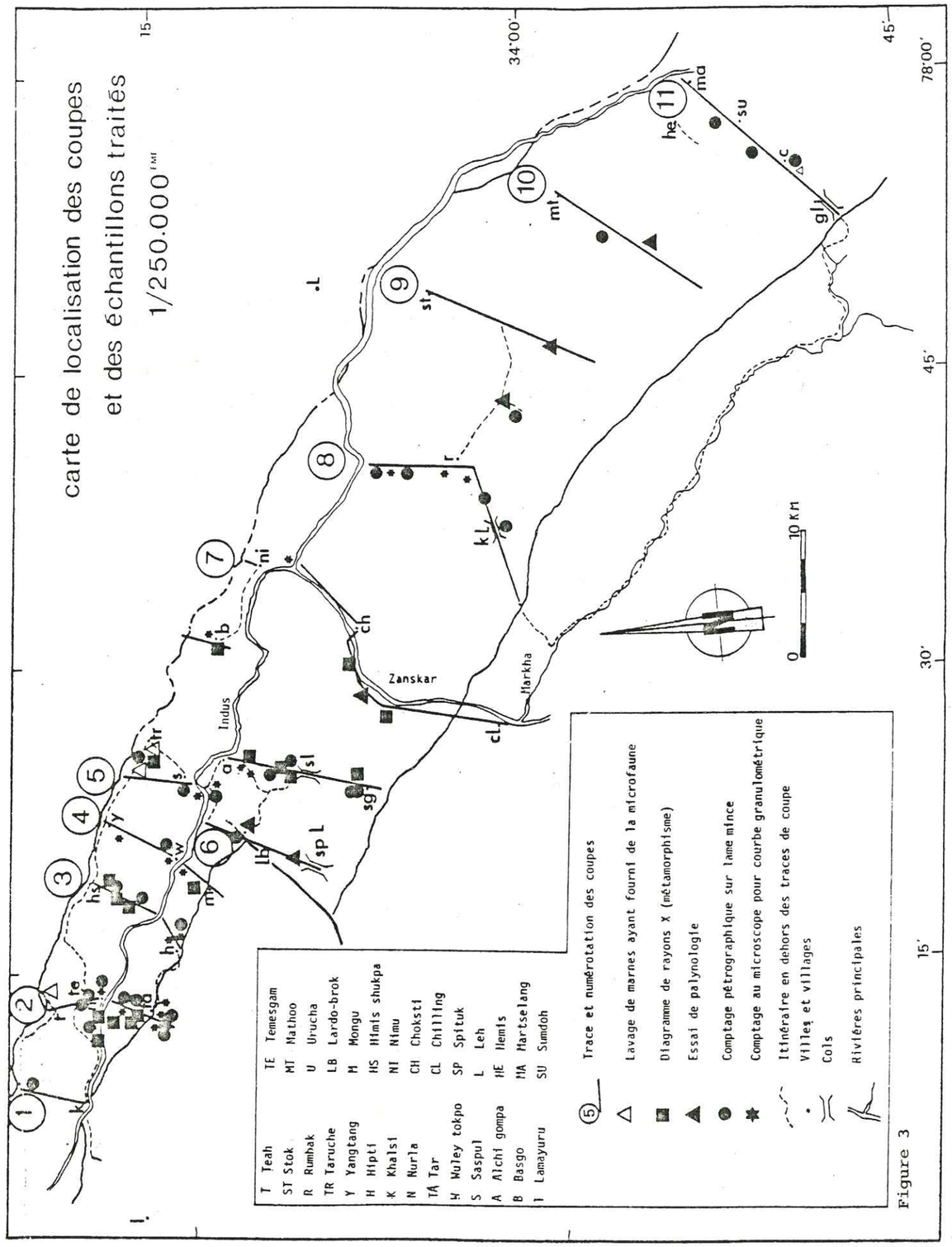


Figure 3

CHAPITRE I

DESCRIPTION DES FORMATIONS

INTRODUCTION

Les différentes coupes réalisées montrent que les deux bordures du bassin présentent des unités lithostratigraphiques différentes.

Au Sud sont distinguées cinq unités majeures:

I - Les calcaires de Khalsi.
II - La série verte de Tar.
III - Les calcaires de Sumdah Gompa et sédiments terrigènes associés.
IV - La série à Nummulites.
V - Les marnes d'Urucha.

Dans la partie septentrionale du bassin, sur le batholite Ladakhi, deux unités sont définies:

I - La série de Basgo-Skinning.
II - La série jaune de Temesgam.

Au centre du bassin s'observent deux ensembles, qui au Nord surmontent la série jaune de Temesgam, alors qu'au Sud, ils reposent sur différentes unités (voir Chapitre II). Ce sont:

I - La molasse continentale où l'on distingue:

a- Les pélites rouges de Gongmaru-la (série de Sumdo)
b- les conglomérats d'Hémis et du Stakspi-la
c- La molasse multicolore de Nurla
d- Les conglomérats de Choksti

II - Les grès de Nimu-Alchi.

A) LES ENSEMBLES LITHOSTRATIGRAPHIQUES DE LA PARTIE MÉRIDIONALE ET CENTRALE DU BASSIN DE L'INDUS AU LADAKH

Historique

Dans le bassin de l'Indus, 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, 1976; STERNE, 1979; BAUD et al., 1982) existeraient un ensemble molassique, transgressif sur la ceinture granitique (voir partie B du même chapitre), et un ensemble essentiellement flyschoïde et molassique dans lequel ont été différenciées plusieurs unités lithostratigraphiques (voir tableau), (STERNE 1979, BAUD et al. 1982, PAL et MATHUR 1977, MATHUR et al. 1983, SRIVASTAVA et al. 1979), charrié sur le précédent.

tel-00641418, version 1 - 15 Nov 2011

tel-00641418, version 1 - 15 Nov 2011

PAL et MATHUR 1977	FUCHS 1977-79	âge	SRIKANTIA et al 1979	âge	STERNE 1979	âge	BAUD et al 1982	âge	BROOKFIELD et ANDREWS SPEED 1983	âge	MATHUR et al 1983	âge	VAN-HAVER et al 1984	âge
Membre A	Calcaires de Khalsi (nappe de Nindam)	APTIEN	A red and green shally flysch with surbordinate sandstone/limestone	C R E T A C E / E O C E N E	Barremian-Aptian limestone	BARREMIEN APTIEN			Khalsi limestone	APTIEN ALBIEN inf.	Orbitolina zone (zone I)	CRETACE inf.	SUD Calcaires de Khalsi — NORD	BEDOULIEN ALBIEN moy.
Membre B	flysch de l'Indus	CRET.	B arenaceous flysch with surbordinate shale		Indus flysch (nappe de Nindam)	CRET. sup. EOCENE					Zone II	CRETACE moy.		
Membre C		M I O , P L I O C E N E	C grey shally flysch with surbordinate sandstone/limestone		Hemis conglomerates Nimu grits Upshi-Miru conglomerates LYDDEKER Nummulitic limestone Jurutze marls	pré-SENONIEN CRET. term. EOCENE moy.	Série jaune de Chogdo(marnes de Jurutze) couches à Nummulites=molasse de Sumdo	EOCENE inf. EOCENE moy.	Khalsi flysch basal clastic Jurutze marls Jurutze flysch(and Nummulitic limestone) SUD	CRETACE CUISIEN PALEOCENE sup.	Zone III	PALEOCENE	Série verte de Tar (Calcaires de Sumdah-gompa) — Série de Basgo-skinning	ALBIEN sup. MAESTRICHTIEN PALEOCENE?
Membre D (Lat: cong'.)	molasse de l'Indus		D red shally flysch with surbordinate sandstone/siltstone		Stakspi-la-Basgo shales	OLIGOCENE MIOCENE	Conglomérats d'Hemis=conglomérats du Stok kanri Molasse bariolée(membre B et E de PAL ?)	post EOCENE moy. ?	NORD Rumbok molasse Kongmaru-la molasse	P O S T E O C E N E	Zone IV à X	EOCENE inf.	Série à Nummulites Marnes d'Urucha — Série jaune de Temesgam	ILERDIEN-CUISIEN LUTETIEN?
Membre E			E conglomeratic flysch with surbordinate sandstone and shale				Molasse rouge du Gongmaru-la(membre D de PAL ?)	?	Zinchong molasse Nimu grits Hemis congl.	OLIGOCENE	?		Pélites rouges du Gongmaru-la =(molasse de Sumdoh — molasse du Gongmaru-la) Conglomérats d'Hemis=conglomérats du Stakspi-la Molasse multicolore de Nurla Conglomérats de Choksti Grès de Nimu-Alchi	P O S T E O C E N E M O Y E N

tel-00641418, version 1 - 15 Nov 2011

Pour d'autres (COLCHEN 1977, BASSOULLET et al. 1978, 1980, 1982, SRIKANTIA et 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 et RAZDAN 1980).

D'autre part, l'âge attribué à ces séries est très variable: Crétacé supérieur à Eocène (LYDEKKER, 1883, DAINELLI, 1933-1934, BASSOULLET et al. 1978, 1982), Crétacé supérieur à Miocène (SKRIKANTIA et RAZDAN, 1980).

I - LES CALCAIRES DE KHALSI

Trois coupes nous ont permis de caractériser cette unité qui représente les faciès les plus méridionaux que nous rattachons au bassin.

1- COUPE DE KHALSI-HANGRU (BASSOULLET et al., 1982) (cf. Fig. 2.6)

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.
Du Sud au Nord, la succession est la suivante.

A - 10 mètres d'alternance de calcaires noirs en bancs pluri-décimétriques, intercalés de minces lits de shales; les calcaires contiennent des Orbitolines (détermination de E. FOURCADE) et des débris de Mollusques; les microfaciès montrent soit des biomicrites à Foraminifères, Algues, Mollusques et spicules de Porifères (Orbitolina (Mesorbitolina) gr. texana DOUGLASS; Orbitolina (Mesorbitolina) subconcava LEYMERIE; Orbitolina (Mesorbitolina) parva DOUGLASS; "Cuneolina" scarcellai de CASTRO; Nezzazata sp., Ammobaculites sp.; Lithocodium aggregatum ELLIOT; Ethelina 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 - 7 mètres 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 - 12 mètres 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; Ethelina alba (PFENDER) et des fragments de Rudistes.

2 - COUPE DE KHALSI-EST (cf. Fig. 2.5)

Cette coupe est située à 25 km à l'Est du village de Khalsi là une barre calcaire traverse l'Indus, et est recoupée par la route Khalsi Leh.

A - Du Sud au Nord, donc de haut en bas, on distingue quelques mètres (12 m) de calcaires noirs fins en petits bancs à Hedbergella planispira (TAPPAN 1940), Hedbergella sp. du groupe infracretacea, Spiroplectinata sp. du groupe annectens (détermination M. MOULLADE, réalisée sur des sections) qui indiquent un âge Albien inférieur à moyen.

B - Cinq mètres de calcaires bleutés massifs à débris de Rudistes, à bioclastes abondants, Orbitolina sp., Favusella washitensis CARSEY.

C - 1 mètre de calcaires détritiques à stratifications obliques.

D - 8 mètres de calcaires massifs, identiques à B, à débris de Rudistes.

E - 2 mètres de calcaires détritiques, comme C, à nombreuses Orbitolines.

F - 20 mètres de calcaires massifs bleutés à Rudistes, Chaetetidés et nombreux bioclastes; J. PHILIP a déterminé Sphaerulites sp. cf. cantabricus DOUVILLE datant l'Aptien-Albien.

G - 3 mètres 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 multicolores de Nurla au Nord (voir p. 24).

Des éboulis provenant des niveaux F et G ont fourni Orbitolina (Mesorbitolina) subconcava LEYMERIE (sensu SCHROEDER); Orbitolina (Mesorbitolina) texana DOUGLASS (dét. E. FOURCADE) et Polyconites sp., Eoradiolites sp. cf. gilgitensis DOUVILLE (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 (cf. Fig. 2.4)

Cette coupe est située immédiatement au Nord du village de Tar , dans la vallée d'un torrent de rive gauche de l'Indus face à Nurla; elle montre une série renversée comportant de haut en bas:

1) Une barre puissante d'environ 250 mètres constituée par des bancs centimétriques à plurimétriques de calcaires massifs gris sombre à patine orangée.

Du Sud au Nord, donc de bas en haut stratigraphiquement, on distingue:

A - 30 mètres de calcaires biomicritiques bleutés à Rudistes, Madreporaires, Bacinelles et nombreux bioclastes contenant Preorbitolina sp. et Palorbitolina lenticularis (BLUMENBACH) (déterminations: A. ARNAUD-VANNEAU) datant donc le Bédoulien.

B - Quelques centimètres de shales silteux vert foncé qui admettent de fins lits gréseux, ainsi qu'un niveau de microbrèches à débris d'organismes (Orbitolines et Rudistes), fragments de roches calcaires et volcaniques.

C - Huit mètres de calcaires détritiques à nombreuses orbitolines dont Mesorbitolina groupe parva-minuta (déterminations A. ARNAUD-VANNEAU) datant donc l'Albien inférieur. Outre les orbitolines s'observent des algues rouges et Coscinophragma cribrosum (THALMANN) (détermination A. ARNAUD-VANNEAU).

D - 60 mètres de calcaires massifs bleutés riches en Rudistes et Nérinées.

E - 10 mètres de calcaires détritiques identiques à C.

F - Après une lacune d'observation, due à la structure d'environ 40 mètres, s'observent 50 mètres de calcaires sparitiques, massifs (bancs de 50 centimètres à 5 mètres) à nombreux rognons de silex.

G - 30 mètres de calcaires beige clair, biodétritiques, très fins et parfois riches en Nérinée.

Ces calcaires sont la continuité vers l'Est de ceux de Khalsi, continuité particulièrement nette sur les enregistrements Landsat (fig. 5.1.).

2) Une centaine de mètres de sédiments terrigènes plus ou moins grossiers (série verte de Tar) en contact stratigraphique avec les calcaires précédents.

II - SERIE VERTE DE TAR (200 mètres)

a) Introduction

Cette unité n'est actuellement observable qu'entre Khalsi et Lardo brok. Elle correspond au Flysch de l'Indus décrit par G. FUCHS (1977, 1979), A. GANSSER (1964, 1976, 1976), S. KUMAR (1983).

Notons qu'à l'Est d'Hemis, aux abords du village de Gya (zone interdite), PANDE et al. (1969), GUPTA et al. (1970), TEWARI et al. (1970) signalent une microfaune du Crétacé supérieur (Santonien, Campanien) (Globotruncana fornicata, PLUMMER, Ruggoglobigerina bulbosa, Globigerinella aspera (EHRENDBERG), Heterohelix globosa (EHRENBERG), Heterohelix plulchera (EHRENBERG), dans une unité flyschoïde de teinte vert-olive qui pourrait correspondre à l'équivalent latéral de la série verte de Tar.

Pour certains (FUCHS 1977-1979; STERNE 1979; SRIKANTIA et RAZDAN, 1980) existerait un contact tectonique majeur entre les calcaires de Khalsi et cet ensemble flyschoïde. Cependant partout où il a été observé, ce contact est stratigraphique (BASSOULLET et al., 1978, 1982; BROOKFIELD et ANDREWS SPEED, 1984; COLCHEN et al.; VAN HAVER et al., 1983, 1984).

tel-00641418, version 1 - 15 Nov 2011

b) Coupe synthétique (cf. Fig. 2.7, 2.8)

A Tar, la surface irrégulière des Calcaires de Khalsi est recouverte par quelques centimètres de marnes calcaires associées à de très minces bancs lenticulaires de grès mal indurés, riches en Belemnites roulées et concentrées dans des poches. Au-dessus de ces marnes viennent environ 30 mètres de grès calcaires en petits bancs pluridécimétriques (entre 10 et 50 cm) de teinte gris bleuté. A la base de cet édifice, trois mètres au-dessus de la surface des calcaires, nous avons récolté des Ammonites (photos 1 et 2). J.P. THIEULOY a déterminé Anapuzosia sp. et Hystoceras sp. datant précisement l'Albien supérieur (sous zone à orbignyi) ce qui signifie que l'intervalle de temps séparant les faciès de plate-forme et l'unité flyschoïde est extrêmement bref.

Faisant suite aux grès calcaires apparaissent une dizaine de mètres de black shales (pencil shales) n'ayant fourni aucune faune ou flore (foraminifères ou pollens). Ils sont surmontés par une épaisse série gréso-pélitique de teinte vert foncé (160 mètres) comportant des olistolites de calcaires biodétritiques à orbitolines de toutes tailles (voir fig.1.2). Localement, se rencontrent des microbrèches à éléments calcaires provenant de niveaux différents de la barre de calcaire de Khalsi (mélange de faunes albienne et aptienne: Palorbitolina et Mesorbitolina, détermination A. ARNAUD). Au tiers inférieur de cet ensemble gréso-pélitique affleure un mince banc de calcarénites gréseuses, interstratifié dans des conglomérats à galets de granodiorites, dans lequel nous avons récolté Siderolites calcitrapoïdes LAMARCK (photo) et Lepidorbitoïdes socialis LEYMERIE (photo) (détermination M. NEUMANN) datant du Maestrichtien. Légèrement plus haut apparaît un niveau lenticulaire de conglomérats à galets polygéniques qui ravine les pélites sous-jacentes. Ces conglomérats passent latéralement à des greywackes ou à des brèches à éléments calcaires dominants (calcaires à orbitolines, calcaires sparitiques beige rosé). Au-dessus de cet épisode grossier se retrouve un ensemble gréso-pélitique; les bancs de grès quartzitiques deviennent de plus en plus fréquents vers le haut et passent progressivement à une épaisse masse stratifiée de conglomérats à galets polygéniques bien arrondis. Un contact tectonique sépare cet ensemble des séries détritiques continentales situées plus au Nord (pélites rouges du Gongmaru-la, molasse multicolore de Nurla).

III - LES CALCAIRES DE SUMDAH GOMPA ET LES SEDIMENTS TERRIGENES ASSOCIES

(cf. coupe du Stakspi-La, du Spangting-La et de la rivière Zanskar)

Une seule coupe détaillée a été levée dans cette unité, au Nord du village de Sumdah-Gompa. Les observations seront complétées par des données ponctuelles provenant de différentes régions du bassin (rivière Zanskar, Spangting-la).

Au Nord du village de Sumdah-Gompa existe une barre calcaire puissante de 50 mètres, plissée en un anticlinal très pincé. Les deux flancs de cette structure montrent des faciès différents (fig.1.1).

A - FLANC SUD

a- 20 m de calcaires massifs, en gros bancs métriques. Ces calcaires de teinte beige-clair en cassure et orangée en patine sont très recristallisés. Vers leur sommet, apparaissent des lits noduleux, plus sombres, microcristallins, interstratifiés avec de très minces bancs pélitiques. Malgrè la recristallisation intense J.P. BASSOULLET a pu reconnaître dans ces calcaires des Udoteaceae (Algues proches du genre Boueina connues du Trias au Paléocène). Dans la mesure où ces calcaires présentent d'étroites analogies de faciès avec des calcaires, datés du Paléocène au Tibet (*); il est possible qu'ils représentent ici le Paléocène aussi. Cependant, un âge Aptien-Albien avait été retenu antérieurement (VAN HAVER et al., 1984) par comparaison avec les calcaires de Khalsi; cette hypothèse demeure plausible.

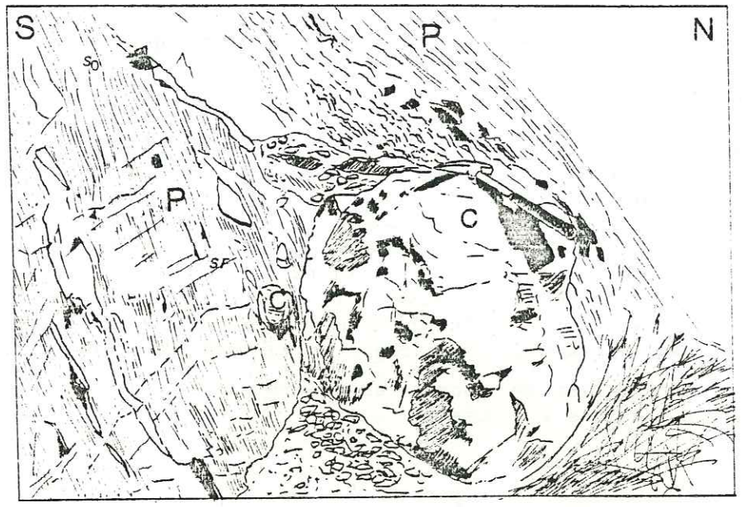


Fig 1.2: Olistolites calcaires (C) dans la série pélitique verte de Tar (P)

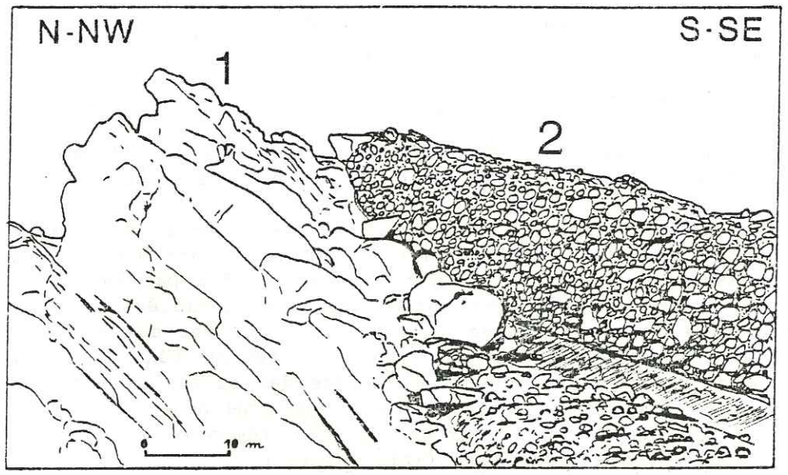


Fig 1.4: Contact (discordance) entre les granodiorites du Ladakh (1) et les conglomérats de Skinning (2) (voir aussi photo 6)

tel-00641418, version 1 - 15 Nov 2011

b- 5 m de calcaires biodétritiques très gréseux riches en polypiers, débris d'Echinodermes et de Lamellibranches, en bancs d'une dizaine de centimètres de puissance, alternant avec des shales pélitiques sombres.

c- 100 m de pélites gris vert contenant des bancs décimétriques de grès quartzitiques roux à ciment calcaire, riches en Gastéropodes et gros Lamellibranches costulés (gastéropodes turritellidae, du genre Turritella (groupe Haustator) connu du Néocomien à l'actuel, mais surtout répandu à partir du Paléogène. Ces formes montrent des tours imbriqués qui sont caractéristiques du Paléocène et de l'Eocène; Bivalve Cardiacea qui semble appartenir au genre Pseudocardita (simple lignée), genre jusqu'ici connu dans le Néogène (Pontien) d'Asie Mineure, mais dont il n'est pas exclu qu'il aitpû apparaître plus précocement (paléocène) en d'autres lieux. Cette faune déterminée par J.C. FISCHER et A.LAURIAT-RAGE, est révélatrice d'un paléomilieu d'eaux saumâtres très peu profondes, situé à proximité d'aires émergées. Vers le sommet s'observe un banc centimétrique de brèches à éléments calcaires, ainsi qu'un niveau de calcschistes gréseux à lamellibranches riches en oogones de Charophytes (détermination de J.P. BASSOULLET).

d- 20 m d'alternances de quartzites clairs enbancs décimétriques et de minces lits de pélites silteuses.

B - FLANC NORD

Par rapport à la coupe précédente, il manque le terme b. Les ensembles pélito-gréseux c et d sont légèrement plus épais (130 mètres), avec une partie inférieure montrant une prédominance de grès roux à gros lamellibranches costulés.

C - VERS L'EST

En se dirigeant vers la rivière Zanskar, les niveaux calcaires se retrouvent en aval d'Ezans. L'ensemble pélito-gréseux disparaît et la série nummulitique (calcaires marneux en plaquettes, riches en Asterodiscus, cf. partie 4 du même chapitre) surmonte directement les calcaires. Les grès calcaires roux à gros lamellibranches réapparaissent plus à l'Est (lit de la rivière Zanskar).

D - VERS L'OUEST

Cette unité peut être recoupée plusieurs fois sur l'itinéraire conduisant au Spangting-la. Les faciès différent au Nord et au Sud.

1- Au Nord: la barre calcaire (wackstone) est constituée de minces bancs décimétriques de teinte claire, parfois riches en Polypiers, qui alternent avec des pélites silteuses rouges ou des passées métriques de grès. Cette barre, plissée en anticlinal, est encadrée par un ensemble gréso-pélitique (pélites rouges interstratifiées avec des bancs métriques de grès moyens parfois conglomératiques) de faciès identique à celui de la molasse multicolore de Nurla. La surface des calcaires est ici ondulée et moulée par les pélites silteuses rouges qui englobent des petits nodules calcaires, témoins de l'altération et du remaniement sur place des calcaires sous-jacents (paléosol) (voir fig.1.3).

2- Au Sud: Au-dessus de la barre calcaire existe une épaisse masse de grès quartzitiques roux à ciment calcaire, riches en empreintes et moules de Lamellibranches fortement costulés.

tel-00641418, version 1 - 15 Nov 2011

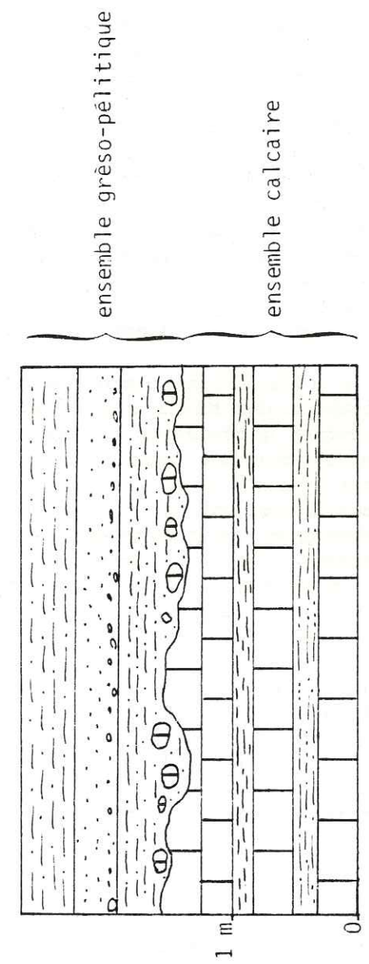


Fig 1.3: Détail du contact calcaires de Sumdah-gompa – unité gréso-pélitique, au niveau de la première barre recoupée en montant au Spangting-la

IV - LA SERIE A NUMMULITES (LYDEKKER, 1880) (cf. Fig. 2.11)

A - INTRODUCTION

Trois coupes ont été levées dans cette unité. La première, située dans le lit de la rivière Zanskar, permet de caractériser les faciès des bancs à Nummulites. Les deux suivantes, situées respectivement à Chogdo et au pied de Mathoo-Kanri montrent différents faciès terrigènes liés aux dépôts des calcaires à Nummulites. Des observations ponctuelles complètent ces coupes, notamment aux environs du Parcha Kanri où apparaît un corps sédimentaire gréso-conglomératique.

B - COUPE DE LA RIVIERE ZANSKAR (500 mètres)

1- Lithologie

a) Elle débute par 130 mètres de sédiments terrigènes essentiellement gréseux, parfois conglomératiques qui alternent avec des pélites rouges.

b) Sur cet ensemble terrigène s'observent environ 85 mètres d'alternance de bancs gréso-conglomératiques et de dépôts carbonatés.

Les conditions favorables à la sédimentation de carbonates, et par la même occasion à la prolifération des Nummulites, étaient parfois interrompues par des arrivées détritiques grossières liées à des périodes où les fleuves apportaient, dans ce secteur du bassin, du matériel terrigène.

c) Ensuite viennent près de 80 mètres de dépôts carbonatés. Les conditions devaient être telles que les flores associées aux Nummulites aient pu prospérer. Vers le sommet, les calcaires deviennent marneux, les conditions d'environnement sont perturbées et s'observent 50 mètres de pélites silteuses dont les derniers mètres sont plus riches en minces niveaux gréseux. Les pélites renferment encore de nombreuses Nummulites.

d) Cette coupe se termine par 150 mètres d'un ensemble gréso-calcaire identique à b. Les lits terrigènes montrent parfois des litages obliques et entrecroisés qui témoignent d'une forte influence fluviatile. Tout au sommet de cette unité, des niveaux lumachelliques apparaissent, représentant un niveau d'énergie élevé (zone littorale, action des vagues). Le contact avec l'unité sus-jacente (molasse multicolore de Nurla) est ici stratigraphique.

2- Age

Les échantillons récoltés le long de cette coupe ont permis à A. BLONDEAU de déterminer:

Neomeris Sp.; Miscellanea miscella PFENDER; Cymopelia Sp.; Ovulites Sp.; Assilina levis SHEN et 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; Alveolina cf. ellipsoïdalis (voir photo) HOTTINGER; Alveolina cf. ilerdensis (voir photo) HOTTINGER; Opertorbitolites Douvillei NUTTALL; Broeckinella sp.; Orbitolites sp.; Nummulites cf. globulus (voir photo) LEYMERIE; Nummulites cf. mamillina DOUVILLE; Nummulites atacicus LEYMERIE; Nummulites cf. dolloti DE CIZANCOURT; Nummulites cf. lahirii DAVIES; Nummulites cf. pimfoldi DAVIES; Nummulites solitarius

(voir photo) ; Nummulites burdigalensis (voir photo); Rotalia cf. trochidiformis LAMARCK; Keramosphaera tergestina STACHE; Lockkartia cf. condita NUTTAL.

L'ensemble est d'âge Ilerdien moyen-supérieur à Cuisien.

3 - Compléments

Vers le Sud les niveaux de calcaires francs disparaissent, l'ensemble devenant essentiellement terrigène. Ainsi, en aval du village d'Ezans des pélites calcareuses gris argenté à gris rougeâtre sont directement en contact avec les calcaires de Sumdah Gompa. Elles montrent quelques lits gréso-calcaires roussâtres à Asterodiscus sp.; Orbitolites sp. et Broeckinella sp., d'âge Ilerdien inférieur. Cet assemblage de faune indique un mélange entre des faciès de plate-forme très interne (Orbitolites) et des faciès externes par rapport au banc à Nummulites (Discocyclines) (BLONDEAU, 1972), ceci dans un domaine un peu plus distal comparativement à la région où nous avons levé la coupe précédente.

C - COUPE A LA BASE DE MATHOO KANRI (cf. Fig.2.12)

La série à Nummulites est plissée en un vaste anticlinal; la base de l'unité n'est pas visible. La série est constituée principalement de pélites silteuses, associées parfois à des niveaux plus gréseux riches en lamellibranches. 30 mètres avant le sommet de la coupe, apparaît un banc décimétrique de calcaires gréseux à Nummulites, interstratifié dans une masse gréseuse dont l'un des bancs montre des mud-craks témoignant donc d'une émersion. Cet ensemble est surmonté par huit mètres de marnes couronnées par un niveau lenticulaire gréso-calcaire à petites Nummulites. Le contact supérieur avec les marnes d'Urucha paraît sédimentaire.

D - COUPE DE CHOGDO (série jaune de Chogdo, BAUD et al., 1982) (cf.Fig.2.13)

L'analyse effectuée par Hugo BUCHER à Chogdo montre une succession de séquences turbiditiques gréso-calcaires (calciturbidites) à Nummulites, indiquant une sédimentation de type flyschoïde dans une partie distale du bassin.

E - AUTRES REGIONS (conglomérats du Parcha Kanri)

Le Parcha Kanri est formé par une succession de bancs métriques gréso-conglomératiques qui surmontent une série semblable à celle du Mathoo-Kanri.

Les conglomérats, interstratifiés avec des pélites gris noir, remanient à la fois des formations qui affleurent au Nord et au Sud du bassin: galets de greywackes et de laves (Dras Nindam), galets de calcaires à Orbitolines (Khalsi), galets de calcaires à Nummulites (banc immédiatement sous-jacent, remaniement sur place), galets de granodiorites (batholite Ladhaki). La matrice gréseuse est riche en grandes Nummulites dont les tests sont intacts (ni poinçonnés par des grains de quartz, ni brisés), on pourrait même penser à l'autochtonie, mais il est difficile d'imaginer des Nummulites vivant dans un conglomérat. Selon A. BLONDEAU (1972), un courant, très fortement chargé (grains de sables, galets) peut aboutir à une mise en mouvement en masse du sédiment originel et la faune apparaît alors comme bien préservée. Au Parcha-Kanri, ce corps sédimentaire est puissant d'environ 500 mètres. Il se développe uniquement vers l'Est et disparaît progressivement (100 mètres au Mathoo-Kanri, absent au Sud de Chogdo).

tel-00641418, version 1 - 15 Nov 2011

V - MARNES D'URUCHA

(Marnes de Jurutze: DAINELLI 1935; STERNE 1979; PARONA, 1928).

Cette unité a été reconnue par DAINELLI (1934) aux abords du village d'Urucha où il a décrit une abondante faune de gastéropodes et lamellibranches (cf. Fossa Mancini: Unio, Melania). Ayant mal interprété la structure (plis repliés: cf. coupe) il a associé ces niveaux à ceux de la série à Nummulites.

A l'entrée du village de Chogdo, sous les pélites rouges du Gongmaru-La, affleurent des marnes noires où nous avons récolté une abondante faune de gastéropodes marins. J.C. FISCHER a déterminé: Potamides Sp., Potamides cornelii (cf . Fossa Mancini pl. XXXIII, Fig. 13-18) et Potamides alexandri (cf. Fossa Mancini pl. XXXII, Fig. 10-12), Rhinoclavis anacleti (cf. Fossa Mancini pl. XXXII. Fig. 35-36)(Eocène-actuel), ainsi que plusieurs gastéropodes Thiaridae appartenant à deux espèce distinctes dont une du genre Brotia sous genre Tinnyea (référable à Melania clementis, Fossa Mancini pl. XXI, Fig. 7-17), est connue du Paléocène au Pliocène. Au Nord du village d'Urucha, dans ces mêmes niveaux nous avons récolté une espèce de Bivalve Carditidae du genre Cardocardita (semblable à l'espèce figurée par Fossa Mancini pl. XXX Fig. 1-2 sous le nom de Venericardia cleti) (connue de l'Eocène à l'actuel) (détermination J.C FISCHER et A. LAURIA-RAGE).

Cette faune n'indique pas un âge précis, mais si nos observations sont exactes nous proposons, pour cette unité, un âge éocène inférieur à moyen (Cuisien-Lutétien ?).

Ces marnes sont interstratifiées avec:

. des grès fins noirs en patine, gris en cassure, montrant de nombreux ripples;

. *des calcaires grèseux lumachelliques (débris de lamellibranches et gastéropodes);*

. un niveau pélitique lie de vin et vert amande dont le milieu de dépôt est équivalent à celui des pélites rouges du Gongmaru-La (voir p. 23).

Les marnes d'Urucha puissantes de 150 mètres sur la transversale de Martselang se réduisent à quelques mètres aux abords du village d'Urucha, pour disparaître à l'Ouest de la rivière Zanskar.

Cet ensemble caractérise une sédimentation sur un plateau continental avec des niveaux de tempête (corps sableux où se concentrent de nombreux débris de coquilles: *packstones à ciment sparitique*.

Le fait que l'on observe interstratifié dans cette série un niveau équivalent aux Pélites rouges du Gongmaru-La (voir ci-après) est la preuve du **passage progressif des derniers dépôts marins du bassin de l'Indus aux dépôts continentaux (deltaïques) sus-jacents (concordance stratigraphique).**

VI - LA MOLASSE CONTINENTALE

A - INTRODUCTION

Entre Nurla et Nimu la rivière Indus et la route Srinagar-leh serpentent dans un ensemble molassique versicolore. A l'Est de Leh, les mêmes séries constituent la chaîne des Stok (Stok Kanri, Mathoo Kanri...), ainsi que les différents sommets qui encadrent les monastères de Mathoo et d'Hémis.

Cet ensemble a été subdivisé en quatre unités lithostratigraphiques qui représentent chacune un domaine sédimentaire différent (voir Chapitre II : Analyse granulométrique).

B - DESCRIPTION DES UNITES

Stratigraphiquement de bas en haut apparaissent:

1- Les pélites rouges de Gongmaru-la

Cette unité a été décrite par A. BAUD et al. (1982)sur la transversale de Martselang (molasse de Sumdo et molasse rouge de Gongmaru-la), elle serait l'équivalent du membre D de PAL et al., 1977-1978. Au Nord du village de Chogdo s'observe un contact stratigraphique entre les pélites rouges du Gongmaru-La et les marnes d'Urucha sous-jacentes (voir paragraphe V du même chapitre).

Cet ensemble est principalement composé de pélites silteuses rouges (Sumdo, Gongmaru-La, Stok-La, Saspul, Nurla) parfois micacées, alternant avec de rares bancs de grès fins rouges montrant des figures qui indiquent un milieu continental à côtier (voir Chapitre II).

Dans la partie inférieure, essentiellement au Sud-Est (Gongmaru-La, Chogdo), s'observent quelques niveaux lenticulaires de conglomérats grossiers mal triés, de teinte rouge (voir Chapitre II), ainsi que deux grosses barres de grès grossiers verts à patine orangée.

2- Conglomérats d' Hemis

Ils ont été figurés et décrits par FRANK et al. (1977) et par BAUD et al. (1982). Ils correspondent, pour ces derniers, au membre A de PAL et al. (1977-1978) (voir tableau: partie historique).

Description

Ces conglomérats montrent une grande extension dans la région d'Hémis (200 mètres). En partant de Martselang, on recoupe plusieurs barres lenticulaires de conglomérats très indurés, en bancs de 1 à 10 mètres d'épaisseur, à galets polygéniques (voir Chapitre II) parfaitement arrondis (façonnement fluviatile) et *parfois bien triés* . Ces bancs conglomératiques constituent des chenaux qui ont une extension latérale de plusieurs centaines de mètres; ils alternent avec des pélites silteuses rouges ou noires lardées de bancs gréseux.Vers le Sud, les conglomérats sont constitués par des galets plus petits, dont certains proviennent des calcaires à Nummulites identiques à ceux qui affleurent dans le lit de la Zanskar. Vers l'Ouest, les niveaux conglomératiques disparaissent progressivement (50 mètres à Stok), et n'affleurent plus sur la coupe de la Zanskar.

Entre Lardo Brok et le Stakspi-La, directement sur les calcaires à Nummulites, apparaît une petite lentille conglomératique (conglomérats du Stakspi-La) assimilable aux conglomérats d'Hemis (voir schéma d'évolution générale, page 98), mais qui s'en différencie par une plus grande richesse en galets de calcaire à Nummulites.

Age

Aucune faune caractéristique n'y a été signalée*, seuls les galets de calcaires à Nummulites indiquent un âge post-éocène inférieur.
A. GANSSER compare ces conglomérats à ceux qui constituent le mont Kailas, 500 km plus à l'Est, et qui sont considérés comme des dépôts pliocènes transgressifs sur la ceinture plutonique transhimalayenne.

* LAKHANPAL et al décrivent, dans les conglomérats d'Hemis au Nord-Est de la gompa, une palme fossile du genre Livistona (Livistona wadiai?) qui indiquerait, selon eux, un âge Eocène sup. à Oligocène pour ces dépôts.

tel-00641418, version 1 - 15 Nov 2011

3- La molasse multicolore de Nurla (cf.Fig.2.14)

Elle correspond à la molasse bariolée de BAUD et al. (1982). Pour ces derniers, elle représente en partie le membre B de PAL et al. (1977, 1978) (voir tableau: partie historique). Cette unité se suit sans discontinuité depuis Khalsi à l'Ouest jusqu'à Marstelang à l'Est (soit, sur environ 120 km: voir carte).

Les conglomérats d' Hemis passent en continu, latéralement et vers le haut à une série épaisse de plusieurs centaines de mètres, très replissée, constituée de l'alternance de termes gréseux vert grossier, parfois conglomératiques, en bancs métriques, et de pélites silteuses rouges, vertes ou noires, en masses pluridécimétriques; les barres gréseuses sont riches en figures sédimentaires (voir Chapitre II) et montrent des extensions latérales réduites. En quelques points (au Sud de Zinchang ou de Stok), les niveaux pélito-gréseux ont fourni des coquilles de lamellibranches d'eau douce (Unio ?).

Localement, entre le Stakspi-La et Lardo-Brok, s'observent également des lentilles de brèches calcaires à débris centimétriques de radiolarites. Les éléments calcaires montrent un faciès algaire identique à celui des calcaires de Sumdah-Gompa; ces lentilles représenteraient des klippes sédimentaires issues du démantèlement de la plate-forme paléocène, indiquant donc la mise à l'affleurement à cette époque.

4- Les conglomérats de Choksti (STERNE, 1979)

Entre Choksti à l'Est et à Khalsi à l'Ouest, la molasse multicolore de Nurla est couronnée par deux barres décamétriques de grès conglomératiques comportant parfois des galets bien roulés, pluridécimétriques, principalement granodioritique (Chapitre II).

VII - LES GRES DE NIMU-ALCHI (cf.Fig.2.17)

Ils représentent les derniers dépôts observables du bassin de l'Indus. Définie par STERNE (1979), cette unité est également figurée par SHARMA et al. 1979.

Cette série apparaît immédiatement à l'Ouest du village de Saspul et montre sa plus grande extension à la confluence Indus Zanskar (Nimu Village). Elle affleure encore largement à l'Est de la Zanskar aux abords de Zinchang, puis disparaît sous les anciennes hautes terrasses de l'Indus (elle semble, toutefois, encore affleurer au Nord de Martselang en zone interdite, voir fig. 55).

Les grès de Nimu-Alchi forment une masse puissante de plusieurs centaines de mètres; entre Alchi et Saspul s'observe par endroit le contact stratigraphique entre ces grès et les molasses continentales; 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 ?).

tel-00641418, version 1 - 15 Nov 2011

B) LES ENSEMBLES LITHOSTRATIGRAPHIQUES DE LA PARTIE SEPTENTRIONALE DU BASSIN

Historique

Pour certains auteurs (SRIVASTAVA et al., 1979; DEVENDRA PAL et al., 1977-79; MATHUR et al., 1983) existerait un contact tectonique majeur entre le batholite Ladakhi et les séries continentales de la bordure nord du bassin de l'Indus. Pour d'autres (GANSSER, 1976; COLCHEN, 1977; FRANK et GANSSER, 1977; BASSOULLET et al., 1978-80-82; STERNE, 1979; SRIKANTIA et RAZDAN, 1980; BAUD et al., 1982-1983; VAN HAVER et al., 1983-84) les unités détritiques du bassin de l'Indus sont transgressives sur la ceinture granitique.

Les marnes de Basgo furent reconnues et décrites par A. GANSSER. (LYDEKKER (1883), DAINELLI (1933-1934), SRIKANTIA et BARGAVA (1978) ainsi que STERNE (1979) attribuent un âge crétacé supérieur (Sénonien) à cet ensemble marno-silteux sans justification cependant. Au Ladakh oriental, à Nyomo, selon SRIKANTIA et al. (1980) existeraient des faunes du Cénomanien. On doit aussi noter que PAL et al., 1976, in SRIKANTIA et al., 1978, citent dans **"Les formations de Nimu"**, au Nord du village de Stok, des fossiles*du Crétacé; il est possible qu'ils proviennent des niveaux marneux de la série de Basgo-Skinning.

BROOKFIELD et REYNOLDS (1981) réfutent cet âge crétacé supérieur (communication personnelle) sur la foi de datations obtenues dans le batholite Ladakhi (voir page 6).

INTRODUCTION

A l'Est de la Zanskar, la bordure septentrionale du bassin est presque partout masquée sous d'anciennes hautes terrasses de l'Indus (DAINELLI, 1933-1934) (voir carte, annexes) c'est pourquoi les formations qui apparaissent sur cette bordure du bassin ont été étudiées entre Khalsi et Nimu.

I - SERIE DE BASGO-SKINNING (200 mètres) (cf. Fig. 2.19)

Introduction

Entre Skinning et Nimu, le contact nord des séries de l'Indus avec le batholite Ladakhi a été systématiquement suivi.

Aucun contact tectonique majeur (Basgo - Upshi Thrust) n'existe contrairement à une opinion répandue (SRIVASTAVA et al., 1979; DEVENDRA PAL et al., 1977-1978; MATHUR et al., 1983). Ce contact,partout, où il a pu être observé, est stratigraphique (Fig.1.4), photos 6 et 8).

A) LES CONGLOMERATS

De Skinning à Teah (Fig.1.4) des conglomérats grossiers, mal stratifiés, reposent par l'intermédiaire d'une surface ondulée sur les granodiorites foliées (Skinning) ou sur les laves associées (Teah). Ces conglomérats sont puissants d'une centaine de mètres; les éléments parfois anguleux, très mal triés, atteignent plusieurs mètres cubes (A. GANSSER, 1964; A.P. TEWARI, 1964); il s'agit essentiellement de granodiorites et de laves (voir Chapitre II) qui reflètent assez étroitement la nature du substratum sous-jacent; vers leur sommet apparaissent quelques lentilles de grès grossiers arkhosiques, mal indurés et des niveaux charbonneux.

* Cenomanella archiaciana (D'ORBIGNY), Damesia cretacea (MULL.), Garramites nitidus STEPHENSON.

B) LES MARNES DE BASGO (FRANK et al., 1977)

Entre Nimu et Tarruche, les conglomérats disparaissent et à leur place s'observe une centaine de mètres de marnes tendres de teintes variées (rouges, rosées, vertes, noires ou blanches) qui reposent normalement sur la surface érodée du batholite Ladakhi. On y note des lentilles de sables arkhosiques, grossiers, très mal classés, contenant quelques minces passées de conglomérats à galets arrondis de granodiorites (voir Chapitre II), ainsi que quelques cristaux de gypse. Dans divers échantillons, récoltés à Himis Shukpa, Yangtang et Tarruche, nous avons dégagé, après lavage, une faune assez pauvre d'Ostracodes, composée de Bhythoceratina sp. et de valves juveniles de Platycythereis sp. (détermination R. DAMOTTE) conférant à ces niveaux un âge crétacé supérieur (Maestrichtien) vraisemblable*.

C) AUTRES FACIES

Très localement (entre Yangtang et Sumdoh), la surface du granite est moulée par des calcaires lacustres riches en Algues et Ostracodes.

Plus fréquemment, la base de l'ensemble marneux est marquée par des grès à patine orangée, parfois conglomératiques, dans lesquels ont été récoltés de nombreux Mollusques d'eau douce (dont des Planorbes) associés à des restes dilacérés de plantes.

Là où ni les lacs (marnes de Basgo, calcaires) ni les cônes alluviaux (conglomérats de Skinning, grès à Mollusques) n'apparaissent, se développent des arènes granitiques.

II - SERIE JAUNE DE TEMESGAM (KUKSHO - Formation de Srikantia et RAZDAN, 1980)

A) Nous définissons ici, par ce terme, une très épaisse série (plus de 1000 mètres) essentiellement constituée de pélites silteuses jaune pâle, intercalées, de manière rythmique et monotone, de minces lits de grès quartzitiques fins à patine rousse.

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 galets dérivent exclusivement du Nord (voir Chapitre II), ce qui est en accord avec les directions indiquées par des corps progradants (voir Chapitre II). Le sommet de la série comporte deux bancs décamétriques de grès arkhosiques verts à grains moyens, avec lentilles conglomératiques, intercalés de pélites grises et noires (grès de Wuley Tokpo). Ces grès sont riches en restes de végétaux dilacérés.

B) AGE

Cet ensemble terrigène n'a fourni ni faunes, ni flore caractéristiques; les essais palynologiques et les lavages sont restés jusqu'à présent infructueux. Il est surmonté stratigraphiquement par la série molassique d'âge post-éocène inférieur (pélites rouges de Gongmaru-La) et repose normalement sur les marnes maestrichtiennes de Basgo.

Nous supposons donc, que cette série représente le Paléocène-Eocène inférieur, ce qui en ferait l'équivalent septentrional des calcaires de Sumdah-Gompa et de la série à Nummulites (voir schéma d'évolution générale, page 97).

* BECHMANN a étudié les galets de calcaires à algues et ostracodes récoltés par FRANK et al (1977) dans les séries de Basgo-Skinning (ceinture molassique Nord de FRANK et al 1977; Arpa formation de LAKHANPAL et al 1983); il leur donne un âge compris entre le Permien? et le Crétacé sup.

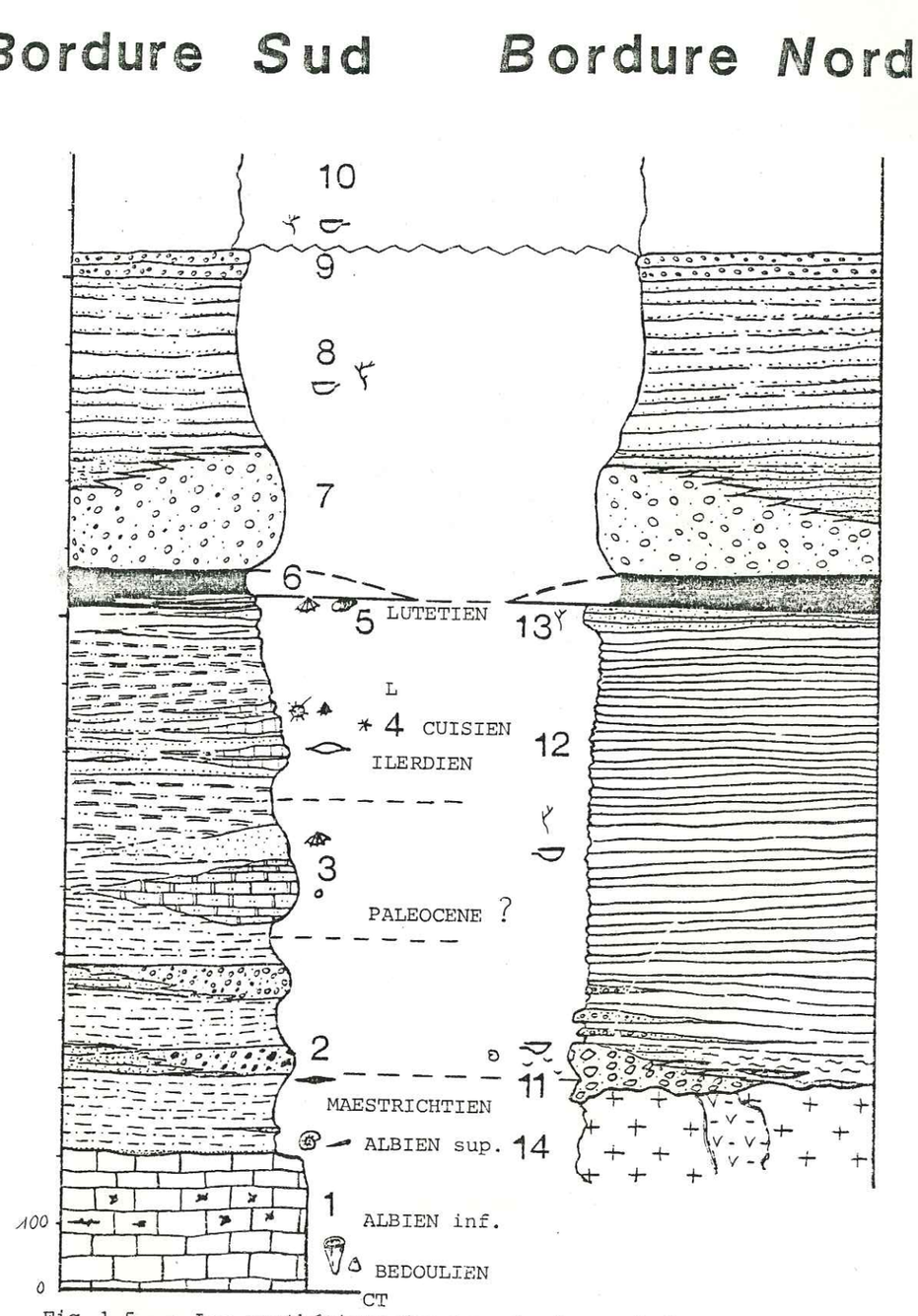


Fig 1.5 : Log synthétique des deux bordures du bassin de l'Indus

1: Calcaires de Khalsi 2: Série verte de Tar 3: Calcaires de Sumdah-gompa 4: Séries à Nummulites 5: Marnes d'Urucha 6: Pélites rouges du Gongmaru-la 7: Conglomérats d'Hemis 8: Molasse multicolore de Nurla 9: Conglomérats de Choksti 10: Grès de Nimu-Alchi 11: Série de Basgo-Skinning 12: Série jaune de Temesgam 13: Grès de Wuley-tokpo 14: Granodiorite et laves associées CT: Contact tectonique majeur
~ : discordance

tel-00641418, version 1 - 15 Nov 2011

C) CONCLUSION (Figure 1.5)

Le bassin de l'Indus comprend une grande variété d'unités lithologiques qu'une cartographie détaillée nous a permis de caractériser et de suivre (voir carte générale du bassin de l'Indus, 125.000e).

Entre l'Albien supérieur, époque où s'individualise le bassin proprement dit, et l'Eocène inférieur (Cuisien), régnaient au Sud du bassin des conditions marines (Série verte de Tar, calcaires de Sumdah Gompa, série à Nummulites), tandis qu'au Nord, se mettaient en place d'épaisses séries continentales terrigènes fossilisant la paléosurface des granodiorites (série maestrichtienne de Basgo-Skinning, série jaune de Temesgam).

Après l'Eocène inférieur s'observent dans tout le bassin d'importants dépôts continentaux correspondant à une superposition de cônes alluviaux. Ces séries s'apparentent aux formations de Qiuwu du Tibet (Academia Sinica, 1980) appuyées au batholite de Kangdese et présumées Eocène (MARCOUX et al., 1983; BURG, 1983; WANG N., 1983; WANG S., 1983).

-=-=-=-=-

CHAPITRE II

ETUDE SEDIMENTOLOGIQUE

INTRODUCTION

Trois aspects seront évoqués:

- L'analyse des données de terrains comportant l'étude des figures sédimentaires, l'analyse séquentielle des différentes unités.

- L'analyse granulométrique des grès dont les résultats sont traduits sous la forme de diagrammes:

  - indice du Qd.phi de KRUMBEIN (1938);
  - indice d'hétérométrie de CAILLEUX (1958);
  - diagrammes de FRIEDMAN (1979) (dont deux tiennent compte des indices de FOLK et WARD (1957)), enfin diagramme de PASSEGA et BYRAMJEE (1969).

Cette étude permet de définir, pour chacune des unités, l'agent de dépôt final, et en particulier de préciser l'appartenance aux divers domaines paléogéographiques de certaines d'entre elles (fluviatile, deltaïque, lacustre, littorale..)

- L'analyse pétrographique des formations détritiques

  - Un comptage pétrographique des galets
  - Une étude des grès avec:
    - un comptage pétrographique au microscope
    - une analyse roche totale aux rayons X
  - Une analyse aux rayons X de la fraction orientée inférieure à deux microns
  - Une analyse géochimique.

I - ANALYSE DES DONNEES DE TERRAINS

A) FIGURES ET STRUCTURES SÉDIMENTAIRES

Cette analyse permet d'approcher les milieux probables de dépôts et d'établir une carte des directions et sens des courants.

Certaines figures permettent en outre d'estimer:

- la vitesse des courants;
- une bathymétrie moyenne.

tel-00641418, version 1 - 15 Nov 2011

A) SERIE VERTE DE TAR

Elle présente peu de figures sédimentaires. On observe cependant:

- à l'échelle de la série des corps sédimentaires chenalisés (conglomérats et brèches) qui ravinent l'ensemble silto-gréseux (coupe de Tar);

- à l'échelle du banc, quelques load-casts à la base des bancs de grès les plus grossiers.

B) LA SERIE A NUMMULITES

Cette unité est marquée par d'importantes variations latérales de faciès qui s'expliquent par une paléogéographie complexe du bassin. De ce fait, les figures sédimentaires sont variées et différentes selon que l'on se trouve dans telle ou telle zone du bassin.

1/ Les bancs de grès associés aux calcaires à Nummulites, qui apparaissent dans le lit de la rivière Zanskar, montrent fréquemment des litages obliques et entrecroisés, des bases de bancs chenalisées, témoins de l'action de courants tractifs dans un domaine *médiolitoral où les chenaux de marée sont fréquents :* (axe de drainage principal: voir reconstitution paléogéographique).

2/ Les grès conglomératiques du Parcha Kanri présentent à leur base de très belles figures de progradation (onlap: voir fig. 2.1), les bancs gréseux montrent fréquemment des load et des flute-casts.

3/ Au sein des pélites de Chogdo (Chogdo-Rumbak) apparaissent des lentilles remplies par des blocs anguleux de calcaires à Nummulites, ces calcaires ayant fourni une faune identique à celle recueillie dans les bancs de calcaires en place (lit de la rivière Zanskar). Ces lentilles sont interprétées comme des remplissages de microcañons qui canalisaient les éléments issus du démantèlement des bancs calcaires (instabilité du bassin). Ces microcañons représenteraient donc des zones de transit entre le domaine où prospéraient les Nummulites et la partie la plus distale du bassin (pélites vertes de Chogdo). Outre ces lentilles, s'observent localement (Rumbak, Stok-La), à l'intérieur des bancs de grès associés aux pélites vertes de Chogdo, des boules d'un matériel en tous points analogue à celui qui forme le banc gréseux. Ces boules de grès montrent un cortex dissociable riche en oxyde, ce qui lui confère une teinte différente (photo 19). Ces figures sont bien connues dans les grès d'Annot des Alpes où elles sont dénommées Slump balls par les auteurs. Elles caractérisent l'instabilité du bassin (séismes), un sédiment non consolidé et très hydroplastique favorisant leur formation. Des tool-casts (photo 18) et les load-casts sont assez fréquents à la base des turbidites gréso-calcaires (terme A) de la série de Chogdo. Les tool -casts, traces d'impacts dues à des objets déplacés par des courants de traction, permettent de définir les sens des apports (voir carte)

4/ Les bancs de grès associés aux calcaires gréseux à Nummulites, qui affleurent au pied de Mathoo Kanri, montrent des mud craks (photo 12) qui témoignent de la mise à l'air (condition d'émersion) de ce sédiment, ce qui souligne encore le caractère très diversifié de la topographie de ce bassin (profondeur nulle dans la région du Parcha-Kanri, plus importante dans la région de Chogdo ou de Rumbak).

C) LES MARNES D'URUCHA

Elles constituent un domaine paléogéographique particulier où se rencontre l'imbrication de couches marines (lumachelle) et de couches deltaïques. Ces dernières montrent quelques figures sédimentaires.

- Des ripple-marks (photo 15) dont les rides sont plates et larges, parfois sinueuses; elles marquent l'action d'un courant.

- Des bioturbations et des terriers, témoins de l'activité animale dans le sédiment encore meuble.

- Des prod-casts dus à un objet (galets...) frappant le fond avec force sous l'action d'un courant dont le sens peut ainsi être connu.

A Urucha, ces figures permettent de définir deux sens de courants opposés. Ce phénomène et bien connu dans les domaines estuariens*, ainsi que dans la zone de battement des marées, ce qui est en bon accord avec l'observation de l'interstratification de couches continentales dans cette unité.

D) LES PELITES ROUGES DU GONGMARU-LA *(SUMDO)*

Les figures sédimentaires y sont nombreuses. On distingue:

1/ Les figures situées au toît des bancs:

- Des ripple -marks linguoïdes de longueurs d'onde moyennes (photo 14 et 16), ce qui indique (planche A in REINECK et SINGH, 1980) une vitesse moyenne des courants proche de 50 cm/s pour une profondeur comprise entre 30 et 40 cm (compatible avec la présence de marques de pas d'oiseau, cf. photo 5) (planche B).

Sur certains de ces ripple -marks, on peut voir des rill marks (photo 14: Fringy rill marks) formés par de petits filets d'eau (ressuiement) qui indique la pente, et donc le sens des courants (les rill marks se forment sous une faible tranche d'eau, ce qui conforte l'estimation de la profondeur précédemment définie).

- Des mud craks, des traces de pas d'oiseaux (photo 5) (Courlis selon J.C. BALOUET), des traces de gouttes de pluie qui indiquent des conditions aériennes à subaériennes.

2/ Les figures situées en semelle ou mur des bancs, quelques rares load-casts sont visibles en sous-face des bancs de grès les plus grossiers (généralement dans les bancs de grès qui constituent la base de cet ensemble pélitique: voir log). *Plus fréquemment s'observent des balls and pilows*

3/ Les figures observables à l'intérieur des bancs.

Dans les sédiments fins s'observent parfois des bioturbations ou des terriers, manifestations d'activité animale dans un sédiment encore meuble.

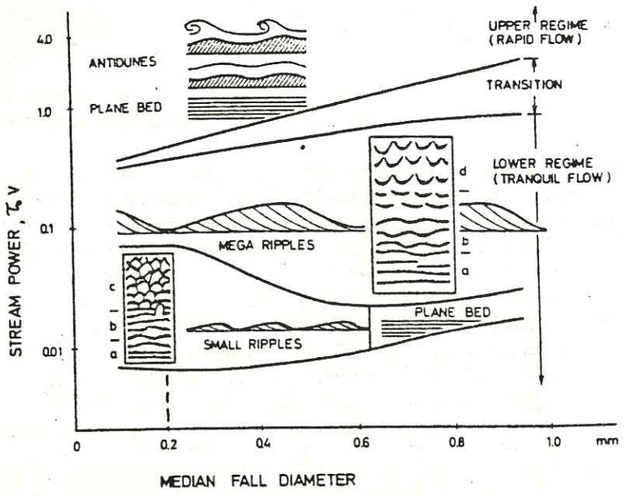
Les litages sont subhorizontaux à légèrement obliques (4 à 5°) preuve d'une pente pratiquement nulle. *Localement les climbing cross lamination sont fréquents.*

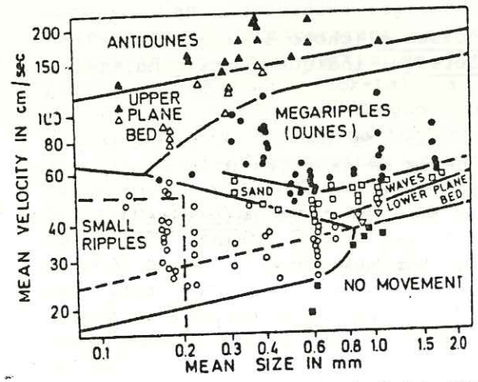
Toutes ces figures caractérisent un milieu peu profond (voire aérien), calme et de toute évidence deltaïque. L'étude granulométrique confirmera cette hypothèse.

* courants de flot et de jusant

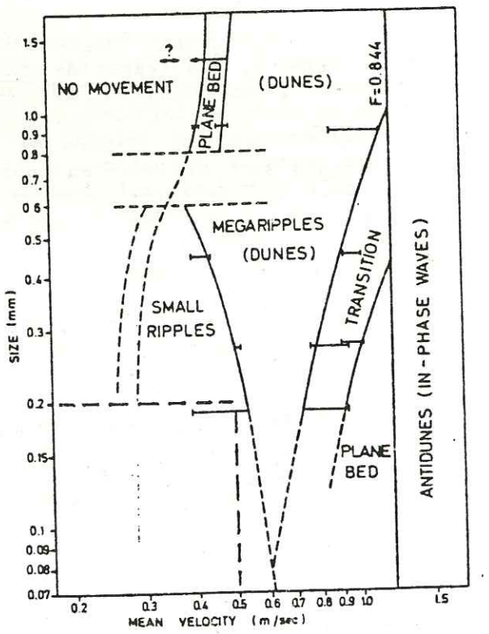
tel-00641418, version 1 - 15 Nov 2011

DETERMINATION DE LA PROFONDEUR DE DEPOT EN FONCTION DE L'ALLURE DES FIGURES SEDIMENTAIRES (ripple marks).



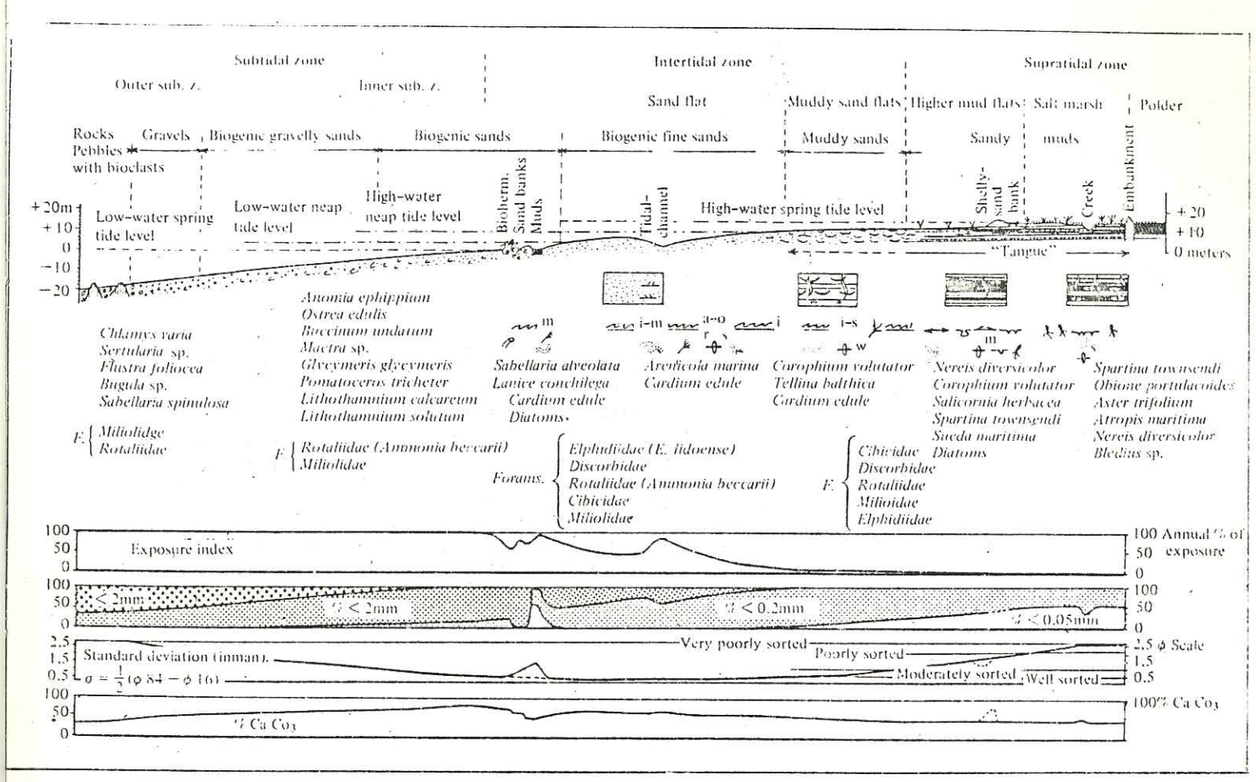


Size velocity diagram for a mean flow depth of about 40 cm, and 10°C. Stability fields of various bedforms in the flume experiments are shown. (Originally from Boguchwal; modified after Middleton and Southard 1978)

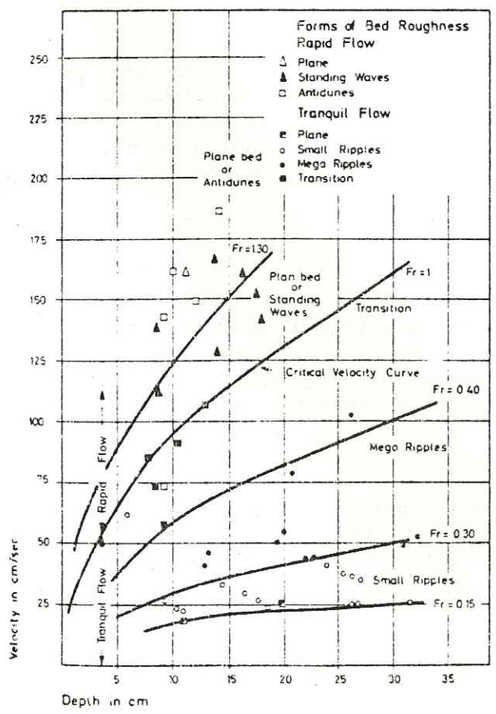


Size velocity diagram for 0.2 m flow depth. Bars represent latitude in placing boundaries in the depth-velocity diagrams. Dashed curves are hypothetical extension of the boundaries.

PLANCHE A



A: Schéma et définition des diverses zones côtières (REINECK & SINGH, 1980)



B: Relation entre la vitesse du courant et la profondeur. Les champs de stabilité des différents niveaux sont marqués par le nombre de Fronde (modifié d'après SIMONS et RICHARDSON, 1962).

Planche B

tel-00641418, version 1 - 15 Nov 2011

E) LA MOLASSE MULTICOLORE DE NURLA

La description des structures sédimentaires est menée à deux échelles. Dans un premier temps sont décrits les corps sédimentaires différenciés à l'échelle de la série. Dans un deuxième temps seront examinées les figures enregistrées à l'échelle du banc.

1/ Corps sédimentaires

a) Les conglomérats d'Hemis

Le mauvais classement observé dans les bancs de grès, ainsi que la grosseur des galets des conglomérats indiquent pour cet épisode un milieu de sédimentation très proximal par rapport au reste de la série. L'étude pétrographique des galets révèle des apports provenant à la fois du Nord (granodiorites de Ladakh) et du Sud (série à Nummulites, nappes des flyschs).

A l'Ouest de la rivière Zanskar on retrouve, à la base de la molasse multicolore de Nurla, des conglomérats comparables à ceux d'Hemis, mais qui renferment davantage de galets de calcaires à Nummulites. Cependant, ils appartiennent à un corps sédimentaire différent (chenal fluviatile), l'ensemble constituant une série de cônes alluviaux proximaux emboités.

b) Les conglomérats de Choksti

Ils affleurent au sommet de l'unité molassique. Leur extension latérale d'environ 50 km permet de les cartographier à l'échelle du bassin. Les galets de granodiorites et laves associées y sont prédominants; ils sont aussi nettement plus grossiers et *moins* arrondis que ceux d'Hemis (milieu très proximal); les sources d'apport sont ici à rechercher exclusivement au Nord.

c) *Les klippes sédimentaires*

Entre le Spangting-La et le Stakspi-La apparaissent des lentilles hectométriques à métriques de brèches à gros éléments calcaires contenant également des débris de radiolarites rouges. En lames minces les blocs calcaires montrent des sections de Dasycladacae (Boueina Sp.détermination J.P. BASSOULLET) ce qui les apparentent aux calcaires de Sumdah-Gompa (voir Chapitre I).

2/ Figures sédimentaires

Elles indiquent un milieu fluviatile et continental, interprétation étayée par l'étude granulométrique (cf. partie 2 du même chapitre).

- Des ripple marks: s'observent assez fréquemment au toit des bancs gréseux, ils correspondent à des rides de courants indiquant une direction Nord-Sud assez constante.

- Des galets mous: très fréquents, marquent une sédimentation rythmique discontinue. Des chenaux canalisent les sédiments (sables ou galets selon la compétence de l'agent de transport); sur les berges et dans la plaine d'inondation se produisent les dépôts de limons noirs sur 5 à 10

tel-00641418, version 1 - 15 Nov 2011

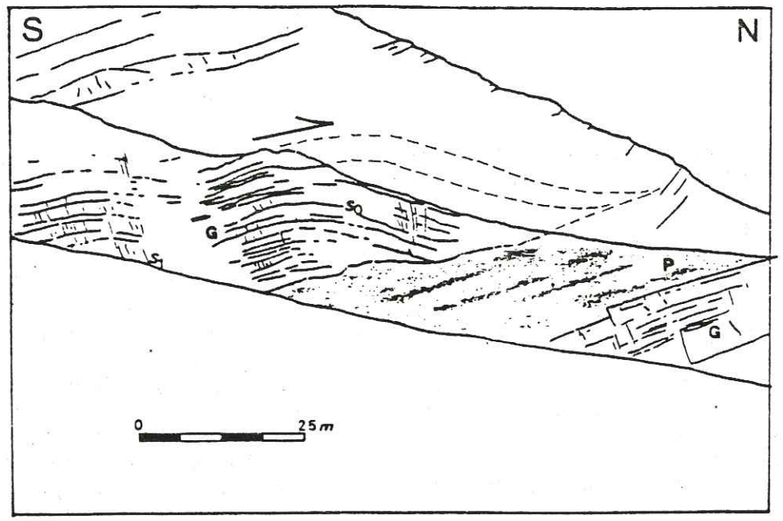


Fig.2.1: Figures de progradation (conglomérats du Parcha-kanri)
P: Pélites G: Grès. La fléche indique le sens des apports

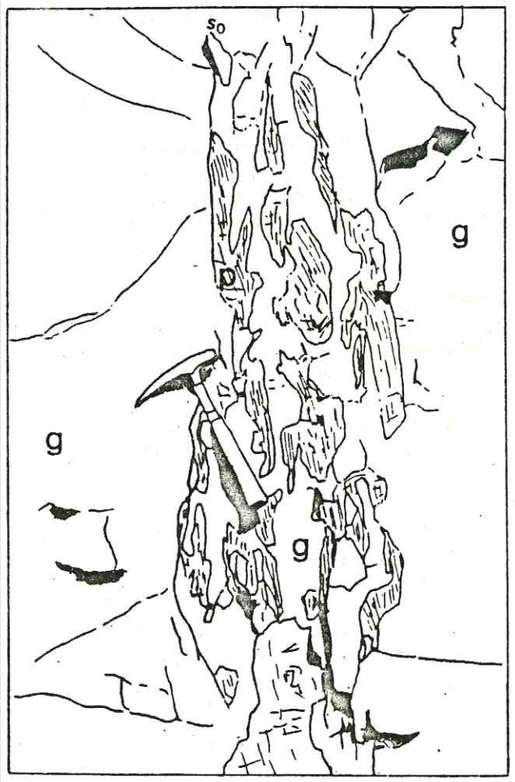


Fig.2.2: Bifurcated wavy flazer bedding (grès de Nimu-Alchi à Saspul)
P: Pélites G: Grès

Fig.2.3: Slump dans les grès de Nimu-Alchi (en aval de Zinchang)

centimètres au maximum; lorsque le chenal change de place, le courant arrache les limons préalablement déposés qui peuvent ainsi constituer des galets mous.

- Des groove casts (figures en quille de bateau), assez rares, indiquent la direction des courants (Nord-Sud) et attestent d'un régime de haute énergie (turbulence).

- Des litages obliques et entrecroisés omniprésents. Leurs angles par rapport à l'horizontale d'origine (en faisant abstraction de la tectonique) sont généralement assez forts, ce qui caractérise un *domaine turbulent d'affinité fluviatile*.

- Des paléosols, peu fréquents (photo 17), témoignent de conditions aériennes de durées suffisamment longues pour permettre la constitution de sols évolués *sous climat semi-aride (paléosols à nodules calcaires "caliches"*.

F) LES GRES DE NIMU-ALCHI

Ils montrent de nombreuses figures sédimentaires surtout localisées dans la région de Saspul-Alchi.

1/ Figures situées en semelle ou mur des bancs

Au Sud de l'Indus, sur la route entre Saspul et Alchi, on peut voir une très belle sous-face de bancs montrant de nombreuses figures de charges (load-casts). Sur d'autres dalles, on observe fréquemment des flute-casts qui indiquent des courants de directions variables d'un banc à l'autre, caractérisant généralement le milieu littoral.

2/ Figures situées au toit des bancs

Des ripple marks sont présents sur la surface de quelques bancs. Ces rides sont très petites et correspondent à des rides d'oscillations plus rarement, à des rides de courants (photo 13). Dans ce dernier cas, et comme pour les flute-casts, elles indiquent des courants de directions variables.

3/ Figures observables à l'intérieur des bancs

De fréquents galets mous apparaissent au sein des grès.

Une structure sédimentaire (Fig.2.2), a été interprétée comme un bifurcated wavy flazer bedding (cf. Flazer). Ces figures se forment dans des conditions d'environnement qui réquièrent simultanément le dépôt et la préservation du sable (milieu turbulent avec des vitesses de courant de l'ordre de 0,5 m/s) et de l'argile (milieu calme).

Ce genre de figures a été décrit dans la zone intertidale, au front de deltas et à la base de sédiments lacustres où se développent de petits deltas, *ainsi que dans des flysch (In REINECK et SINGH)*

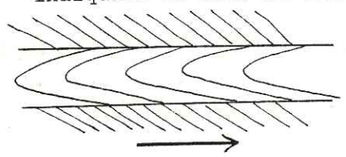
Enfin dans la région de Zinchang, nous avons observé un slump (voir fig. 2.3) témoignant de l'instabilité du milieu, ou tout au moins de l'existence d'une pente.

tel-00641418, version 1 - 15 Nov 2011

Toutes ces figures évoquent un milieu de dépôt complexe que l'étude granulométrique a permis de préciser comme étant lacustre.

G) LA SERIE DE BASGO-SKINNING : *Elle montre*

- *des débris flow et des granoclassements inverses fréquents.*
- des rides d'oscillations en forme de cuiller (ripple marks);
- des figures de charges (load casts);
- des figures d'écroulement de berge;
- des bioturbations, preuve de la présence d'organismes dans le sédiment;
- des litages obliques déversés (overturned folding, Mc KEE, 1953). Ils résultent de la déformation d'un faisceau de litage oblique, avant ou pendant le dépôt de la couche sus-jacente, alors que le sédiment est encore très hydroplastique, le sens de déversement du litage (Fig.) indiquant le sens du courant de la pente.



- dans les marnes qui accompagnent ces grès se rencontrent des cristallisations de gypse, parfois sous forme de roses, indiquant localement des milieux sursalés. Ce gypse doit provenir du lessivage des granodiorites (eaux chargées en cathions, évaporation, cristallisation de gypse).

H) SERIE JAUNE DE TEMESGAM

Outre les flute-casts et les tool-casts qui indiquent clairement le sens de courant du Nord vers le Sud, on observe plusieurs corps progradants (photo 7) qui témoignent, eux aussi, de la constance du sens des apports. Cette constance est un fait marquant qui caractérise l'influence fluviatile.

En marge des zones principales de drainage (Skinning, Saspul) où la turbulence est maximale, s'observent des ripple marks (rides d'oscillation), et des bioturbations qui attestent la présence d'organismes fouisseurs.

Au toit de cette unité sédimentaire, nous avons différencié un épisode plus gréseux: les grès de Wuley Tokpo dans lesquels s'observent:

- Des load -casts et des tool-casts preuve d'un régime en partie turbulent, et qui indiquent encore des sens de courant NW-SE;

- Des mud craks qui témoignent de conditions aériennes temporaires renforçant encore l'idée d'une sédimentation continentale fluviodeltaïque.

B) ANALYSE SÉQUENTIELLE

A) INTRODUCTION

Des levés de coupe banc par banc ont été effectuées dansles diverses unités lithostratigraphiques. Chaque colonne stratigraphique (Log) a une valeur locale, surtout dans les unités terrigènes *deltaiques et fluviatiles où les passages latéraux de faciès sont fréquents et rapides*

Par ailleurs toutes ces unités sont impliquées dans une tectonique qui, au Sud du bassin, peut entraîner des répétitions de bancs.

Cette analyse permet de mettre en évidence les tendances évolutives d'un point de vue sédimentaire, parfois à l'échelle de la séquence (suite logique, issue d'un même évènement sédimentaire compris entre deux diastèmes), le plus souvent à l'échelle de l'unité lithostratigraphique (suite de mésoséquences).

Des corrélations est-ouest ont été réalisées séparément pour le flanc sud et le flanc nord du bassin. Elles donnent une image de chaque corps et épisode sédimentaire avant les stades de déformations.

1) LES CALCAIRES DE KHALSI

Trois colonnes stratigraphiques y ont été levées, l'une au Nord du village de Tar, la seconde le long de la route Khalsi Nurla au niveau du camp militaire (coupe de Khalsi est), enfin la troisième à l'Ouest de Khalsi à la confluence de la rivière Yapola et de la rivière Indus (coupe de Khalsi ouest levée en 1977 par G. MASCLE et J.P. BASSOULLET).

1.1) La coupe levée dans les calcaires de Khalsi, au Nord de Tar, est la plus complète, tout au moins à la base (Fig. 2.4).

Quatre mésoséquences principales y ont été délimitées dans une falaise d'environ 230 Mètres.

- Mésoséquence A (30 m):
Elle est en partie tronquée à sa base par le contact tectonique majeur qui sépare les formations du bassin de l'Indus, de la nappe du flysch de Nindam. On y observe essentiellement des bancs métriques à plurimétriques de calcaires biomicritiques riches en orbitolines et rudistes.

- Mésoséquence B (70 m):
Elle débute par quelques centimètres (50 cm) de pélites silteuses sombres, associées à des grès, surmontées par un mince niveau de brèches polygéniques.

Après cette passée terrigène, les conditions favorables à l'installation d'une plate-forme carbonatée sont à nouveau réalisées permettant aux faunes d'orbitolines, de rudistes et de nérinées (photos 3 et 4) de prospérer.

- Mésoséquence C (50 m):
Seule la base de cette mésoséquence est observable dans les gorges entaillées par le torrent descendant du Tar-La.

tel-00641418, version 1 - 15 Nov 2011

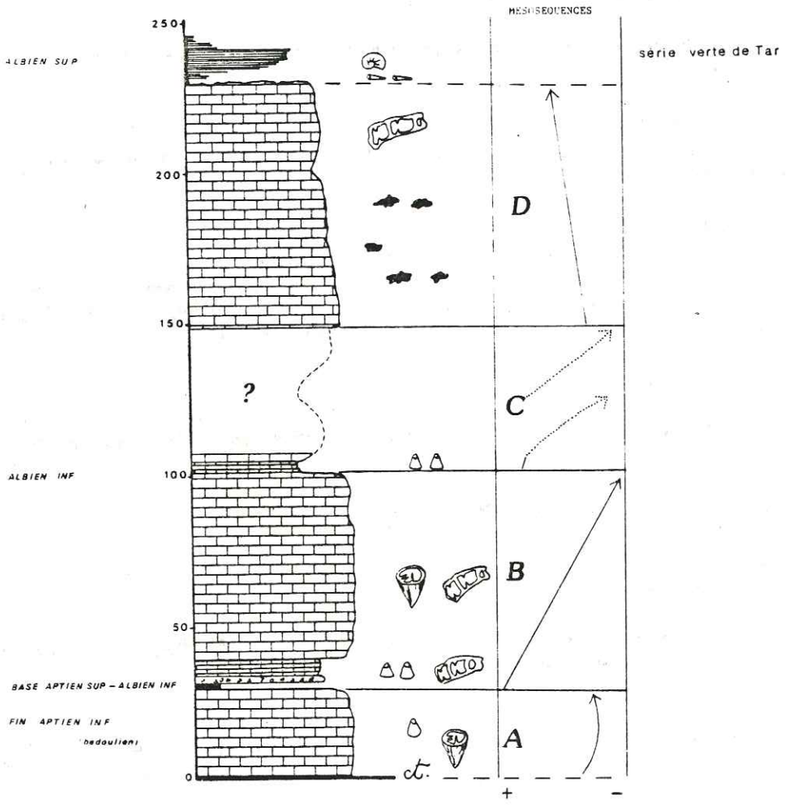


Fig.2.4: Coupe dans les calcaires de Khalsi au Nord de Tar

Celle-ci montre une vire constituée de petits bancs ondulés de calcaires biodétritiques riches en Orbitolines et algues rouges. Le reste de cette mésoséquence est précisé par les observations effectuées dans la coupe de Khalsi est.

Mésoséquence D (80 m):

Elle est formée de bancs massifs de calcaires sparitiques riches en niveaux ou rognons de silex, puis des calcaires biodétritiques fins, parfois riches en orbitolines et nérinées.

En contact stratigraphique avec ce dernier faciès, nous trouvons l'unité terrigène de la série verte de Tar.

Les deux coupes suivantes sont incomplètes.

1.2) Coupes de Khalsi est (Fig. 2.5)

Du fait de la tectonique, la **mésoséquence A** manque totalement (mylonite calcaire).

Mésoséquence B (22 m)

Elle montre le même faciès de calcaires massifs, bleutés à rudistes que dans la coupe de Tar.

Mésoséquence C (18 m)

Comme à Tar, elle débute par quelques mètres de calcaires biodétritiques en petits bancs, riches en Orbitolines surmontés par des niveaux calcaires à débris de rudistes (remaniement). Ces deux niveaux sont séparés par une vire de calcaires détritiques à stratifications obliques.

Mésoséquence D (20 m)

Elle montre un faciès différent de celui observé à Tar. Il s'agit de calcaires marneux noirs, en petits bancs, riches en Hedbergelles (voir Chapitre I, page 14).

1.3) La coupe de Khalsi ouest (Fig. 2.6)

La base de la série n'apparaît pas, elle est tronquée par le même contact tectonique majeur déjà défini à Tar.

Les deux premières mésoséquences (A et B) sont identiques à celles des deux coupes précédemment décrites.

La mésoséquence C est constituée d'une alternance de shale gréseux gris vert, de lit de grès fins et de shales silteux, intercalés de deux petits niveaux calcaires.

La mésoséquence D montre, quant à elle, des calcaires massifs bréchiques, à interlits de shales.

1.4) Conclusion

Ces trois coupes permettent de caractériser quelques étapes de l'évolution de la plate-forme carbonatée Bédoulo Albienne.

Les mésoséquences A et B caractérisent des faciès de plate-forme interne stable (ARNAUD-VANNEAU, 1980) (profondeur 50 à 70 mètres) comme en témoigne la présence de rudistes (que l'on ne retrouve jamais dans les deux mésoséquences sus-jacentes).

tel-00641418, version 1 - 15 Nov 2011

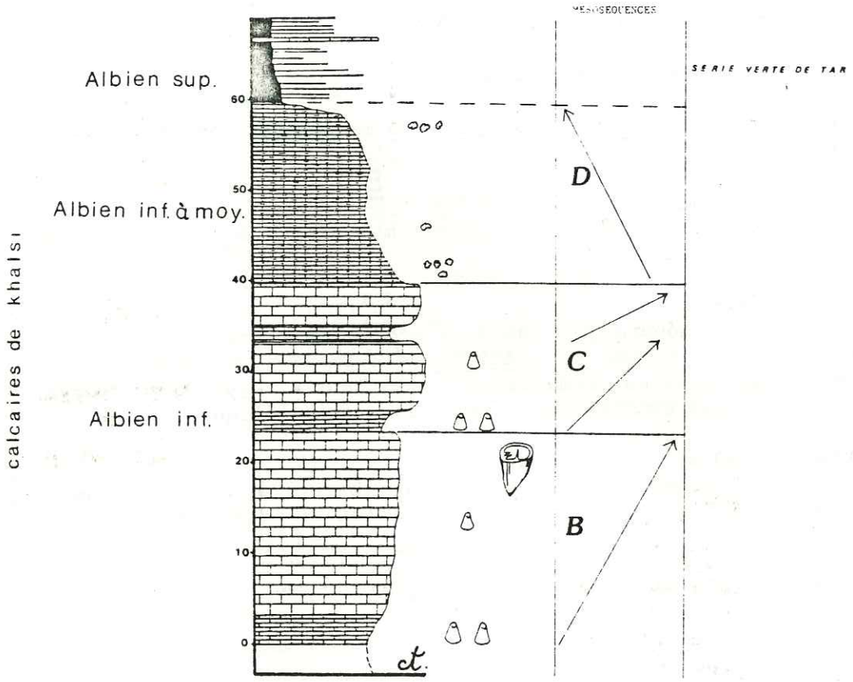


Fig 2.5: Coupe dans les calcaires de Khalsi à l'Est de Khalsi

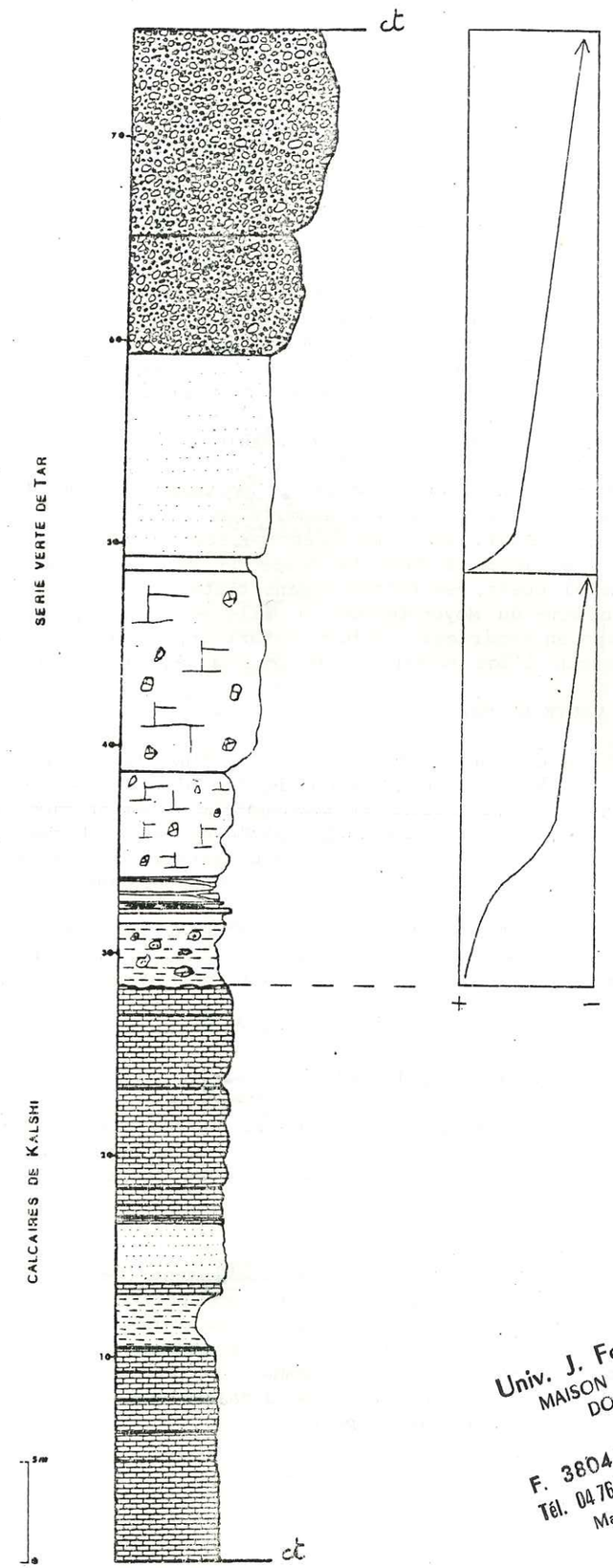


Fig 2.6: Coupe de Khalsi Ouest

Univ. J. Fourier - O.S.U.G.
MAISON DES GEOSCIENCES
DOCUMENTATION
B.P. 53
F. 38041 GRENOBLE CEDEX
Tél. 04 76 63 54 27 - Fax 04 76 51 40 58
Mail : ptalour@ujf-grenoble.fr

tel-00641418, version 1 - 15 Nov 2011

Au cours de la mésoséquence C la plate-forme interne bien que présente,ne montre plus des conditions de stabilité telles que les rudistes puissent y prospérer. Des apports détritiques y sont notables; ils sont plus importants dans la région de Khalsi ouest que dans celle de Tar. La bathymétrie moyenne doit être alors comprise entre 70 et 90 mètres (ARNAUD-VANNEAU A., 1980).

La mésoséquence D annonce déjà la disparition de la plate-forme carbonatée envahie par les sédiments terrigènes au moment de la grande transgression de l'Albien supérieur (série verte de Tar). La paléogéographie devient complexe avec des zones encore hautes où se déposent des calcaires à Nérinées (Tar, Khalsi ouest) et des zones plus profondes où se déposent des calcaires marneux à Hedbergelles (profondeur supérieure à 100 mètres, communication personnelle de A. ARNAUD-VANNEAU).

La tendance évolutive qui conduit à la transgression de l'ALbien supérieur, semble être constante à l'échelle de la Téthys (communication personnelle de A. ARNAUD). La vire gréso-pélitique que l'on observe à la base de la mésoséquence B dans la coupe de Tar, ainsi que peut être dans celle de Khalsi ouest, se retrouve dans toutes les coupes de la plate-forme Bédoulo-Albienne du Moyen-Orient où elle est datée par microfaunes de la base de l'Aptien supérieur - Albien inférieur, ce qui vient confirmer s'il en était besoin l'âge Bédoulien de la mésoséquence A (Chapitre I).

2) LA SERIE VERTE DE TAR

Introduction: Cette unité correspond donc aux dépôts des sédiments terrigènes associés à la transgression de l'Albien supérieur connue à l'échelle de la Téthys. Ces sédiments reposent normalement sur la surface des calcaires de Khalsi. Cette surface est plane et peu perforée, indiquant que les calcaires n'ont pas émergé (absence de karstification, de perforations par des racines, de paléosols) avant la transgression.

Quatre coupes y ont été levées. La première, le long de la route de Khalsi Nurla (km 7 à km 8), la seconde en aval de Tar, la troisième fait suite à la coupe de Khalsi ouest (confluence Yapola Indus), enfin la quatrième, où l'analyse ne porte que sur une partie de la série (110 derniers mètres), se situe en aval du village de Lardo brok.

2.1) Coupe de la route Khalsi Nurla (Fig. 2.7)

Au km 8 de la route Khalsi Nurla affleurent quelques mètres de calcaires à orbitolines et rudistes. Sur ces calcaires apparaissent environ 200 mètres de sédiments terrigènes. Cette unité se divise en deux mésoséquences principales.

Mésoséquence A (100 m).

Elle montre une tendance très nette au comblement (séquence négative). A la base se rencontre une importante masse de pélites silteuses interstratifiée de bancs centimétriques de grès, de microbrèches à éléments calcaires, et de calcaires gréseux riches en Belemnites (FUCHS, 1977), indiquant des conditions marines. Au sommet de ce mégacycle s'observe le passage brutal des pélites à une masse décamétrique stratifiée de brèches à éléments calcaires dominants (photo 9).

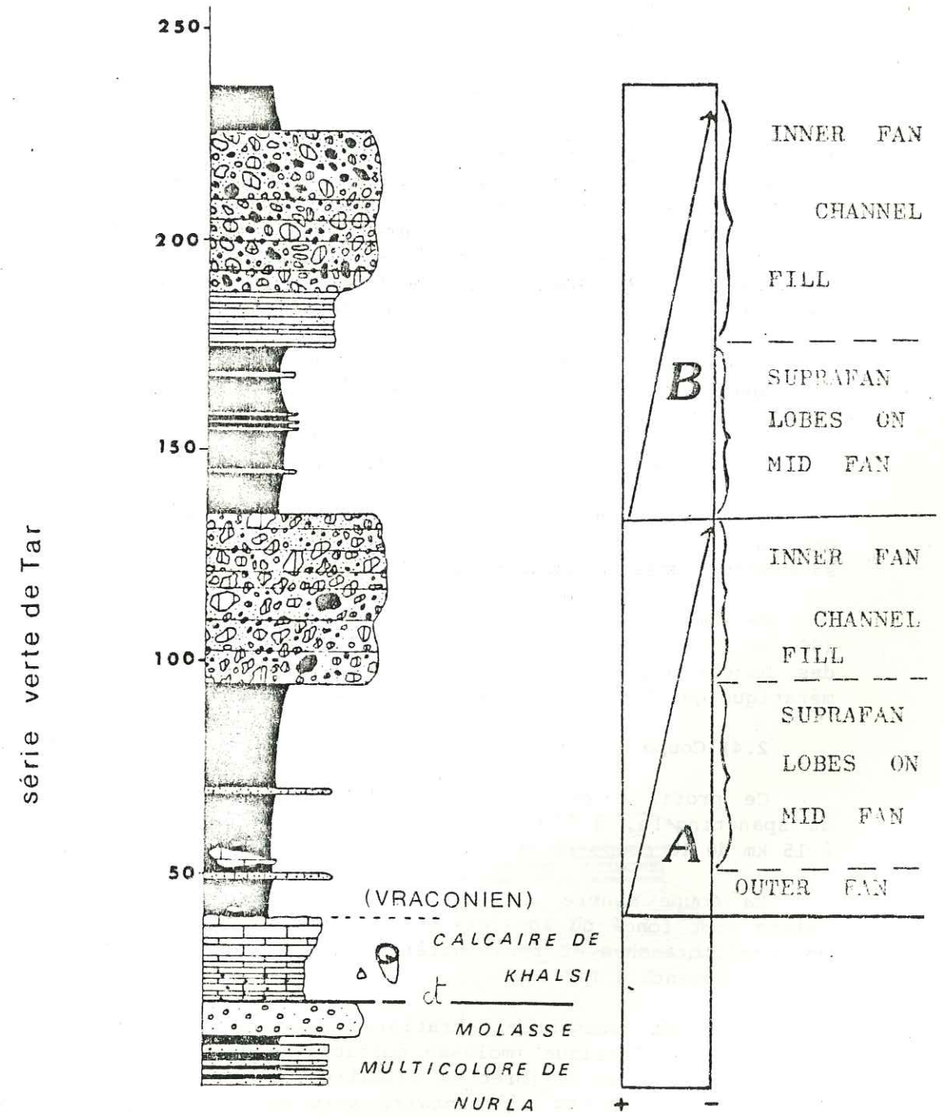


Fig 2.7: Coupe dans la série verte de Tar, Route Khalsi-Nurla

tel-00641418, version 1 - 15 Nov 2011

Mésoséquence B (100 m)

Elle montre aussi une tendance marquée au comblement. La partie basale est gréso-pélitique. Les bancs de grès sont plus fréquents et plus épais que dans la mésoséquence A, mais toujours très immatures. Vers le sommet, cette mésoséquence montre le passage progressif des pélites à des conglomérats polygéniques (calcaires, laves et granites constituant les galets) par l'intermédiaire de bancs décimétriques de grès moyens, clairs, riches en grains de plagioclases.

2.2) Coupe de Tar

Cette coupe (fig. 2.8) prolonge la coupe levée dans les calcaires de Khalsi au Nord de Tar. Quelques mètres au-dessus de la surface des calcaires, nous avons récolté, dans des bancs centimétriques des grès calcaires, une faune d'Ammonites qui témoigne de conditions franchement marines. Par la suite, après une passée décamétrique de black-shales, apparaît une épaisse série gréso-pélitique ravinée au sommet par des conglomérats à galets relativement arrondis de granodiorites et grès. Tout cet ensemble représente la **mésoséquence A.**

La mésoséquence B est tronquée à son sommet par un contact tectonique qui sépare la série verte de Tar de l'ensemble continental (molasse multicolore de Nurla).

2.3) Coupe de Khalsi Ouest (Fig. 2.6)

La **mésoséquence A** est très réduite. Les brèches calcaires forment une barre d'une quinzaine de mètres, alors que l'ensemble gréso-pélitique se réduit à quelques mètres.

De même la **mésoséquence B** montre un terme pélitique extrèmement réduit (50 cm). Bien que les niveaux supérieurs soient en parties masqués par des hautes terrasses de l'Indus, on retrouve l'ensemble gréso-conglomératique qui forme une masse d'environ 30 mètres.

2.4) Coupe de Lardo brok (Fig. 2.9)

Ce profil a été relevé sur le flanc est du torrent descendant du Spangting-La, à l'entrée nord du village de Lardo-brok (soit environ à 15 km de la coupe levée à Tar).

La coupe montre une épaisse série gréso-pélitique (110 mètres) de teinte vert foncé où apparaissent plusieurs niveaux gréso-calcaires riches en lamellibranches et foraminifères (Siderolites calcitrapoïdes identiques à ceux présents à Tar).

Elle est surmontée stratigraphiquement (accordance sédimentaire) par l'unité molassique (molasse multicolore de Nurla). Le terme supérieur de la mésoséquence A (brèches calcaires) et toute la mésoséquence B sont donc absents (lacune sédimentaire soit par non dépôt, soit par érosion ; ce dernier cas impliquant une émersion, dans ce secteur du bassin, pendant le Paléocène et tout l'Eocène inférieur).

2.5) La série verte de Tar: un cône sous-marin probable

Les deux mésoséquences qui s'individualisent dans la série verte de Tar, montrent une tendance très nette au comblement (séquence négative). Vers le sommet de chaque mésoséquence les turbidites gréseuses deviennent plus épaisses et constituées d'éléments plus grossiers pour aboutir ensuite à des conglomérats (cette évolution régulière se traduit cependant

Profil synthétique des séries de l'Indus entre Tea et Tar

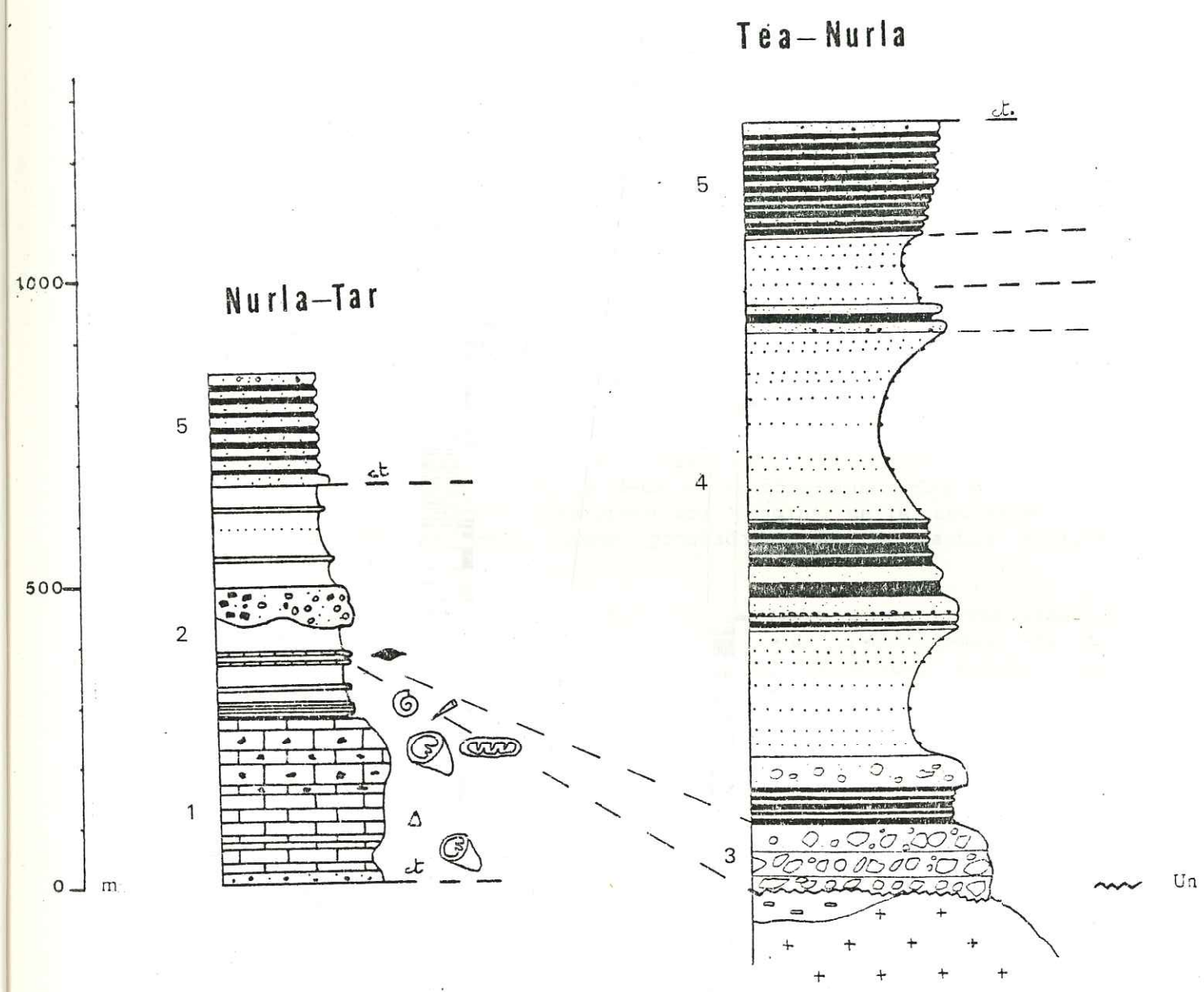


Fig .2.8: Profil synthétique des séries de l'Indus entre Tea et Tar

1: calcaires de Kalsi 2: série verte de Tar
3: série de Basgo-Skinning 4: série jaune de Temesgam
5: molasse multicolore de Nurla UN: discordance CT: contact tectonique

tel-00641418, version 1 - 15 Nov 2011

SUPRAFAN LOBES ON MID FAN

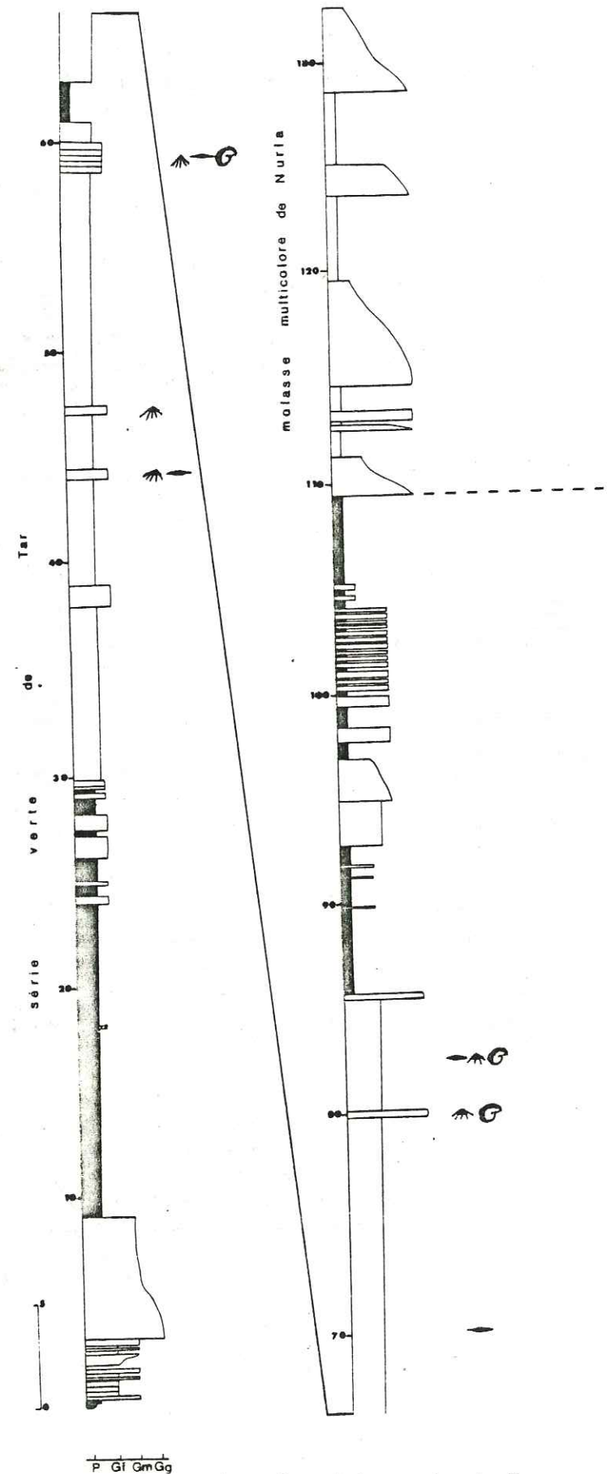


Fig.2.9: Coupe dans la série verte de Tar à Lardo-brok

dans le paysage par un contraste marquant entre l'ensemble gréso-pélitique et les conglomérats).

Cette évolution sédimentaire peut être comparée à celle qui s'observe dans la **progradation d'un cône sous marin** (modèle de WALKER, 1976 in REINECK et SINGH, fig. 2.10.b modèle de MUTTI et RICCI LUCCHI, 1972, fig. 2.10.c.

Durant les 40 MA, pendant lesquelles cet éventail sous-marin a fonctionné, il s'est déposé environ 250 mètres de sédiments terrigènes relativement grossiers, ce qui est peu lorsque l'on considère que, pour un laps de temps identique, 150 mètres de sédiments pélagiques s'accumulèrent dans le golfe de Bengale (cône sous-marin du Gange) (MOORE et CURRAY, 1974).

La faible épaisseur de cet appareil sédimentaire dans une zone fortement orogénique (marge active) peut s'expliquer par une paléotopographie sous-marine complexe (voir Chapitre III page 102).

2.6) Conclusion

La série verte de Tar est un ensemble terrigène de type flysch associé à la transgression de l'Albien supérieur et se poursuivant peut-être jusque dans le Paléocène (voir reconstitution paléogéographique).

Les dépôts marins (bélemnites, ammonites, foraminifères) semblent correspondre à la superposition de deux cônes sous-aquatiques progradants (Fig. 2.7 et 2.10). Cette interprétation rejoint celle envisagée par BROOKFIELD et ANDREWS-SPEED (lobes progradants de la partie médiane d'un deep-sea fan).

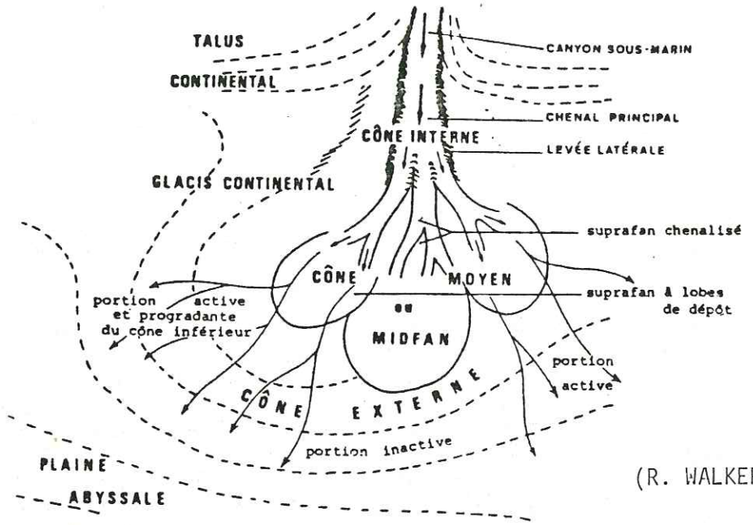
. Le cône qui apparaît à la base de la série verte du Tar (méso - séquence A), témoigne à plusieurs échelles, du démantèlement de la plate-forme carbonatée (microbrèches, brèches calcaires, olistolites) indiquant aussi:

- la proximité de la plate-forme carbonatée;
- l'origine méridionale des apports.

Le contenu pétrographique des grès (voir aussi Chapitre II) indique également des apports issus du Sud (olivine) (BROOKFIELD et ANDREWS SPEED, 1984).

. **Le second cône** (mésoséquence B), d'âge essentiellement paléocène (voir reconstitution paléogéographique), montre des séries plus grossières. La présence, au sommet de cette mésoséquence B, de conglomérats à galets émoussés de granodiorites et de calcaires à orbitolines, caractérise un mélange d'apports terrigènes venus du Sud et du Nord (avec, pour les apports venant du Nord, un transport suffisamment long pour arrondir les blocs de granodiorite arrachés au batholite Ladakhi).

tel-00641418, version 1 - 15 Nov 2011



(R. WALKER et E. MUTTI, 1973)

Fig:2.10.a : Schéma d'un deep sea fan indiquant les relations entre les différents sous-environements. Le suprafan est subdivisé en deux parties, l'une comprenant des chenaux, l'autre des lobes de dépots

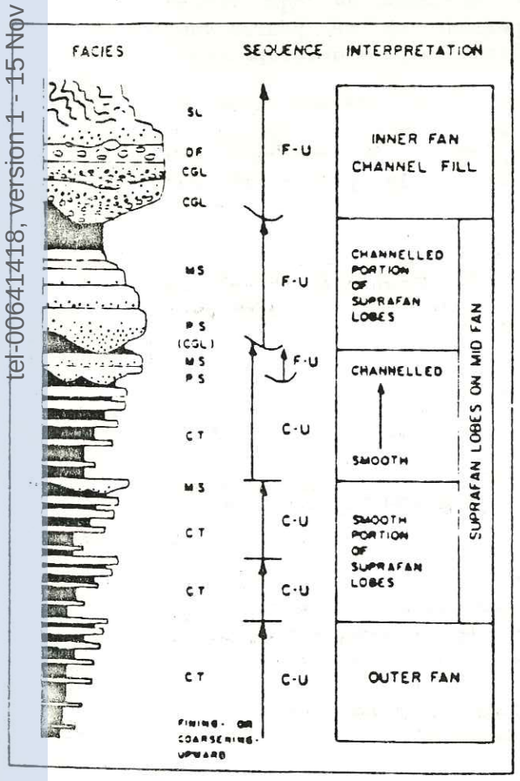


Fig.2.10.b

Séquence stratigraphique hypothétique constituée par la progradation d'un cône sous-marin. Les séquences deviennent grossières vers le haut.
C.T : Turbidites classiques
M.S : Grès massifs
P.S : Grès conglomératiques
D.F : Débris Flow (d'après Walker, 1976).

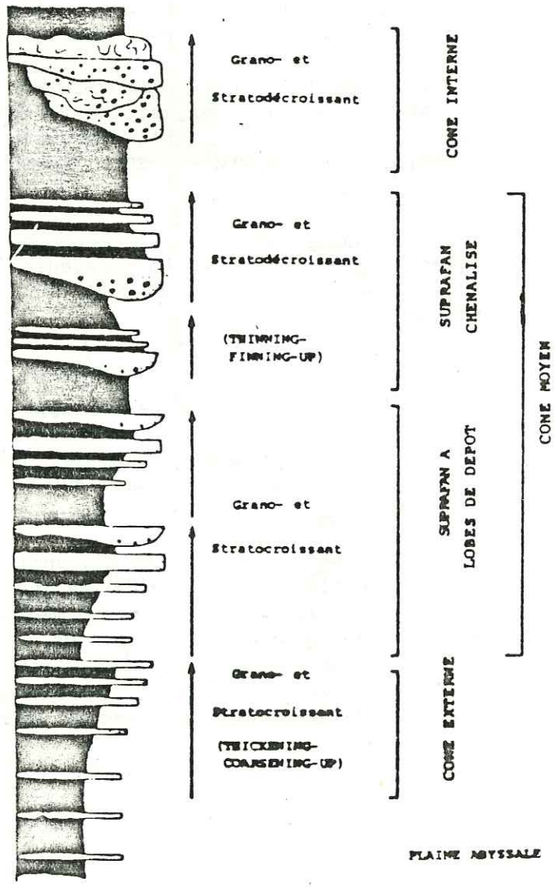


Fig 2.10c: Modèle séquentiel pour un éventail sous-aquatique progradant.
(E. MUTTI et F. RICCI-LUCCHI, 1972).

tel-00641418, version 1 - 15 Nov 2011

3) SERIE A NUMMULITES (LYDEKKER, 1880) (Fig. 2.11)

3.1) Coupe de la rivière Zankar

Quatre mésoséquences ont été définies pour une épaisseur totale de série d'environ 500 mètres.

Mésoséquence A (136 mètres)

Elle montre une unité gréso-pélitique qui se subdivise en plusieurs séquences cyclothémiques (4 séquences) caractéristiques du domaine fluviatile. A la base de chaque séquence apparaissent des grès grossiers conglomératiques en bancs épais, riches en débris de roches volcaniques basiques (Dras ou Nindam) par la suite, et jusqu'au sommet de la séquence, s'observe une alternance de grès fins à moyens et de pélites silteuses. L'épaisseur de chacune de ces séquences est variable (entre 25 et 40 mètres).

Mésoséquence B (67 mètres)

Elle est caractérisée par une imbrication de faciès terrigènes (gréso-pélitique) et de faciès gréso-calcaires (packstone gréseux) à gastéropodes et rares nummulites. Les grès sont généralement fins, parfois grossiers, mais jamais conglomératiques.

Mésoséquence C (149 mètres)

Les faciès calcaires sont très bien développés (faciès du "bancs à Nummulites" (BLONDEAU, 1972)), avec nombreux foraminifères dont des Nummulites et des Alvéolines, ainsi que des faciès alguaires: niveau en place).

Cette mésoséquence est globalement positive, vers son sommet on passe de calcaires massifs biodétritiques à des calcaires marneux puis à des silts admettant parfois de minces lits gréseux.

Mésoséquence D (150 mètres)

Cette mésoséquence montre les mêmes caractéristiques que la mésoséquence B, avec des niveaux calcaires pauvres en Nummulites, mais montrant parfois des faciès algaires et des niveaux terrigènes grossiers parfois conglomératiques avec litages obliques ou entrecroisés, qui s'organisent en cyclothèmes (grès grossiers - grès fins - pélites silteuses).

Les milieux de vie à Nummulites sont donc contaminés par des apports terrigènes dont les caractéristiques témoignent de la nature fluviatile de l'agent de transport.

Le sommet de cette mésoséquence est marqué par plusieurs bancs de grès lumachelliques (débris de coquilles d'huîtres).

Tout cet ensemble est en contact stratigraphique avec la molasse continentale (voir page 51) sus-jacente.

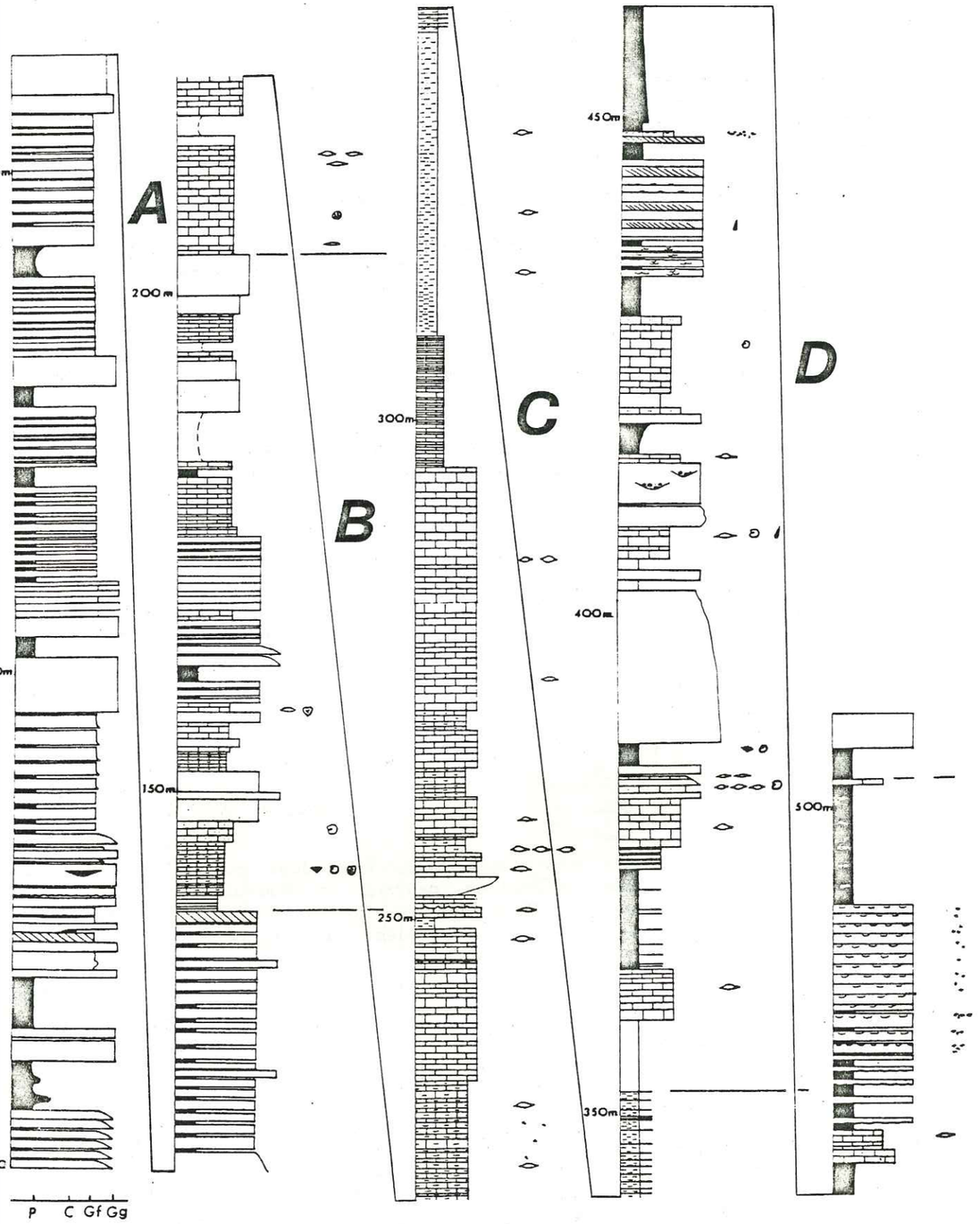


Fig .2.11:Coupe dans la série à Nummulites le long de la rivière Zanskar

3.3a) Coupe à la base du Mathoo Kanri (Fig.2.12)

L'ensemble est essentiellement pélitique et d'aspect flyschoïde, aussi l'analyse séquentielle n'a-t-elle pas été effectuée (voir analyse des turbidites dans la région de Chogdo). Il faut cependant noter la présence de deux petits bancs de Nummulititesassociés à des grès montrant des mud-craks et des ripple-marks.

3.3b) Coupe partielle dans la région de Chogdo

Cette coupe partielle, effectuée par H. BUCHER, montre deux calci-turbidites (turbidite calcaire), dont la zone A, granoclassée est riche en Nummulites brisées et poinçonnées.

3.4) Conclusion

Ces diverses coupes séquentielles nous ont montré que:

- Dans la région de la rivière Zanskar, après un épisode fluviatile (mésoséquence A), la plate-forme à Nummulites s'installe progressivement (mésoséquence B) atteignant un important développement (mésoséquence C) avant d'être à nouveau envahie par la sédimentation terrigène d'affinité fluviatile (mésoséquence D).

- Latéralement (vers le SE) on passe à un domaine plus distal où la sédimentation turbiditique prédomine,les turbidites provenant du démantèlement de la plate-forme carbonatée (banc à Nummulites) du sommet du talus.

4) LA MOLASSE MULTICOLORE DE NURLA

Introduction

Deux analyses détaillées ont été effectuées, l'une entre Lardo brok et l'Indus recoupe toute la pile sédimentaire. La seconde, levée par H. BUCHER, à la base de la section de Martselang, montre une partie des conglomérats d'Hemis

4.1)Coupe de Lardo-brok (fig. 2.14)

La série détritique est ici épaisse de 165 mètres. Elle se subdivise en cinq mégacyles d'importances inégales.

La base de chaque mésoséquence, organisées en cyclothémes, est marquée par un ou plusieurs bancs de conglomérats, plus ou moins grossiers à galets de granodiorites et laves. Par la suite le sédiment devient essentiellement gréseux, les bancs sont parfois lenticulaires (chenaux) et montrent des litages obliques. Au sommet de chaque cyclothéme apparaissent des niveaux silteux rouges à litages subhorizontaux. L'évolution séquentielle observée dans la molasse multicolore de Nurla permet de rapprocher cette unité du DONJEK type défini dans la classification de MIAL (1978) (IN REINECK et SINGH). La molasse multicolore de Nurla représenterait donc des dépôts de rivières tréssées avec méandres (points bar conglomératiques). Localement (Zinchang) des niveaux grèseux ont fourni quelques mollusques d'eau douce (Unio) et de nombreux débris carbonisés de plantes attestant de la nature continentale de ces dépôts.

SERIE NUMMULLITES tel-00641418, version 1 - 15 Nov 2011

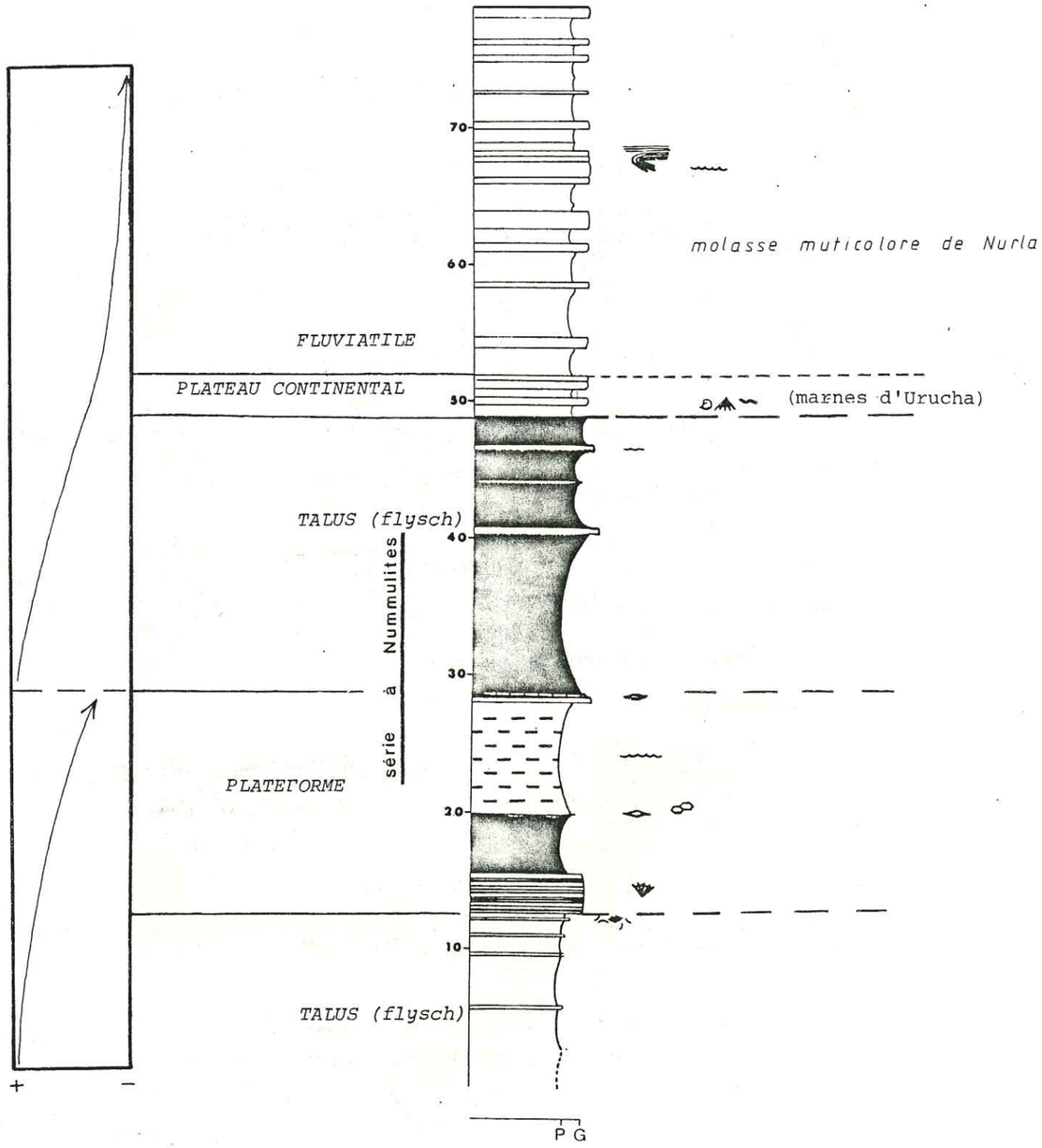


Fig.2.12: Coupe dans la série à Nummulites
à la base du Mathoo kanri

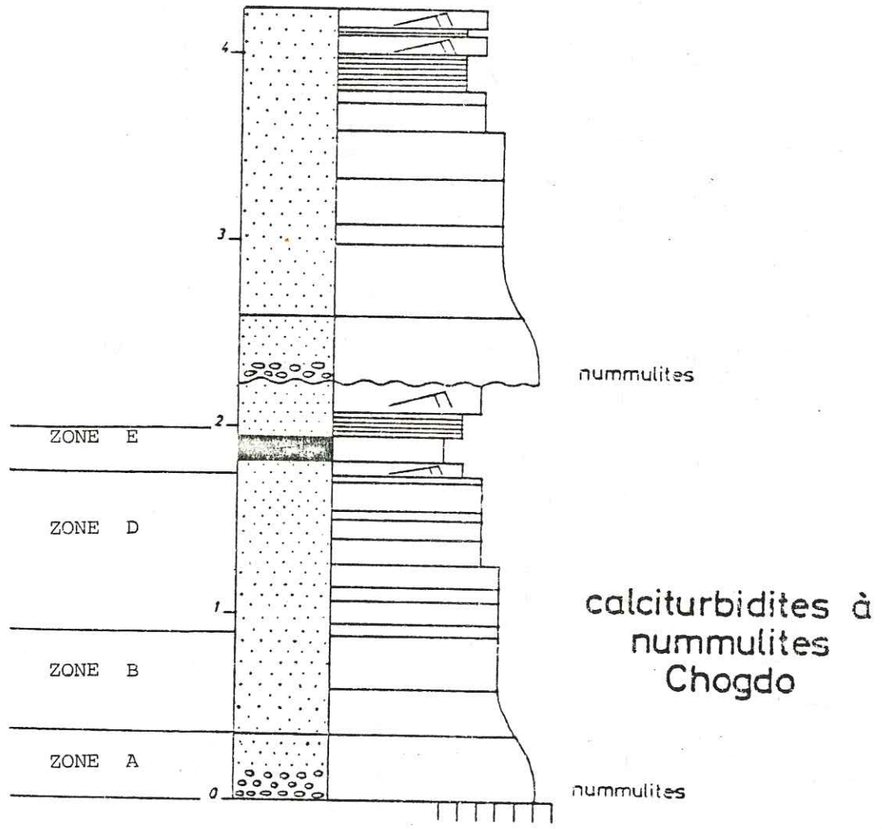


Fig.2.13: Coupe dans la série à Nummulites.
Région de Chogdo (H. BUCHER)

tel-00641418, version 1 - 15 Nov 2011

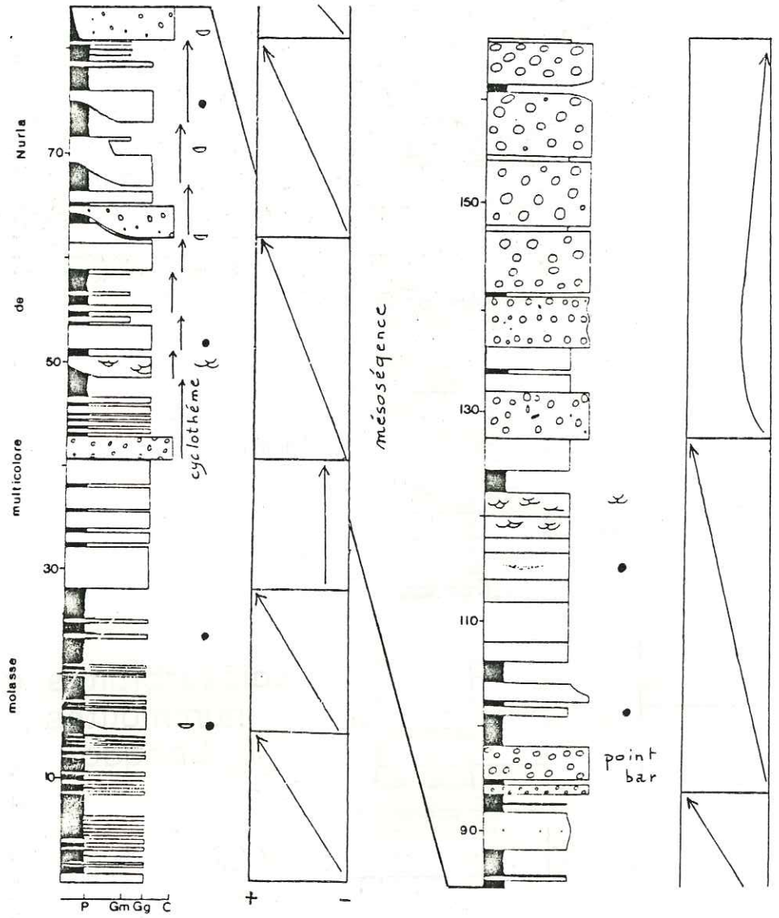
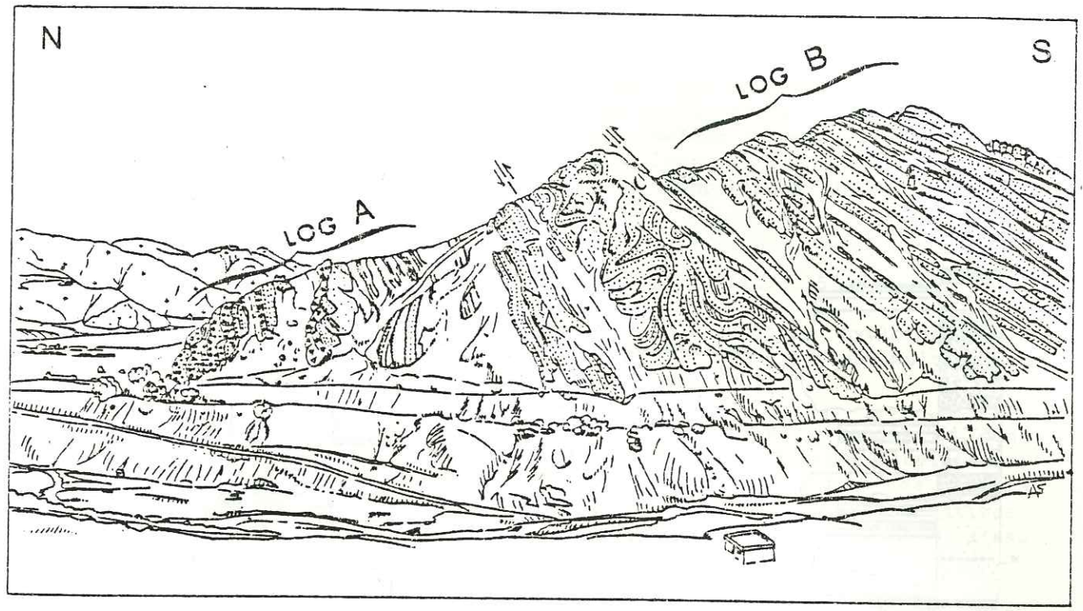


Fig 2.14: Coupe dans la molasse multicolore de Nurla
en aval de Lardo-brok

- localisation des échantillons pour analyse granulométrique



SECTION DE MARTSLANG
(coupe réalisée par H. BÜCHER *et A.STECH)*

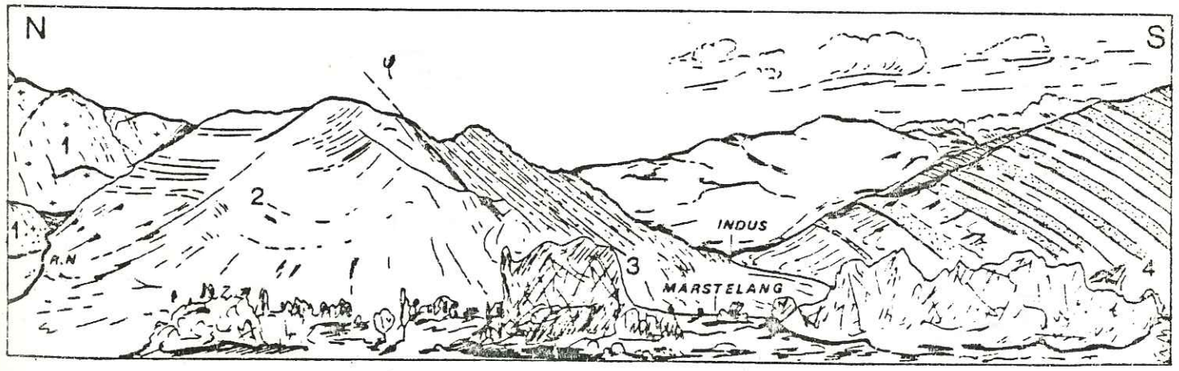


Fig. 2.15 : Base de la section de Martslang
Légende: 1: Granodiorites du Ladakh-2: Série de Basgo-Skinning
3: Grès de Nimu-Alchi-4: Conglomérats d'Hémis

tel-00641418, version 1 - 15 Nov 2011

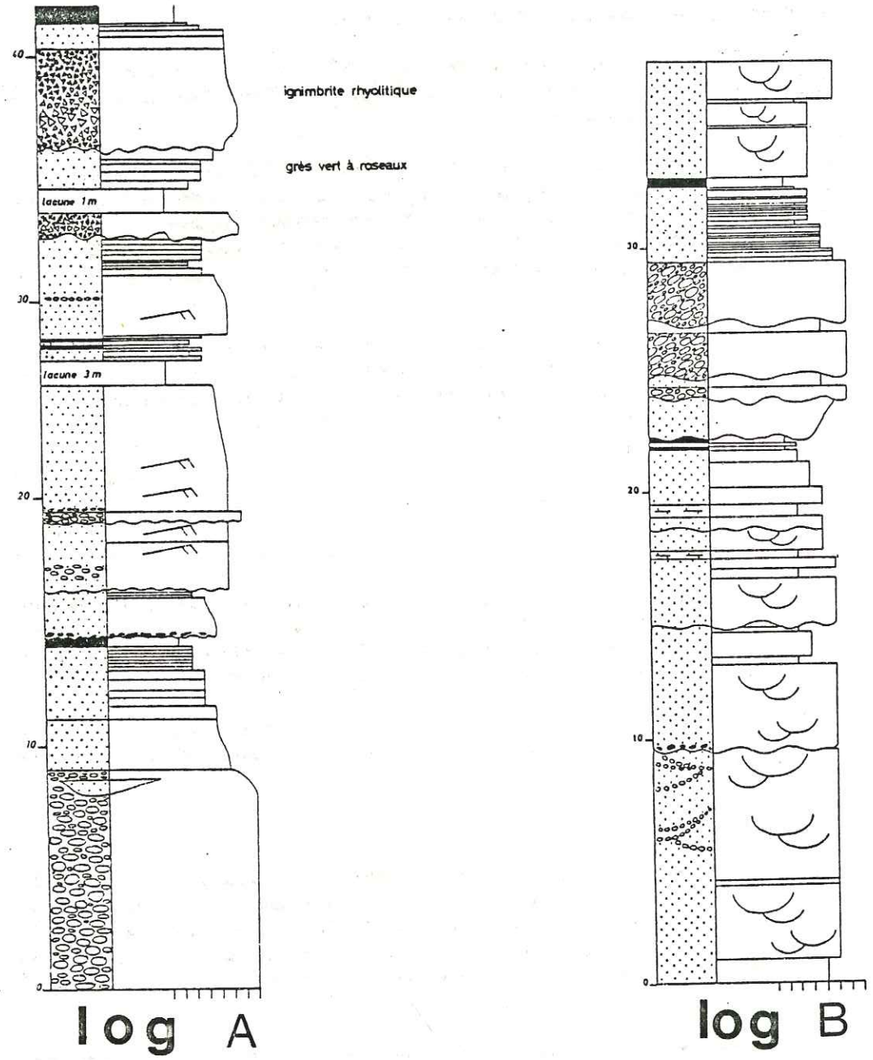


Fig.2.16: Coupe dans les conglomérats d'Hemis (base de la section de Martselang) (*H. BUCHER*)

L'importance du corps conglomératique qui apparait au sommet de cette série molassique (conglomérats de Choksti), ainsi que la taille et la nature pétrographique des galets (voir étude pétrographique) ,serait à mettre en relation avec une phase majeure de surrection du batholite Ladakhi (dans le temps et dans l'espace); les reliefs devenant plus escarpés et les dénivelés plus importants ,le degré de compétence des fleuves augmenterait (transport de galets)

4.2) Base de la section de Martselang (Log.A, fig.2.15 et 2.16)

Cette coupe montre une sédimentation fluviatile cyclothématique (unité sédimentologique qui représente une partie de la molasse multicolore de Nurla: cf. coupe de Lardo brok).

Sur des conglomérats à galets relativement bien arrondis et dont le grand axe est perpendiculaire au paléocourant (imbrications fluviatiles) apparaissent des grès grossiers parfois conglomératiques de teinte verte, riches en quartz, puis des pélites silteuses rouges ou grises. Ce type de séquence caractérise une sédimentation par chasses d'eau successives.

Au sommet de la partie gréseuse de cette séquence, s'observent deux niveaux de brèches qui se sont formées au moment de l'explosion de la nappe phréatique surchauffée par une émission volcanique subaérienne (effet de "cocotte minute"). Ces brèches fossilisent la surface ondulée du sédiment sous-jacent (communication orale de STECK A., 1984). Les grès apparaissant sous la seconde masse de "brèches d'explosion" sont très riches en reste carbonisés de tiges de roseau (Roselière: domaine continental). Ces "nuées ardentes" sont vraisemblablement dues aux appareils volcaniques, associés au batholite, qui ont été décrits par A. GANSSER (HEIM et GANSSER, 1939), et qui apparaissent au Nord (en zone interdite); les faciès effusifs (rhyodacites) observables au Nord du village de Teah, font sans doute partie de ce complexe. Des niveaux ignimbritiques sont décrits dans la même situation au Tibet chinois (formation de Qiuwu) par WANG et al. (1982) et BURG (1983).

L'épisode conglomératique d'Hémis est interprété comme un cône fluviatile proximal qui s'individualise à la base de la molasse multicolore de Nurla.

5) GRES DE NIMU ALCHI (Fig. 2.17)

L'analyse séquentielle est réalisée entre le village de Saspul et le pont d'Alchi, sur une partie seulement de la série. Les bancs de grès grossiers, parfois conglomératiques (voir étude pétrographique, Chapitre II) ou riches en galets mous, qui constituent la base d'une mésoséquence, sont surmontés par des grès fins, puis des pélites silteuses grises ou noires.

Plusieurs mésoséquences positives se distinguent, représentant un type de sédimentation cyclique dans un domaine continental (apports grossiers transportés par chasses d'eau successives, puis milieu de dépôt moins turbulent).

Localement (Zinchang) , les apports détritiques sont très importants. Les lits constitués d'éléments grossiers sont fréquents à l'intérieur des niveaux fins (épandages discontinus) alors que les chenaux sont rares (Fig. 2.18).

tel-00641418, version 1 - 15 Nov 2011

TURBIDITES DE PRODELTA LACUSTRE (H.BUCHER et T.VAN HAVER)

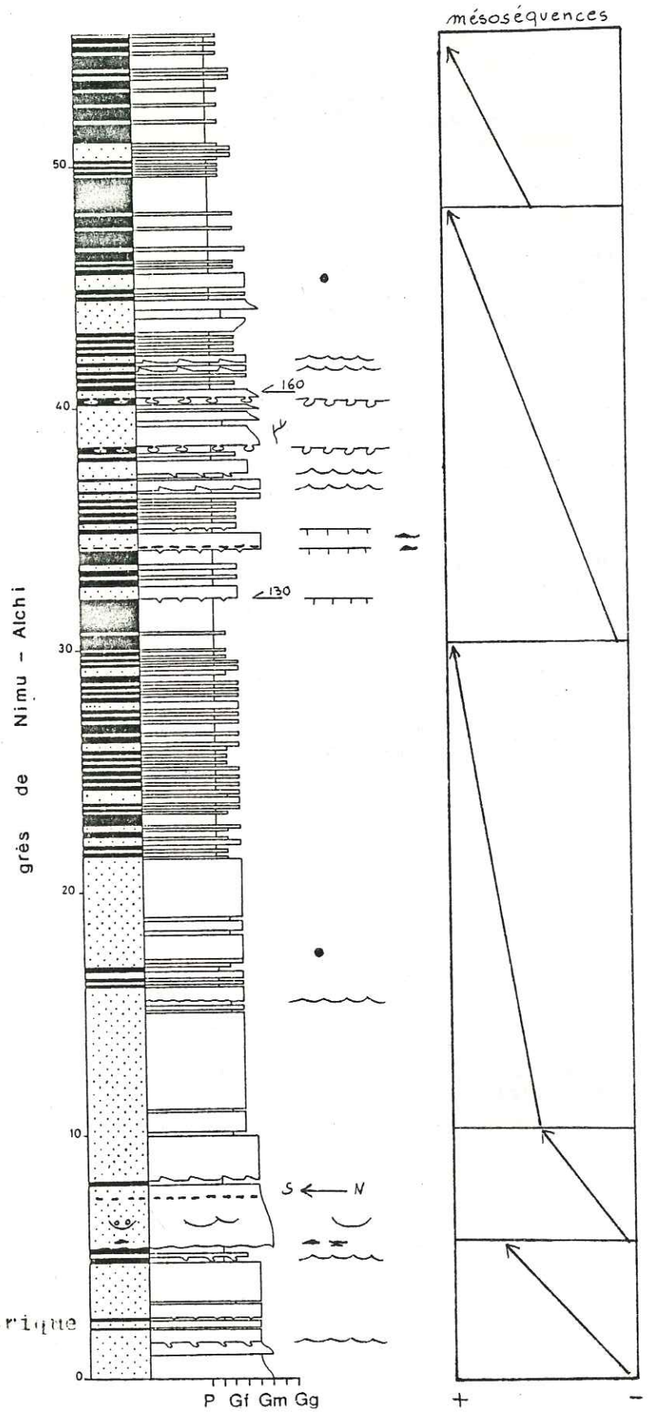


Fig.2.17: Coupe dans les grés de Nimu-Alchi

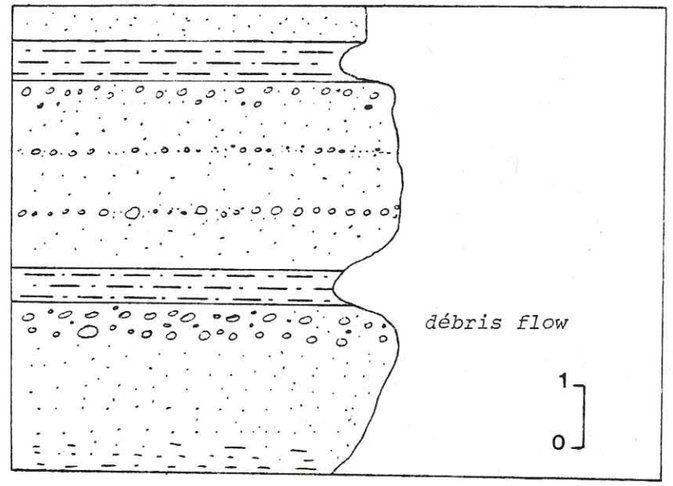


Fig.2.18: Séquences dans les grès de Nimu-alchi en aval de Zinchang . *Granoclassement inverse*

tel-00641418, version 1 - 15 Nov 2011

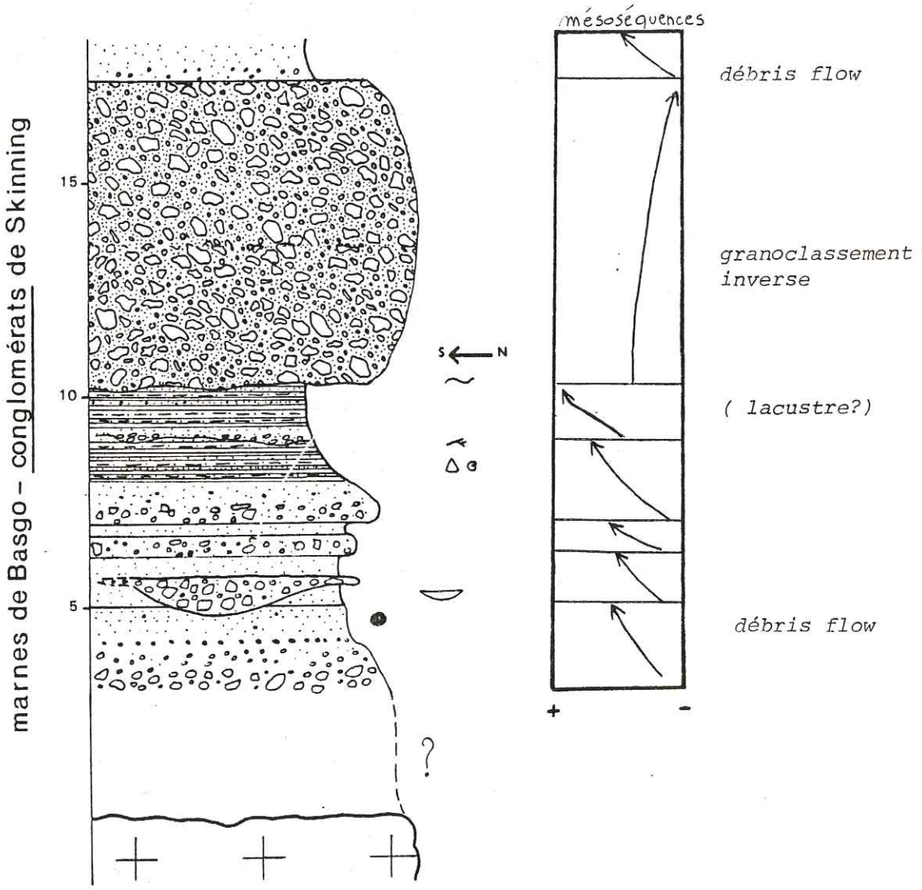


Fig.2.19: Coupe dans la série de Basgo-skinning : *cône alluvial proximal*

● *échantillon pour analyse granulométrique*

Ce type de sédimentation constitue des séquences de comblements avec saccades d'approfondissement, ce qui caractérise un **environnement continental** (domaine lacustre: voir page 35) *avec localement arrivées de turbidites dans des parties distales d'un prodelta lacustre.*

6) SERIE DE BASGO SKINNING (Fig. 2.19)

Rappelons que cette unité apparaît sur la surface ondulée des granodiorites du Ladakh ou des laves associées (voir Chapitre II), et montre d'importantes variations latérales de faciès (voir Chapitre I). la coupe décrite ici est située au Nord du village de Saspul, non loin de la nouvelle route qui reliera Likir à Khalsi (photo 8).

Des éboulis masquent ici le contact entre les sédiments et le substratum. L'ensemble gréso-pélitique peut être subdivisé en plusieurs séquences positives dont la base est marquée par des horizons conglomératiques (galets de granodiorites et laves issus du batholite Ladakhi). Cette succession indique clairement une influence continentale marquée et permet d'envisager, pour cette unité autochtone, un mode de dépôt de **cône alluvial proximal.**

II - ANALYSE GRANULOMETRIQUE

a) Méthode d'analyse

Les séries de l'Indus sont généralement fortement indurées; ceci a imposé de recourir à la méthode linéaire au microscope (cours de J. PERRIAUX). Seules les formations de Basgo se prêtaient à un tamisage classique (sous l'eau, pour dégager les particules de leur liant, puis à sec sur un vibreur).

En lame mince, on note pour chaque grain la longueur l maximale (lm) intersectée par le fil du réticule gradué, puis la longueur maximum du grain (ls). On compte ainsi deux cents grains, sans oublier de noter les longueurs de matrice intersectées par le fil du réticule, entre le premier et le deux-centième grain. Les grains sont ensuite classés en lots granulométriques d'après ls, et l'on calcule pour chaque lot:

- la somme partielle de lm;
- le pourcentage de ces sommes partielles, par rapport à la somme totale des lm;
- enfin, la valeur des sommes partielles cumulées.

On trace la courbe des pourcentages cumulés en fonction du diamètre des particules (cf. annexe). A partir de cette courbe, on définit certaines valeurs caractéristiques (Ø 5, Ø 16, Ø 25, Ø 50, Ø 75, Ø 84, Ø 95, Ø 99), qui permettent de calculer les différents indices nécessaires à la détermination du milieu de dépôt (annexes).

b) Signification des différents indices et diagrammes

b1: Indices (voir tableau A).

b2: Diagrammes

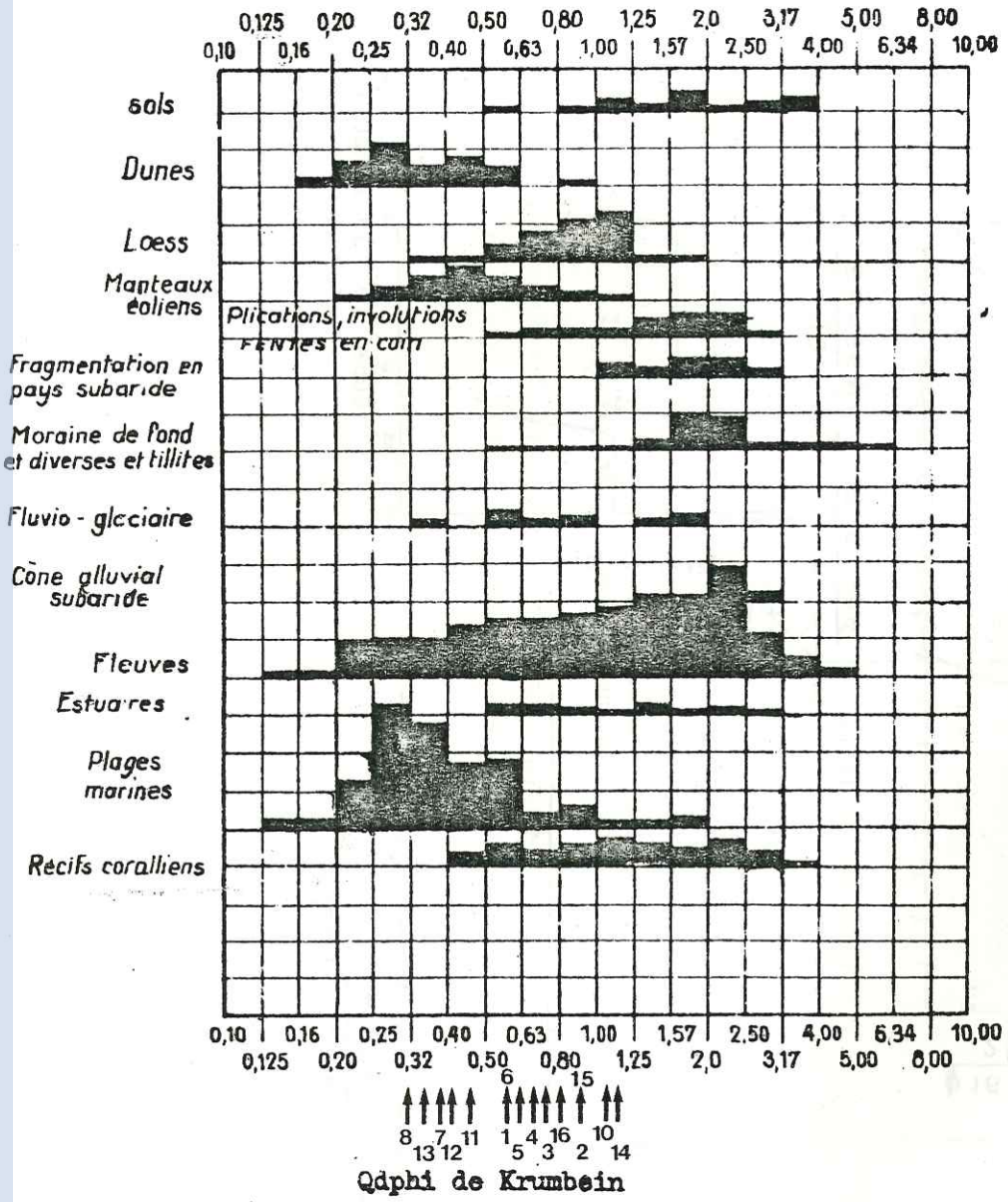
- Diagrammes de FRIEDMAN (Fig. 2.20) - (FRIEDMAN, 1979)

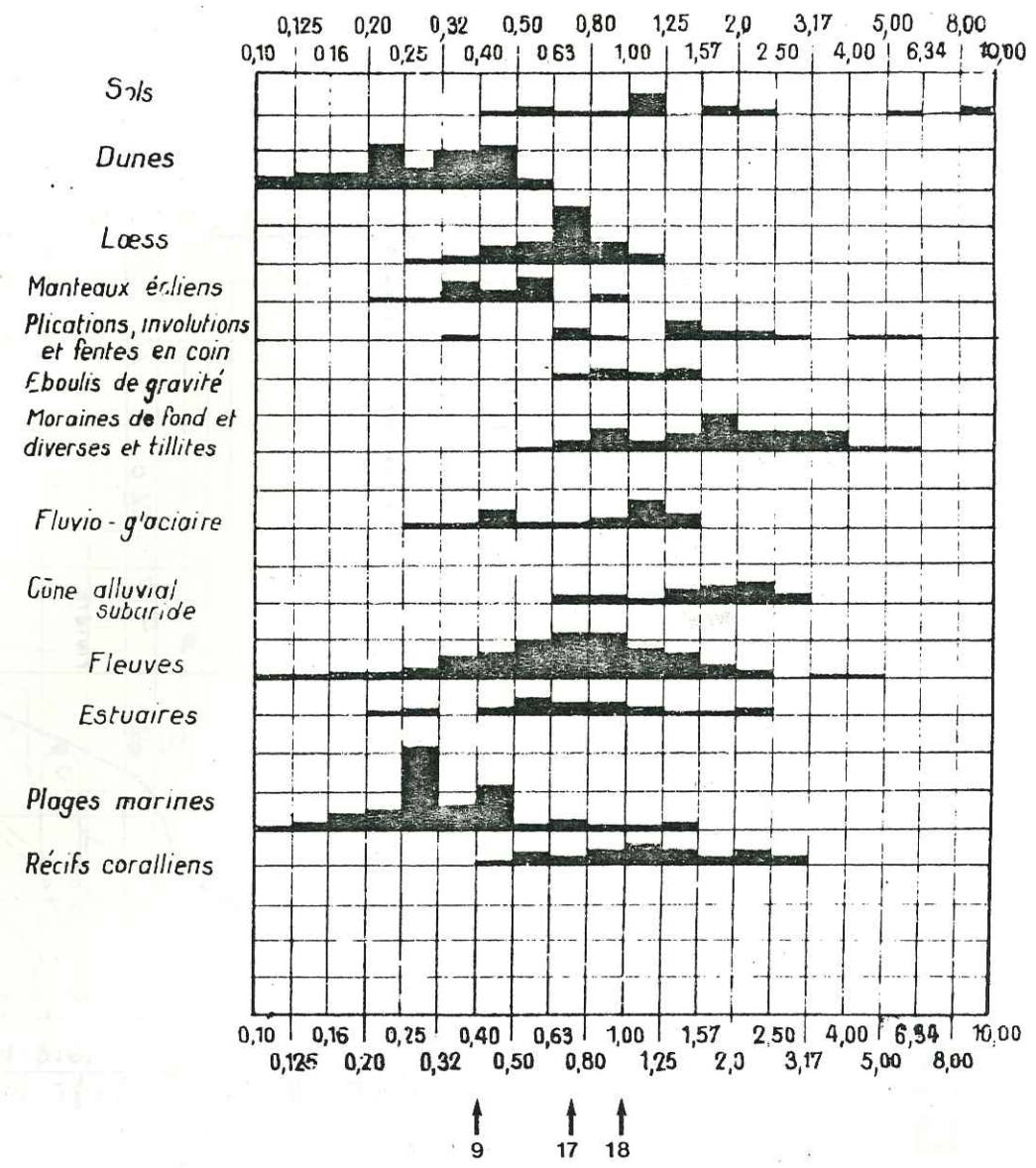
Ils permettent de définir si le sédiment est fluviatile ou côtier. L'utilisation des indices de FOLK et WARD fait intervenir généralement des indices calculés en partie à l'aide de faibles valeur de ϕ (ϕ 5). De ce fait, plusieurs échantillons ne peuvent être placés sur de tels diagrammes. Seuls 10 échantillons ont fourni des valeurs de ϕ 5 (voir tableau B).

tel-00641418, version 1 - 15 Nov 2011

Indice	Numérique	Formules ou définitions	Significations
Q1	Premier quartile		Valeur de l'abscisse correspondant à l'ordonnée 25 %
Q2	Deuxième quartile		Valeur de l'abscisse correspondant à l'ordonnée 50 %
Q3	Troisième quartile		Valeur de l'abscisse correspondant à l'ordonnée 75 %
Qd phi	Indice de Krumbein (1938)	$\frac{Q1.Q3}{2}$	Indice de mauvais classement
He	Indice d'hétérométrie de Cailleux (1959)	$\frac{Qx.Q(x-25\%)}{2}$ Dans la partie de la courbe la plus redressée	Plus l'indice est grand, moins le sédiment est classé
So	Sorting Index (TRASK,1950)	$\frac{Q3}{Q1}$	Coefficient de mauvais classement So 2,5:le sédiment est bien classé (plages) So 4,5:le sédiment est très mal classé (torrents) So 3 :l'agent de dépôt est difficile à définir
S	Indice d'asymétrie (TRASK 1950)	$\frac{Q1 - Q3}{(Q2)^2}$	Répartition des éléments par rapport à la médiane S < 1 : le classement est maximum du côté des fins S > 1 : le classement est maximum du côté des grossiers
Kurtosis	Coefficient d'angulosité (FOLK et WARD, 1957)	$\frac{\emptyset 95 - \emptyset 5}{2,44(\emptyset 75 - \emptyset 25)}$	Coefficient inversement proportionnel à l'angulosité c'est à dire à la hauteur du pic de la courbe de fréquence simple
Skewness (Sk)	Indice d'asymétrie (FOLK et WARD, 1957)	$\frac{\emptyset 16+\emptyset 84-2\emptyset 50}{2(\emptyset 84 - \emptyset 16)} + \frac{\emptyset 95+\emptyset 5-2\emptyset 50}{2\ (\emptyset 95 - \emptyset 5)}$	Répartition des éléments par rapport à la médiane comme pour l'indice d'asymétrie défini par TRASK
Standard deviation (Sd)	Coefficient de mauvais classement (FOLK et WARD 1957)	$\frac{\emptyset 84 - \emptyset 16}{4} + \frac{\emptyset 95 - \emptyset 5}{6,6}$	Coefficient de mauvais classement dont la valeur évolue dans le même sens que le Sorting Index
Mean cubed deviation		$Sk \times (Sd)^3$	

Tableau A : Signification des différents indices





Indices d'hétérométrie de Cailleux. Septembre 1958

tel-00641418, version 1 - 15 Nov 2011

Diagrammes de *FRIEDMAN* (1979)

(Légende: voir tableau de mesures)

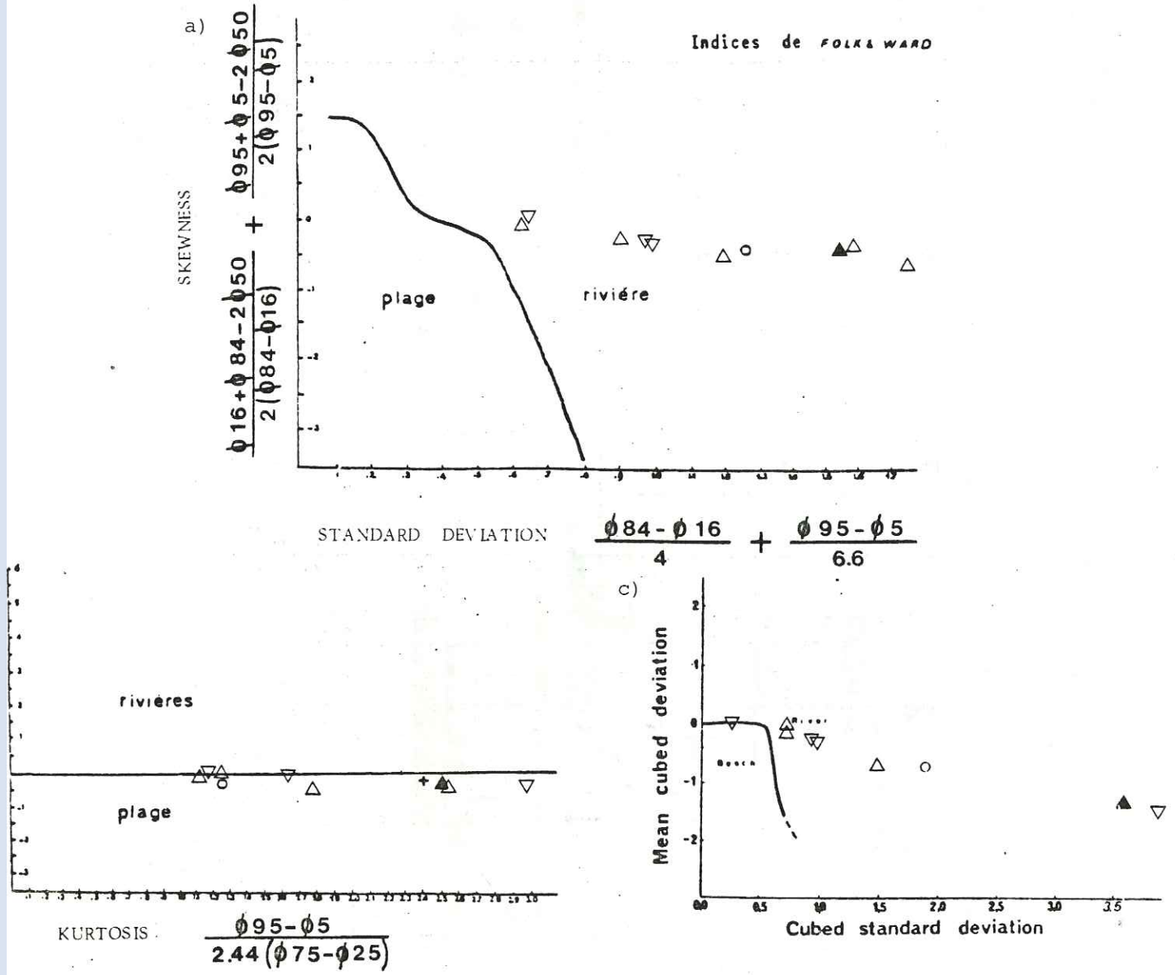


Figure 2.20

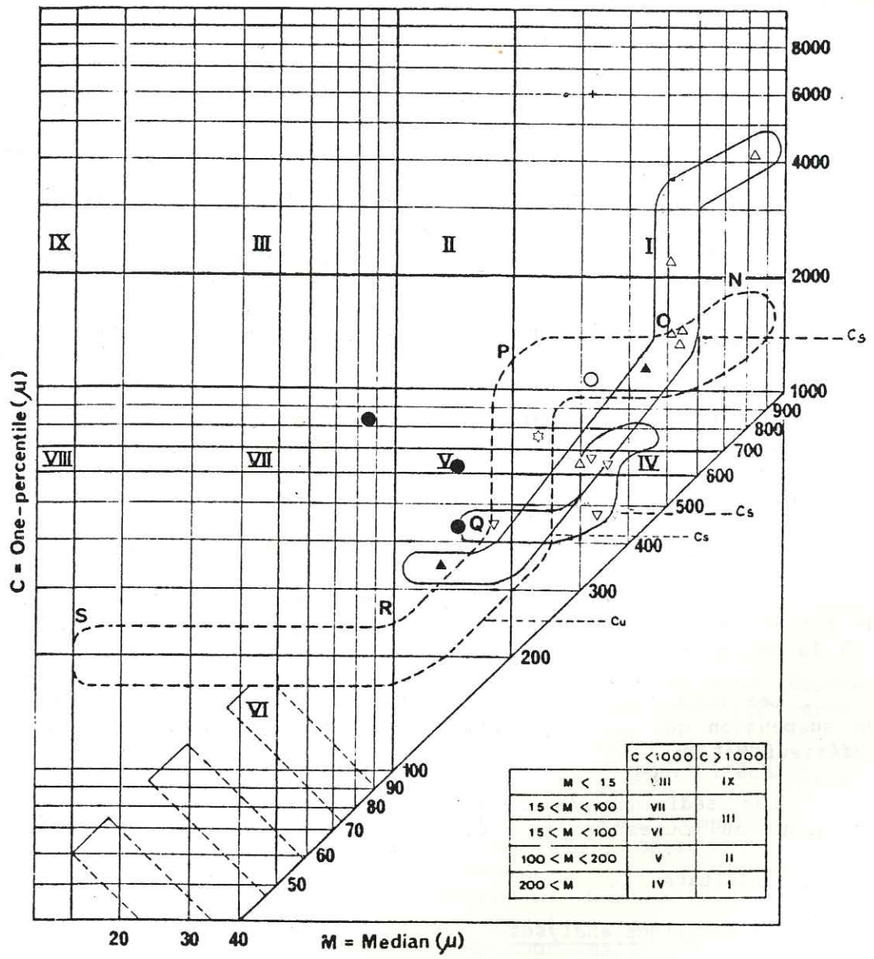


Fig.2.21: Diagramme de PASSEGA et BYRAMJEE
(Légende: voir tableau de mesures)

tel-00641418, version 1 - 15 Nov 2011

- Diagramme de PASSEGA et BYRAMJEE (Fig. 2.21) (PASSEGA et BYRAMJEE 1963)

Tous les échantillons ont pu être placés sur ce diagramme où apparaissent seulement les valeurs en microns de la médiane et du percentile (taille du plus gros grain). Différents segments sont définis (voir figure 2.21). Ils caractérisent autant de conditions de transport du sédiment.

. **Le segment QR** représente le dépôt des sédiments transportés en suspension dégradée. Ces dépôts sont caractérisés par l'absence de grains roulés et un bon classement. Il semble qu'ils soient issus d'une sédimentation en masse de la suspension dégradée.

. **Le segment PQ** représente des dépôts de sédiments transportés en suspension dégradée auxquels s'ajoute un petit nombre de grains roulés. Quand la proportion de grains roulés augmente, les dépôts sont réprésentés par le segment OP, et quand ils forment presque tout le dépôt, par le segment NO. Le coude OPQ s'explique par la différence entre transport par roulement et en suspension dégradée.

. **Le segment RS** représente le dépôt de sédiments transportés par suspension uniforme; les grains les plus grossiers se déposent les premiers, suivis des plus fins.

La valeur Cs représente le grain maximal de la suspension dégradée, c'est un indice de la turbulence maximale sur le fond. Il existe une relation entre la valeur moyenne du Cs et la profondeur (Cs diminue quand la profondeur augmente).

D'autre part, ce diagramme comporte des zones numérotées de I à X.

. Les zones I, II, III, IX indiquent des sédiments constitués de grains roulés, soit sur une faible distance, soit dans un environnement où la sédimentation en suspension est difficile (turbulence importante);

. Les zones IV, V, VI, VII caractérisent des sédiments transportés en suspension qui peuvent montrer aussi des grains roulés d'un diamètre inférieur à 1 mm;

. Les sédiments de la zone VIII se sont déposés dans un milieu pélagique où toutes les particules se trouvaient en suspension uniforme.

c) Résultats

1/ Echantillons analysés

18 échantillons ont été analysés (voir carte de localisation) dans différentes unités qui sont:

a) les pélites rouges de Gongmaru-la (1 échantillon)

b) la molasse multicolore de Nurla (8 échantillons)

c) les grès de Nimu Alchi (4 échantillons)

d) la série de Basgo-Skinning (1 échantillon)

e) la série jaune de Temesgam (1 échantillon)

f) la semelle de Tar (flysch à blocs) (3 échantillons)

Les résultats obtenus sont compilés dans le tableau B.

Pour les types de niveaux dans lesquels sont pris chaque échantillons, (se référer aux divers logs).

2/ Interprétation des résultats (voir Tableau B)

. 2a: **Pélites rouges de Gongmaru-la :** Cette série est essentiellement constituée de pélites rouges et de grès fins, ce qui rend l'étude granulométrique en lame mince très délicate. Par ailleurs, les figures sédimentaires (ripple-marks) et les manifestations de la vie animale (traces de pas d'oiseaux, terriers de crustacés) laissaient déjà entrevoir un milieu peu profond (zone supratidale). La courbe granulométrique est peu redressée (annexes), la valeur du Sorting Index (1,49) indique un sédiment bien classé, celle de l'assymétrie montre, comme on pouvait s'y attendre, un classement maximum du côté des fins (dépôt tranquille).

Sur les diagrammes de FRIEDMAN, le point se localise dans un domaine franchement fluviatile, cependant, la valeur négative du Skewness révèle un influence marine (domaine côtier).

Sur le diagramme de PASSEGA, il ressort que le sédiment était transporté par des courants turbulents avec beaucoup de grains roulés.

Tous ces caractères indiquent un milieu de dépôt deltaïque (zone supratidale) avec des sédiments comportant des grains roulés (chenaux) ou des grains en suspension (Tangue: décantation en milieu très calme).

La relative homogénéïté et la finesse de ce sédiment, le fait qu'il soit bien classé, laissent envisager que les fleuves qui débouchaient dans de tels deltas côtiers devaient avoir parcouru une distance assez considérable. Ce schéma n'est possible que si les reliefs du Transhimalaya n'étaient pas encore tous formés (voir description des nuées ardentes, au sein de la molasse multicolore de Nurla).

Les corps conglomératiques lenticulaires qui apparaissent localement, peuvent caractériser les périodes de crue des fleuves.

. 2b: **Molasse multicolore de Nurla:** Elle représente un corps sédimentaire exceptionnel de par son épaisseur et son extension (cf. carte).

Les courbes des pourcentages cumulés sont assez étalées, voire très étalées (échantillons 55.2 et 115.1), sauf pour l'échantillon 109.1.a. Les valeurs du Qd phi indiquent deux tendances:

. une tendance franchement fluviatile (valeurs comprises entre 0,600 et 0,905) pour les échantillons 115.1, 56.1, 133.1, 82.1 prélévés dans la partie axiale d'un chenal.

. une tendance à l'interaction entre le domaine fluviatile et le domaine de plage marine (valeurs comprises entre 0,58 et 0,31, ainsi que la valeur de Hé égale à 0,4) pour les échantillons 101.1, 67.1, 109.1.a, 55.2 récoltés assez loin d'un axe de drainage.

Les valeurs du Sorting Index restent faible, comprises entre 1,2 et 1,9 (sédiment bien classé), alors que les indices d'assymétrie (S) sont relati-vement groupés autour de la valeur 1 (les valeurs inférieures à 1 indiquant des zones moins calmes). Cette dualité entre S et So, caractérise, encore une fois, un milieu continental avec des axes de drainage (chenaux) où la turbulence est nettement supérieure à celle observée dans les plaines d'inondations.

Ceci ressort également de l'interprétation des diagrammes de FRIEDMAN (fig.2.20), les points sont en effet situés dans une partie du diagramme qui correspond à un domaine continental (rivière), avec des contrastes marqués selon que l'on se trouve dans l'axe d'un chenal ou décalé par rapport à celui-ci. Le diagramme de

tel-00641418, version 1 - 15 Nov 2011

Nom de l'échantillon		Qd. phi	Hé	So	S	Skewness	Kurtosis	St. dv.	Percentile	Mean
Série rouge de Sumdoh										
1	53.1	0,575		1,49	0,9	- 0,35	2,5	1,53	1 150	427,7
Molasse multicolore de Nurla	△									
2	115.1	0,905		1,87	0,64	- 0,55	1,74	1,87	2 100	509,2
3	56.1	0,775		1,72	0,64	–	–	–	1 500	514,6
4	B. 31	0,65		1,58	0,72	–	–	–	350	141,7
5	82.1	0,6		1,5	0,87	- 0,23	1,11	0,9	1 150	515,5
6	101.1	0,58		1,5	0,95	- 0,36	2,5	1,57	1 548	548
7	67.1	0,38		1,3	1	- 0,07	1,22	0,61	4 120	830,3
8	109.1a	0,31		1,24	0,98	- 0,47	3,72	1,14	637	299,8
9	55.2	–	0,4	–	–	–	–	–	1 170	527,2
Grès de Nimu-Alchi	▽								475	331,2
10	80.1	1,15		2,2	0,48	–	–	–	450	182,2
11	80.3	0,45		1,36	1,02	- 0,24	1,62	0,96	660	318,3
12	117.2	0,395		1,3	1,4	0,01	1,14	0,63	637	354,9
13	108.3	0,325		1,25	0,99	- 0,33	2,96	0,98		
Série de Basgo-Skinning	○								6 000	313,4
14	Basgo	1,06		2,1	1,4	- 0,13	2,39	2,67		
Série de Temesgan	☆								760	231,2
15	63.3	0,91		1,9	0,66	–	–	–		
Flysch à blocs de Tar	●								445	152,3
16	51.1	0,8		1,75	0,66	–	–	–	820	85,7
17	51.1		0,75	–	–	–	–	–	625	155,3
18	B 7.1		1	–	–					

Tableau B.

PASSEGA permet de confirmer ceci, tous les points (ou presque, cf. éch. 109.1.a et B. 3.1) se localisent dans le segment ON caractéristique d'un sédiment constitué de grains roulés, soit déposé près d'une source d'origine, soit transporté à travers des environnements où la sédimentation de particules en suspension est difficile.

Après le domaine côtier deltaïque des pélites rouges du Gongmaru-La (milieu supratidal), il n'est pas surprenant de passer à un ensemble fluviatile continental (molasse multicolore de Nurla). Le sédiment devient plus grossier et la paléogéographie plus complexe (superposition des cônes alluviaux plus ou moins distaux. cf. partie C des observations et levés de terrain). Les échantillons 109.1.a et B.3.1, qui se différencient légèrement des autres, ont été prélevés dans des niveaux plus fins. Le sédiment est alors bien classé et se rattache à un milieu de dépôt très calme (plaine alluviale, bras mort de méandre, flaque d'eau) (sédimentation en masse de la suspension dégradée pour l'échantillon B 3.1).

.2c: **Les grès de Nimu-Alchi** : Les courbes cumulatives présentent généralement un léger étalement (. annexes) à l'exception de l'échantillon 108.3 où la courbe est très redressée. Les valeurs du Sorting Index restent toujours faibles et inférieures à 2,5. Cependant, pour l'échantillon 80.1, cette valeur se rapproche de 2,5 (So = 2,2), la courbe de pourcentages cumulés présentant, par ailleurs, le plus grand étalement. Les valeurs du Qd phi sont relativement faibles (sauf pour l'échantillon 80.1) entre 0,325 et 0,45.

Tout ceci indique un sédiment bien classé. Les valeurs de l'assymétrie restent très groupées autour de la valeur 1 (à l'exception toujours de l'échantillon 80.1, où le classement est maximum du côté des fins). Ceci caractérise les sables fluviatiles et deltaïques, les milieux estuariens ou marins calmes.

Les diagrammes de FRIEDMAN montrent une influence fluviatile très marquée (diagramme, fig. 2. 20 a etc); les valeurs légèrement négatives du Skewness (assymétrie) témoignent (diagramme, fig.2.20b) de l'interaction entre un milieu fluviatile et un milieu littoral (plage ou lac) donc d'un domaine deltaïque.

Sur le diagramme de PASSEGA (fig. 2.21), les points sont regroupés dans le segment Qp, la majorité du sédiment est transportée en suspension dégradée à laquelle s'ajoutent quelques grains roulés. La valeur du Cs (500 μ.), indique une profondeur maximale de dépôts d'environ 40 mètres.

Le milieu estuarien, tout d'abord envisagé (figures sédimentaires, paramètres granulométriques) nécessiterait le retour à des conditions marines proches du secteur où se déposent les grès de Nimu-Alchi. Ceci ne semble pas correspondre au schéma d'évolution paléogéographique de cebassin où l'on observe une tendance très nette au comblement (séries marines puis estuariennes, enfin continentales).

Cartographiquement, la série de Nimu-Alchi montre une extension très locale, d'autre part, les différentes données granulométriques révèlent un milieu de dépôt mixte. Ceci conduit à envisager un milieu de dépôt lacustre (sédiment transporté en suspension dégradée: cf. diagramme de PASSEGA). Ce lac (peu profond) recevait les apports détri-

tel-00641418, version 1 - 15 Nov 2011

tiques des rivières venant du Sud (galets de calcaires), mais surtout du Nord (prédominance de galets de granites et laves issues du batholite Ladakhi). Ces rivières constituaient de petits deltas (load-casts, flute-casts, lenticular bedding) comme aux environs de Saspul ou de Nimu).

L'échantillon 80.1 qui diffère, par ces indices, du reste de l'unité, a été prélevé dans la région de Saspul (pont d'Alchi). Il montre des caractères franchement fluviatiles, et la valeur basse du S (classement maximum du côté des fins) le localise plutôt sur la bordure d'un chenal de drainage, donc sur la rive du lac.

. 2d: **La série de Basgo Skinning:** L'échantillon analysé dans cette série était peu induré. Nous avons donc pu effectuer un tamisage classique. Le sédiment est essentiellement constitué de grains de sable, avec quelques galets (échantillon prélevé au Nord du village de Basgo). La courbe des pourcentages cumulés est légèrement étalée et montre plusieurs paliers, principalement vers les grossiers. Le sédiment est assez bien classé (So = 2,1) avec un classement maximum du côté des fins (courbe des pourcentages cumulés plus étalée et plus lisse dans sa partie basse). Différents indices, tels que le standard déviation ou le Kurtosis attestent du caractère fluviatile de ce sédiment. Si le milieu est plutôt torrentiel (voir log de corrélation et reconstitution paléogéographique), on doit se trouver sur la bordure la plus externe d'un chenal de drainage ou au débouché d'un torrent (petit delta) dans un petit lac (voir reconstitution du paléoenvironnement, description des séries). Sur le diagramme de PASSEGA, le point se situe dans la zone I qui caractérise un sédiment uniquement constitué de grains roulés (fluviatile) déposés non loin de la roche mère d'origine (granodiorites du Ladakh).

. 2e: **La série jaune de Temesgam:** En lame mince, le sédiment est très riche en ciment ferrugineux et les grains sont très petits. De ce fait les comptages sont extrêmement difficiles à réaliser.

La courbe des pourcentages cumulés est relativement étalée. La valeur du Qd phi indique clairement un milieu fluviatile. Le sédiment est bien classé (So = 1,25) avec un classement maximum du côté des fins. Ceci indique un milieu de dépôt assez tranquille de type deltaïque avec des sédiments transportés en suspension dégradée auxquels s'ajoutent quelques grains roulés (influence fluviatile). Le dépôt s'effectue par la sédimentation en masse de la suspension dégradée indiquant donc un changement brutal de régime, soit une **delta.**

. 2f: **Flysch à blocs de Tar:** Les courbes de pourcentages cumulés sont très étalées (éch. 51.1) à faiblement étalées (éch. B. 7.1), les valeurs du Qd phi ou du Hé indiquent un milieu plutôt turbulent. Les valeurs du Sorting Index et de l'indice d'assymétrie n'ont pu être calculés que pour un seul échantillon (51.1). Elles caractérisent un sédiment bien classé principalement du côté des fins. Sur le diagramme de PASSEGA, qui est le seul où les échantillons soient représentables, on note qu'ils se différencient nettement des séries continentales décrites précédemment. Tous les points de cette unité se situent à l'intérieur du segment QP, dans les zones V et VII, ce qui signifie que le sédiment était en suspension au moment du dépôt. Quelques grains roulés, d'un diamètre inférieur à 1 mm peuvent être présents (zone V) suggérant une légère turbulence (rappelons que la zone VII représente des dépôts de suspension uniforme, milieu complexe à définir).

tel-00641418, version 1 - 15 Nov 2011

Cette analyse granulométrique, associée aux observations de terrain, permet raisonnablement d'envisager, pour cette unité, un mode de dépôt de type flysch. En effet, les caractéristiques sont celles de la zone C d'une turbidite, dépôt de décantation marine très bien classé. Dans l'unité du flysch à blocs de Tar, le terme A d'une séquence type manque généralement.

3/ Conclusion

A l'exception du flysch à bloc de Tar, dont la position tant paléogéographique que tectonique en fait une unité qui ne peut pas se rattacher aux formations du bassin de l'Indus, l'analyse granulométrique permet d'affirmer qu'une grande partie des sédiments détritiques, qui affleurent dans le bassin de l'Indus, est de nature continentale.

Dans un premier temps, entre l'Albien supérieur et l'Eocène inférieur, règnent dans le bassin des conditions marines (série verte de Tar, série à Nummulites, voir chapitre I). Les produits du démantèlement du batholite, qui sont transportés par des fleuves ou des torrents constituent au Nord du bassin d'importants cônes deltaïques (série de Basgo-Skinning, série jaune de Témesgam).

Par la suite, et alors que le bassin cesse d'être marin (pélites rouges du Gongmaru-La), apparaissent des dépôts de plaines alluviales proximales, alimentées par de très nombreux chenaux divagants (molasses multicolores de Nurla). Dans ce contexte, il n'est pas rare de voir s'installer des lacs. Celui de la formation de Nimu-Alchi montre une extension relativement importante (cf. carte) et constitue apparemment les dépôts les plus récents encore affleurant de ce secteur du bassin.

-=-=-=-=-

tel-00641418, version 1 - 15 Nov 2011

III ETUDE PETROGRAPHIQUE DES FORMATIONS DETRITIQUES

INTRODUCTION

La majorité des sédiments qui affleurent dans le bassin de l'Indus sont d'origine détritique, aussi une étude pétrographique s'impose-t-elle pour mettre en évidence les diverses régions d'origine des sédiments qui constituent les grès et les conglomérats.

Au Nord du bassin les reliefs sont constitués par le batholite granodioritique. Cet ensemble intrusif acide est associé, du moins dans la région de Teah, à des faciès effusifs. Un inventaire rapide nous a permis de distinguer des Rhyodacites, des Andésites, des Trachytes, des Ignimbrites et des Tufs acides.

Au Sud, affleurent actuellement les calcaires de Khalsi, l'ensemble des nappes de Flysch (Flysch pélito-greywackeux de Nindam associé à l'arc volcanique de Dras, Flysch calcaréo-pélitique de Lamayuru) et les nappes carbonatées du Zanskar, et plus à l'Est les unités cristallines de Nimaling. En outre, existent diverses lames de matériel ophiolitique.

L'étude a été effectuée en deux temps.

1/ Une analyse de terrain qui porte exclusivement sur la nature pétrographique des galets qui constituent les conglomérats.

2/ Une étude en laboratoire, effectuées sur les grès des différentes unités et qui comporte:

a) un comptage pétrographique au microscope qui a permis de caractériser le sédiment par différents diagrammes (QFL, $Q_p L_v L_s$, $Q_m F_p F_k$) ;

b) une analyse "Roche totale" aux rayons X où ont été utilisés des échantillons en poudre permettant une estimation minéralogique quantitative (tableau A); les résultats sont présentés sur un diagramme $Q_m F_p F_k$;

c) une analyse aux rayons x de la fraction orientée inférieure à 2μ. Ceci pour caractériser les argiles de néoformations (tableau A), mais aussi pour quantifier et dater le métamorphisme des différentes formations dans diverses zones du bassin (Chapitre 4 et 5);

d) quelques analyses chimiques afin de doser les éléments traces pouvant attester d'apports dérivants de la nappe ophiolitique (chrome (chromite), vanadium, cuivre, nickel, cobalt) (tableau C).

A) COMPTAGE PÉTROGRAPHIQUE DES GALETS (Annexes)

I - FLANC NORD DU BASSIN

1/ série de Basgo-Skinning

Les conglomérats qui reposent directement sur la surface ondulée des granodiorites du Ladakh sont constitués exclusivement de blocs anguleux, parfois légèrement émoussés. Nous avons vu précédemment que ces niveaux grossiers, mal classés, correspondaient à des dépôts torrentiels arrivant dans un domaine lacustre (rupture de pente). Ces torrents descendaient de reliefs constitués par le batholite granodioritique comme le montre la nature pétrographique des blocs constituant les conglomérats (Himis, Yangtang, Skinning, Teah). Les blocs de dacites, rhyodacites, trachytes, ignimbrites et tufs acides s'observent plus fréquemment dans les zones où affleurent largement les faciès effusifs (région de Teah).*

2/ Série jaune de Témesgam

Les bancs de conglomérats qui apparaissent localement à la base de cette unité sédimentaire (Skinning, Saspol Nord) sont constitués par des galets émoussés, voire arrondis, de taille décimétrique, dérivant uniquement du batholite ladakhi, donc du Nord.

II - PARTIE CENTRALE DU BASSIN

1/ Pélites rouges du Gongmaru-La

Cette unité est essentiellement pélitique, cependant quelques lentilles de conglomérats apparaissent parfois marquant un axe de paléochenal.

Les galets, généralement de petite taille, et bien arrondis proviennent du batholite (granodiorites, laves acides, tuffites, épidotites) mais aussi de la formation sédimentaire sous-jacente de Témesgam (grès).

Deux galets de calcaires microcristallins ont été rencontrés dans les conglomérats affleurant au Nord de Saspul. Ils pourraient provenir de la série de Basgo-Skinning (calcaires lacustres entre Saspul et Yangtang, voir Chapitre I) marquant alors un apport local.

2/ Les conglomérats d'Hémis

Ils montrent, au Nord du bassin, des galets pluridécimétriques, ellipsoïdaux dont la plupart sont issus du démantèlement du batholite ladakhi (granodiorites, laves acides, tuffites, épidotites, quartz laiteux); ils viennent donc du Nord.

Au Sud du bassin, les galets sont plus petits, etl'on observe un mélange entre des apports venant du Nord et d'autres venant du Sud (calcaires à Nummulites, calcaires cristallins beige rosé à polypiers, greywackes).

Les conglomérats du Stakspi-La (voir page 23), qui surmontent directement les couches à Nummulites, témoignent eux aussi d'apports provenant des deux flancs du bassin avec toutefois une prédominance

* *FRANK et al (1977) ainsi que moi-même avons observé localement des petits galets de "radiolarites" et de calcaires dont l'origine est encore énigmatique (contamination depuis la vallée de la Shyok au Nord du batholite Ladakhi où de tels faciés sont connus?)*

des produits issus du Sud (calcaires à Nummulites-greywackes), ce qui les différencie assez nettement des conglomérats d'Hémis .

3/ La molasse multicolore de Nurla

Dans cette molasse continentale se rencontrent fréquemment des bancs de grès microconglomératiques avec des galets dont le *façonnement semble indiquer* un long parcours en régime fluviatile.

La nature pétrographique de ces galets témoigne d'apports issus à la fois du Sud et du Nord dans tous les points du bassin résiduel. C'est seulement à partir de ce moment qu'apparaissent quelques galets issus du démantèlement de la nappe ophiolitique (péridotites) qui devait alors affleurer plus largement, et dont la klippe de Spongtang constitue, à l'heure actuelle, le seul vestige important.

4/ Les conglomérats de Choksti

Ils marquent un épisode conglomératique particulier au sommet de la molasse multicolore de Nurla.

La majorité des galets, de taille pluridécimétrique sont bien arrondis et dérivent, tout au moins à l'Ouest de la rivière Zanskar, à 90 % du batholite granodioritique (granites, granodiorites, rhyolites, trachytes, trachyandésites). Les 10 % restant sont des grès provenant des séries sédimentaires plus anciennes qui affleurent entre le batholite et l'endroit du dépôt (série de Témesgam, base de la molasse multicolore de Nurla). Sur la transversale du Mathoo Kanri, les galets sont plus petits et moins émoussés, mais révèlent des apports issus du Nord et du Sud (galets de calcaires et de serpentine).

5 / Les grès de Nimu-Alchi

L'étude sédimentaire a permis de définir qu'il s'agissait de sédiments lacustres. Ce lac recevait, comme le montre la nature pétrographique des galets, des produits issus de la destruction des deux flancs du bassin avec cependant une prédominance d'apports venus du Nord (granodiorites et laves acides).

Au village d'Alchi cette dominance est très nette et les grès conglomératiques montrent presque exclusivement des galets de granite, toutefois une particularité apparaît dans la région de Zinchang où s'observe une arrivée locale de produits d'origine méridionale (radiolarites, grès de Nindam, calcaire de type Khalsi).

III - FLANC SUD DU BASSIN

1/ La série verte de Tar

a) La brèche qui apparaît au sommet du premier cône sous-marin (voir page 47) est constituée par des éléments où les calcaires à orbitolines dominants (90 %) sont associés à quelques petits galets de lave (7 %) et de grès (3 %). La matrice greywackeuse est riche en plagioclases zonés (60 à 90 % des grains), le quartz est rare, alors que les grains de clinopyroxènes, de hornblende, de biotite et d'olivine sont fréquents (entre 10 et 40 % des grains) (BROOKFIELD et A. SPEED, in press).

tel-00641418, version 1 - 15 Nov 2011

tel-00641418, version 1 - 15 Nov 2011

La nature pétrographique de la brèche comme celle de la matrice indiquent une origine exclusivement méridionale des apports.

Les conglomérats qui s'observent au sommet du deuxième cône (voir page 47) ont été décrits par BROOKFIELD (BROOKFIELD et A. SPEED, in press). Leur composition caractéristique montre 30 % de galets de calcaires biomicritiques (calcaires dé Khalsi); 40 % de galets de roches intermédiaires (Andésite, granodiorite); 10 % de galets de basaltes; 20 % de roches siliceuses (cherts rouges, quartz filonien). La matrice est greywackeuse. La nature pétrographique des galets caractérise un mélange d'apports terrigènes venant du Sud et du Nord (avec pour les apports venant du Nord, un transport suffisamment long pour permettre d'arrondir les blocs de granodiorites arrachés au batholite ladakhi).

b) Le comptage effectué dans les grès conglomératiques au Sud du village de Lardo Brok (à la base du premier cône sous-aquatique), montre que dans cette partie du bassin se produit un mélange des sédiments venant des deux bordures du bassin (granodiorites au Nord, greywackes et volcanites basiques au Sud), mélange qui ne s'observe pas dans la région de Khalsi (route Khalsi Nurla, au kilomètre 8, voir page 42).

2/ Les conglomérats de Parcha Kanri

Les galets sont relativement bien arrondis et de taille pluri-décimétrique; ils témoignent d'alimentations détritiques venant en partie du Nord et surtout, du Sud, ce qui est en accord avec les directions fournies par l'analyse des figures sédimentaires (onlap, load et tool-casts. voir page 30 et carte de directions et sens des courants).

V - LES CONGLOMERATS DE SKIU (Dundunchang-La)

Ces conglomérats apparaissent dans diverses situations qui nous ont amené à les différencier des autres formations détritiques du bassin de l'Indus. C'est ainsi qu'au Sud de Chilling, ces conglomérats sont discordants sur le flysch de Lamayuru, alors qu'un peu plus à l'Est, ils sont pincés en contact tectonique au sein de l'unité flyschoïde de Nindam (flysch pélito-greywackeux).

Ces conglomérats ont été décrits par LYDEKKER (1883), puis par STERNE (1979). Ils ont été comparés aux Formations de Pashkyum (voir Chapitre 6) (de TERRA 1935), ainsi qu'aux conglomérats de Liuqu qui apparaissent au Tibet Chinois, où ils sont considérés comme les dépôts les plus récents scellant les contacts tectoniques anciens (ceux à jeu Sud) tout en étant impliqués dans la tectonique de rétrocharriage vers le Nord (BURG, 1983). (Age: Oligo-miocène in Academia Sinica, 1980).

L'étude des galets témoigne d'une alimentation venant exclusivement du Sud. La présence de galets de péridotites permet de les corréler avec ceux décrits par BAUD et al. (1982) dans la zone de "mélange" à l'Est de la rivière Zanskar. Ces conglomérats sont étudiés par E. SUTRE (Thèse de 3ème cycle à l'Université de Poitiers).

B) ÉTUDE DES GRÈS

I - COMPTAGE PETROGRAPHIQUE AU MICROSCOPE

1/ Méthodologie

A l'aide d'un microscope, muni d'une surplatine effectuant des sauts à intervalles réguliers sur une même ligne, on estime le pourcentage en minéraux et fragments de roches qui constituent le sédiment.

Pour réaliser les divers diagrammes qui caractérisent la roche, et définir ainsi une évolution générale du point de vue pétrographique dans le bassin, nous avons pris en compte le quartz (monocristallin et polycristallin), les feldapths potassiques, les plagioclases, les fragments de roches volcaniques et les fragments de roches sédimentaires (Mc BRIDE, 1963; PICARD, 1971).

2/ Résultats (Fig. 2.22 a et b).

Ils sont exprimés dans trois diagrammes triangulaires qui sont:

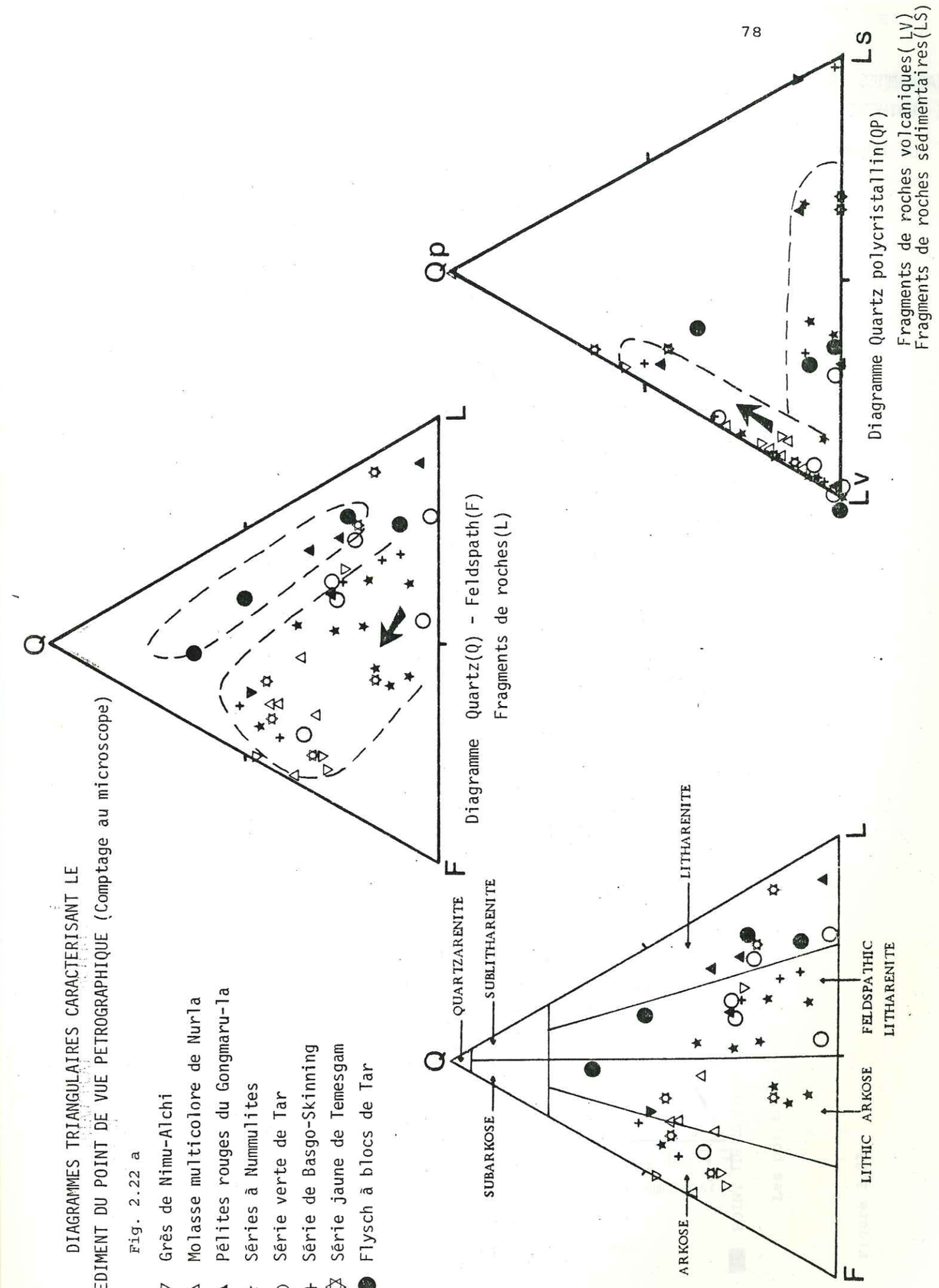
- diagramme Quartz-Feldspaths-Fragments de roches;
- diagramme Quartz polycristallin-Fragments de roches volcaniques-Fragments de roches sédimentaires;
- diagramme Quartz monocristallin-Plagioclases-Feldspaths potassiques.

Il ressort des deux premiers diagrammes que le flysch à blocs de la semelle de Tar représente un ensemble sédimentaire particulier (Arénite volcanique plagioclasique dérivée d'un arc volcanique et de grès plus anciens), qui se différencie pétrographiquement de toutes les unités détritiques de l'Indus. Ces dernieres proviennent de l'érosion d'un épi-batholite granitique et de sa couverture sub-volcanique (granophyres) et laviques (dacites-rhyolites) (voir fig. 2.23)

Sur le diagramme QFL, il est très clair que **deux séquences évolutives** peuvent être observées au sein des séries détritiques de l'Indus (communication personnelle de E. GARZANTI), comme il est indiqué dans le tableau ci-dessous:

Formations	Nature de la roche mère	Age relatif
Grès de Nimu-Alchi	Arc magmatique érodé	+ récent
Molasse multicolore de Nurla	Arc magmatique érodé	
Séries associées aux calcaires à Nummulites	Arc magmatique partiellement érodé	
Série verte de Tar	Arc magmatique non érodé: apport seulement de roches volcaniques - basiques: Arc de Dras, Faciès effusifs basiques associés au batholite	+ ancien

Première séquence évolutive



DIAGRAMMES TRIANGULAIRES CARACTERISANT LE SEDIMENT DU POINT DE VUE PETROGRAPHIQUE (Comptage au microscope)

Fig. 2.22 a

▽ Grès de Nimu-Alchi
△ Molasse multicolore de Nurla
▲ Pélites rouges du Gongmaru-la
☆ Séries à Nummulites
○ Série verte de Tar
\+ Série de Basgo-Skinning
✡ Série jaune de Temesgam
● Flysch à blocs de Tar

tel-00641418, version 1 - 15 Nov 2011

tel-00641418, version 1 - 15 Nov 2011

DIAGRAMMES TRIANGULAIRES CARACTERISANT LE SEDIMENT DU POINT DE VUE PETROGRAPHIQUE

(La légende des signes est la même que celle de la figure précédente)

Fig. 2.22 b

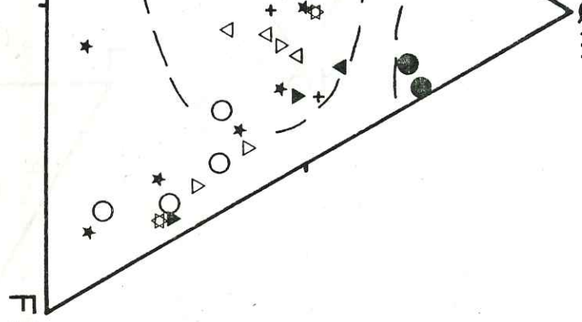


Diagramme Quartz monogénique (QM) - Plagioclase (FP)

Feldspath potassique (FK) (Comptage au microscope)

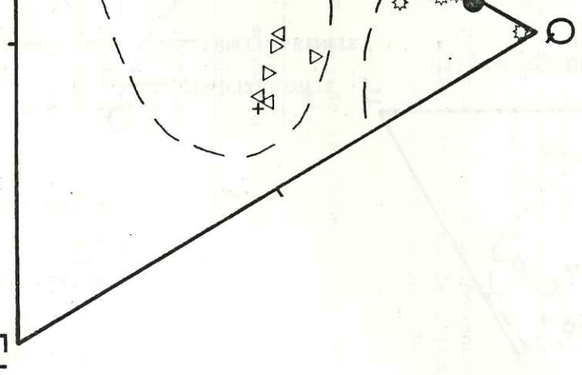
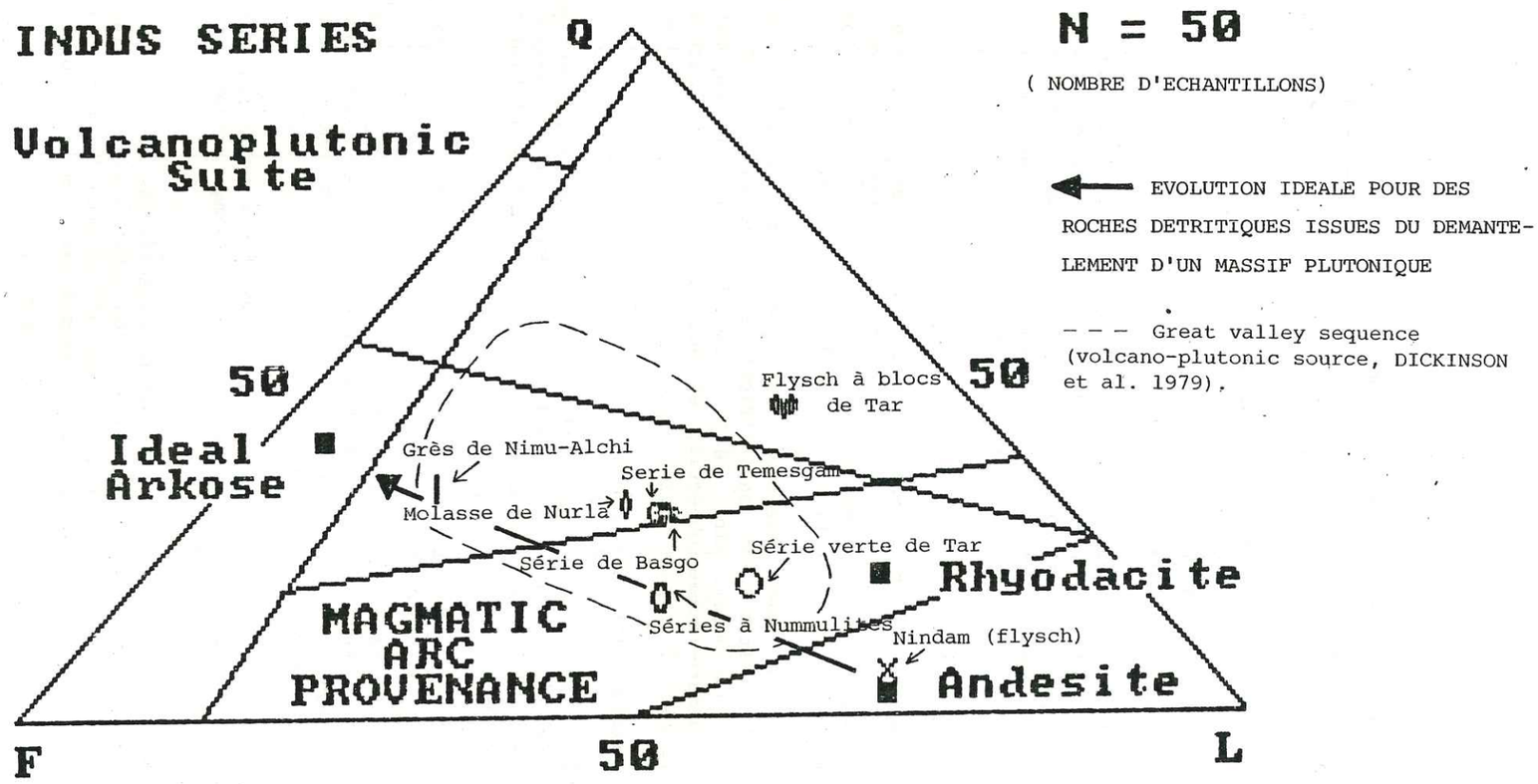


Diagramme Quartz monogénique (QM) - Plagioclase (FK)

Feldspath potassique (FK) (d'après l'analyse roche totale aux rayons X: voir Tableau A).



POINT IDEAL POUR UNE ROCHE DETRITIQUE ISSUE DU DEMANTELEMENT D'UN MASSIF PLUTONIQUE (Communication orale de DICKINSON)

Les points caractérisant les différentes séries représentent des points moyens définis à partir de la figure 22

Figure 2.23

Formations	Nature de la roche mère	Age relatif
Série jaune de Témesgam	Arc magmatique érodé	+ récent
Série de Basgo-Skinning	Arc magmatique partiellement érodé	+ ancien

Seconde séquence évolutive

Cette évolution suit le degré d'érosion des massifs qui alimentent le bassin en produits détritiques. C'est ainsi que s'observe un enrichissement progressif en feldspaths potassiques, tandis que les fragments de laves diminuent (avec le temps on passe de litharénites volcaniques (molasse multicolore de Nurla) à des arkhoses (série de Nimu-Alchi)).

Remarques:

* Les grès de la série de Basgo-Skinning sont déjà très évolués et montrent très peu de termes primitifs, c'est-à-dire que manquent les formations représentatives des premiers termes de l'évolution de l'arc constitué par le batholite ladakhi (communication personnelle de E. GARZANTI);

* Dans toutes les lames observées, les plagioclases étaient très souvent altérés (albitisation), et donc difficilement discernables des feldspaths potassiques (orthose). Ainsi le troisième diagramme (Qm, Fp, Fk) ne peut être considéré comme objectif, et nous n'en tirerons aucune conclusion.

II - ANALYSE ROCHE TOTALE AUX RAYONS X

Elles ont été réalisées sur des échantillons réduits en poudre, et après une séparation aux liqueurs denses, dans le but d'obtenir une estimation minéralogique quantitative. Les résultats sont figurés dans le tableau A (voir aussi annexes).

1/ Certains de ces échantillons ont pu être représentés sur un diagramme Q, Fp, Fk. Il en ressort que:

a) Les grès du flysch à blocs de Tar, ainsi que ceux de la série jaune de Témesgam sont très riches en quartz. Les quartz des flyschs à blocs de Tar diffèrent nettement de ceux de Témesgam par leur taille et par leur forme arrondie;

b) Les grès associés aux calcaires à Nummulites montrent, par rapport à la série verte de Tar, un enrichissement relatif en quartz;

c) L'évolution minéralogique est surtout caractérisée par un enrichissement en feldspaths potassiques (du plus ancien au plus récent) depuis l'unité pélitique rouge de Gongmaru-La jusqu'aux grès de la formation de Nimu-Alchi en passant par la molasse multicolore de Nurla.

Tableau A

N°Echant.	Chlorite	Illites (micas)	Quartz	Feldsp.	Plagio.	Calcite	Dolomite	Débris roches	Minéraux lourds 3,3
3.2 NA	28	9,3	36	0	20	6,3	-	0,4	traces
80.1 -	11,8	-	43,4	20,7	22,6	-	-	0,5	0,9
80.3 -	13	-	39,7	16	31	-	-	0,0	0,2
104.1 -	31,9	9	27	9	20	4	-	-	0,1
108.3 -	15	-	49	-	30	5	-	-	-
14.7* SN	1	1	1	1	1	94,9	-	0,1	-
84.2 -	21	-	41,9	-	37	-	-	0,0	0,03
111.2 -	17,4	-	16,5	-	28,1	34,8	-	3	0,1
B 13.1 -	28,8	9	28,8	-	13,9	18,9	-	0,6	traces
23.3 SJT	11	-	35	17	32	5	-	-	-
25.4 -	19	9	52	-	11	9	-	-	-
25.5 -	19	7	45,9	-	10	17,9	-	0,0	0,1
35.1 -	15	8	36	-	13	21	7	-	-
37.2 -	14,3	9,5	41,2	4,8	11,4	5,8	9,5	3,5	traces
60.4 -	18	-	17	-	29	36	-	-	-
26.1 MMN	20	-	68	-	-	-	11	-	-
27.2* -	17	-	51	-	25	7	-	-	-
45.3 -	13	-	54,5	-	18	13	-	0,9	0,6
53.1 -	31,8	-	50,0	-	14,4	-	-	2,5	1,2
55.2 -	12	-	48,9	23	16	-	-	0,1	-
59.2 -	23	-	47	-	30	-	-	-	-
67.1 -	16,5	-	54,2	-	28,5	-	-	0,4	0,3
68.1 -	8,9	8	50	-	28,6	4	-	0,2	0,2
82.1 -	16,9	-	47,5	-	34,7	-	-	0,7	0,2
86.4 -	22,5	-	54,5	-	20,5	-	-	1,5	1
100.1 -	23,6	5,9	44	-	11,8	9,8	3	1,9	-
101.1 -	11,9	-	43,5	20,8	22,9	-	-	0,5	0,4
109.1a -	13	-	52,6	-	27,8	6	-	0,2	0,3
115.1 -	10,8	6,8	50,8	-	29,3	-	-	2,2	-
32.1 SVT	27	-	16	-	30	27	-	-	-
40.5 -	16	14	53	-	17	-	-	-	-
93.1 -	9	9	35,9	-	46,9	-	-	0,1	traces
34.3 SBS	14	-	57	-	27	2	-	-	-
61.3 -	-	-	46	16	38	-	-	-	-
51.1 STT	19	5	47,9	-	10	18	-	0,1	traces
52.1 -	10,9	-	71,6	-	9,9	6,9	-	0,2	0,2
52.2 -	-	-	-	-	-	-	-	89,8	10,2
56.1 -	11,95	-	42,8	17,9	26,9	-	-	0,1	0,2

tel-00641418, version 1 - 15 Nov 2011

FRAGMENTS DE ROCHES (annexe tableau A)

NIMU-ALCHI	104.1	Quartz- Plagioclase- Chlorite
NUMMULITE	84.2	Quartz
	111.2	Quartz- Calcite- Plagioclase
TEMESGAM	37.2	Quarz- Chlorite- Plagioclase- Calcite (trace)
NURLA	53.1	Quartz- Plagioclase-Chlorite
	55.2	Quartz- Plagioclase- Calcite
	67.1	Quartz- Plagioclase (albite)
	82.1	Quartz- Chlorite- Plagioclase- Calcite (trace)
	86.4	Quartz- Hématite- Plagioclase- Chlorite
	101.1	Quartz- Plagioclase- Chlorite (trace)
	115.1	Hématite
	115.1b	Quartz- Plagioclase- Dolomite- Chlorite (trace)
SEMELLE	52.2	Amphibole- Quartz- Plagioclase- Magnesochromite

tel-00641418, version 1 - 15 Nov 2011

2/ Les fragments de roches (cf. annexe 1)

La composition minéralogique des fragments de roches a été déterminée à l'aide de diagrammes de rayons X. Tous les fragments de roches des unités détritiques du bassin de l'Indus montrent une composition analogue au cortège minéralogique défini par le tableau A (quartz-plagioclases-calcite-dolomite-chlorite-hématite). Seule la composition minéralogique de l'échantillon 52.2 provenant du flysch à blocs de Tár, indique des apports provenant de massifs affleurant au Sud (Tholéïtes de l'arc de Dras (pyroxènes et amphiboles) - Péridotites de la nappe ophiolitique (magnesochromite)), ce qui confirme encore, s'il était nécessaire, que l'unité de Tar n'est pas à rattacher aux séries détritiques du bassin de l'Indus.

3/ Détermination optique des minéraux lourds

a:Méthode

L'échantillon de grès est broyé, puis lavé, tamisé et enfin placé dans une centrifugeuse. L'emploi des différentes liqueurs denses permet de séparer la poudre obtenue en plusieurs classes. Une fraction légère constituée par les minéraux dont la densité est inférieure à 2,89 (densité du bromoforme) (voir tableau B p. 85) , une **fraction lourde** où apparaissent les minéraux de densité supérieure à 3,3 (densité du Iodure de Méthylène) enfin une fraction intermédiaire ($2,9 < D < 3,3$), ici constituée par des fragments de roches.

Les minéraux lourds sont ensuite placés entre lame et lamelle dans une goutte de Di-iodomethane (D = 1,74), puis observés au microscope polarisant.

b:Résultats

Ils sont rassemblés dans le tableau B (pour chaque échantillon les minéraux sont classés d'après un critère quantitatif par ordre décroissant).

c: Interprétation des résultats

Quatre points intéressants se dégagent:

Tous les points terrigènes dérivent en partie de roches acides (Zircon) dont la source majeure est ici formée parla chaîne des plutons granodioritiques du Ladakh.

Le batholite est lui même recoupé par de nombreuses failles (orientées Nord) où s'observent fréquemment des cristallisations d'épidote. Ce minéral se retrouve à l'état de grain uniquement dans les grès des séries continentales post-Eocène inférieur (grès de Nimu-Alchi - molasse multicolore de Nurla); la fracturation du batholite Ladakhi n'aurait donc eu lieu qu'entre la fin de l'Eocène inférieur et le début des dépôts des molasses continentales (origine tectonique de la disparition dans cette région du domaine marin).

Spinelle chromifère, qui apparaît dans les pélites rouges du Gongmarula proviendrait soit des laves de Dras (cf. Thèse de 3ème cycle de G.REIBEL 1984), soit de la nappe ophiolitique (klippe de Spontang) et donc du Sud.

Enfin, les grès du flysch à blocs de Tar se différencient de ceux des formations du bassin de l'Indus de par la présence de pyroxène dont l'origine serait à rechercher du côté de roches basiques telles que celles de l'unité de Dras.

Tableau B

DETERMINATION OPTIQUE DES MINERAUX LOURDS AU MICROSCOPE

NIMU-ALCHI	3.2 : Magnétite- Zircon- Rutile- Epidote-Grenat
	80.1: Zircon- Amphibole- Rutile- Sphéne- Grenat-(Apatite)
	80.3: Zircon-Amphibole-Grenat
	104.1: Zircon-Amphibole-(Apatite)
NUMMULITE	84.2: Zircon-Amphibole-Grenat
	111.2: Zircon-Amphibole
	B 13.1: Magnétite-Zircon-Amphibole
TEMESGAM	25.5: Zircon-Rutile-Magnétite-Grenat-Toumaline-(Apatite-Andalousite)
NURLA	53.1: Epidote-Sphéne-(Fluorapatite)
	82.1: Zircon-Epidote-Amphibole-Grenat
	101.1: Zircon-Epidote-(Apatite)
	109.1a: Zircon-Epidote-Grenat-Hematite-(Apatite)
TAR	93.1: Magnétite-Zircon-Amphibole
SEMELLE	51.1: Zircon-Amphibole-Pyroxéne-Rutile-Tourmaline
	52.1: Magnétite-Zircon-Amphibole(trémolite)-Rutile-Tourmaline
	52.2: Magnétite-Amphibole-Pyroxéne
	56.1: Zircon-Pyroxéne-Grenat-Tourmaline

Spinelle Chromifere dans les pélites rouges du Gongmaru-la
(détermination H. BUCHER et G. HONEGGER)

tel-00641418, version 1 - 15 Nov 2011

III - ANALYSES AUX RAYONS X DE LA FRACTION ORIENTEE INFERIEURE A DEUX MICRONS

1/ Méthodes

a) Préparation de l'échantillon: le matériel gréseux est finement broyé puis la partie supérieure à deux microns est éliminée (méthode densimétrique). Une légère attaque à HCl est nécessaire afin de ne conserver que les minéraux non carbonatés. Le matériel ainsi obtenu est orienté sur une lame.

b) Appareillages: diffractomètre Philips à tube K: puissance d'utilisation 0,8 kw, fente de divergence 7°, rotation 1°/mn entre 2 θ = 2° et 2 θ = 32°. Enregistreurs, sensibilité 10 cps, constante de temps 2 secondes, vitesse de défilement du papier 800 mm/h.

c) Identification: diffractométrie X; trois courbes sont enregistrées:
- . une courbe dite normale, qui correspond à l'étude de l'échantillon séché à l'air libre sans traitement;
- . une courbe correspondant à l'enregistrement après traitement de l'échantillon à l'éthylène-glycol, permet d'identifier les minéraux gonflants;
- . une courbe correspondant à l'enregistrement après chauffage à 550°c qui fait disparaître les pics de la kaolinite.

2/ Résultats

Ils sont compilés dans le tableau C.

Tableau C

Analyse aux rayons x de la fraction orientée inférieure à deux microns (les échantillons marqués d'un astérisque ont été choisis pour dater et quantifier le métamorphisme: voir Chapitre 4).

IK (KUBLER, 1968): indice de cristallinité qui est fonction de la largeur à mi-hauteur du pic à 10 Å de l'Illite.

IE (ESQUEVIN, 1969): indice d'Esquevin qui représente le rapport entre le premier et le deuxième pic de l'Illite et qui est fonction du rapport tétraedre AL/octaedre AL, MG.

I det (M. BONHOMME J. ESQUEVIN, communication orale): déterminé par le rapport entre le deuxième et le troisième pic de l'Illite, s'il n'y a pas de quartz (pic à 4,26 Å = 0).
Si I det. $<$ 0,5: caractère métamorphique;
Si I dét. $>$ 0,5 caractère diagénétique.

Les associations des minéraux argileux néoformés restent constantes dans chaque unité étudiée.

- Les pélites rouges du Gongmaru-La montrent 50 à 60 % de chlorite, 50 à 40 % d'interstratifiés (IS), pas d' illite.
- Les molasses multicolores de Nurla ont des compositions identiques à celles de pélites rouges du Gongmaru-La.
- La série jaune de Témesgam montre 50 % de chlorite, 50 % d'illite.

tel-00641418, version 1 - 15 Nov 2011

Tableau C

ANALYSES AUX RAYONS X DE LA FRACTION ORIENTEE INFERIEURE A 2 MICRONS

N° Ech.	Illites seules (I)	Chlorites (C)	Illites + interstratifiés IS	Illites + interstratifiés SC	Smectites (S)	Kaolinites	IK	IE	I Det	Formations
9.2 x	-	50 %	x	(50%) x	-		-	1,00	-	Molasse multicolore de Nurla
10.1	-	60 %	40%	-	-		-	0,68	-	Pélites rouges de Gongmaru-la
12.2		50 %	50%	-	-		-	0,54	-	Pélites rouges de Gongmaru-la
								0,53	0,71	Série à Nummulites
17.2 x	60 %	40 %	-	-	-		8,5	0,45	-	Marnes d'Urucha
38.2 x	50 %	50 %	-	-	-		5,0	0,39	0,42	Série à Nummulites
38.1 x	60 %	40 %	-	-	-		4,5	0,50	-	Molasse multicolore de Nurla
44.2 x	50 %	50 %	-	-	-		5,2	0,75	-	Série de Temesgam
48.1 x	-	65 %	35%	-	-		5,2	0,41	-	Série de Basgo
48.5 x	60 %	40 %	-	-	-		5,0	0,51	-	Série de Basgo
53.1 x	50 %	50 %	-	-	-		5,0	0,59	-	Série de Temesgam
53.4 x	50 %	50 %	x	(28%) x	34 %		-	0,40	-	
55.1 x	60 %	40 %	-	-	-		4,5	0,45	1	.... (Ang)
55.2 x	80 %	5 %	-	-	15 %		7,0	0,47	-	Série
56.1		32 %	-	-	46 %		-	0,41	-	.... (Himis)
57.1	15 %	25 %	-	-	60 %		-	0,50	-	
57.2	-	50 %	x	(50%) x	-		-	0,54	-	de
59.1	-	-	x	-	-		-	0,34	-	
60.1 x		30 %	55%		15%		-	0,55	-	.... (Taruche)
64.1	20 %	30 %		50%		x	-	0,66	-	
65.2		38 %	x	(62%) x			-	0,60	-	Basgo
70.1		30 %	x	(70%) x			-	0,60	-	(Basgo)
72.2		40 %	x	x		x	-	0,70	-	
74.1		40 %	x	x		x	-	0,70	-	Pélites rouges de Gongmaru-la
87.1 x		60 %	40%		-		-		-	
121.2	-	50 %	50%		-		-	0,55	-	Pélites rouges de Gongmaru-la
121.3 x	-	50 %	50%		-		7,3	0,54	-	Pélites rouges de Gongmaru-la
151.1 x	50 %	50 %	-	-	-		5,5	0,54	-	Série de Temesgam (Nurla)
155.3	-	50 %	x	x	-	x	-	0,38	-	Formation de Kargil

Chemin qui longe les granodiorites entre KHALSI et TARUCHE

Coupe de MARTSELANG (11)

Coupe du KANDA-LA (8)

Coupe de KHALSI (1)

Coupe de MATHOO (10)

Coupe de SASPUL (7)

Coupe de NURLA (2)

Il apparaît que la série de Basgo-Skinning se différencie par la présence de kaolinite et de smectite pure, ce qui caractérise un milieu confiné et rejoint l'interprétation précédemment définie (Domaine lacutre, voir page 70) (détermination J. APRAHAMIAN).

3/

Des teneurs en Fer, Magnésium, Aluminium et Silice des chlorites néoformées ont été obtenues par l'intermédiaire de la position et de l'intensité des pics de la chlorite sur les différents diagrammes de rayons x. En règle générale, une chlorite est d'autant moins ferrifère que le milieu de cristallisation était confiné (les chlorites non ferrifères sont corrélativement plus riche en magnésium) (J. APRAHAMIAN).

Sur le tableau D où sont compilés les résultats, il apparaît que:

- Les séries de Basgo-Skinning montrent, à l'exception de deux échantillons (53.1 et 57.2) des chlorites très peu ferrifères caractéristiques de milieux confinés (lac, lagune). Les échantillons dont la teneur en fer est élevée pourrait témoigner de domaines particuliers, tels que les axes de drainage où les eaux circulaient en permanence.

- Les chlorites analysées dans les pélites rouges du Gongmaru-La ont des teneurs en fer relativement basse (entre 0,2 et 0,9), ce qui correspond à un domaine moyennement confiné (delta).

- Les séries à Nummulites, ainsi que les marnes d'Urucha dans lesquelles apparaissent des faunes marines sont des domaines ouverts où les chlorites sont ferrifères (valeurs > 1) (comparativement aux marnes de Basgo-Skinning).

Dans le cas des marnes d'Urucha, une légére nuance est à apporter. En effet, cette unité montre des teneurs en fer des chlorites qui tendent à se rapprocher de celles obtenues dans les pélites rouges du Gongmaru-La. Ceci s'explique par l'interaction des domaines de dépôts des deux unités (voir reconstitution paléogéographique).

IV - ANALYSES CHIMIQUES

Quelques dosages chimiques ont été réalisés afin de quantifier les éléments traces susceptibles de dériver du lessivage de la nappe ophiolitique. Les résultats sont reportés dans le tableau E.

1/ **Les unités qui apparaissent au Nord du bassin**, sur le batholite ladakhi (série de Basgo-Skinning, série jaune de Témesgam) montrent de faibles teneurs en éléments traces. Ceci s'explique à la fois par la position paléogéographique des domaines où se déposaient ces sédiments (très au Nord par rapport à l'axe supposé de la fosse) et par leur âge (Maestrichtien à Eocène inférieur (?)).

2/ **Les grès à Lamellibranches de Sumdah-Gompa** d'âge Paléocène supposé (voir Chapitre I, page 16), qui affleurent très au Sud du bassin, ont des teneurs, notamment en chrome, très faibles, ce qui permet de penser que la croûte océanique devait se trouver encore assez loin de ce domaine sédimentaire.

ANALYSES CHIMIQUES DES ARGILES

Ech.	Mg	Fe	Al	Si
Série de Basgo Skinning				
51.1	4,93	0,1	0,97	3,03
53.1	3,11	1,7	1,19	2,81
53.4	4,84	0	1,16	2,84
55.2	4,71	0,1	1,19	2,81
57.1	4,85	0,1	1,05	2,95
57.2	3,16	1,7	1,14	2,86
60.1	4,75	0,2	1,05	2,95
64.1	4,16	0,6	1,22	2,78
65.2	4,36	0,5	1,14	2,86
70.1	4,74	0,2	1,06	2,94
72.2	4,73	0,2	1,07	2,93
74.1	4,53	0,4	1,07	2,93
Pélites rouges du Gongmaru-La				
10.1	4,68	0,2	1,12	2,88
12.2	3,86	0,9	1,24	2,76
87.1	4,03	0,8	1,17	2,83
121.2	4,1	0,8	1,1	2,9
Série à Nummulites				
17.2	3,06	1,7	1,24	2,76
44.2	3,09	1,7	1,21	2,79
Marnes d'Urucha				
38.1.	3,77	1	1,23	2,77
38.2	3,46	1,1	1,26	2,74
Série jaune de Temesgam				
48.5	2,97	1,8	1,23	2,77
55.1	3,66	1,2	1,14	2,86
151.1	2,43	2,4	1,17	2,83

Tableau D

La série jaune de Temsgam montre des chlorites qui sont toutes très ferrifères, caractérisant ainsi un **milieu ouvert** difficilement interprétable (voir reconstitution paléogéographique).

		Teneurs moyennes (J.REEDMAN, 1979)-	5 - 12	10 - 60	5 - 10	3 - 12	0,2 - 4
Nº Echantillon	Formation		Cu	V	Cr	Ni	Co
B.3.1.	Molasse multicolore de Nurla		18	131	41	12	10
B.7.1	Grès Flysch à blocs (Semelle de Tar)		26	100	68	29	16
B.29.4	Grès à lamellibranches de Sundah Gompa		12	125	21	9	7
23.3	Grès de Skinning		14	55	7	5	4
25.1	Série jaune de Temesgam		19	91	11	7	6
117.2	Série de Nimu -Alchi		12	67	62	47	9

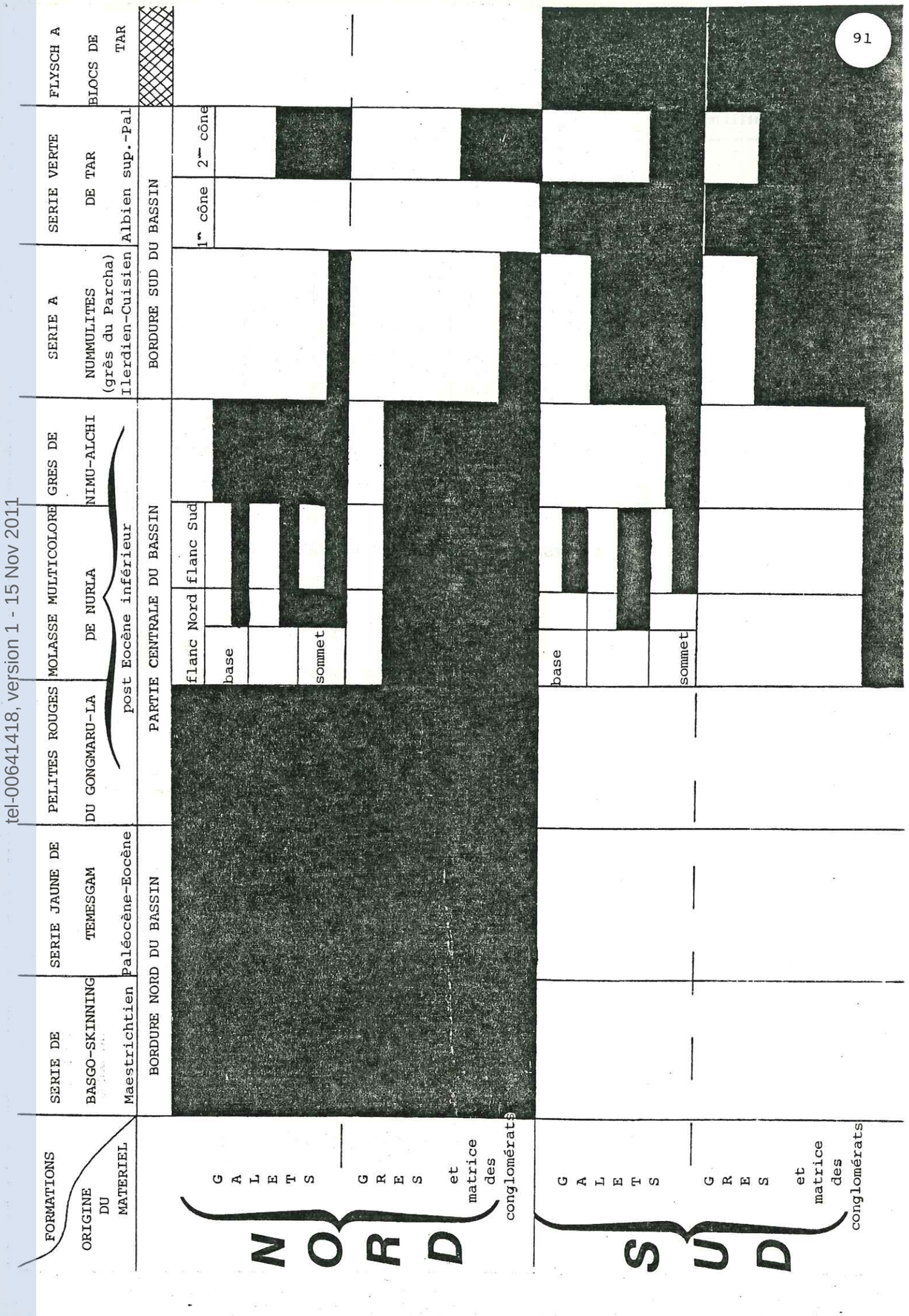
Tableau E

ANALYSES CHIMIQUES ROCHE TOTALE

Légende tableau p. 91: plus la case est noircie plus les apports sont importants (case blanche = apports nuls)

tel-00641418, version 1 - 15 Nov 2011

tel-00641418, version 1 - 15 Nov 2011



3/ Des teneurs significatives en chrome, cobalt et nickel sont notables à partir du dépôt des molasses multicolores de Nurla dont l'âge est au moins post-éocène inférieur. Ces teneurs augmentent sensiblement dans les grès de Nimu-Alchi qui représentent les dépôts les plus récents encore observables dans le bassin de l'Indus.

La collision entre l'Inde et l'Eurasie a provoqué l'obduction de la croûte océanique sur le continent Indien (ASSARULLAH et al., 1980-1981; NICOLAS et al., 1980-1981). Ce phénomène majeur semble avoir débuté après l'Eocène inférieur (la collision entre l'Inde et l'Eurasie s'est produite il y a environ 55 MA: CURRAY et MOORE, 1974), puisque c'est seulement à partir de cette époque que les ophiolites constituent une des sources d'apports détritiques dans le bassin de l'Indus. C'est d'ailleurs à cette époque que disparaissent les derniers dépôts marins de cette région (voir Reconstitution paléogéographique, page 97).

4/ Les fortes teneurs en éléments traces observées dans le flysch à blocs de Tar sont un critère supplémentaire permettant de le distinguer des unités détritiques du bassin de l'Indus.

C) CONCLUSION À L'ÉTUDE PÉTROGRAPHIQUE

La nature pétrographique des galets et des grains, qui constituent respectivement les conglomérats et les grès et qui affleurent largement tout au long du bassin de l'Indus, permet de définir, pour toutes les unités, les provinces d'origine du matériel terrigène. Il apparaît que ce matériel provient exclusivement du Nord (batholite ladakhi) et du Sud (calcaires divers, nappes flyschoïdes et carbonatées).

Un tableau récapitulatif est proposé*; il montre l'importance des apports venant du Nord, ceci dans tout le bassin depuis son individualisation (Albien supérieur) jusqu'aux derniers dépôts (Nimu-Alchi). Les produits terrigènes d'origine méridionale sont peu importants. Ils alimentent partiellement toutes les parties sud du bassin dès l'Albien supérieur, puis s'étendent plus largement après l'Eocène inférieur.

-=-=-=-

---

* (voir page 91)

tel-00641418, version 1 - 15 Nov 2011

CHAPITRE III

A) RECONSTITUTION PALÉOGÉOGRAPHIQUE ET ESSAI DE CORRÉLATION DES DIVERSES FORMATIONS

1) AU NORD

Si l'on considère que la surface où s'est déposée l'unité de Temesgam était relativement plane, il est possible de reconstituer, pour le Maestrichtien, une paléotopographie de la surface des granodiorites. Il en résulte une grande variété de situations qui expliquent les différents faciès observables dans la série de Basgo-Skinning (Fig. 3.1).

L'analyse des corps sédimentaires lenticulaires permet d'imaginer ce que pouvait être le paysage sur le rebord méridional du batholite Ladakhi (Fig. 3.2). Ainsi, entre Skinning à l'Est et Nimu à l'Ouest (Fig. 3.2) apparaissent d'importants cônes détritiques qui viennent s'épandre au pied des reliefs du batholite Ladakhi. Entre ces cônes se développent des lacs plus ou moins importants (région de Yangtang-Taruche).

2) AU SUD

a) Les calcaires de Khalsi

A partir au moins du Bédoulien apparaît, sur un substratum inconnu, une plate-forme carbonatée qui va se développer jusqu'à l'Albien moyen (cf. Hedbergelles) avant d'être envahie par des sédiments terrigènes au cours de la grande transgression de l'Albien supérieur (cf. Ammonites) qui s'étend à tout l'Océan téthysien.

Au Ladakh, ces faciès de plate-forme affleurent entre Khalsi et Lardo brok (soit sur près de 30 km de longueur). A l'Ouest de Khalsi (zone interdite) les auteurs (SRIKANTIA et RAZDAN, 1980) la signalent sur encore 9 km.

Le problème est de savoir si ces calcaires représentent un ancien haut-fond, plus ou moins linéaire, où s'ils témoignent de l'existence d'une ancienne plate-forme carbonatée.

Dans la première hypothèse, ce haut-fond installé sur une ride (Horst ?) d'un substratum inconnu aurait pu délimiter une zone privilégiée (bassin de l'Indus) apte à piéger les sédiments détritiques issus du démantèlement de la jeune chaîne plutonique (batholite Ladakhi) (partie nord du bassin).

Dans la seconde hypothèse, une plate-forme carbonatée épi-Nord tibetaine, aurait été partiellement détruite (phase distensive: failles listriques); ce qui s'observe représenterait alors un bloc basculé définissant ainsi la bordure méridionale du bassin de l'Indus (voir fig. 3.3.b)

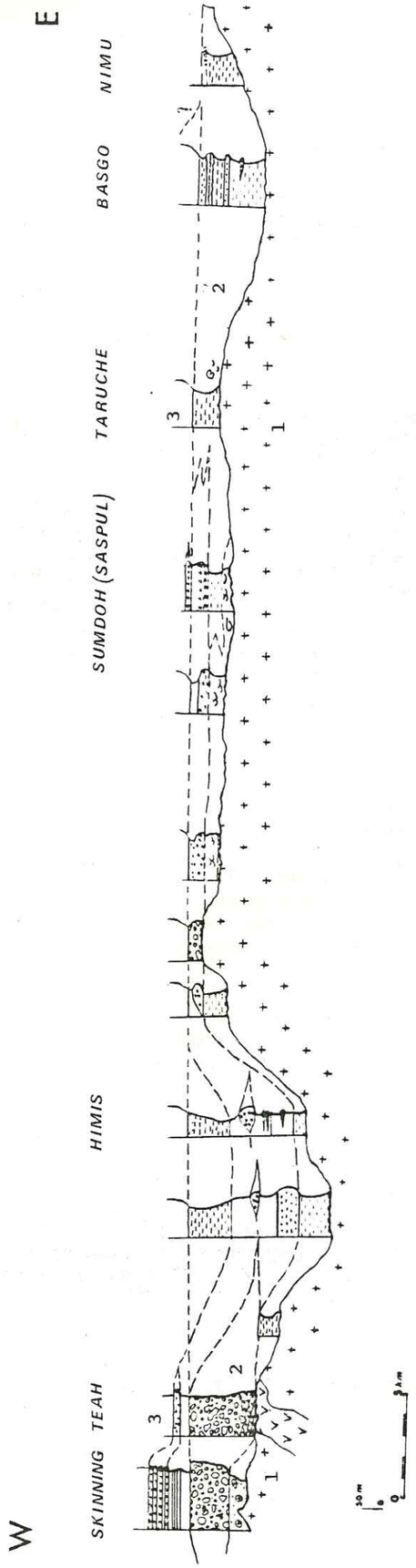
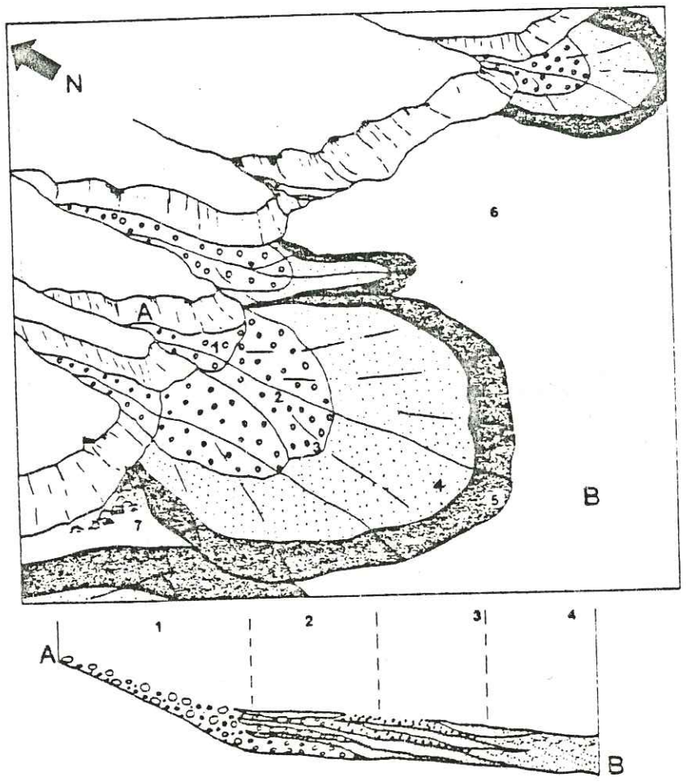


Fig . 3.1: Reconstitution paléotopographique de la surface des granodiorites au Maestrichtien et variations des faciès dans la série de Basgo-Skinning

1: Granodiorites
2: Série de Basgo-Skinning
3: Série Témesgam



1 cône proximal
2 cône moyen
3 cône distal
4 zone des principaux chenaux anastomosés
5 zone de chevelu de chenaux
6 zone lacustre
7 aréne granitique (paléosol)

Fig .3.2: Allure du paysage sur le rebord du batholite au Maestrichtien

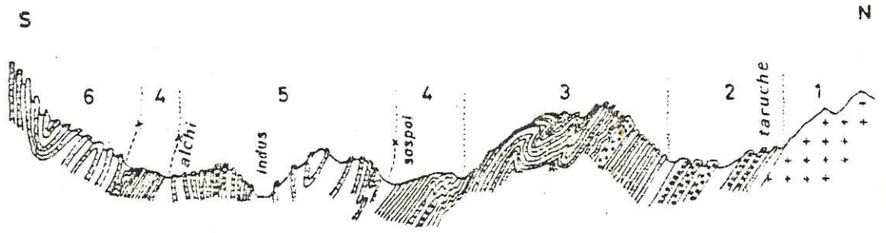
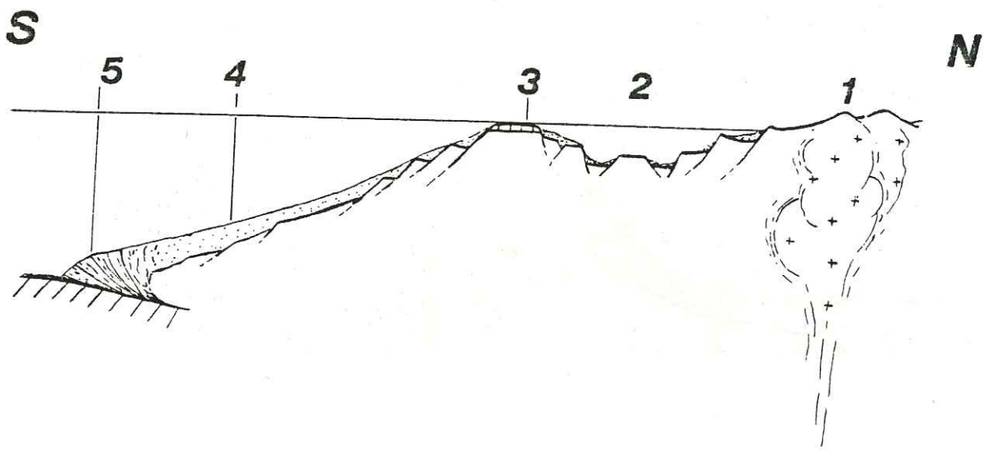


Fig .4.7: Agrandissement de la coupe entre Taruche et Alchi (H. BUCHER et T. VAN HAVER)

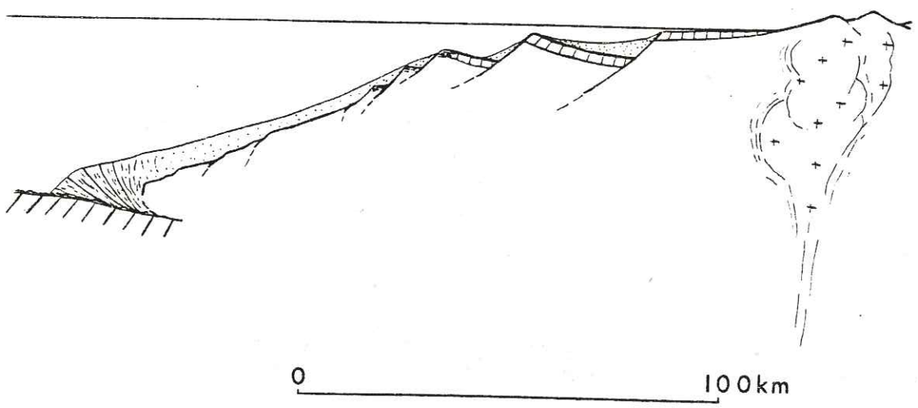
1:Granodiorite 2: Série de Basgo-Skinning 3: Série jaune de Temesgam 4: Pélites rouges du Gongmaru-la 5: Grès de Nimu-Alchi 6: Molasse multicolore de Nrula x: Contact tectonique.

tel-00641418, version 1 - 15 Nov 2011

Fig .3.3



1ere Hypothèse



2ieme hypothèse

1: Granodiorites du Ladakh 2: Bassin de l'Indus 3: Calcaires de Khalsi

4: Flysch de Nindam 5: Prisme d'accrétion (flysch à blocs) :Croute océanique

b) la série verte de Tar

La faible épaisseur observée de ce cône sous-marin (au maximum 250 mètres), qui se forme sur un laps de temps considérable (entre l'Albien supérieur et le Paléocène, soit près de 40 MA) conduit à envisager au Sud comme au Nord, une paléogéographie telle que drainage et accumulation des sédiments soient guidés vers des pièges situés dans d'autres unités; au Sud, les sédiments issus du démantèlement de l'arc de Dras ou de la plate-forme carbonatée de Khalsi, étaient vraisemblablement et essentiellement drainés vers le bassin de Nindam (plusieurs milliers de mètres de flysch pélito-greywackeux). Au Nord, où seuls des sédiments du Maestrichtien sont connus (série de Basgo-Skinning), on peut imaginer une suite de blocs basculés limités par des failles listriques, constituant autant de petits bassins, piégant tous les sédiments (absence de galets de granodiorites dans la brèche du sommet de la mésoséquence A) selon un modèle évoquant les bassins en échelons, constitués par des blocs basculés décrits sur le mur interne du fossé hellenique (VITTORI et al., 1980).

La succession lithologique, observée dans l'unité flyschoïde de Tar, est fonction de la position des coupes par rapport à l'agencement dans l'espace du cône sous-marin. On peut ainsi envisager de replacer chaque coupe dans un des domaines du cône sous-marin représenté schématiquement sur la fig. 2.10.a. Pour cela, nous nous sommes inspirés du modèle séquentiel proposé par E. MUTTI et F. RICCI LUCCHI (1972) pour un cône sous-aquatique (voir Fig. 2.10.c).

*** Premier cône (Mésoséquence A)**

- Coupe de Lardo Brok: cône externe
- Coupe de Tar: cône moyen
- Coupe de Khalsi-Nurla : cône moyen
- Coupe de Khalsi Ouest : limite cône moyen - cône interne

*** Deuxième cône (Mésoséquence B)**

- Coupe de Tar: cône externe
- Coupe de Khalsi-Nurla: cône moyen
- Coupe de Khalsi Ouest: limite cône moyen - cône interne
- Coupe de Lardo brok ?

Les deux cônes ont apparemment le même axe de drainage principal (région de Khalsi Ouest). Le cône inférieur semble plus important (verticalement et horizontalement) que le cône supérieur.

c) Les calcaires de Sumdah-Gompa

L'unité de Sumdah Gompa montre deux faciès qui correspondent à des environnements paléogéographiques légèrement différents.

1- Des calcaires de type plate-forme où les dépôts sont associés localement à des arrivées terrigènes (Spanting-la) (domaine circalittoral interne).

tel-00641418, version 1 - 15 Nov 2011

2- Un ensemble détritique marqué par une influence continentale correspond à une zone côtière où les dépôts sont fonction du tracé des cours d'eau. Ainsi l'emsemble gréso-pélitique pourrait représenter des dépôts d'un cours d'eau important (avec paléosols associés), alors que les pélites et les grès roux à lamellibranches et oogones de Charophytes correspondraient à des dépôts de plages où les apports en eau douce étaient modestes. La région d'Ezans pourrait correspondre à une zone de non dépôt, comme semble l'indiquer la présence des calcaires à Asterodiscus (Ilerdien) directement en contact stratigraphique sur les calcaires de Sumdah Gompa.

d) La série à Nummulites

La série à Nummulites ne montre pas un faciès unique, mais de nombreuses variations latérales, tant dans le sens Nord-Sud que dans le sens Est-Ouest.

Le domaine de la plate-forme interne est le siège d'apports terrigènes importants qui ne semblent pourtant pas contraires au développement de la faune et de la flore associées aux Nummulites (région de la rivière Zankar). Latéralement, notamment vers le Sud et vers l'Est par rapport au banc à Nummulites, existent des faciès plus distaux (pélites à Asterodiscus et Orbitolites, et calciturbidites). La pente reliant ces deux domaines parait avoit été suffisante pour qu'aient pu se déclencher des courants de turbidité (calciturbidite de Chogdo) (voir figure 2.13), mais elle pourrait n'être pas uniforme. C'est ainsi que dans la région du Mathoo Kanri devait exister un haut-fond où se retrouvent des faciès carbonatés à Nummulites associés à des figures sédimentaires traduisant des conditions d'émersion temporaires (mud-craks).

e) La molasse continentale

La molasse continentale représente au Ladakh un épisode sédimentaire très développé qui se suit aisément d'Ouest en Est (ce sont d'ailleurs les premiers affleurements du bassin de l'Indus qui apparaissent au regard lors de la vertigineuse descente de Lamayuru à Khalsi).

L'âge de ces dépôts était jusqu'à présent inconnu; le passage progressif entre les marnes d'Urucha (Lutétien ?)et les pélites rouges de Gongmaru-La (voir page 23), ainsi que la présence des galets de calcaire à Nummulites permet raisonnablement d'envisager pour ces dépôts un âge **Eocène supérieur (Bartonien) à Oligocène.**

C'est donc après l'Eocène inférieur que 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 emboités, celui des molasses multicolores paraît avoir été proximal au Nord-Est (conglomérats d'Hémis) et distal à l'Ouest et au Sud.

Notons que c'est également à l'Eocène inférieur, ou tout au 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 suturation effective de l'ensemble indien à la plaque eurasiatique daterait donc de la fin de l'Eocène inférieur.

B) SCHÉMA D'ÉVOLUTION GÉNÉRALE (entre le Bédoulien et l'Eocène supérieur - Oligocène)

La figure 3.4 représente les différents corps sédimentaires, leur importance et leurs extensions latérales en direction Est-Ouest.

En particulier, les faciès calcaires de Sumdah-Gompa semblent disparaître vers l'Ouest, laissant la place à une série terrigène, ce qui a pour conséquence que le sommet de la série verte de Tar pourrait atteindre le Paléocène.

Sur ces calcaires, un corps lenticulaire s'individualise, caractérisant une zone où débouchait dans le bassin un fleuve important. Cet axe fluviatile majeur paraît persister au cours de l'Eocène inférieur (Ilerdien-Cuisien) assurant l'arrivée des sédiments sableux nécessaires à la constitution de dunes hydrauliques où ont pu prospérer les Nummulites (plateau continental). Latéralement, dans une partie plus distale (à environ 1 500 mètres de profondeur), ces faciès à Nummulites passent à des turbidites gréso-calcaires (série de Chogdo, voir figure 3.5 , (bassin installé dans une zone orogénique). Ce schéma paléogéographique peut être comparé aux modèles présentés par TILMANN et MARTINSEN (1984), ou par FRIEDMAN et SANDERS. (fig. 3.6).

Pendant la régression, qui débute à la fin de l'Eocène inférieur, il est naturel que les régions où se sont développés les Nummulites (zones hautes de la mer Cuisienne) aient émergé avant celles où se sont déposées les turbidites de la série de Chogdo. C'est d'ailleurs, dans cette dernière que les series caractérisant des dépôts de plateau continental (marnes d'Urucha) sont les plus épaisses (150 mètres). Vers l'Ouest, les séries d'Urucha sont de moins en moins développées (20 mètres à Urucha) et n'affleurent plus sur la coupe de la rivière Zanskar. Il est donc possible de retracer la ligne de rivage de la mer au Lutétien (zone où disparaissent les dépôts de plateau continental).

Il apparaît ainsi que la régression marine s'effectue d'Ouest en Est.

La sédimentation marine s'achevant, on observe une épaisse série continentale. Sur la moitié est du bassin (entre Martselang et le Kanda La) aucun indice d'interruption de la sédimentation n'existe entre les séries marines (Urucha) et les molasses continentales (pélites rouges de Gongmaru-La.

Les premières couches continentales pourraient donc appartenir à l'Eocène supérieur.

050 031146 5

tel-00641418, version 1 - 15 Nov 2011

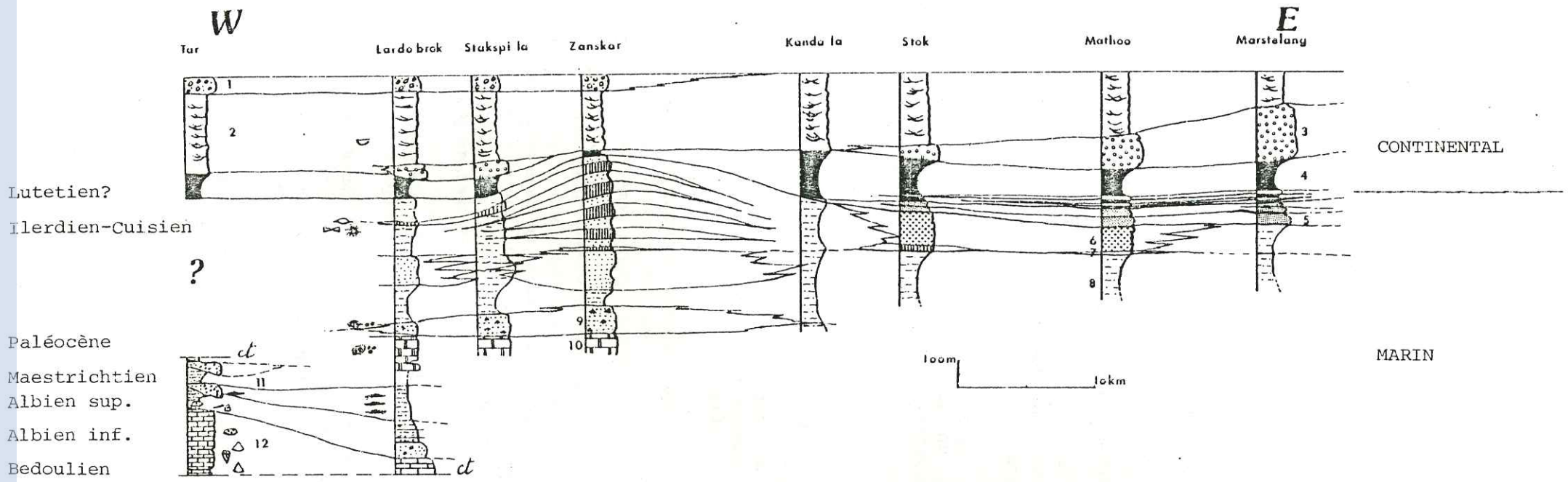


Fig. 3.4 : Reconstitution paléogéographique et corrélations sur la bordure Sud du bassin de l'Indus

1: Conglomérats de Choksti 2: Molasse multicolore de Nurla 3: Conglomérats d'Hemis (conglomérats du Stakspi-la: 3') 4:Pélites rouges du Gongmaru-la 5: Marnes d'Urucha 6: Conglomérats du Parcha kanri 7: Calcaires à Nummulites 8: Séries associées aux calcaires à Nummulites (Flysch de Chogdo) 9: Grès associés aux calcaires de Sumdah-gompa 10: Calcaires de Sumdah-gompa 11: Série verte de Tar 12: Calcaires de Khalsi CT: Contact tectonique majeur

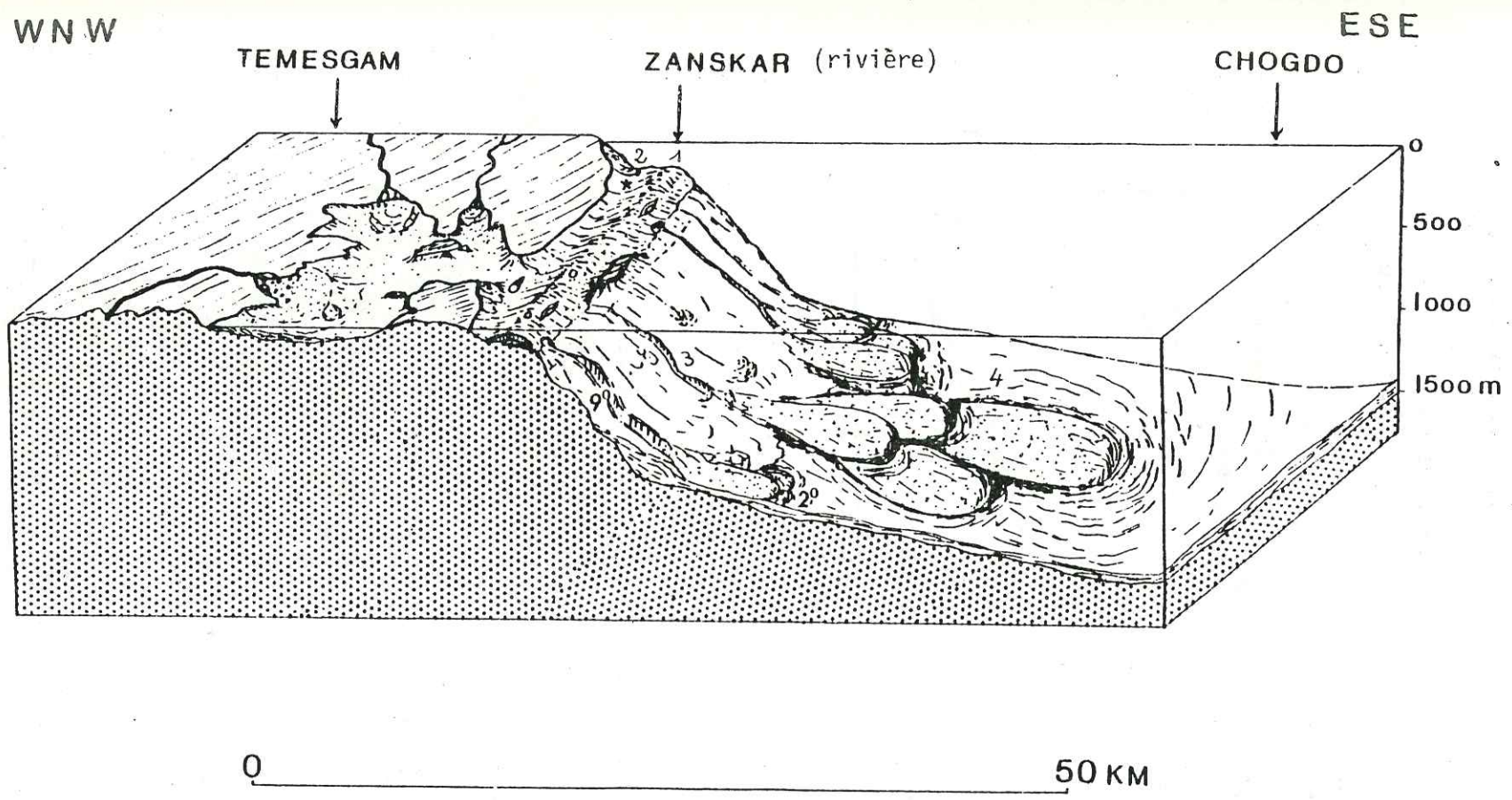


Fig .3.5: Essai de reconstitution de la paléotopographie du domaine marin à l'EOCENE INFERIEUR

1: Calcaires à Nummulites (bancs à Nummulites de la rivière Zanskar) 2: Pélites calcaire à Orbitolites et Asterodiscus (Sumdah-gompa) 3: Cañon sous marin 4: Calciturbidites à Nummulites (Chogdo) :Nummulites o :Algues * : Asterodiscus : Gastéropodes.

9°: Valeur moyenne de la pente du talus. G.V MIDDLETON (1969) a montré que le sable liquéfié ou "fludifié" peut rapidement s'écouler le long d'une pente même de faible inclinaison (8 à 10°)

2°: Valeur moyenne de la pente de la plaine abyssale où viennent s' épandre les turbidites

tel-00641418, version 1 - 15 Nov 2011

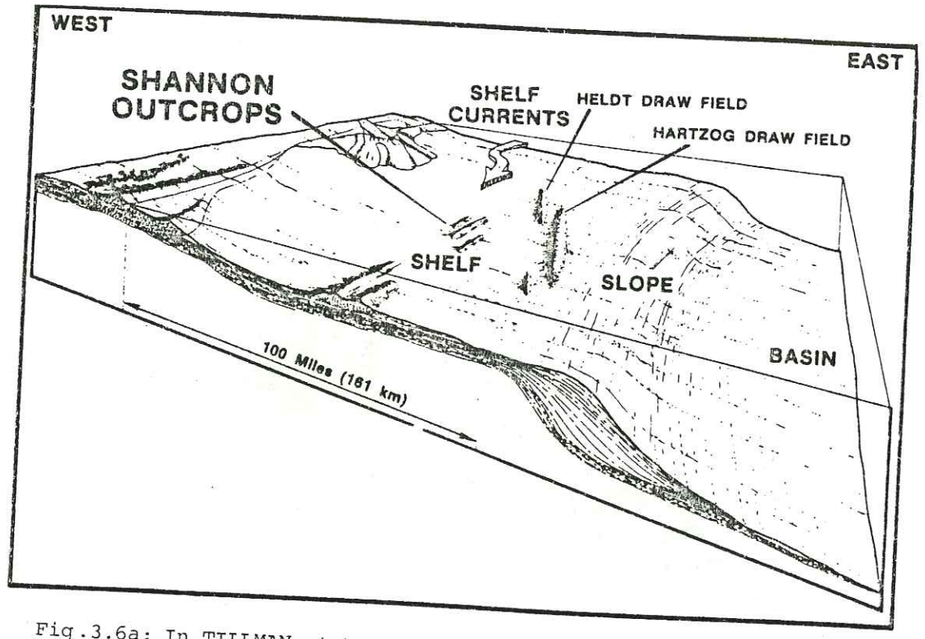


Fig.3.6a: In TILLMAN et MARTINSEN (1984)

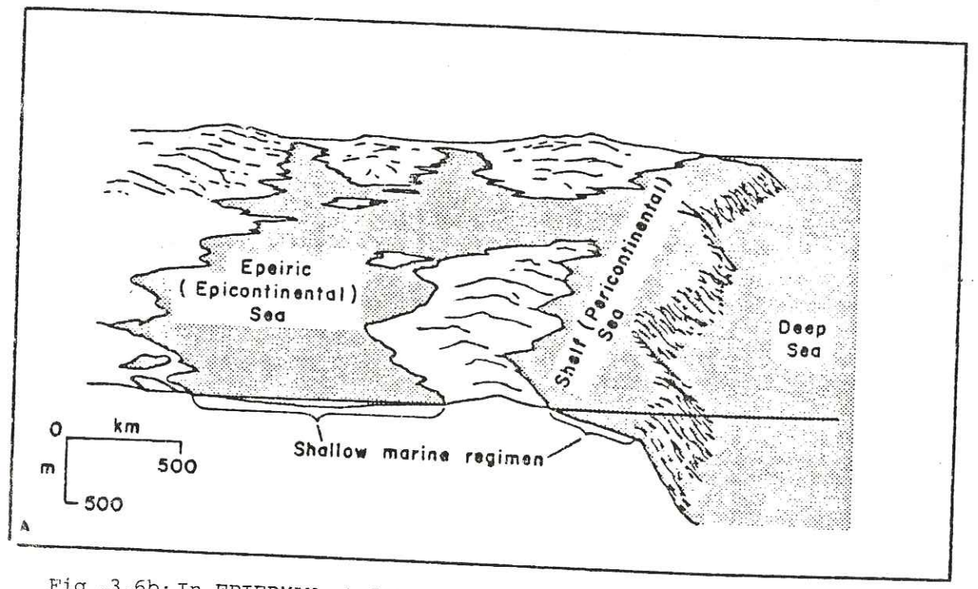


Fig .3.6b: In FRIEDMAN et SANDERS

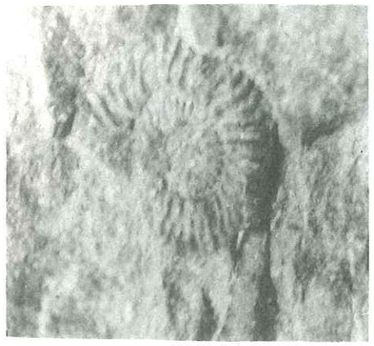


Photo 2 - Ammonite: Hystoceras (Albien supérieur) sous-zone à orbignyi. Série verte de Tar

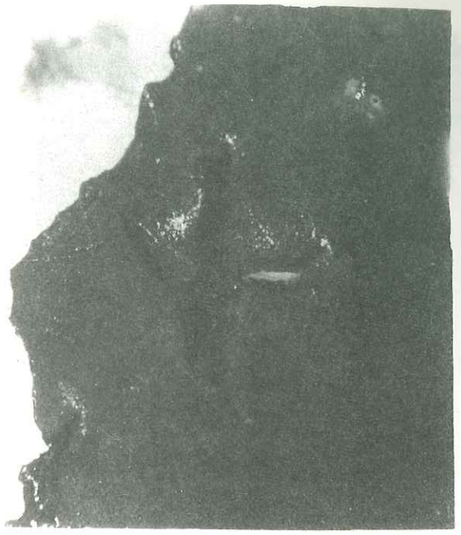


Photo 5- Empreintes de pas d'oiseau dans les pélites rouges du Gongmaru-la

Photo 4 -Nérinée. Calcaires de Khalsi (Aptien)

Photo 1- Ammonite: Anapuzosia Sp. (Albien moyen-Cénomanien) Série verte de Tar

Photo 3 - Rudiste: Calcaires de Khalsi (Aptien)

tel-00641418, version 1 - 15 Nov 2011

tel-00641418, version 1 - 15 Nov 2011

Photo 6 - Discordance des conglomérats de la formation de Basgo-Skinning (1) (au Nord de Skinning) sur les granodiorites du Ladakh (2)

Photo 7 - Corps progradant dans la série jaune de Temesgam

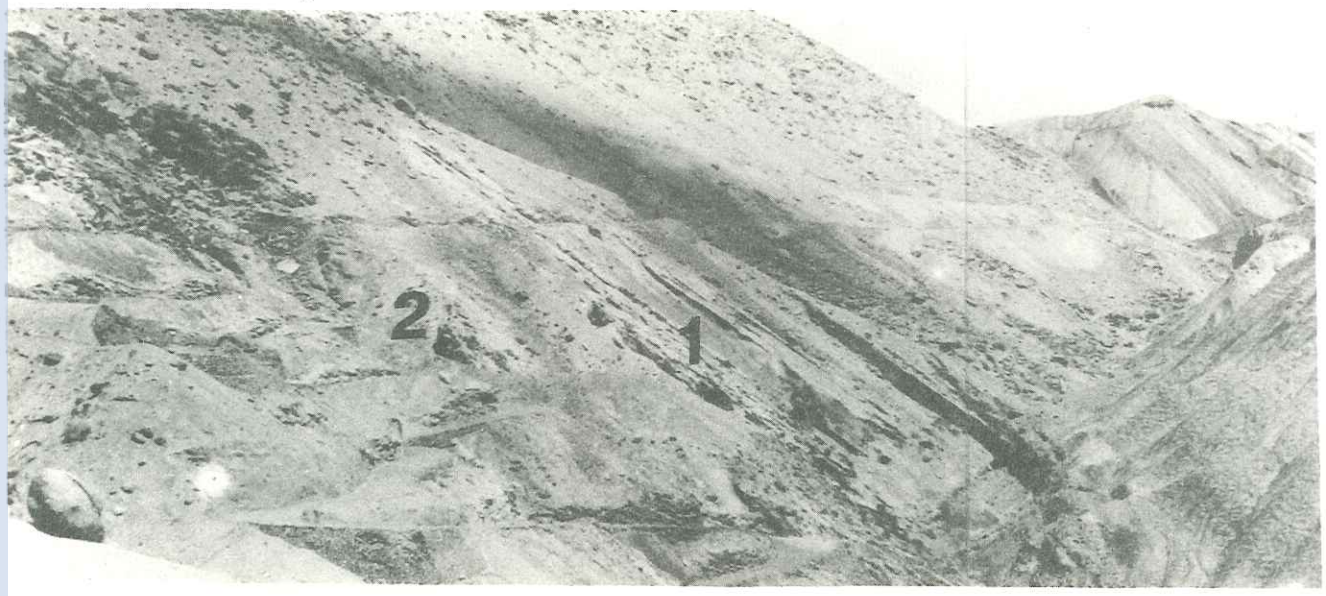


Photo 8 - Discordance des grès de la formation de Basgo-Skinning (1) (à l'Ouest de Likir) sur les granodiorites du Ladakh (2)

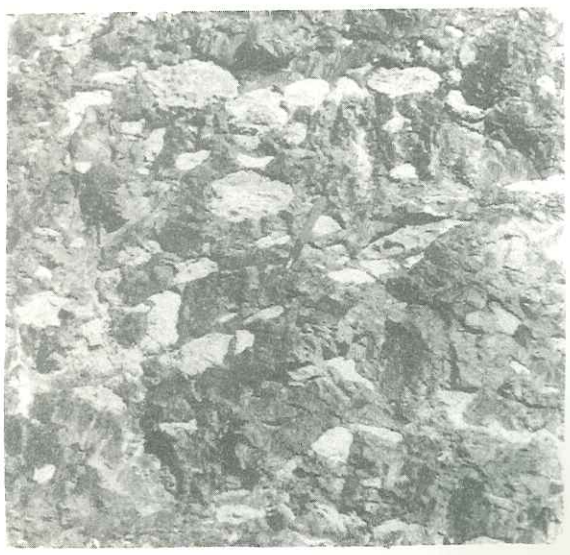


Photo 9 - Brèches calcaires. Série verte de Tar sur la route entre Khalsi et Nurla

tel-00641418, version 1 - 15 Nov 2011

1: FORME PRIMITIVE DE NUMMULITES GLOBULUS (ECH. B31.1a)

2: NUMMULITES BURDIGALENSIS (?) (ECH. 109.2)

3: NUMMULITES cf. GLOBULUS A (ECH. 29.7 c)

4: NUMMULITES PRIMITIVES cf. NUMMULITES SOLITARIUS (ECH. 7.1)

5: NUMMULITES ATACICUS (?) (ECH. 111.3)

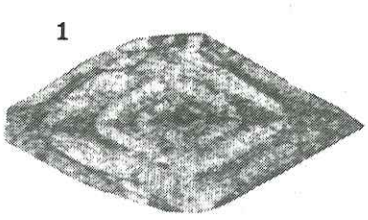
6: NUMMULITES GLOBULUS (ECH. 31.2)

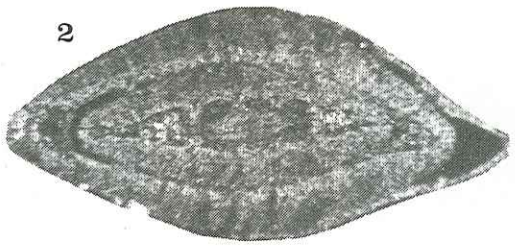
7: DISCOCYCLINA Sp. (ECH. 109.2)

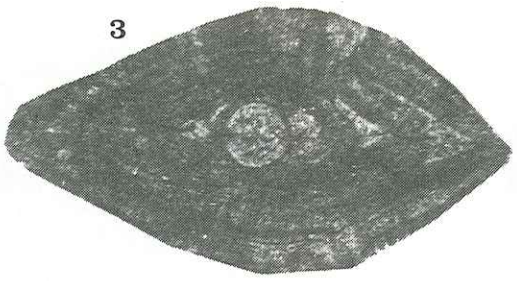
8: ALVEOLINA cf. ELLIPSOIDALIS (ECH. 83.4 a)

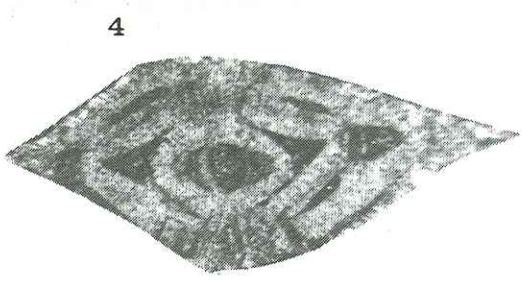
9: ALVEOLINA cf. ILERDENSIS (ECH. 83.4a)

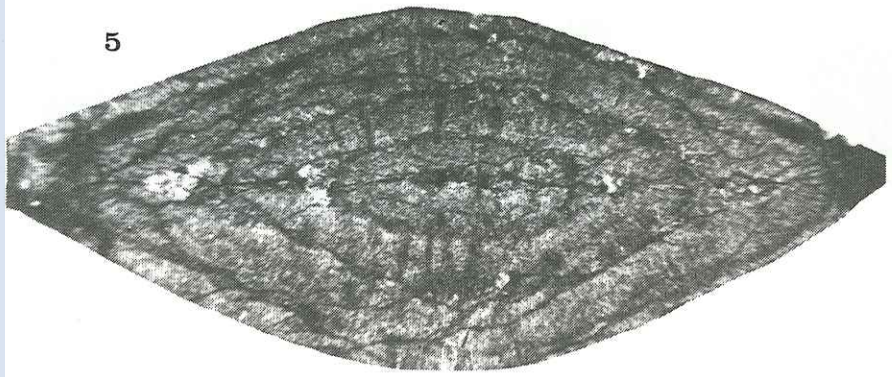
tel-00641418, version 1 - 15 Nov 2011

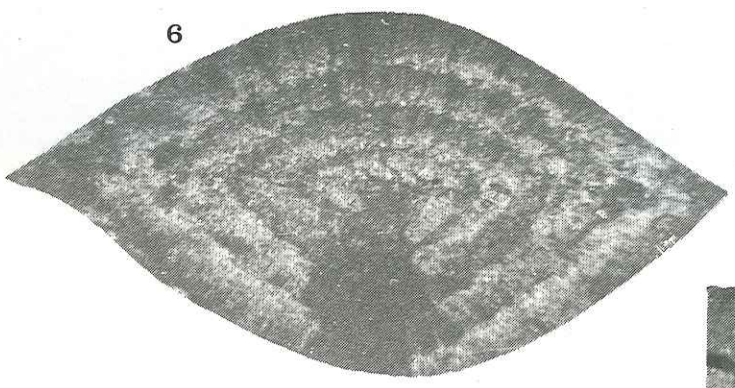




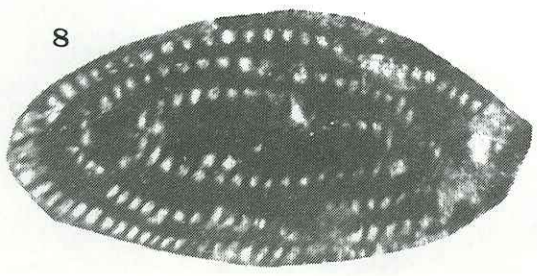


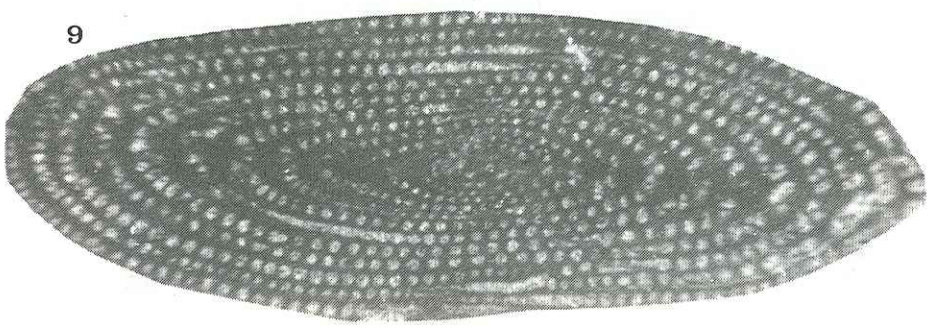






200μ





× 10

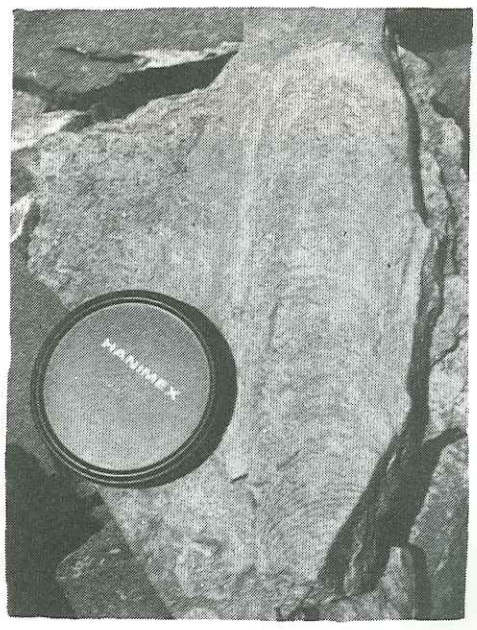


Photo 10- Trace d'Helmintoidae (grès associés aux séries à Nummulites).

tel-00641418, version 1 - 15 Nov 2011

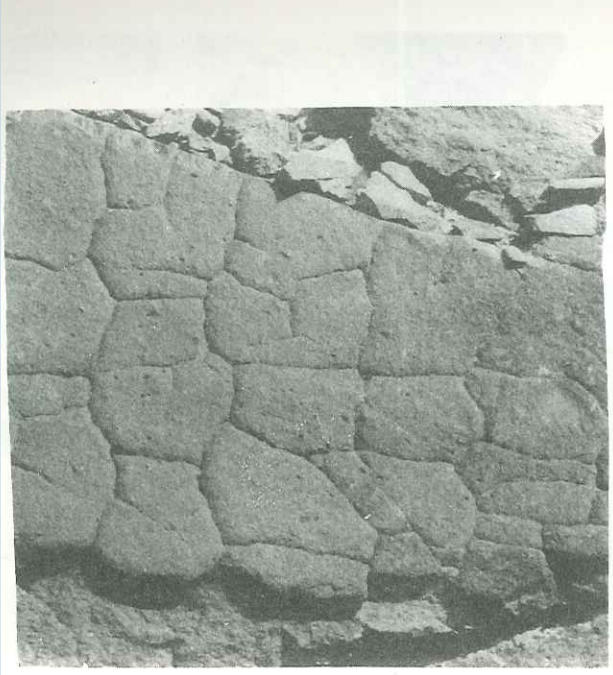


Photo 11 - "Mud cracks". Grès de Wuley-Tokpo

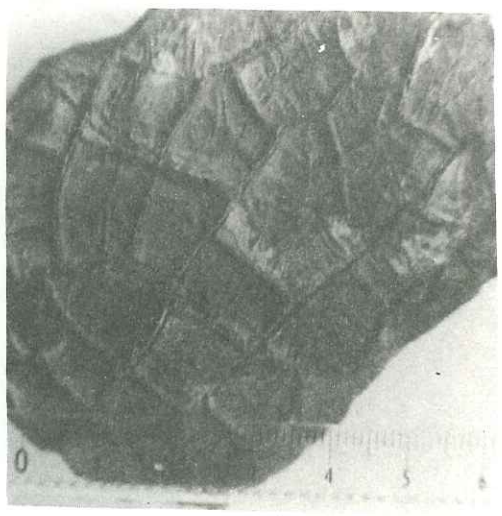


Photo 12 - "Mud cracks". Grès associés à la série à Nummulites

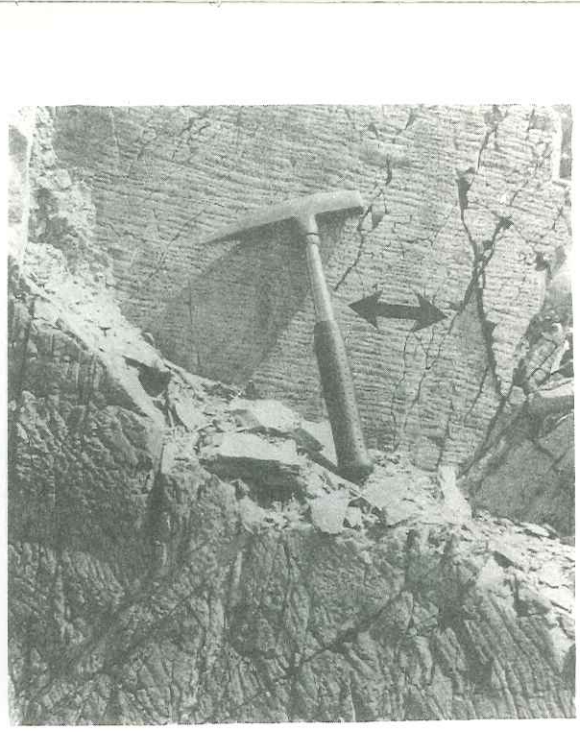


Photo 13 - "Ripple-marks" à petites longueurs d'onde dans les grès de Nimu Alchi Direction des courants perpendiculaires

Photo 14 - "Ripple marks" linguoïdes "Rill marks".Série rouge du Gongmaru la

Photo 15 - "Ripple marks" . Marnes d'Urucha

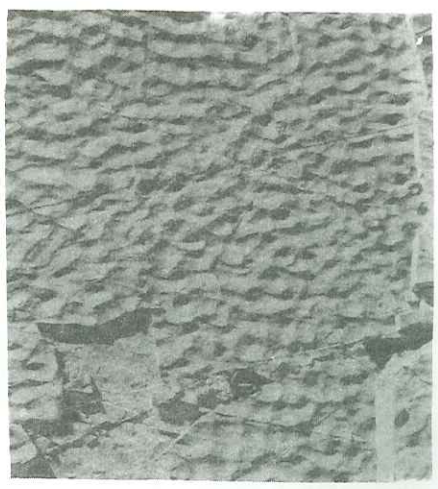


Photo 16- "Ripple marks" linguoïdes de longueurs d'ondes moyennes. Série rouge du Gongmaru la

tel-00641418, version 1 - 15 Nov 2011

Photo 17- Paléosols à nodules calcaires. Molasse multicolore de Nurla

Photo 18- Tool-casts. Série verte de Chogdo

Photo 19 - Slump-ball. Série à Nummulites (Rumback)

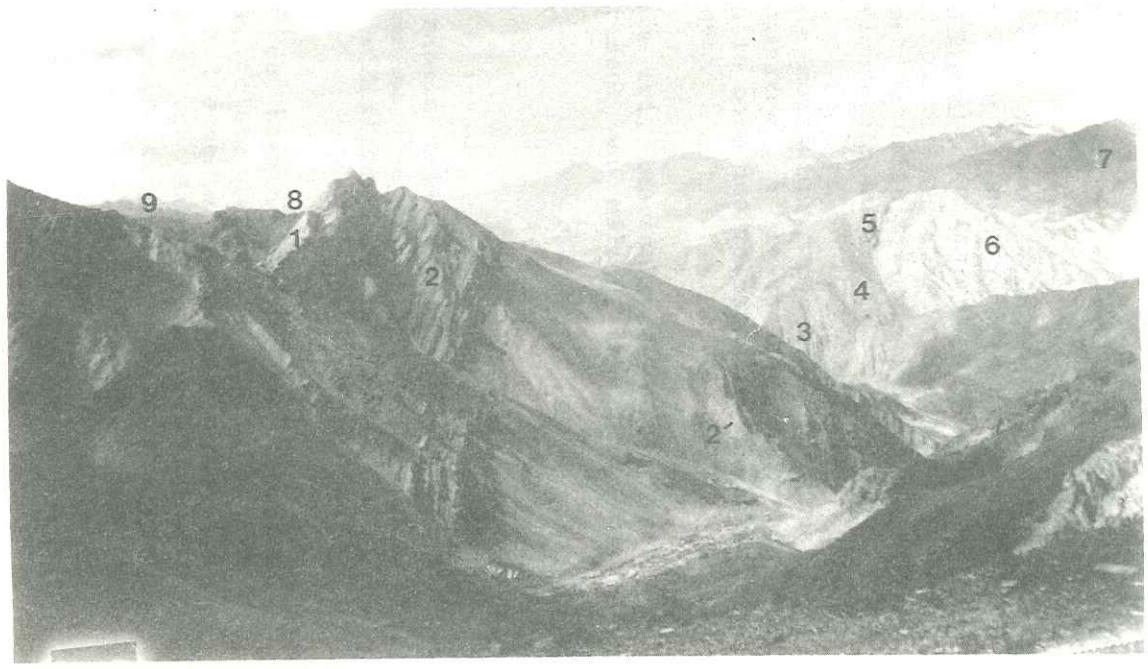


Photo 20 -*vue* vers l'Est depuis le Col entre Lardo brok et Alchi brok

tel-00641418, version 1 - 15 Nov 2011

Sur l'autre moitié du bassin (entre la rivière Zanskar et Khalsi), les pélites rouges de Gongmaru-La reposent sur différentes unités matérialisant ainsi une discordance régionale (calcaires à Nummulites entre la rivière Zanskar et Lardo-brok, pélites vertes du Maestrichtien (série de Tar) à Lardo-brok). Ceci permet de définir, pour chaque époque les régions émergées et d'établir la configuration du bassin.

Par la suite au sein de l'ensemble molassique, on peut distinguer plusieurs corps sédimentaires, lenticulaires, à l'échelle du bassin (conglomérats d'Hémis et du Stakspi-La à la base des molasses multicolores de Nurla, conglomérats de Chokski au sommet).

Les grès de Nimu Alchi, non figurés ici, représentent les derniers dépôts dans ce secteur. Ils caractérisent un milieu lacustre (voir § 1.A.f du même chapitre).

C) CONCLUSION

Les faciès caractéristiques d'un bassin relativement profond (deep sea fan: série verte de Tar, voir page 44) apparaissent à l'Albien. Ceci suggère que le bassin s'est individualisé après l'Albien 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, comme à l'échelle du bassin; au Crétacé supérieur, des séries lagunaires (Marnes de Basgo) se développent sur la bordure nord dans de petits bassins isolés entre d'importants cônes détritiques grossiers (Conglomérats de Skinning) issus du démantèlement du batholite Ladakhi, ces formations passent au Sud à des faciès franchement marins finement détritiques et nettement plus minces (Série verte de Tar); à l'Eocène inférieur, la situation est très voisine, une plate-forme progradante détritique (Série jaune de Temesgam), 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.
Aprés cette époque, on passe progressivement (Marnes d'Urucha) à des dépots continentaux (Pélites rouges du Gongmaru-la, Conglomérats d'Hemis et du Stakspi-la, Molasse multicolore de Nurla, Conglomérats de Choksti), la sédimentation devenant homogéne sur tout l'ensemble du bassin.

25 AOUT 2003

Univ. J. Fourier - O.S.U.G.
MAISON DES GEOSCIENCES
DOCUMENTATION
B.P. 53
F. 38041 GRENOBLE CEDEX
Tél. 04 76 63 54 27 - Fax 04 76 51 40 58
Mail : ptalour@ujf-grenoble.fr

tel-00641418, version 1 - 15 Nov 2011

CHAPITRE IV
TECTONIQUE & METAMORPHISME

A) TECTONIQUE

HISTORIQUE

Certains grands traits de la tectonique du bassin de l'Indus sont connus depuis fort longtemps.

C'est ainsi que les plis à vergence nord furent décrits par GANSSER (1964) (confluence Indus-Zanskar), puis plus tard par STERNE (1979). Le contact méridional est considéré par la quasi totalité des auteurs comme un contact tectonique majeur séparant l'unité du flysch de Nindam au Sud, des formations du bassin de l'Indus au Nord.

Cependant, existent quelques désaccords, notamment en ce qui concerne les contacts tectoniques au sein du bassin de l'Indus.

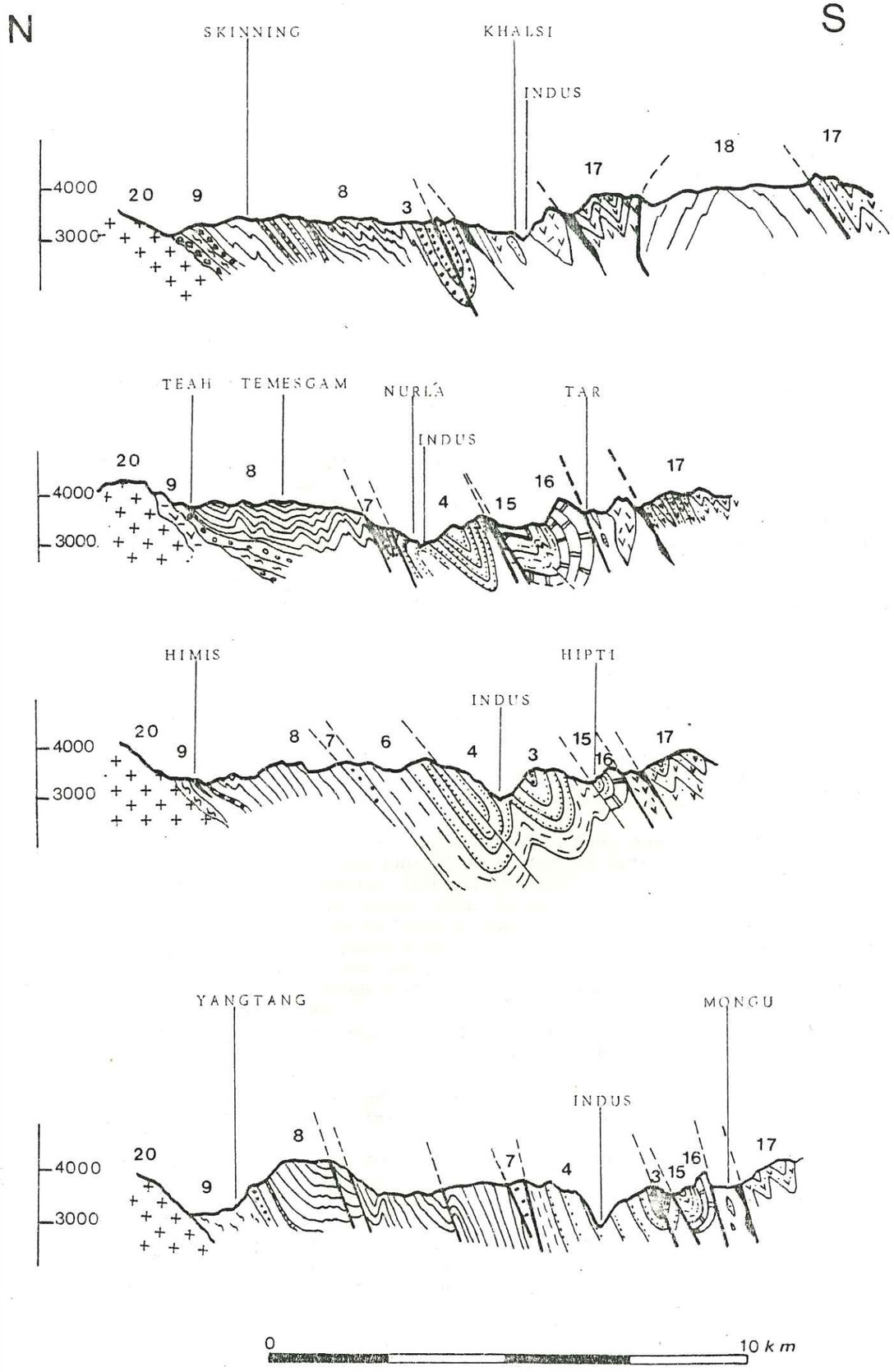
Pour certains (GANSSER, 1976; STERNE, 1979; BAUD et al., 1982; THAKUR et BAGATI, 1983) existeraient un ensemble molassique autochtone, transgressif sur la ceinture granodioritique , et un ensemble flyscho-molassique charrié sur le précédent. Pour d'autres, (COLCHEN, 1977; BASSOULLET et al., 1978, 80, 82, 84; SKRIKANTIA et RAZDAN, 1980) ce contact existe mais il représente, au même titre que les nombreuses failles inverses recoupant les formations du bassin de l'Indus, un écaillage au sein du bassin, associé à la phase de plissement vers le Nord.

De même le contact tectonique séparant la série verte de Tar (Indus Flysch) des autres unités du bassin de l'Indus est considéré par plusieurs auteurs (GANSSER, 1976; FUCHS, 1977, 1979; STERNE, 1979; SKRIKANTIA et RAZDAN, 1980; BROOKFIELD et A. SPEED, 1984) comme un contact majeur isolant une unité structurale propre (Indus flysch et calcaires de Khalsi) qui montrerait des affinités avec le flysch de Nindam. Pour d'autres (ANDRIEUX et al., 1977; BASSOULLET et al., 1978, 82, 84; VAN HAVER et al., 1983, 84) le contact est là encore mineur, les calcaires de Khalsi et la série verte de Tar se rattachant alors au bassin de l'Indus. Une étude structurale plus approfondie (BASSOULLET et al., 1984) montre que le bassin de l'Indus a enregistré trois phases de déformation.

A la première déformation appartiennent des plis asymétriques à vergence nord accompagnés d'une schistosité de fracture (phase I.1).

Une seconde phase, contemporaine des principaux évènements métamorphiques de la haute chaîne himalayenne, induit, dans les formations du bassin de l'Indus, des plis cylindriques (phase I.2).

Enfin, une troisième phase, bien développée dans toutes les unités structurales, est caractérisée par des fractures orientées N 0 à N 30. Ces fractures sont verticales et ouvertes montrant parfois un faible jeu sénestre.



Coupes sériées à l'Ouest de Lardo brok. Légende voir annexe 2

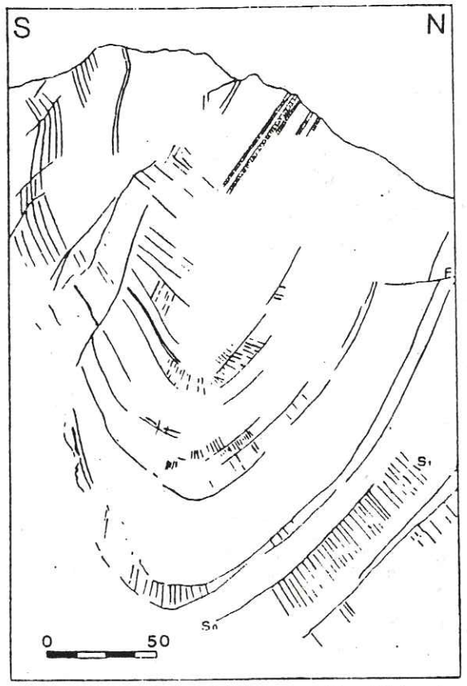


Fig.4.1.a:Pli et schistosité associés:Skinning

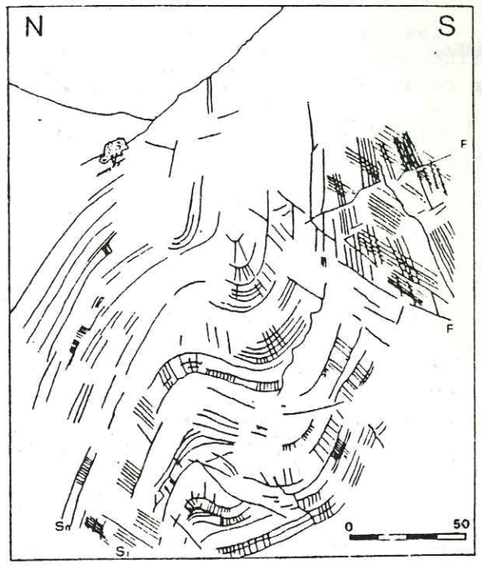


Fig.4.1.b:Pli et schistosité associés:Temesgam

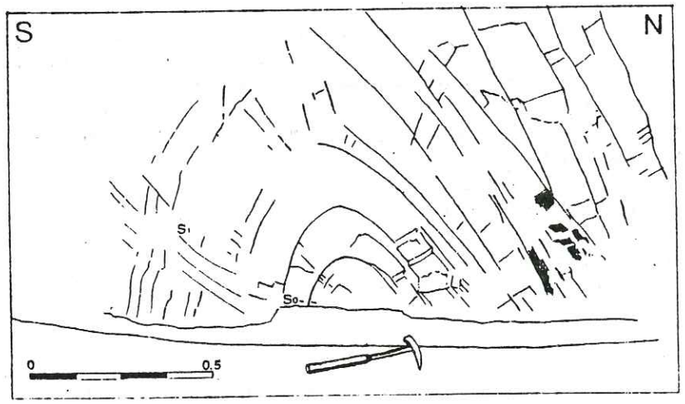


Fig 4.1.c:Pli et schistosité associés:Temesgam-Nurla

Fig.4.1.d:Faille inverse et schistosité de fracture:Temesgam-Nurla

tel-00641418, version 1 - 15 Nov 2011

1/ TECTONIQUE A L'OUEST DE LARDO BROK (coupes 1 à 4)

Les quatre coupes ainsi que la carte (fig. annexe), montrent que la structure d'ensemble est représentée par un synclinorium dissymétrique dont le coeur est marqué par la molasse multicolore de Nurla.

La dissymétrie est due tant aux différences lithostratigraphiques (voir Chapitre 1) que tectoniques des deux flancs.

a) 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 (plongement compris entre 30 et 60°; cf. coupes) accidentées de quelques plis déversés au Nord (Fig. 4.1b) d'axe proche de N 110-120. Ces plis sont accompagnés d'une schistosité de fracture contemporaine du plissement et bien exprimée dans les niveaux incompétents (Fig. 4.1a,b et c).

Nous avons observé dans toute la pile sédimentaire à l'exception des conglomérats et des grès discordants sur les granodiorites ou les laves du batholite (série de Basgo Skinning), des failles inverses plongeant fortement au Sud dont le vrai rejet ne dépasse que très rarement la dizaine de mètres (Fig. 4.1.d, rejet vrai égal à 50 cm).

b) La partie méridionale est nettement plus complexe. Elle est globalement renversée.

La barre des calcaires de Khalsi, qui constitue un niveau particulièrement compétent, est recoupée par de nombreuses failles généralement inverses, mais pouvant aussi montrer un jeu coulissant. Les autres séries (série verte de Tar, molasse multicolore de Nurla) sont intensément déformées par des plis subisoclinaux d'échelle hecto-à kilométrique, d'axe N 100 - 130 à déversement réel au Nord.

Le contact entre la série verte de Tar et les formations molassiques qui apparaissent au Nord est toujours tectonique. En plusieurs points (Sud de Tar et de Mongu: cf. coupes), la série verte de Tar est directement en contact avec la molasse multicolore de Nurla; les pélites rouges du Gongmaru-La, possiblement laminées, n'affleurent que très localement comme au Sud d'Hipti.

Ce contact tectonique est considéré par certains auteurs (FRANK et al., 1977; FUCHS, 1977-79; STERNE, 1979; BAUD et al., 1983; BROOKFIELD, 1981-1983) comme un contact majeur, cependant le rejet vrai, à chaque fois qu'il a pu être calculé, ne dépasse pas 2 km, ce qui compte-tenu du plongement donne des chevauchements assez modestes. Par ailleurs des observations locales montrent qu'existe un contact stratigraphique entre la série verte de Tar d'une part, et l'ensemble molassique sus-jacent de l'autre (Lardo-Brok: cf. fig.4.5; § 3 du même chapitre).

Les écaillages, associés à la phase tectonique responsable des plis à vergence nord, sont donc considérés comme de second ordre; ils se localisent souvent à la limite entre deux formations de compétence différente (dysharmonie).

Dans le bassin de l'Indus, des fractures tardives découpent les formations et recoupent toutes les structures, elles sont orientées N 100 à 125 et N 10 à 35; ce dernier réseau , très dense, représente un élément structural remarquable qui s'observe à l'échelle de toute la chaîne himalayenne (BASSOULLET et al., 1978; COLCHEN et al., 1983; GILBERT et al., 1983).

(schistosité de fracture assez raide associée aux derniers rétrocharriages: phase Z4 de BASSOULLET et al. 1983).

2/ LE CONTACT MERIDIONAL DU BASSIN DE L'INDUS ENTRE KHALSI ET LARDO BROK (Fig. 4.2)

a) 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). Ici les séries de l'Indus disparaissent sous le chevauchement de la "nappe du flysch de Nindam" (juxtaposition de deux domaines paléogéographiques différents).

Ce rétrochevauchement majeur est jalonné par une zone complexe fréquemment traitée de "mélange tectonique" (coloured melange: FRANK et al., 1977; FUCHS, 1977-1979; BAUD et al., 1982). Pour nous, il s'agit d'une unité structurale présente à l'état de semelle tectonique différenciée, à la base de la "nappe de Nindam".

Cette unité est essentiellement constituée d'un flysch à bloc où apparaissent (Fig. 4.3):

- des laves porphyriques basiques (Ankaramites). Ces laves sont en contact primaire avec des radiolarites vertes (Tar), et des calcaires (à Rudistes ? , Lardo Brok);
- des agglomérats volcaniques et hyaloclastites;
- des blocs de calcaires très recristallisés (Tar);
- des blocs massifs de grès (Mongu).

Ce flysch à blocs est affecté par plusieurs plans de cisaillement plongeant fortement au Sud. Certains de ces plans sont jalonnés par des lames de serpentine.

b) Genèse du flysch à blocs: discussion

Deux phénomènes différents ont pu concourir à la constitution de ce flysch à blocs.

1) Origine purement **tectonique**

Des formations chaotiques sont connues à la base de nombreux charriages ("mélange d'Ankar a (BAILEY et CALLIEN, 1950), "mélange" à la base de la nappe de Quemada, république Dominicaine (THEYER, 1983)....).

Dans ce cas, le mélange résulterait de la mise en place de la "nappe de Nindam". Celui-ci, au fur et à mesure de son déplacement, abraserait, puis insérerait tectoniquement, du matériel provenant soit de la nappe elle même (blocs de grès), soit des unités sous-jacentes (blocs de laves, d'agglomérats ou de calcaires).

Cette semelle de nappe pourrait alors être comparée à un lubrifiant facilitant l'avancée de la nappe.

2) Origine essentielle **sédimentaire** (Olistostrome au sens défini par FLORES, 1959) puis **tectonisation tardive**

Cette formation chaotique, constituée d'un matériel hétérogène intimement brassé (blocs et boue), s'accumulerait par glissements gravitaires continentaux et (ou) sous-marin ou par slumps de sédiments encore non

tel-00641418, version 1 - 15 Nov 2011

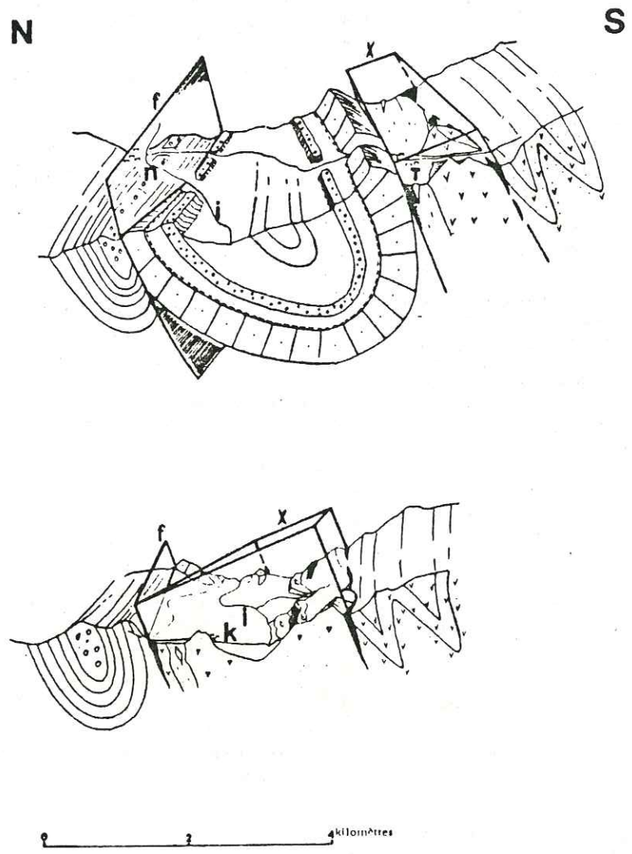


Fig. 4.2: Blocs diagrammes entre Khalsi et Nurla : nature du contact entre l'unité flyschoide de Nindam et la bordure Sud du bassin de l'Indus. Structure de la barre des calcaires de Khalsi
X: semelle tectonique f: faille
K: Khalsi N: Nurla T: Tar I: Indus t: hautes terrasses

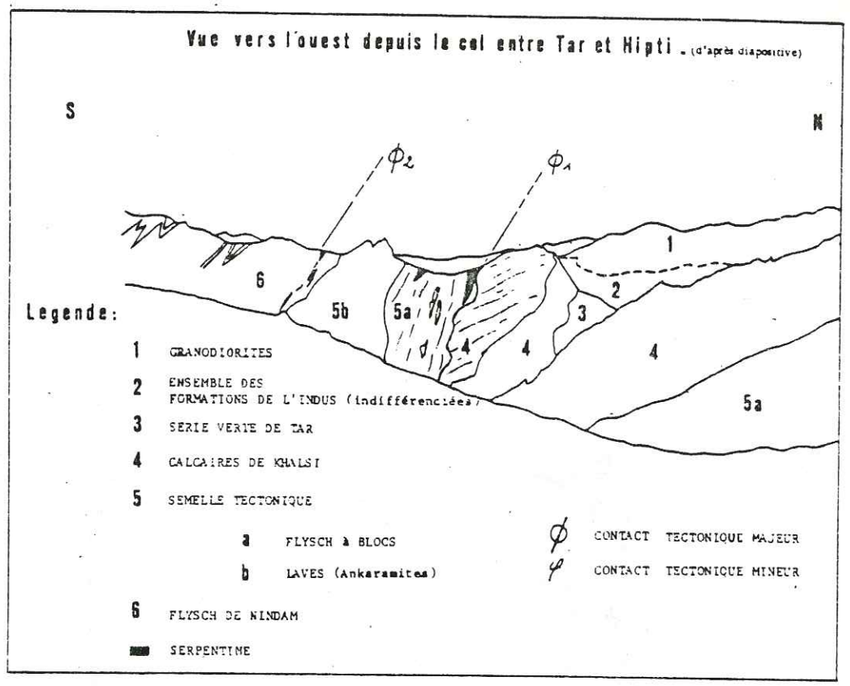


Fig . 4.3.a

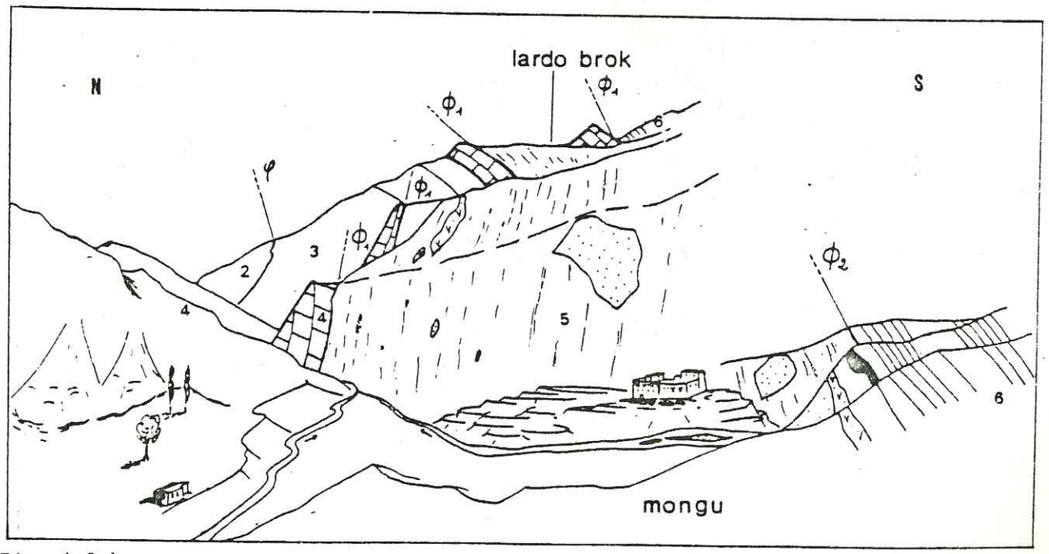
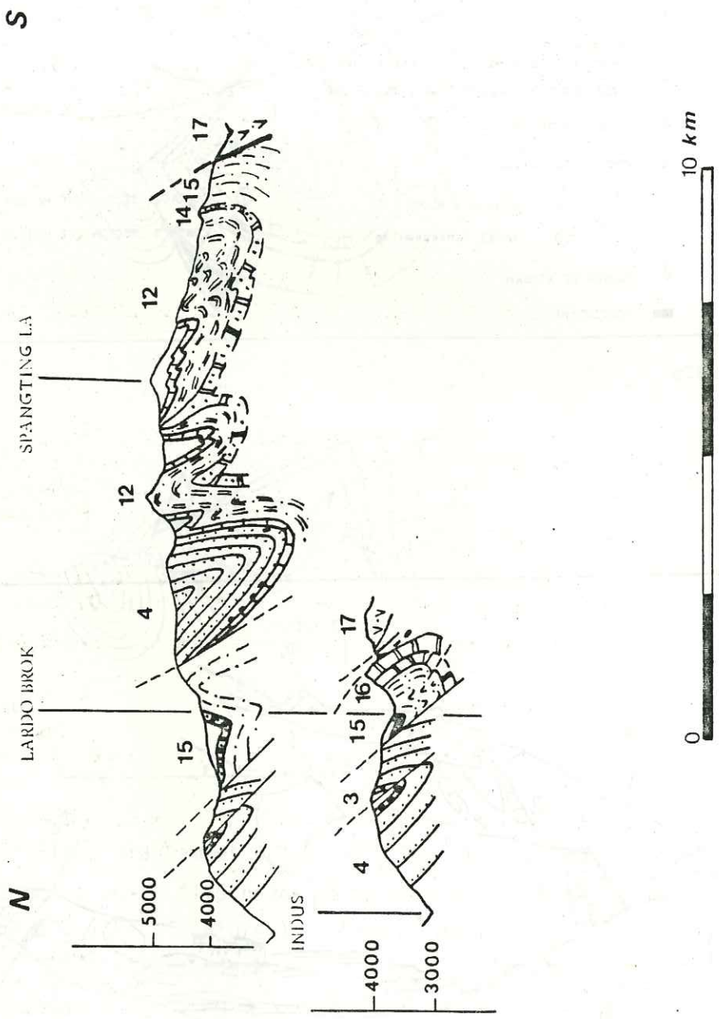


Fig .4.3.b: PANORAMA DEPUIS MONGU VERS L'EST (La légende est identique à celle de la figure sus-jacente)

tel-00641418, version 1 - 15 Nov 2011



5

Coupes de Lardo brok. Légende voir annexe 2

consolidés dans la fosse liée à la subduction de la plaque indienne sous la plaque eurasiatique.

Lors de la collision des deux continents, ce matériel très plastique aurait facilité le départ et l'avancée de la "nappe du flysch de Nindam". Des déformations tectoniques importantes apparaissent, impliquant dans ce flysch à blocs une nouvelle structuration des blocs à l'exemple des Franciscan "mélange" (HSU, 1971).

Nous avons vu précédemment (voir Chapitre II , p. 93) que les calcaires de Khalsi représentaient une plate-forme carbonatée sub en place (du point de vue sédimentaire), constituant le rebord méridional du bassin de l'Indus lequel s'appuie sur un arc magmatique de type Andin (batholite granodioritique du Ladakh). Dans les modèles actualistes (SCHWELLER et al., 1981; SEELY, 1979; SHEPHERD et MOBERLY, 1981) la distance séparant un arc magmatique d'une fosse de subduction est comprise entre 150 et 200 km. Dans le cas où le flysch à blocs, différencié à la base de la "nappe de Nindam", représenterait un olistostrome (voir cas 2), cela impliquerait un mouvement tangentiel important (contact entre deux domaines paléogéographiques distants de plus de 100 km, voir Fig. 3.3).

3/ **LA FAILLE DE LARDO BROK** (coupe 5, fig. 4.4 , complément coupe 5)

De part et d'autre de la vallée, qu'emprunte le chemin menant de Lardo Brok au Spangting-La, les formations et les structures ne se corrèlent pas.

1) A l'Ouest,le village de Lardo Brok est dominé par une puissante barre d'environ 200 mètres d'épaisseur constituée par des calcaires de Khalsi. Comme précédemment, cette partie du bassin est globalement renversée (Fig. 4.5) et les calcaires de Khalsi bédoulo-albien surmontent la série pélitique verte de Tar (Albien sup.-Maestrichtien).

Au Sud, le flysch de Nindam chevauche la barre calcaire par l'intermédiaire d'une semelle tectonique (flysch à blocs de Tar).

En aval du village une petite faille inverse tardive recoupe les structures.

2) Vers l'Est (chemin du Spangting-La) la barre de calcaires de Khalsi n'affleure plus et au Sud du village une faille à jeu apparent normal (faille inverse basculée ?) met en contact la série verte de Tar avec les calcaires à Nummulites ou la molasse multicolore de Nurla.

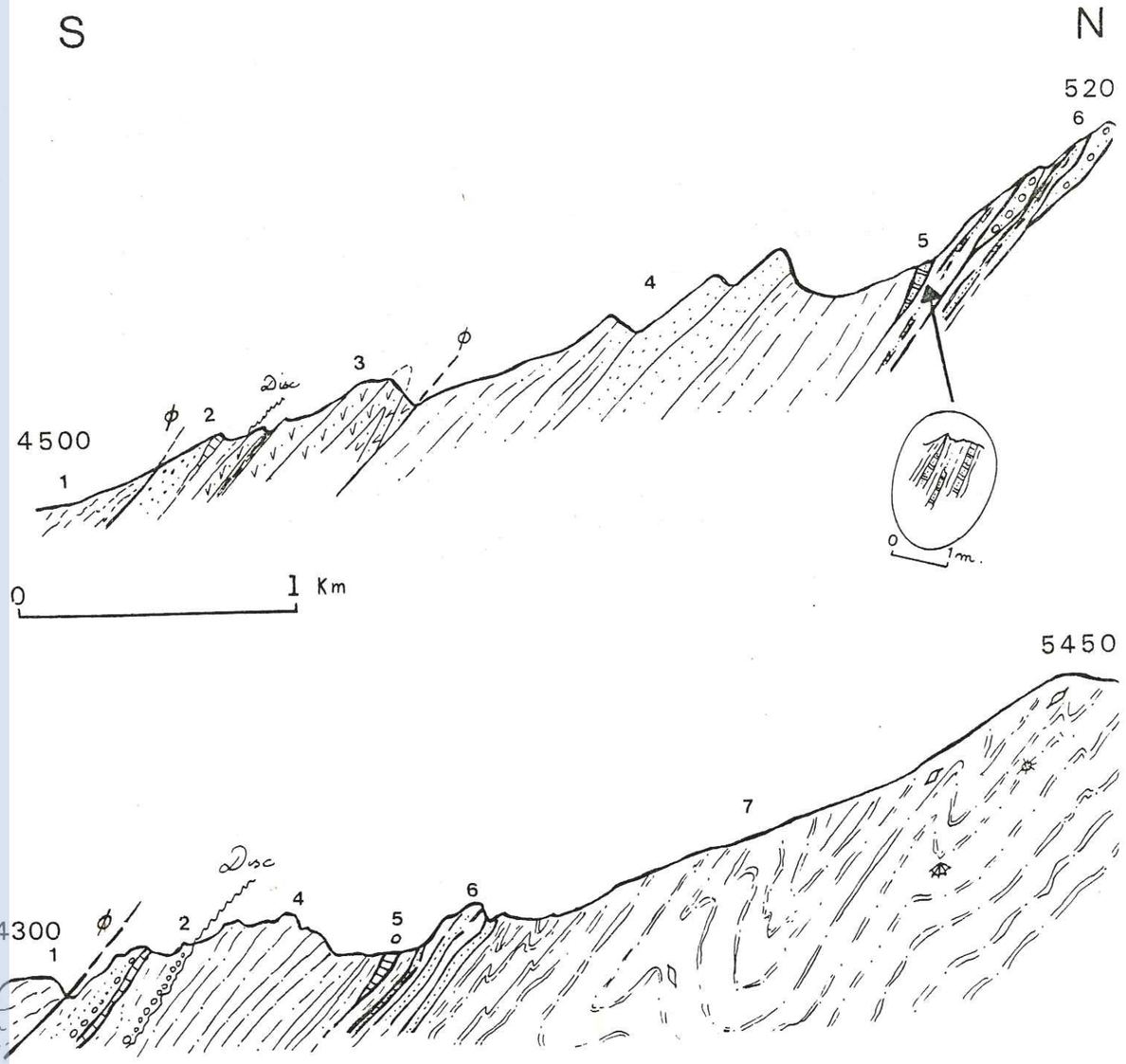
Les formations du bassin de l'Indus, affectés par de grands plis déversés au Nord, se suivent encore vers le Sud sur plusieurs kilomètres (flanc Sud du Spangting-La). Le contact entre le flysch de Nindam et les formations du bassin de l'Indus n'est plus marqué que par une faille inverse très raide, la semelle tectonique ayant totalement disparu.

Les différences observées sur les deux flancs de cette étroite vallée, notamment la disparition brutale de la barre des calcaires de Khalsi, mais surtout le décalage très net du contact tectonique séparant l'unité de Nindam des formations du bassin de l'Indus pourraient s'expliquer de plusieurs manières.

a) **Un décrochement dextre** décalant toutes les structures. Ceci est peu probable et de plus aucun plan strié accompagnant cet accident n'a été observé dans cette partie du bassin.

b) **une faille inverse tardive** (Fig. 4.6), postérieure à toutes les structures à vergence nord (mise en place des nappes, plis affectant les séries de l'Indus).

tel-00641418, version 1 - 15 Nov 2011



Complément coupe 5: Coupes sur le flanc Sud du Spangting-la (G. MASCLE 1984)

1: Flysch de Lamayuru 2: Conglomérats de Skiu (conglomérats et calcaires lacustres) 3: Flysch de Nindam 4: Série verte de Tar 5: Calcaires de Sumdah-gompa 6: Grès associés aux calcaires de Sumdah-gompa 7: Série pélitique associée aux calcaires à Nummulites ϕ : Contact tectonique majeur

Disc : Discordance

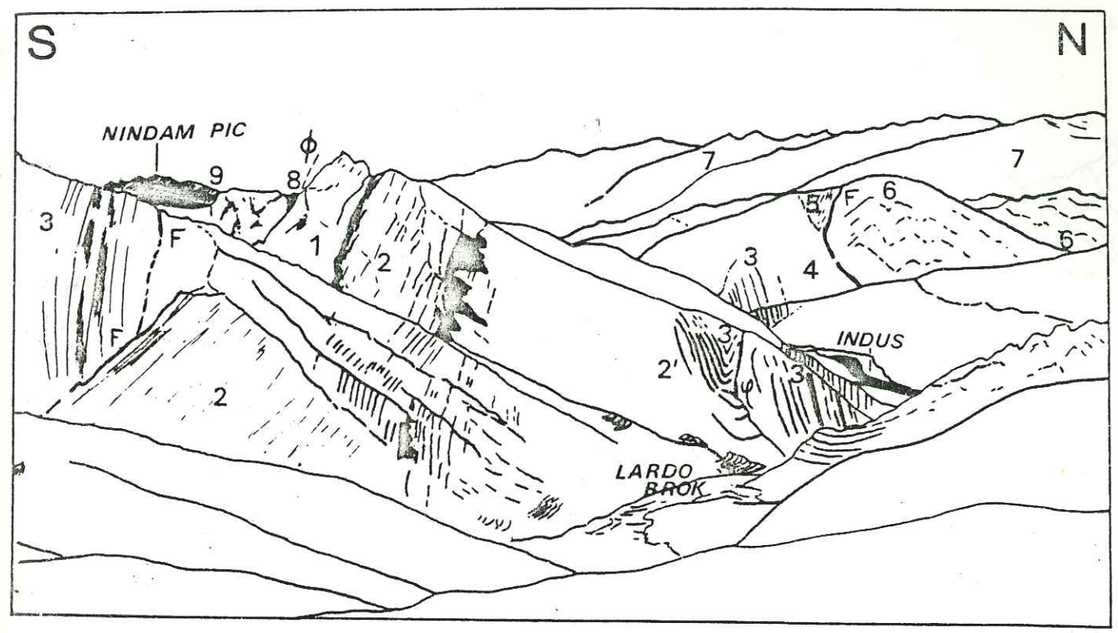


Fig.4.4 : Vue vers l'Ouest depuis le col entre Alchi-brok et Lardo-brok (cf. photo 20)

1: Calcaires de Khalsi 2: Série verte de Tar 2': Grès à Siderolites et Lepidorbitoides du Maestrichtien 3: Molasse multicolore de Nurla 4: Pélites rouges du Gongmaru-la 5: Grès de Wuley-tokpo 6: Série jaune de Temesgam 7: Granodiorites du Ladakh 8: Serpentine (semelle tectonique) 9: Flysch de Nindam F: Faille

ϕ : Contact tectonique majeur

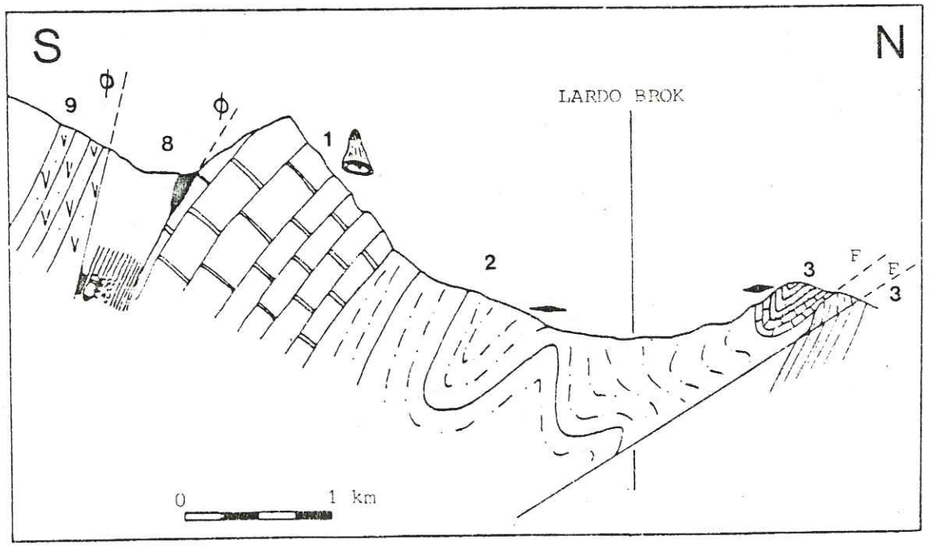
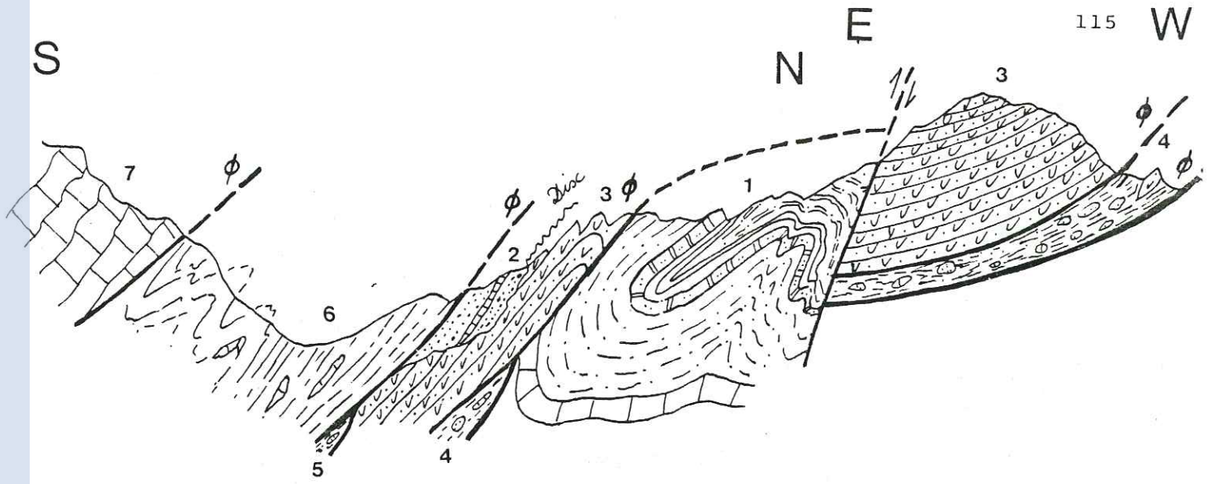


Fig.4.5 : Croquis d'interprétation de la structure affectant les formations du bassin de l'Indus au dessus du village de Lardo-brok. La légende est identique à celle de la figure sus-jacente

tel-00641418, version 1 - 15 Nov 2011



Hypothèse b: La faille de Lardo-Brok-faille inverse tardive
(d'après G. MASCLE)

Fig .4.6a : 1: Formations du bassin de l'Indus 2: Conglomérats de Skiu 3: Flysch de Nindam 4: Flysch à blocs (semelle de Tar) 5: Flysch à blocs et écailles de schistes bleus 6: Flysch de Lamayuru 7: Carbonates de l'unité du Zanskar
ϕ : Contact tectonique majeur Disc: Discordance.

exemple de failles de déchirement

SCHEMA SELON Trevisan I.

Hypothèse c

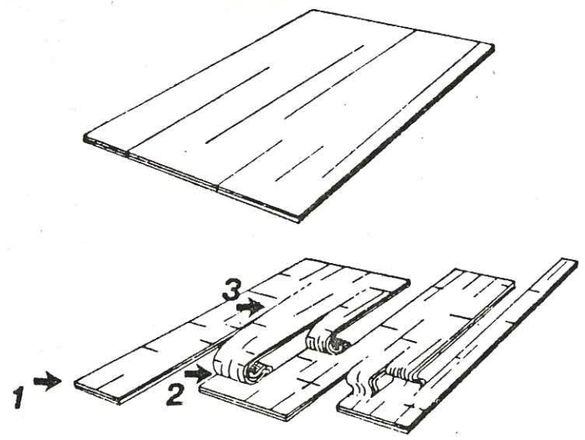
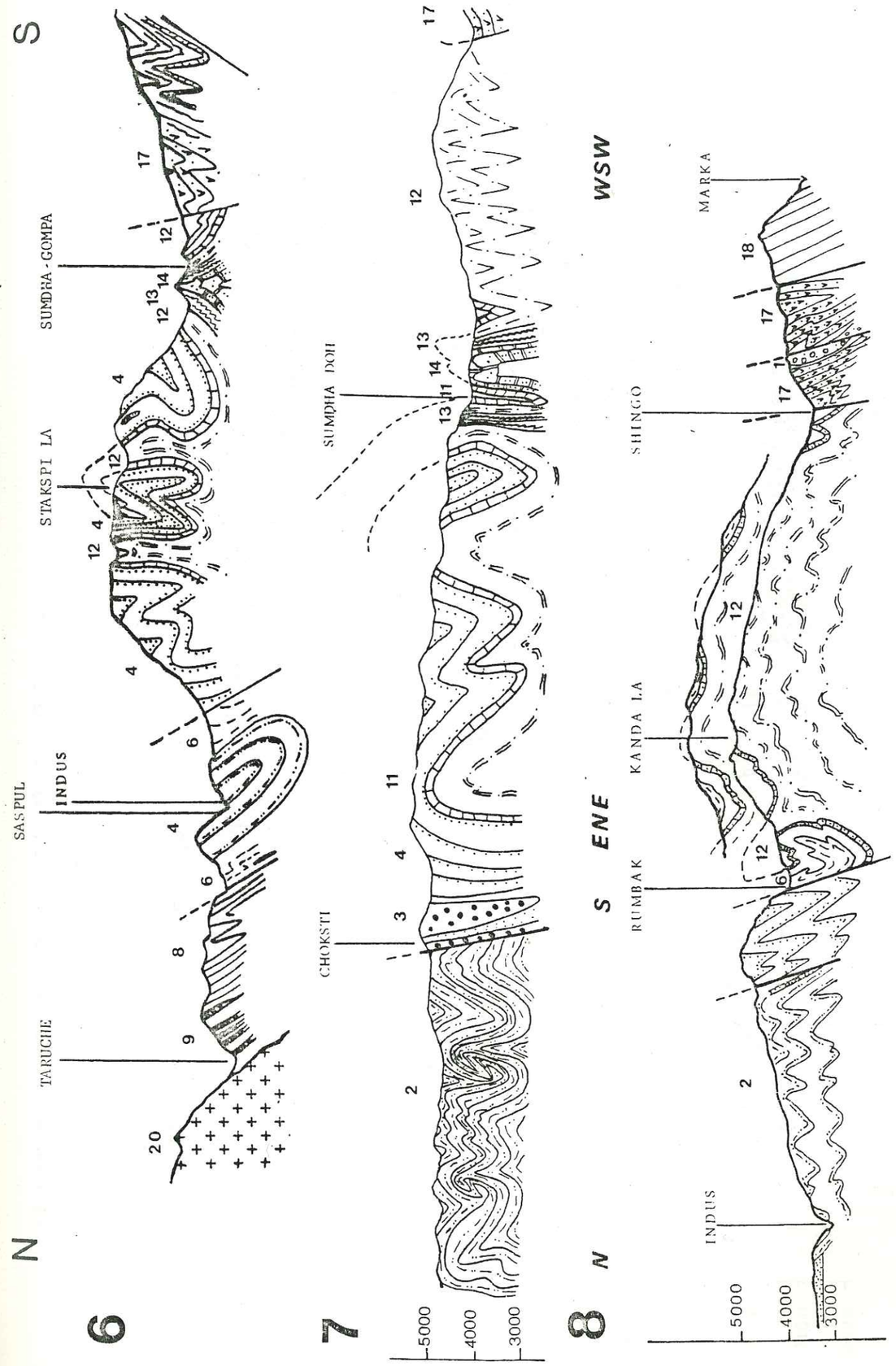


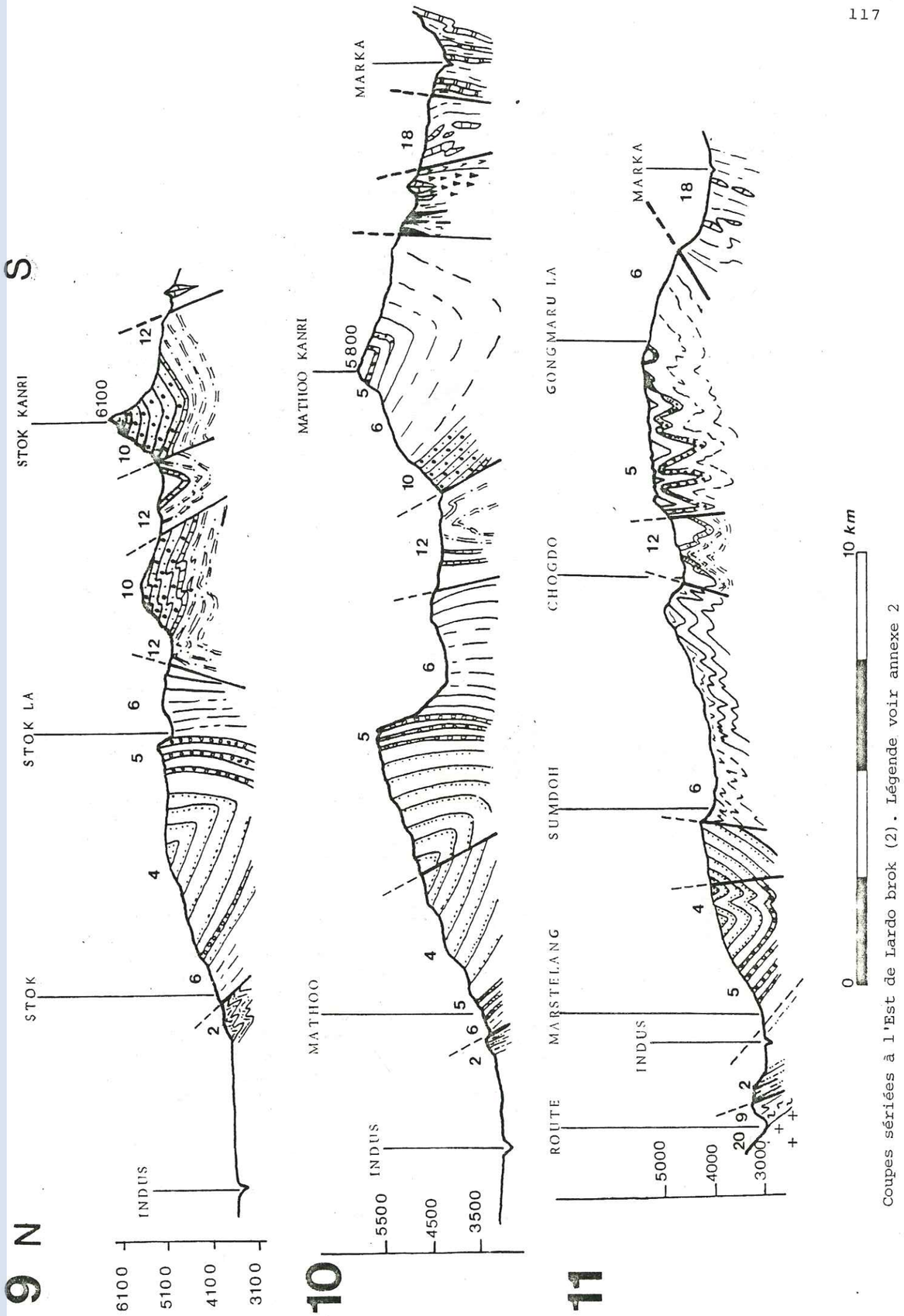
Fig.4.6b : Exemple de failles de déchirement. 1: Nature du contact à l'Ouest de Lardo-brok 2: Nature du contact à l'Est de Lardo-brok 3: Trace du contact dans la nappe des carbonates du Zanskar



Coupes sériées à l'Est de Lardo brok (1). Légende voir annexe 2

tel-00641418, version 1 - 15 Nov 2011

tel-00641418, version 1 - 15 Nov 2011



Coupes sériées à l'Est de Lardo brok (2). Légende voir annexe 2

Cette faille ferait chevaucher vers l'Ouest les séries du bassin de l'Indus sur la "nappe du flysch de Nindam" et pourrait expliquer en partie la disparition, au Sud du Spangting-La, du flysch à blocs de Tar.

Le rejet vertical de cet accident paraît important entre Lardo-Brok et le torrent qui coule au pied du versant sud du Spangting-La. De part et d'autre de ces deux points la faille s'amortirait rapidement (bien que sur les images Landsat (voir Chapitre V), cette linéation particulièrement marquée recoupe les différentes unités structurales, elle ne décale apparemment pas certains contacts tectoniques (nappe du Zanskar - nappe du Lamayuru, contact nappe de Lamayuru - nappe de Nindam)).

c) Une faille de déchirement, telle qu'en décrit TREVISAN (1958) (Fig. 4.6.) Ce type de faille affecte généralement les unités impliquées dans une tectonique tangentielle (ici la nappe de charriage du flysch de Nindam). Les effets de l'érosion peuvent donner lieu à des cas de figures tels que celui qui est décrit plus haut. L'absence de décalage des contacts tectoniques majeurs peut s'expliquer par la position géographique de ceux-ci par rapport à la trace de la faille (voir Fig. 4.6).

4/ TECTONIQUE A L'EST DE LARDO BROK (coupes 6 à 11)

Dans cette partie du bassin la structure d'ensemble est nettement plus complexe. L'intensité des déformations qui s'observe dans les massifs au Sud de l'Indus ne permet plus de parler d'un simple synclinorium, mais d'une suite de grands plis plurikilométriques d'axes parallèles à l'allongement général de la chaîne (N 120, voir carte structurale).

a) Entre le batholite et l'Indus les différentes formations disparaissent presque toujours sous les hautes terrasses fluviatiles. Seules les coupes levées aux abords du village de Basgo ou entre Alchi et Taruche (Fig. 4.7) permettent d'observer les structures (cf. également Chapitre 2, fig. 2.15).

- A Taruche, la formation de Basgo-Skinning est peu déformée, seules quelques failles inverses s'observent. Plus à l'Est, sous le village de Basgo, cette même formation est affectée par des plis déversés au Nord et dont les charnières sont parfois recoupées par des failles inverses (GANSSER, 1964).

- Les premières couches de la série jaune de Temesgam plongent régulièrement avec un pendage d'environ 60° vers le Sud. En montant dans la série, apparaissent des plis subisoclinaux toujours déversés au Nord, d'axe orienté N 120, associés à une schistosité de fracture en éventail.

- Dans la région de Saspul, les pélites rouges du Gongmaru-La, ainsi que la formation de Nimu-Alchi sont plissées en un vaste synclinal dont le plan axial plonge fortement vers le Sud. Sur le flanc normal de ce synclinal, au sein des pélites rouges, certains petits plis d'entraînement sont recoupés par une schistosité de fracture S2 plongeant au Sud et postérieure au plissement (Fig. 4.8).

Un chevauchement, certes mineur puisque son rejet vrai ne dépasse pas le kilomètre, mais qui par ailleurs se suit tout au long du bassin (voir carte structurale), assure la superposition d'un domaine structuralement complexe sur cette partie nord du bassin encore relativement peu déformée.

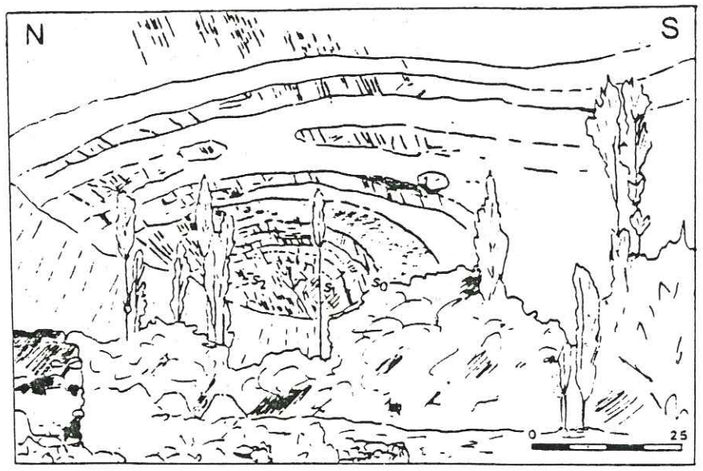
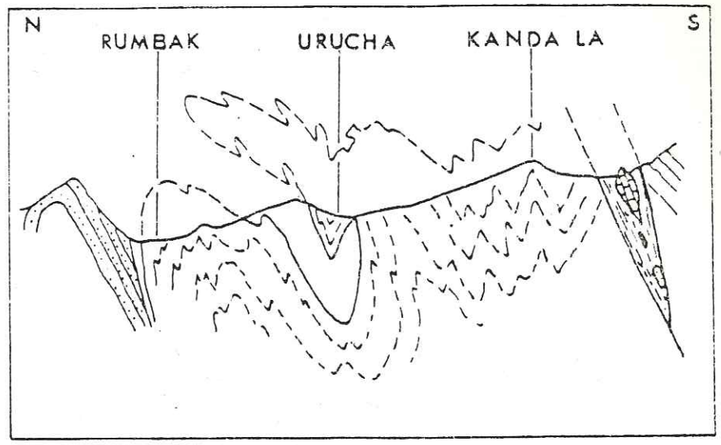
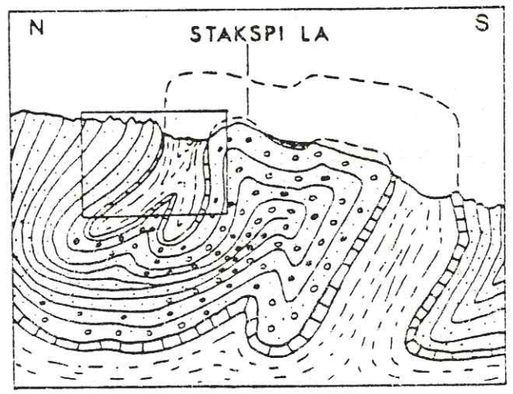


Fig .4.9a: Pli antéschisteux dans les pélites rouges du Gongmaru-la à Saspul

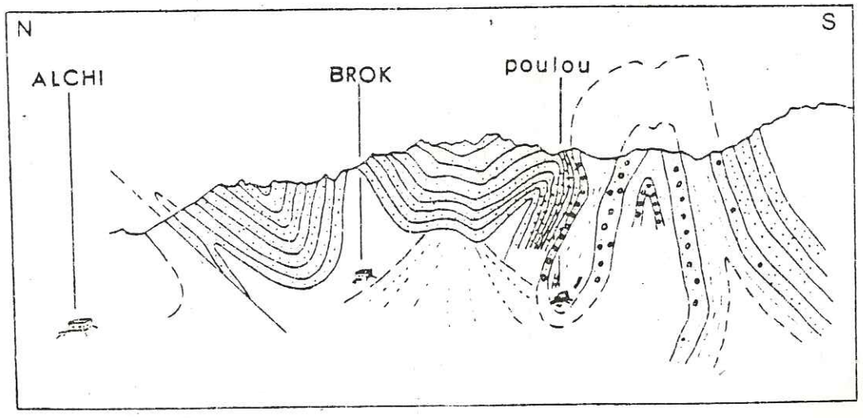
Fig .4.9b:Plis antéschiteux dans les séries pélitiques associées aux séries à Nummulites en amont du village de Sumdah gompa



Agrandissement de la coupe entre Rumbak et le Kanda-la



Structures au Stakspi-la (la partie encadrée:cf. photo 2)



Coupe structurale entre Alchi et la bergerie d'Alchi-brok

Fig. 4.10

tel-00641418, version 1 - 15 Nov 2011

b) Dans la partie centrale du bassin apparaissent fréquemment des plis subisoclinaux à isoclinaux (photo 1) recoupés par deux schistosités de fracture. La première (S1) est associée aux plis (schistosité en éventail) tandis que la seconde (S2), postérieure au plissement recoupe les structures. Cette dernière plonge indifféremment vers le Sud ou vers le Nord.

Au Sud du bassin ce clivage schisteux (S2) transpose presque complètement le premier et l'on peut facilement observer son indépendance vis à vis de plis antérieurs (Fig. 4.9).

Entre Alchi Brok et Urucha, les diverses formations sont affectées par des plis qui intéressent des séries préalablement renversées (Fig. 4.10) comme le montre l'analyse des polarités stratigraphiques; ainsi au Stakspi-La (photo 2 et 3), encadrés par des calcaires à Nummulites (1) et au coeur d'un antiforme, apparaissent les conglomérats post-éocènes de la base de la molasse multicolore de Nurla (2).

Deux hypothèses peuvent expliquer ce genre de structures:

-1 (Fig. 4.11.a). L'encapuchonnement de plis à vergence nord dans l'évolution dynamique d'une tectonique monophasée (serrage continu et de plus en plus important avec le temps). Dans ce cas, une seule schistosité accompagne ces structures; dans la partie encapuchonnée des plis cette schistosité doit s'enrouler; ceci n'a jamais été observé.

-2 (Fig. 4.11.b). Existence de plis de phase 1 dont les charnières seraient replissées par des plis de phase 2, suggérant ainsi une tectonique pluriphasée. Ceci implique l'existence de deux schistosités:

. une première schistosité liée aux plis de phase 1 (schistosité originellement en éventail);

. une seconde schistosité recoupant toutes les structures de phase 1 et pouvant, par endroit, transposer la première.

Les clivages schisteux de la phase 2 vont, de part et d'autre des plans axiaux des plis 2, plonger soit vers le Sud, soit vers le Nord (Fig. A, photo 1).

Il est à noter que de telles structures repliées sont décrites au sein des pélites rouges de Gongmaru-La (molasse rouge de Sumdo) en aval du village de Chogdo (coupe 11 et fig. B) (communication personnelle de A. STECK voir fig. 4.12) et par VAN HAVER et al., 1984.

A l'Est d'Urucha, les structures deviennent relativement plus simples. De larges plis déversés au Nord se développent (Fig. 4.13), et se suivent assez bien de Stok à Hémis. Les axes de ces plis plongent vers l'Est comme le montre la trace cartographique de la gouttière synclinale des massifs de Stok (Stok Kanri, Mathoo Kanri, Gongmaru-La). Ces grandes structures peuvent localement se compliquer de nombreux replis (plis repliés en aval de Chogdo), ceci essentiellement dans les zones où les formations pélitiques trouvent une extension importante.

Dans cette partie du bassin, l'ensemble de la pile sédimentaire plissée est recoupé par de nombreuses failles inverses. Certaines de ces failles ne représentent en fait qu'une dysharmonie entre deux unités lithostratigraphiques de compétence différente. Ainsi, les pélites rouges du Gongmaru-La peuvent être froissées au contact avec la molasse multicolore de Nurla (Sumdoh, Rumbak) alors qu'en d'autres points ce contact est purement stratigraphique.

tel-00641418, version 1 - 15 Nov 2011

tel-00641418, version 1 - 15 Nov 2011

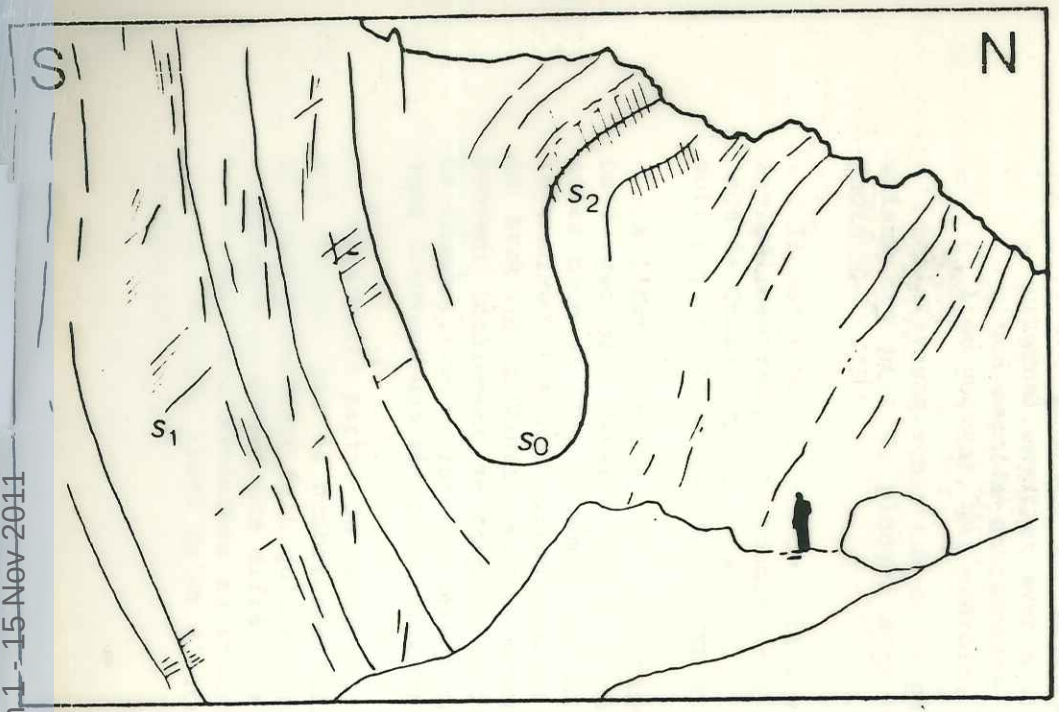


Photo 1- Pli isoclinal recoupé par une schistosité S2 postérieure au pli. Molasse multicolore de Nurla

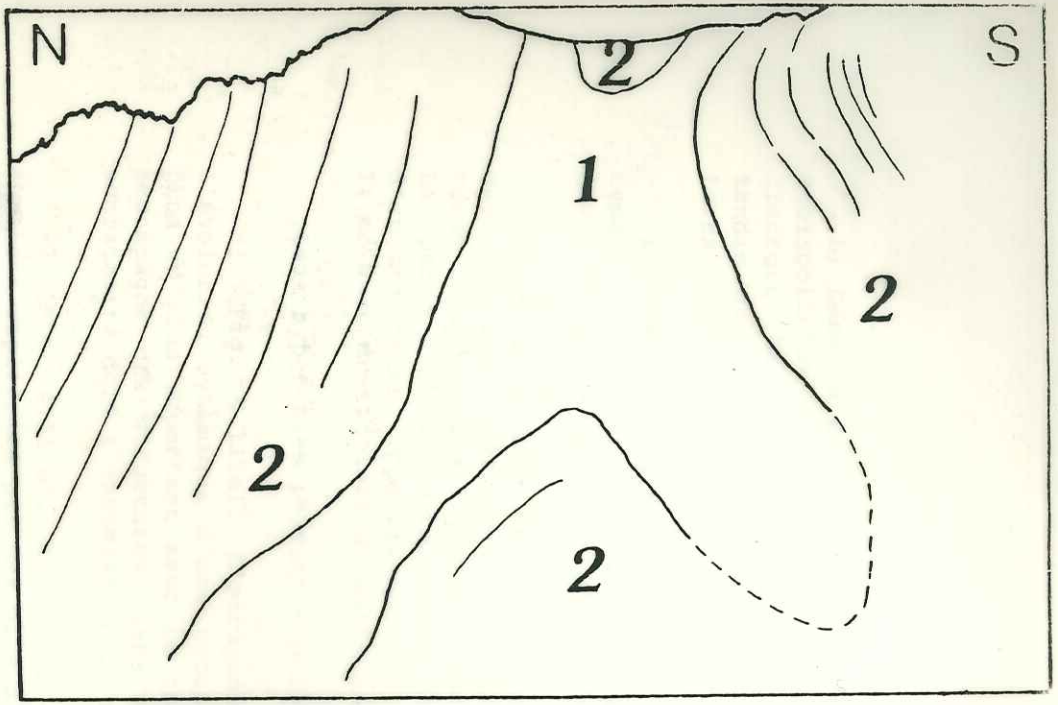


Photo 2- Pli replié du Stakspi-la (légende: voir photo 3)

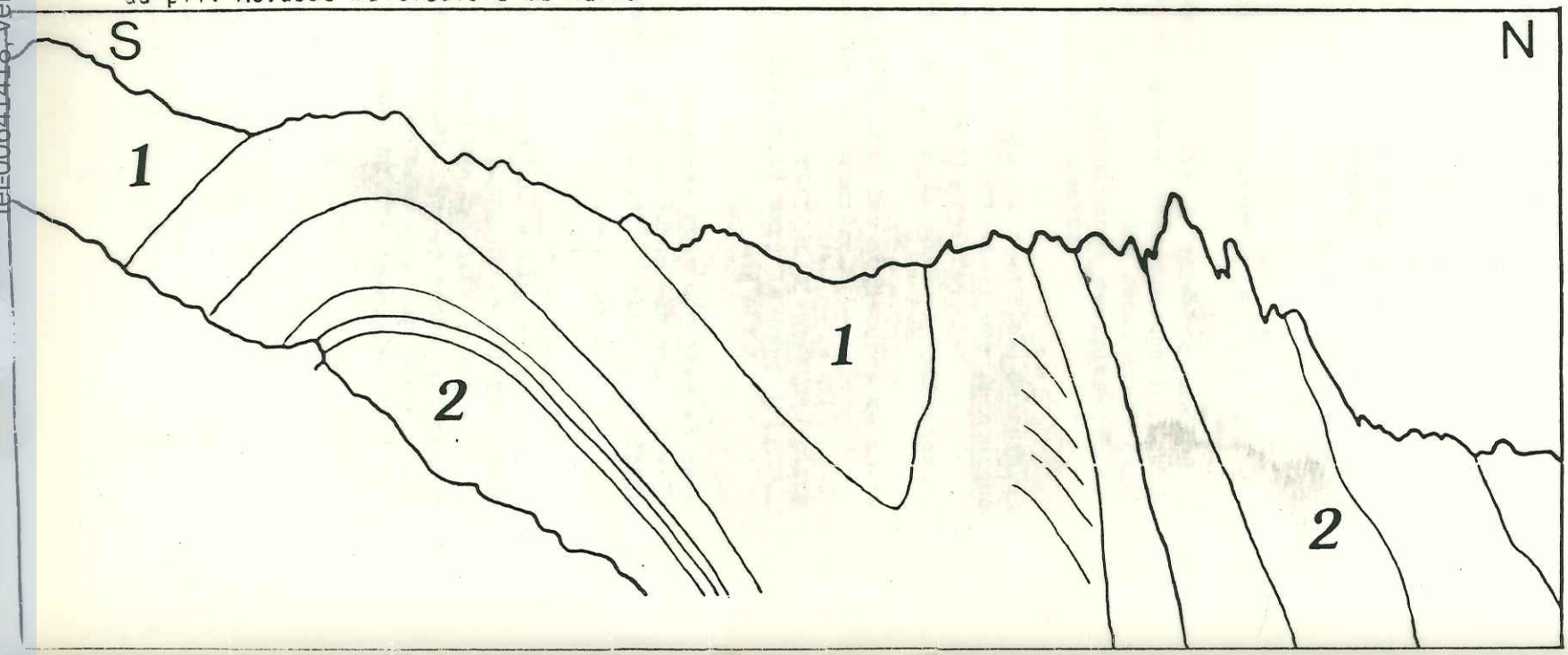
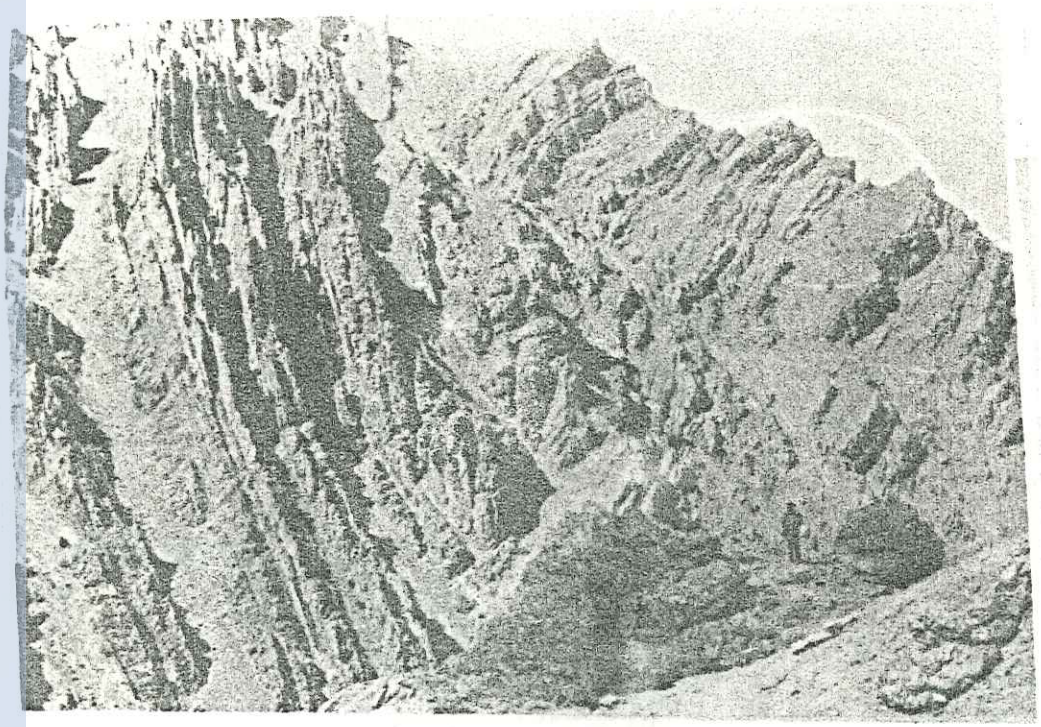


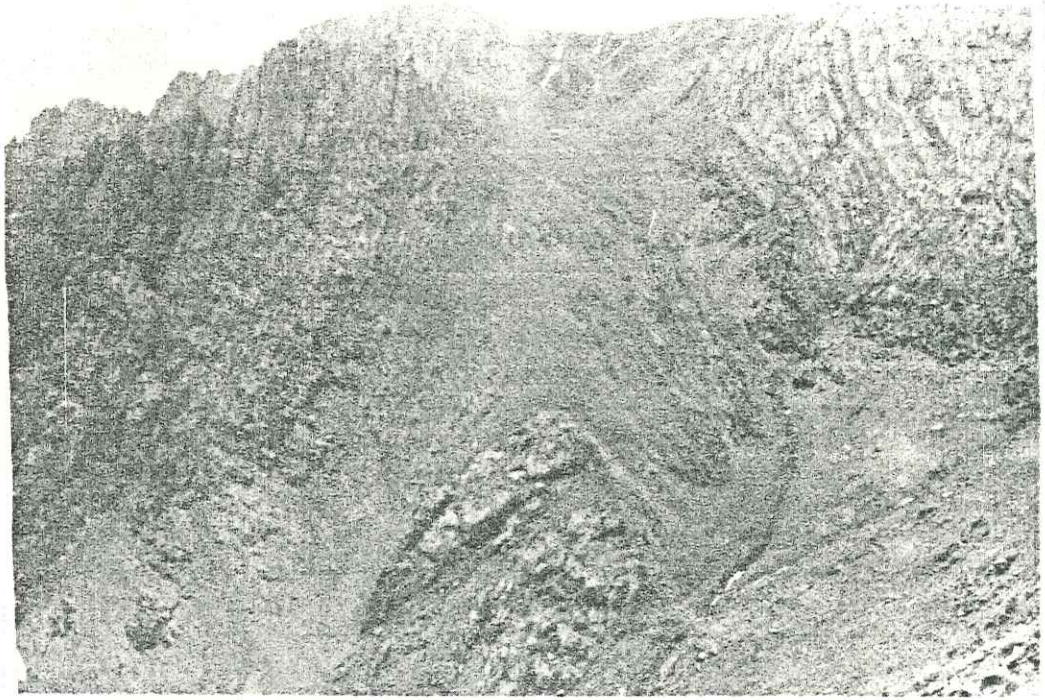
Photo 3- Pli replié du Stakspi-la

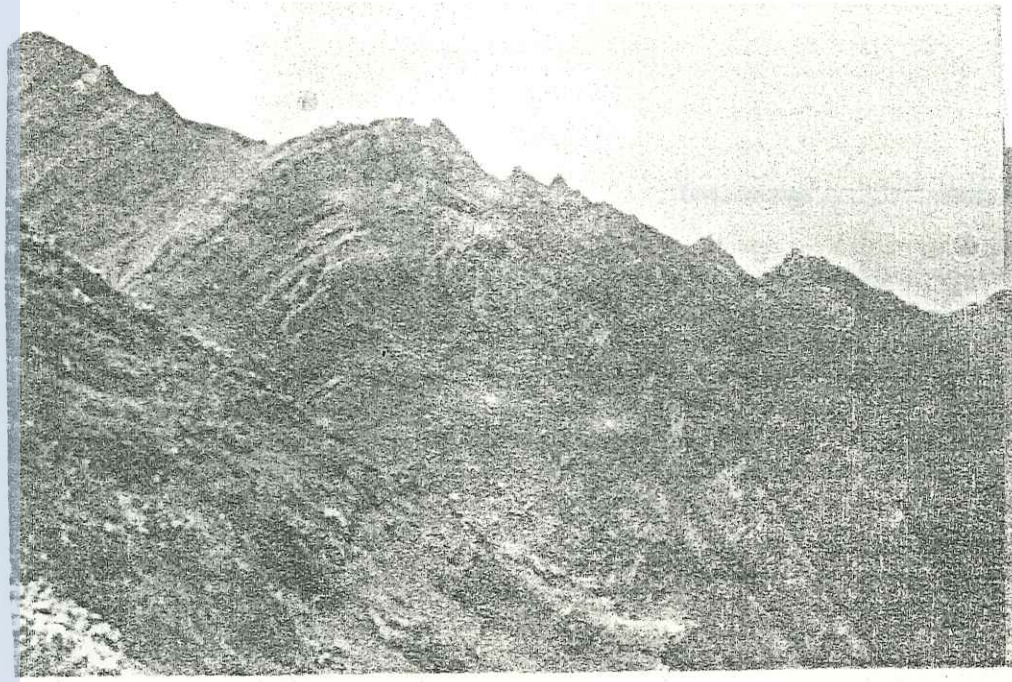
1: Séries associées aux calcaires à Nummulites (Ilerdien-Cuisien)

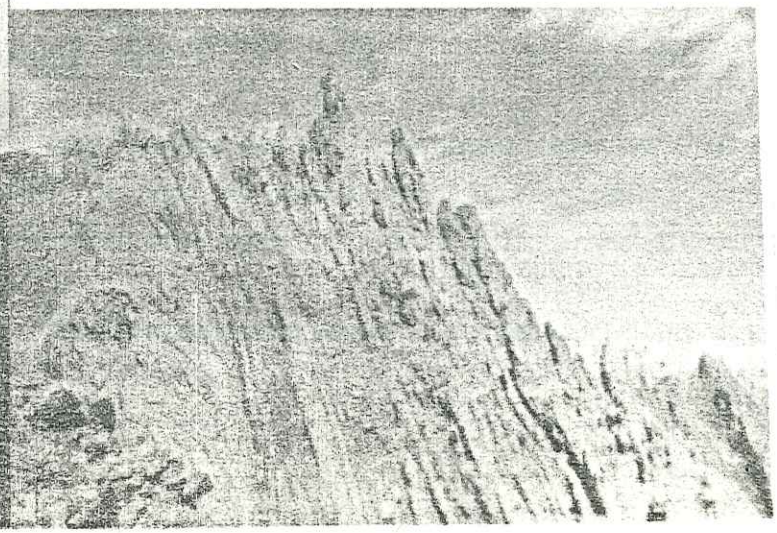
2: Molasse continentale post Eocène inférieur

tel-00641418, version 1 - 15 Nov 2011









tel-00641418, version 1 - 15 Nov 2011

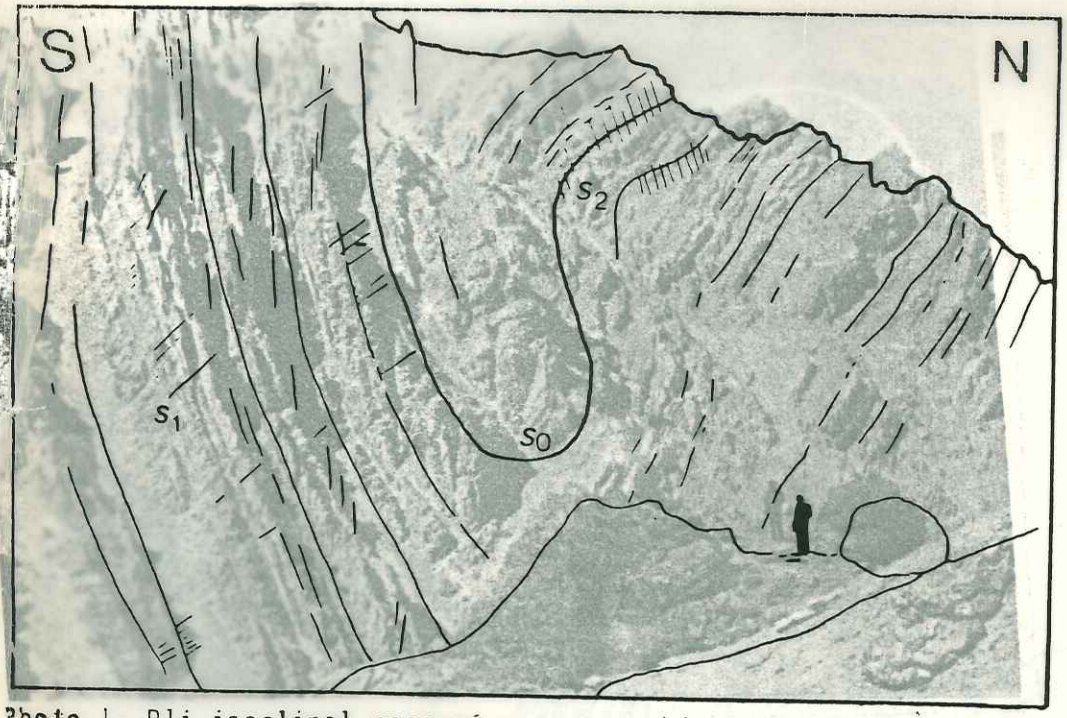


Photo 1- Pli isoclinal recoupé par une schistosité S2 postérieure au pli. Molasse multicolore de Nurla

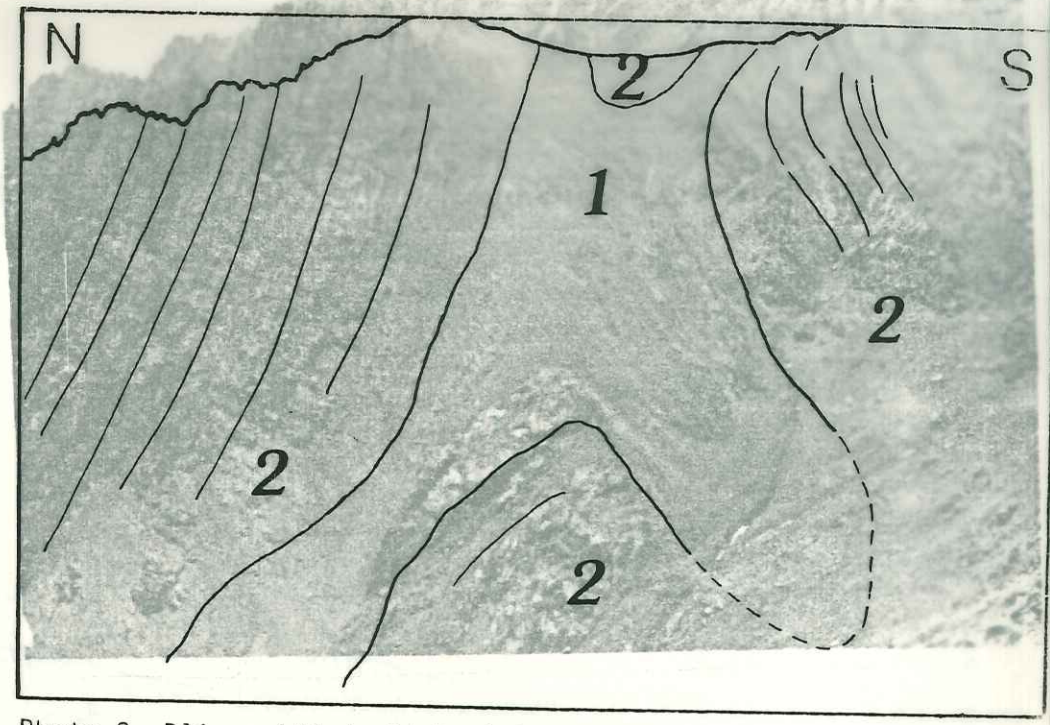


Photo 2- Pli replié du Stakspi-la (légende: voir photo 3)

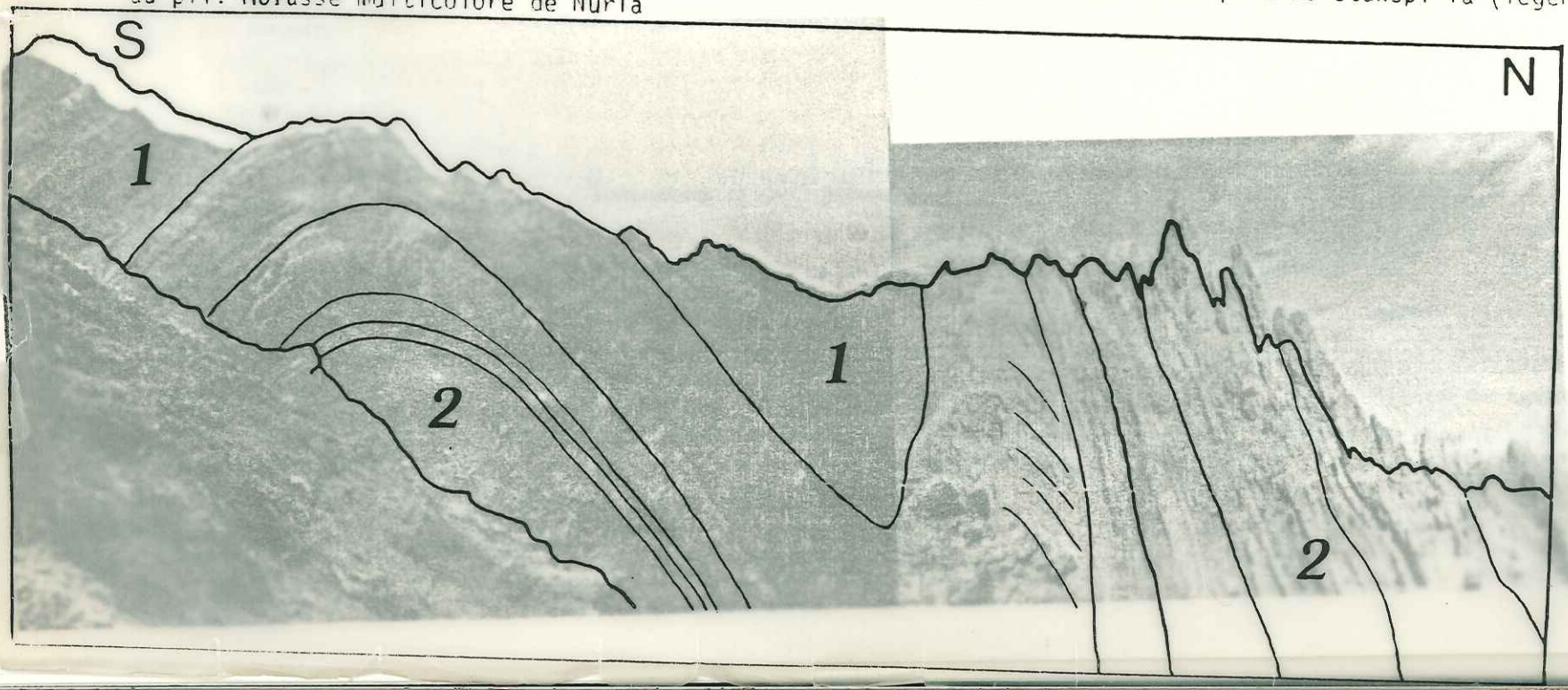


Photo 3- Pli replié du Stakspi-la

1: Séries associées aux calcaires à Nummulites (Ilerdien-Cuisien)

2: Molasse continentale post Eocène inférieur

tel-00641418, version 1 - 15 Nov 2011

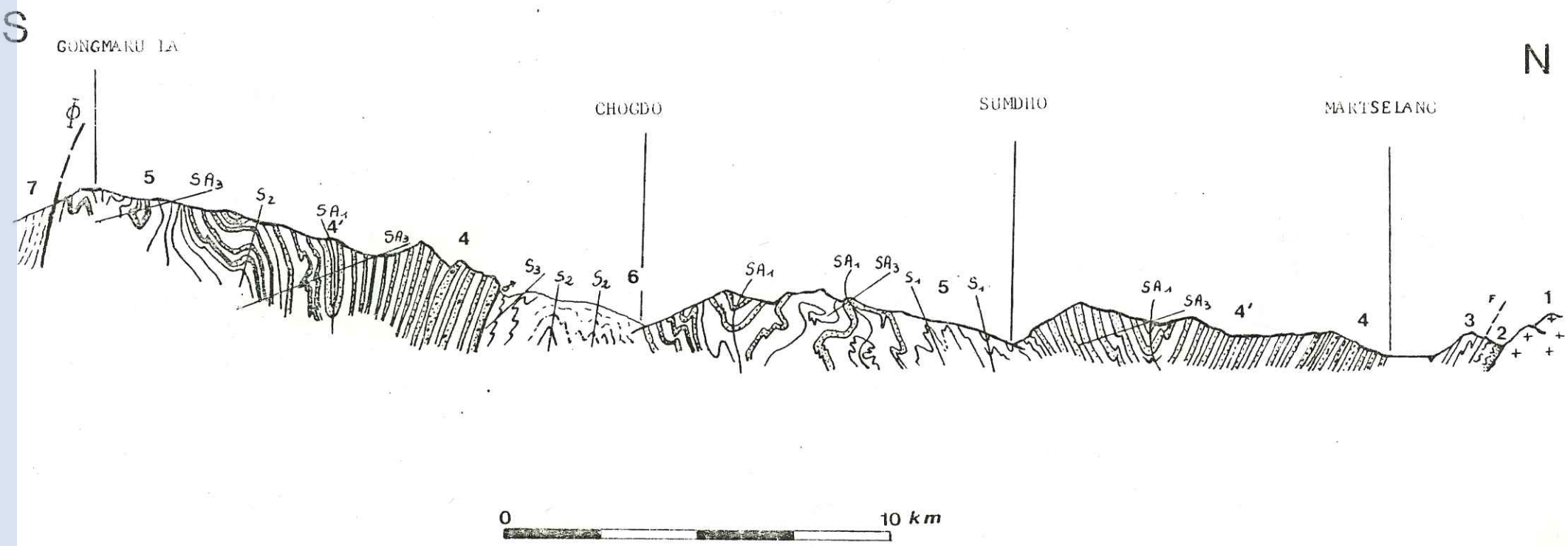


Fig.B : Coupe entre Martselang et le Gongmaru-la réalisée par l'équipe Suisse de Lausanne :existence de strutures repliées
1: Granodiorite du Ladakh 2: Série de Basgo-Skinning 3: Grès de Nimu-Alchi 4: Conglomérats d'Hemis 4': Molasse multicolore de Nurla 5: Pélites rouges du Gongmaru-la((molasse rouge de Sumdo) 6: Marnes d'Urucha (molasse marine de Chogdo) 7: : Flysch de Lamayuru
S: Schistosité SA: Plan axial de pli F: Faille : Chevauchement mineur : Chevauchement majeur : Source

W

E

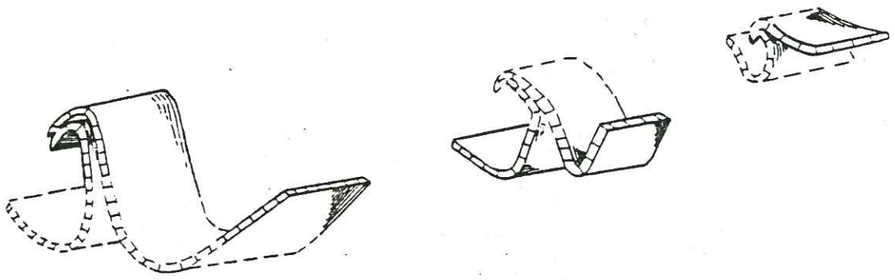


Fig.4.11a: Plis encapuchonnés

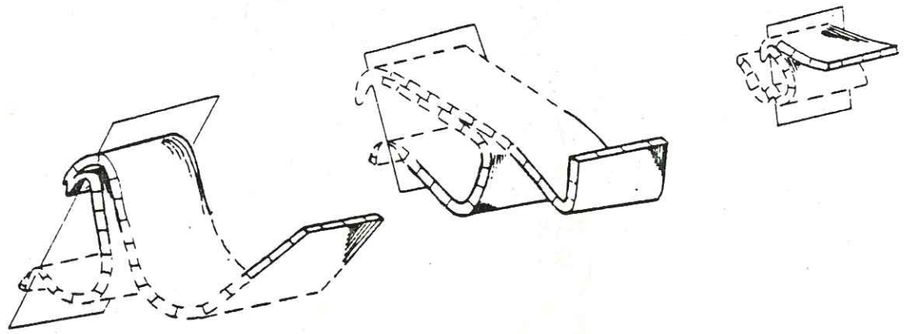


Fig .4.11b:Plis repliés

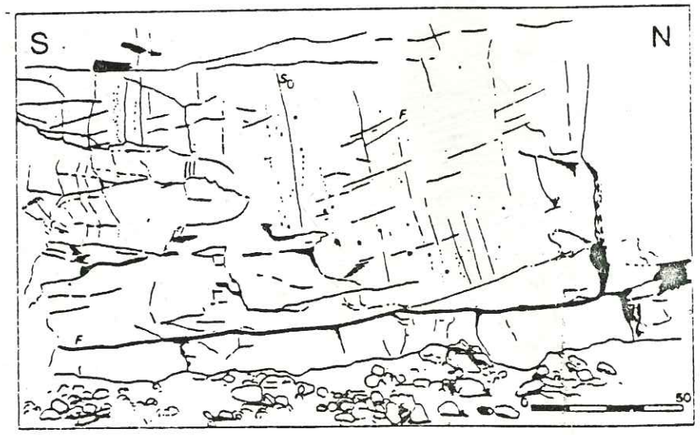
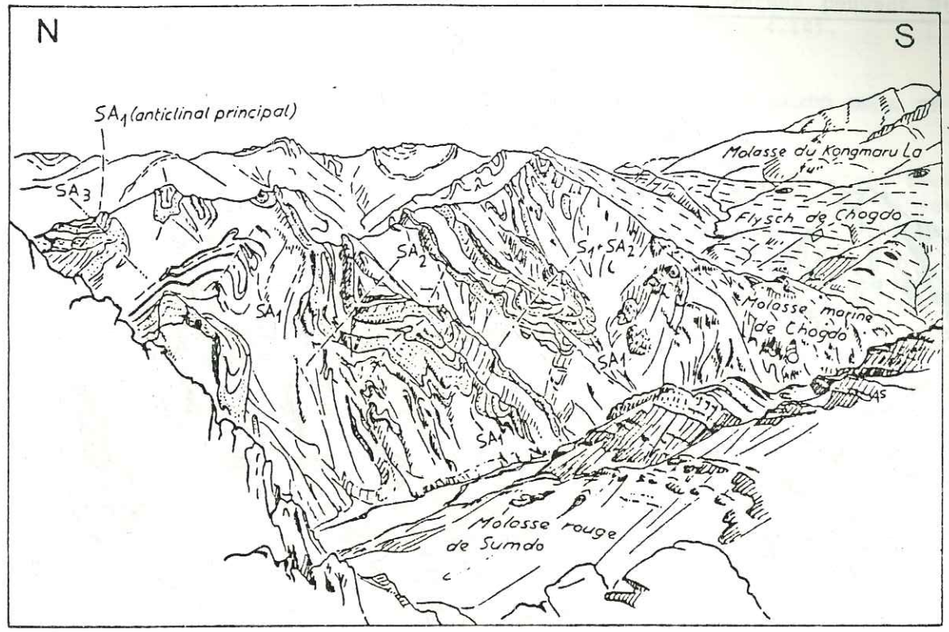


Fig .4.14: Faille plate dans les grès de Nimu-Alchi



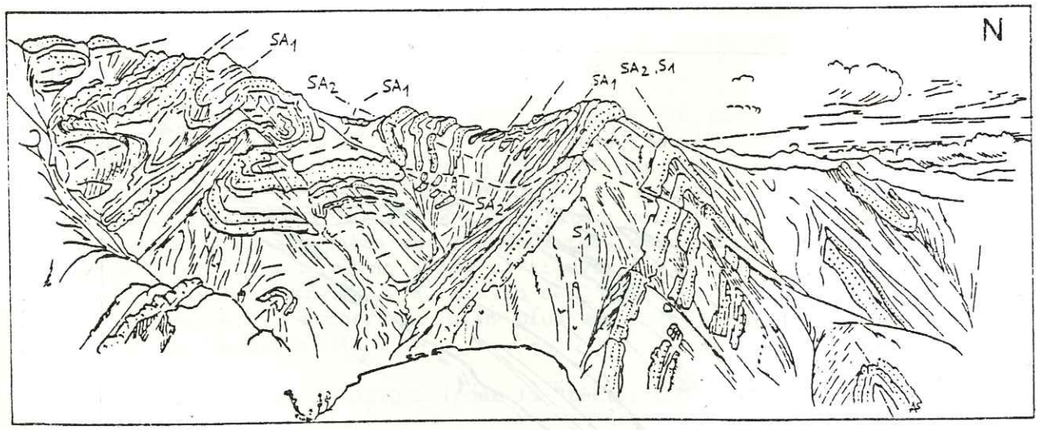


Fig .4.12 : Panoramas au dessus et en aval du village de Chogdo d'après A. STECK

SA: Surface axiale S: Schistosité

tel-00641418, version 1 - 15 Nov 2011

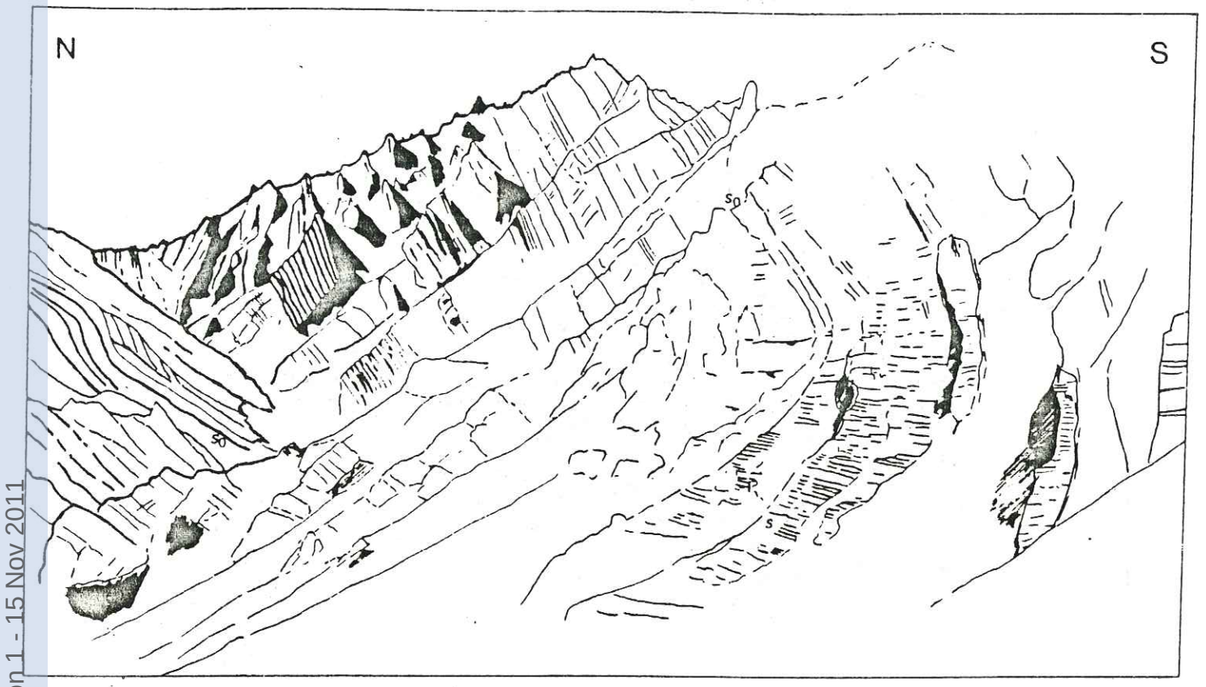


Fig .4.13.a:Synclinal dans la molasse multicolore de Nurla au Sud du village de Mathoo

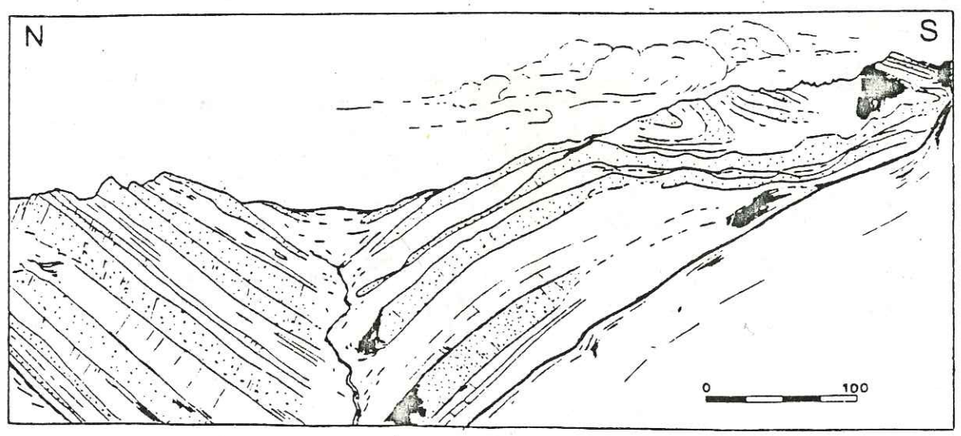


Fig.4.13b: Synclinal dans les conglomérats d'Hemis en face du village de Kotchang

tel-00641418, version 1 - 15 Nov 2011

Dans une tectonique de ce style, les failles inverses peuvent être courbes et passer vers le haut à des failles plates (fig. 4.14).

5/ LE CONTACT MERIDIONAL DU BASSIN DE L'INDUS ENTRE LARDO BROK ET LE GONGMARU LA

Comme il a été dit plus haut, le contact méridional est partout tectonique. Entre Lardo Brok et Shingo, "la nappe de Nindam" chevauche directement les formations de l'Indus par l'intermédiaire d'une faille inverse plongeant très fortement vers le Sud. A l'Est de Shingo, le contact est de nouveau marqué par une semelle tectonique ou apparaissent de gros blocs de marbres ainsi que des écailles constituées par du matériel divers (calcaires à Nummulites, conglomérats à galets de péridotite, agglomérats, serpentine). Cet ensemble bien visible sur les images Landsat équivaut au "mélange coloré" décrit par BAUD et al., 1982, et fait l'objet d'une partie de l'étude entreprise par E. SUTRE (Thèse de 3ème cycle, Poitiers).

A l'Est du village de Markha la nappe du flysch de Nindam, puis la semelle tectonique se biseautent et en contrebas du Gongmaru-La, les séries du bassin de l'Indus sont directement en contact avec le flysch de la Markha de BAUD et al., 1982, 1983, qui correspond à l'équivalent latéral du flysch de Lamayuru.

6/ DEPLIAGE DES STRUCTURES (Fig. 4.15)

Sur le flanc Nord-Ouest là où les déformations sont relativement modestes, le raccourcissement est proche du tiers de la largeur originelle du bassin.

La partie méridionale est nettement plus complexe, les séries sont intensément déformées et la bordure sud du bassin est toujours marquée par le chevauchement de la "nappe de Nindam". Le dépliage des structures (plis et failles) donne un raccourcissement qui dépasse la moitié de la largeur initiale de ce flanc du bassin (essentiellement à l'Est de Lardo Brok).

D'après les limites d'affleurements, telles que l'on en observe actuellement, les faciès éocènes inférieurs, une fois les structures dépliées, s'étendent sur une largeur moyenne d'environ 35 km avec un maximum de 55 km dans la région de l'actuelle rivière Zanskar.

Dans la région de Lardo Brok apparaît un décalage très brutal de l'actuelle limite sud du bassin de l'Indus. La largeur apparente du bassin n'est plus que de 15 km, mais il ne faut pas oublier que c'est dans cette zone que le chevauchement de la nappe de Nindam présente la plus grande flèche (effet de la faille de Lardo Brok: voir § 3 du même chapitre). Les faciès associés aux calcaires à Nummulites, qui n'affleurent plus à l'Ouest de Lardo Brok, pourraient ainsi se trouver sous la nappe du flysch de Nindam; la limite apparente du bassin de l'Indus à l'Eocène inférieur serait par conséquent à rechercher bien plus au Sud que ne l'indique la limite tracée sur la figure 4.15.

7/ ETUDE MICROTECTONIQUE (pour la "tectonique cassante")

Pour déterminer le régime tectonique qui régit les déformations observées tout au long du bassin de l'Indus, nous avons utilisé la méthode des diédres droits définie par ANGELIER et MECHLER (1977).

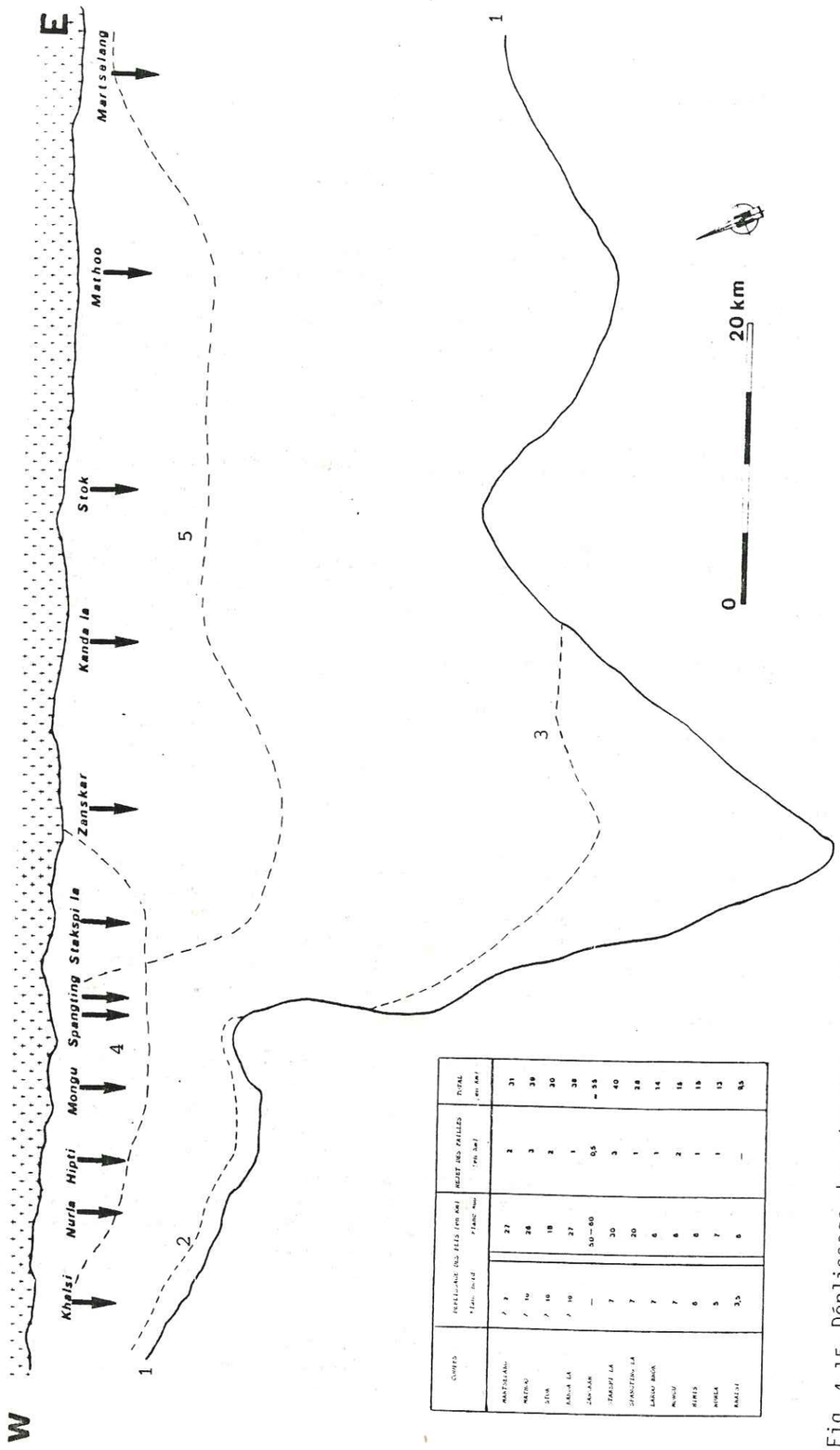


Fig .4.15: Déplissage des structures et limite possible du bassin de l'Indus à l'Eocène inférieur

1: Limite d'affleurement des faciès Eocène (limite tectonique) 2: Limite de la plate-forme Barrémo-Aptienne

3: Limite de la plate-forme Paléocène 4: Limite de la formation de Temesgam 5: Limite de la formation des grès de Nimu-alchi.

a) **Application de la méthode** (In ANGELIER & MECHLER, 1977)
(Application manuelle, sur canevas de SCHMIDT (voir annexe)

Pour chaque mesure sont tracés le plan de faille puis le plan auxilliaire (dont le pôle est la strie). Les quatre régions ainsi délimitées sur le diagramme de projection sont identifiées d'après le sens du jeu (normal, inverse, dextre ou sénestre). La même construction est faite pour une deuxième faille, et seules sont retenues les régions communes de compression maximale (Ti: en hachuré sur nos figures) et d'extension maximale (T3: en blanc sur nos figures), et ainsi de suite, pour toutes les mesures se rapportant au même épisode tectonique en un lieu donné (station de mesure).

b) **Résultats** (annexes)

Cette étude microtectonique à l'échelle du bassin montre que les plans striés affectant les séries de l'Indus résultent d'une compression voisine de N 10 (cf. carte structurale : annexes).

Ces plans de faille ne sont jamais déformés par les plis à vergence nord. Ces deux marqueurs de déformations sont contemporains, parfois légèrement asynchrone (failles inverses recoupant le pli: phase cassante dans l'évolution dynamique de la déformation). Ils s'inscrivent dans une même phase majeure de compression orientée à N 10.

En certains points, existe également une composante décrochante (T3) relativement parallèle à l'axe principal de la chaîne (orientée N 120) (cf. carte structurale. Stations de mesures à Lardo Brok, à Hémis et au Stok-La: T1 et T3 proche de l'horizontale).

8/ CONCLUSION

La compression voisine de N 10 conduit, dans le bassin de l'Indus, à une déformation caractérisée par des plis à regard nord, d'axe parallèle à l'allongement général de la chaîne (N 110 à 120), accompagnés d'une schistosité de fracture en éventail et de nombreuses failles inverses à rejet modeste. Ces déformations sont peu marquées sur le flanc nord, mais très bien exprimées dans la partie sud du bassin (plis isoclinaux, séries entièrement renversées).

Le serrage se poursuivant, il apparaît des plis à charnière repliée ainsi qu'une schistosité de fracture très raide recoupant les premières structures et plongeant vers le SW (Saspul, Sumdah Gompa, Rivière Zanskar, Rumbak, Gongmaru-La) ou le NE (Stakspi-La, Stok, Mathoo). Ces caractères d'une tectonique pluriphasée (phases coaxiales résultant de l'évolution dynamique d'un seul et même phénomène de compression) ne s'observent que dans les régions où le contact méridional des formations de l'Indus avec la nappe du flysch de Nindam n'est pas marquée par une semelle tectonique. Cette dernière pourrait jouer donc un rôle d'amortisseur, atténuant, dans le bassin de l'Indus, les déformations impliquées par l'arrivée de la nappe du flysch de Nindam.

Enfin, des fractures tardives (orientées N 10 à N 30) découpent toutes les structures. Ces fractures représentent un élément structural remarquable et constant dans l'ensemble de la chaîne himalayenne.

tel-00641418, version 1 - 15 Nov 2011

B/ MÉTAMORPHISME

Il est possible de quantifier le métamorphisme en étudiant la fraction argileuse inférieure à 2 microns, à l'aide de diffractogrammes de Rayons X. Il faut cependant avoir toujours à l'esprit que dans cette classe granulométrique subsistent des argiles héritées de l'érosion de roches préexistantes associées aux argiles néoformées au cours de l'épisode métamorphique.

Une corrélation existe entre la cristallinité de l'illite (IK), définie par la largeur en mm du pic à 10 Å à mi-hauteur au-dessus du bruit de fond sur l'enregistrement normal (KUBLER, 1966), et l'intensité du métamorphisme. D'autre part, selon la méthode préconisée par ESQUEVIN (1969), les échantillons analysés peuvent être placés sur un diagramme (Fig.4.16) où est porté en ordonnées l'indice de cristallinité de l'illite et en abscisses le rapport des hauteurs des pics à 5 Å et à 10 Å (IE). Les limites supérieure et inférieure (2,8 à 2,9) de l'anchizone ont été figurées sur ce diagramme, de sorte que dans leur partie basse apparaît le sommet de l'épizone et dans la partie haute la zone de diagénèse (APRAHAMIAN, 1974).

Il apparaît que le métamorphisme n'est pas homogène sur tout le bassin, un certain parallélisme semble même exister entre les déformations (plis, nature du contact sud avec le "flysch de Nindam" cf. semelle tectonique), et les valeurs de l'indice de cristallinité de l'illite.

1/ AU NORD

a) Série de Basgo Skinning (Maestrichtien)

Le métamorphisme y est pratiquement inexistant. La fraction fine contient, en proportions variables, l'association illite ouverte, smectite, interstratifiés illite-smectite et kaolinite. Une telle association est plutôt caractéristique d'un milieu à dominance détritique (BONHOMME, 1982). La présence de kaolinite peut indiquer que le climat régnant sur le continent était de type chaud, humide ou à saisons alternées.

b) Série jaune de Temesgam (Paléocène-Eocène ?)

Comme précédemment, la plupart des diagrammes de Rayons X ne présentent aucune trace d'un métamorphisme (IK >> à 5,3), cependant, dans une zone relativement circulaire et bien localisée (région d'Himis Shukpa), des échantillons récoltés aussi bien dans la série de Témesgam que dans celle de Basgo-Skinning indiquent des conditions de métamorphisme recouvrant l'Anchizone. La composition argileuse globale correspond toujours à l'association illite-chlorite en proportion équivalente. La cristallinité de l'illite est nettement meilleure que celle définie dans les mêmes séries en d'autres points du bassin (IK compris entre 5,2 et 4,5).

KUBLER (1967) ayant montré le rôle déterminant de l'élévation de la température pour l'amélioration des cristallinités, et sachant que le batholite ladakhi est actif au minimum jusqu'à l'Eocène supérieur, comme l'attestent les pyroclastites interstratifiées dans les conglomérats d'Hémis (cf. p. 57), ce qui pourrait être défini comme une "auréole métamorphique" devrait être mis en relation avec l'intrusion hypothétique, en profondeur, d'une apophyse plutonique.

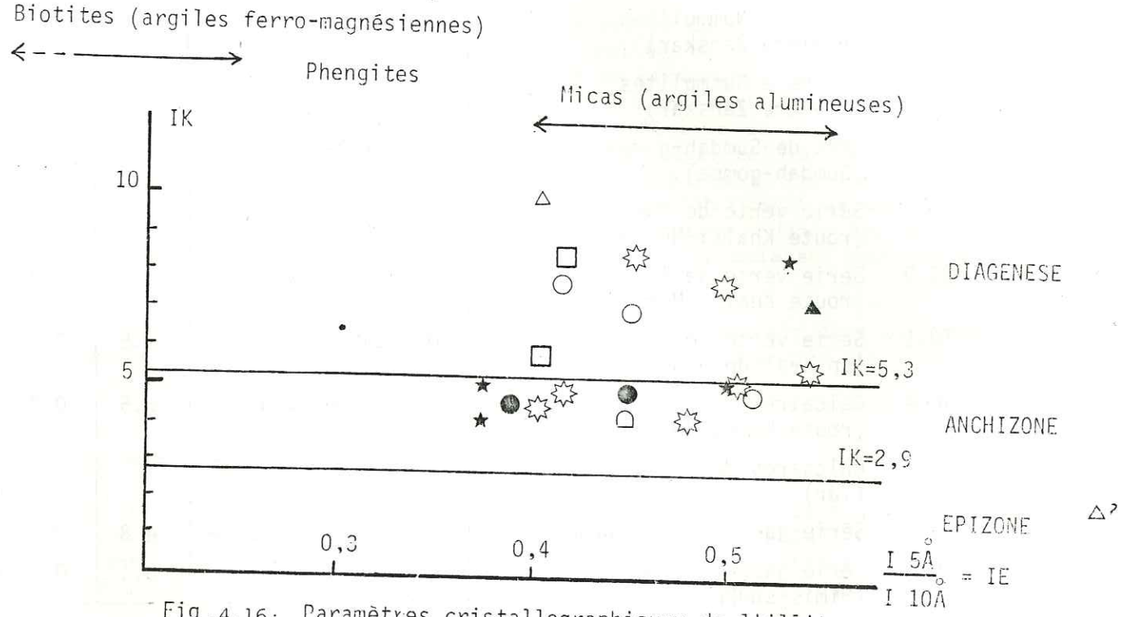


Fig.4.16: Paramètres cristallographiques de l'illite
(diagramme d'après ESQUEVIN 1969)

- △ Molasse multicolore de Nurla
- ▲ Pélites rouges du Gongmaru-la
- Marnes d'Urucha
- ★ Séries à Nummulites
- Calcaires de Sumdah-gompa
- □ Série verte de Tar
- • Calcaires de Khalsi
- ✡ Série jaune de Temesgam
- ○ Série de Basgo-Skinning

Note: Toutes les illites sont de type alumineuse, sauf celles des calcaires de Khalsi.

tel-00641418, version 1 - 15 Nov 2011

			IK	IE
Ech. 45.2	Molasse multicolore de Nurla	Diagénèse		
46.3	Molasse multicolore de Nurla (coupe Nurla-Tar)	Diagénèse	9.6	0.4
59.2	Pélites rouges du Gongmaru-la (Wuley-tokpo)	Diagénèse		
5.6	Séries à Nummulites (rivière Zanskar)	Anchimétamorphisme	4	0.38
6.6	Séries à Nummulites (rivière Zanskar)	Anchimétamorphisme (Paragonite)	5	0.38
B28.1	Grès de Sumdah-gompa (Sumdah-gompa)	Anchimétamorphisme	4.4	0.45
39.1	Série verte de Tar (route Khalsi-Nurla)	Diagénèse	7	0.52
B9.9	Série verte de Tar (route Khalsi-Nurla)	Diagénèse avancée	6	0.4
70.1	Série verte de Tar (en aval de Mongu)	Diagénèse	8.5	0.41
40.4	Calcaires de Khalsi (route Kalsi-Nurla)	Diagénèse avancée	6.5	0.3
	Calcaires de Khalsi (Tar)	Non-métamorphique		
60.2	Série jaune de Temesgam	Anchimétamorphisme	4.8	0.43
60.3	Série jaune de Temesgam (Himis shukpa)	Anchimétamorphisme	5.1	0.5

Tableau: Définition du métamorphisme à l'aide des indices de Kubler et Esquevin (voir p.86)

tel-00641418, version 1 - 15 Nov 2011

2/ AU SUD

Sans entrer dans une étude de détail pour chaque formation, il convient de remarquer que le métamorphisme se localise dans les régions où le contact entre l'unité de Nindam et les formations du bassin de l'Indus n'est plus marqué que par une faille inverse (disparition du flysch à blocs de la "semelle tectonique de Tar").

Entre Nurla et Lardo Brok, les calcaires de Khalsi ainsi que la série verte de Tar, ne montrent tout au plus que des critères d'une diagenèse avancée (IK compris entre 6 et 6,5).

A l'Est de Lardo Brok et jusque dans la région du Kanda-La, on constate un métamorphisme anchizonal à épizonal (vallée de la rivière Zanskar, Stakspi-La) qui se traduit par la présence de paragonite (considérée comme un indicateur d'épizone (DUNOYER, 1969), d'illites bien cristallisées (IK compris entre 4 et 5) et par des pics de la chlorite de type aigu. C'est dans cette même région que s'observent des recristallisations et des épigénies dans les calcaires tant éocènes (calcaires à Nummulites de la rivière Zanskar) que paléocène (calcaires de Sumdah Gompa) et des étirements intenses de galets, principalement calcaires, dans les niveaux conglomératiques interstratifiés à la base de la molasse continentale (conglomérats du Stakspi-La).

Il est à noter que ce maximum de métamorphisme apparaît dans la partie du bassin de l'Indus où les formations sont affectées par des plis repliés (cf. page 121).

3/ AGE DU METAMORPHISME

Si le métamorphisme qui s'observe dans les formations au Sud du bassin de l'Indus est lié à la mise en place de la "nappe de Nindam", alors l'âge des recristallisations des fractions fines, recristallisations dues à ce métamorphisme, doit être le même à la fois dans la semelle de Tar et dans la partie méridionale du bassin de l'Indus.

Des datations par la méthode conventionnelle potassium-argon sont en cours au Laboratoire de Géochronologie de l'Institut Dolomieu (M. BONHOMME).

Pour des raisons techniques à la date de la rédaction, seul un âge de 20 MA a pu être obtenu sur les plagioclases des ankaramites qui affleurent au sein du flysch à blocs (semelle tectonique au Sud du village de Tar). Rappelons que des laves basiques de même type sont signalées dans l'unité de Dras (REIBEL, 1984) où leur âge est jurassique supérieur (Callovien-Portlandien, HONEGGER et al., 1982a), à ante-Cénomanien (HONEGGER et al., 1982b; SCHARER et al., 1984: datation des granodiorites du Mt Somau).

CHAPITRE V

TELEDETECTION & PALEOMAGNETISME

A) TÉLÉDÉTECTION (SATELLITE LANDSAT 3, DONNÉES DU 16.1.72)

1/ METHODE

Le satellite est un véhicule sur lequel sont fixées des barettes de capteurs. Chacun des capteurs enregistre l'intensité lumineuse réfléchie par une surface de sol unitaire (Picsel). Les intensités ainsi obtenues sont codées sur 256 bits (unité informatique) correspondant ainsi à une des 254 valeurs de gris possibles (plus un blanc et un noir idéaux).

Une bande de l'image, qui représente une largeur de barrette, correspond à 2000 informations. Une image est donc formée d'environ 32×10^6 informations qui sont stockées sur une banque d'ordinateur.

2/ INTERETS DES IMAGES LANDSAT

Ils sont multiples.

a- Le fait même que ce soit une image, donne la possibilité de manipuler les informations par l'intermédiaire d'un ordinateur afin d'obtenir telles ou telles améliorations de l'image en fonction des besoins de l'utilisateur (pondération d'un picsel, vis-à-vis de ses voisins immédiats, optimisation de l'image en seuillant dans les valeurs d'intensités hautes et basses (atténuation de l'effet d'ombre, impression de retrait de la couverture neigeuse), compositions colorées pour mettre en évidence certains paramètres).

b- Chaque capteur enregistre une intensité lumineuse dans des canaux différents qui correspondent à des longueurs d'onde différentes (pour Landsat 3, il existe quatre canaux: canal 4 de 0,5 à 0,6 microns; canal 5 de 0,6 à 0,7 microns; canal 6 de 0,7 à 0,8 microns; canal 7 de 0,8 à 1,1 microns).
L'utilisateur en fonction de ce qu'il recherche ou de ce qu'il veut caractériser pourra donc choisir tel ou tel canal.

c- Enfin au Ladakh, il est impossible d'avoir accès aux photos-aériennes. L'image satellite peut donc remplacer cet outil et permettre une meilleure compréhension de la géologie de cette région.

3/ DEFAUTS DES IMAGES SATELLITES

a- La taille du picsel (grain élémentaire de l'image), de l'ordre d'un rectangle de 50 par 79 mètres, ne nous permet pas d'apprécier aussi bien les détails (structures, formations) que sur une photo-aérienne.

b- Les orbites du satellite sont rarement susceptibles de donner deux images superposables; aussi la vision stéréoscopique ne nous est elle pas accessible.

c- Sur une image, il existe toujours un risque d'artefact.

d- Dans cette zone montagneuse, les principaux problèmes pour nous seront d'une part l'importance du manteau neigeux et d'autre part les dénivelés importants (ombres).

4/ RESULTAS (observations brutes de la partie de l'image agrandie et localisée sur le bassin de l'Indus)

Rappelons que la télédétection est un outil qui nous a permis d'acquérir certaines données tant structurales que lithostratigraphiques. La véracité de ces observations doit être obligatoirement vérifiée sur le terrain.

a/ Certaines des grandes unités lithostratigraphiques de la zone de la suture de l'Indus sont discernables (fig. 5.1).

Ainsi, au Sud, les unités carbonatées de la nappe de Zanskar sont-elles facilement reconnaissables. Le contact nord de la nappe du Zanskar avec le flysch de Lamayuru est rectiligne, d'orientation N 120 et nettement marqué.

Au Nord les granodiorites du batholite ladakhi apparaissent très claires par rapport aux séries détritiques du bassin de l'Indus. Le contact peut aisément être suivi, son orientation est, là encore, N 120.

Au sein du bassin de l'Indus se distinguent:

- **les calcaires de Khalsi:** alignement très blanc (les calcaires sont d'excellents réflecteurs) qui ressort extrêmement bien sur les enregistrements Landsat. Ce niveau disparaît brutalement au contact de la faille de déchirement de Lardobrok;

- **les calcaires de Sumdah Gompa** moins bien soulignés que ceux de Khalsi ils disparaissent à l'Est de la rivière Zanskar;

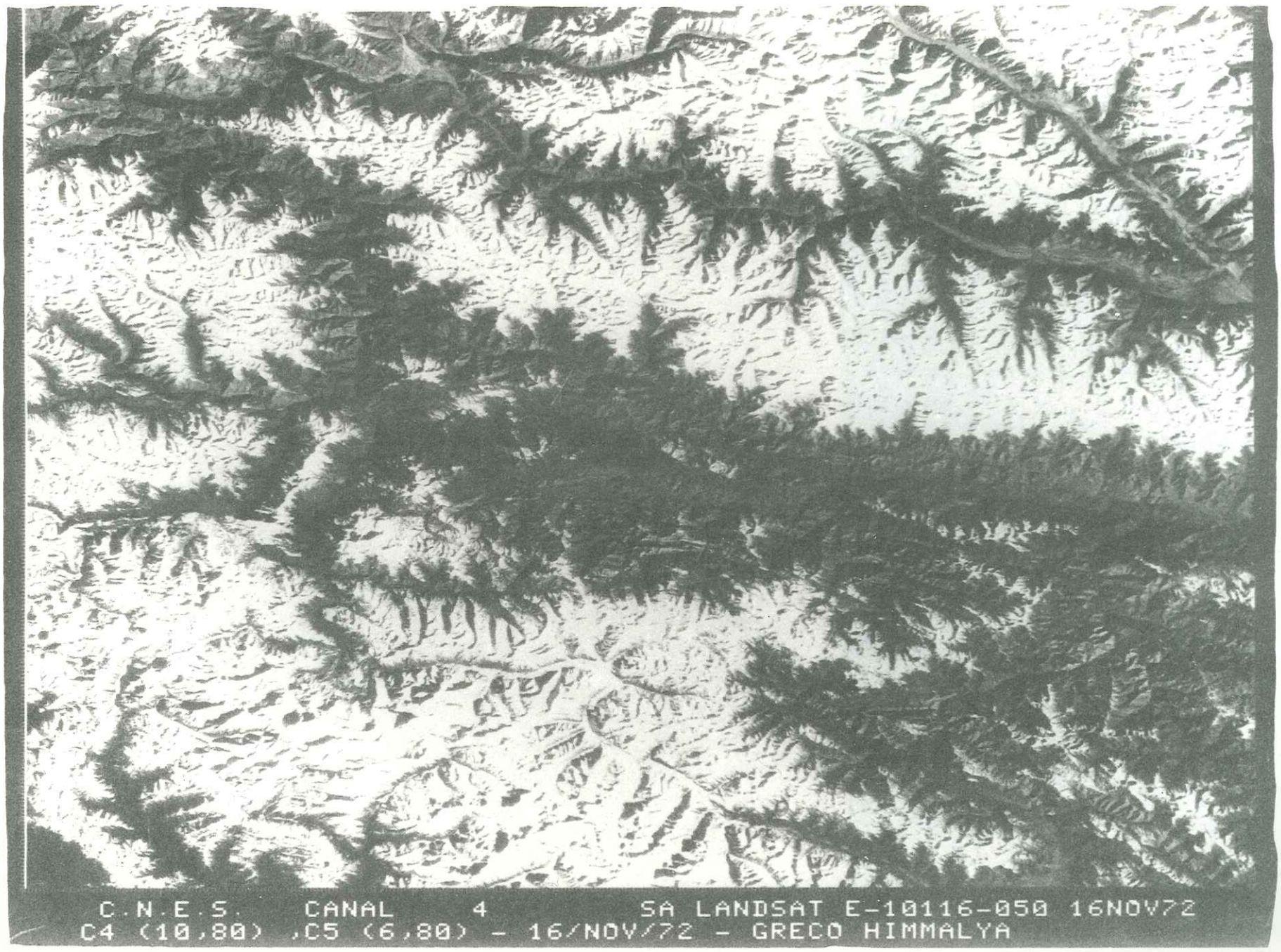
- **les grès de Nimu Alchi:** cet ensemble se différencie de la molasse multicolore de Nurla par sa teinte gris-clair. Cette différence pourrait s'expliquer par un enrichissement en produits terrigènes issus du batholite ladakhi (BAUD et al., 1982). Les grès de Nimu-Alchi constituent des reliefs mous qui disparaissent à l'Ouest de Saspul (Wuley-Topko);

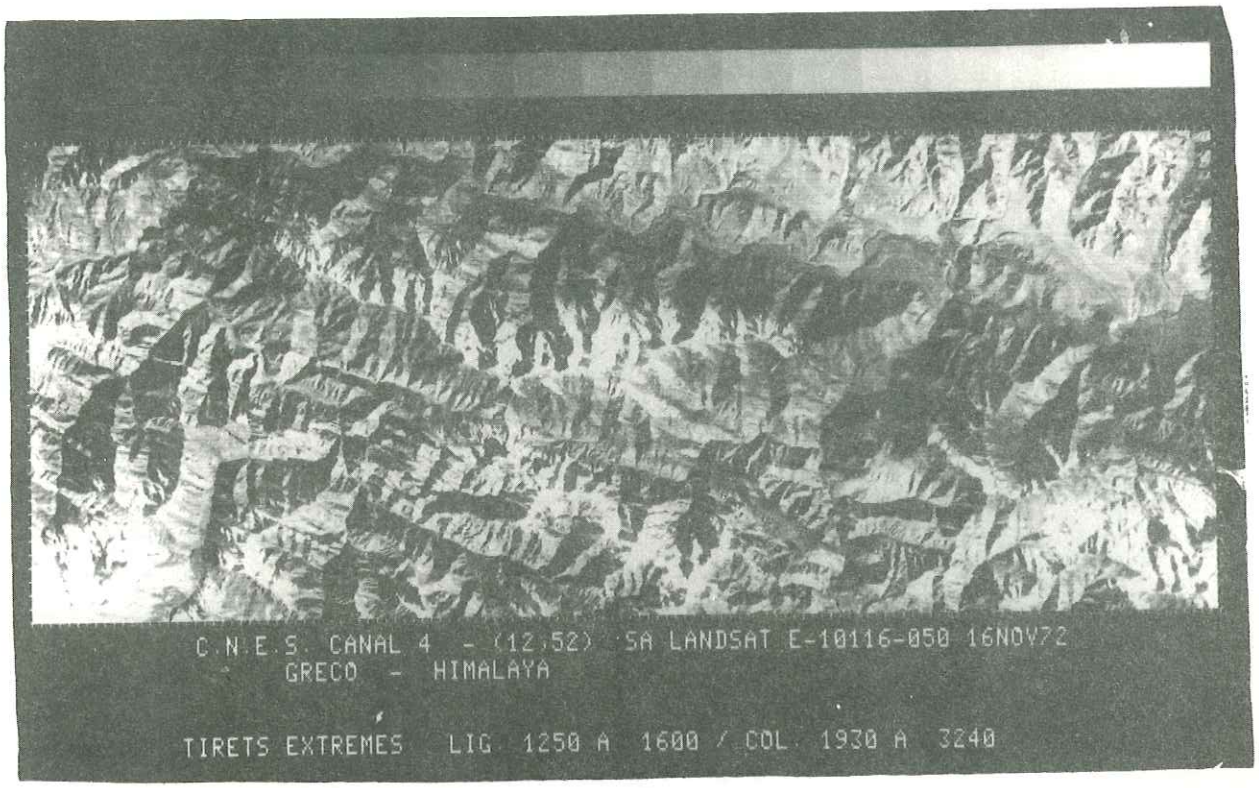
- **les séries de Temesgam:** sur l'image totale cette série, marquée par des niveaux blancs (?), se suit vers l'Ouest sur une grande distance (en zone interdite), mais semble ne plus affleurer à l'Est de Kargil.

Le passage latéral, s'il existe, des formations du bassin de Kargil aux formations du bassin de l'Indus ne se distingue pas.

tel-00641418, version 1 - 15 Nov 2011

tel-00641418, version 1 - 15 Nov 2011

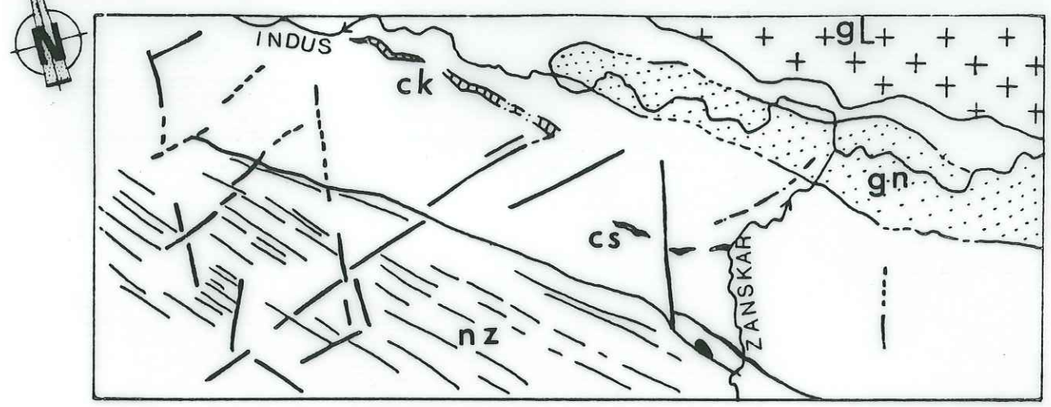




tel-00641418, version 1 - 15 Nov 2011

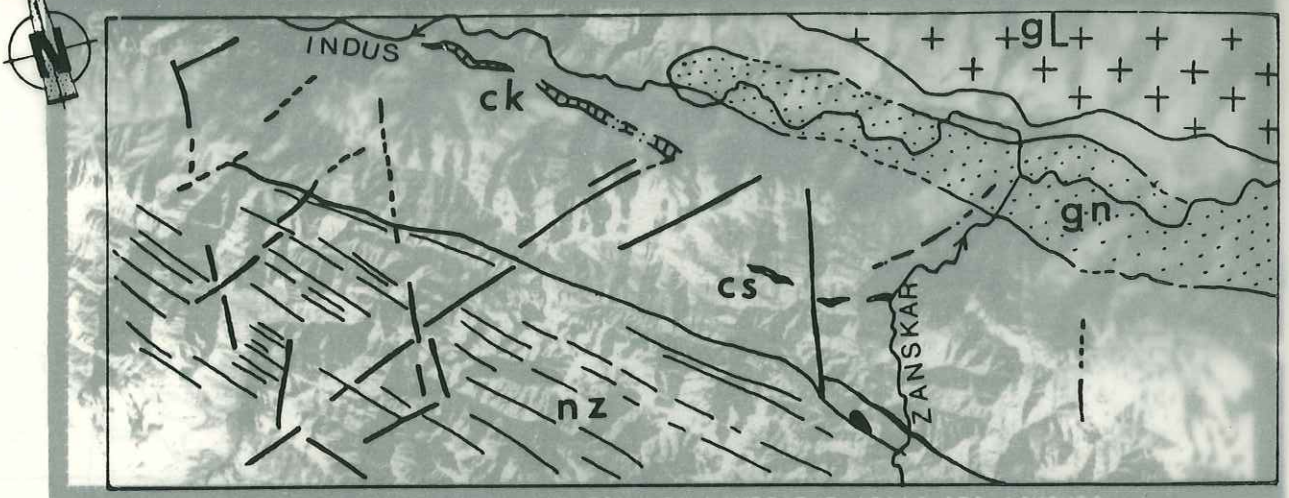
tel-00641418, version 1 - 15 Nov 2011

Fig.5.1:



Légende: gL = granodiorites du Ladakh
gn = grès de Nimu-Alchi
cs = calcaires de Sumdah-Gompa
ck = calcaires de Khalsi
nz = nappe des carbonates du Zanskar

Fig.5.1.

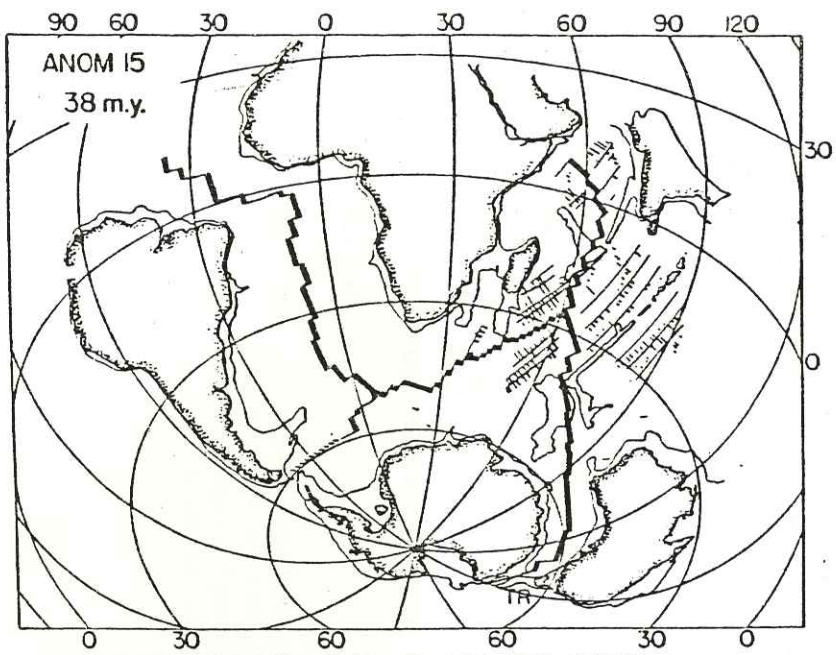


Légende: gL = granodiorites du Ladakh
gn = grès de Nimu-Alchi
cs = calcaires de Sumdah-Gompa
ck = calcaires de Khalsi
nz = nappe des carbonates du Zanskar

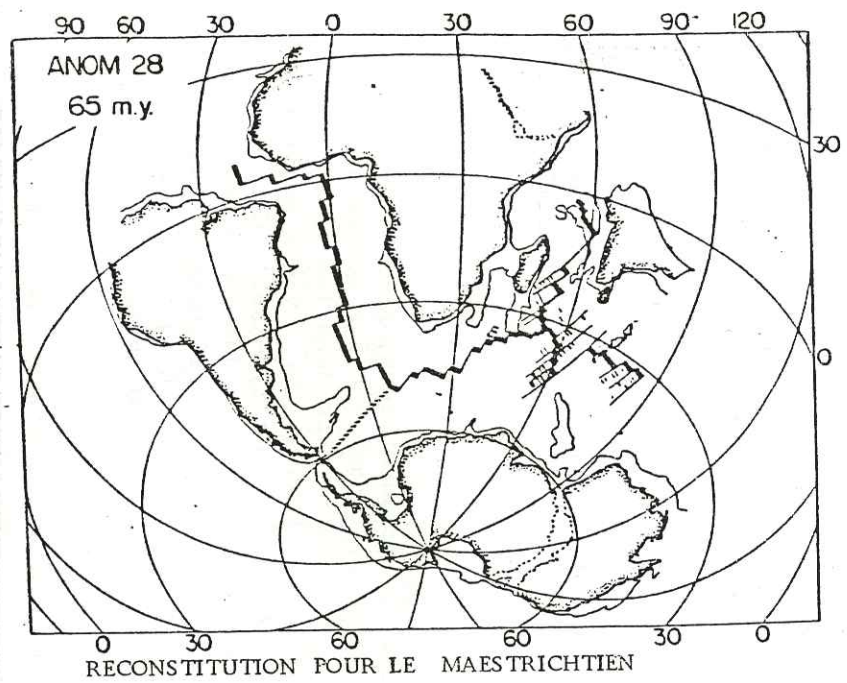
tel-00641418, version 1 - 15 Nov 2011

tel-00641418, version 1 - 15 Nov 2011

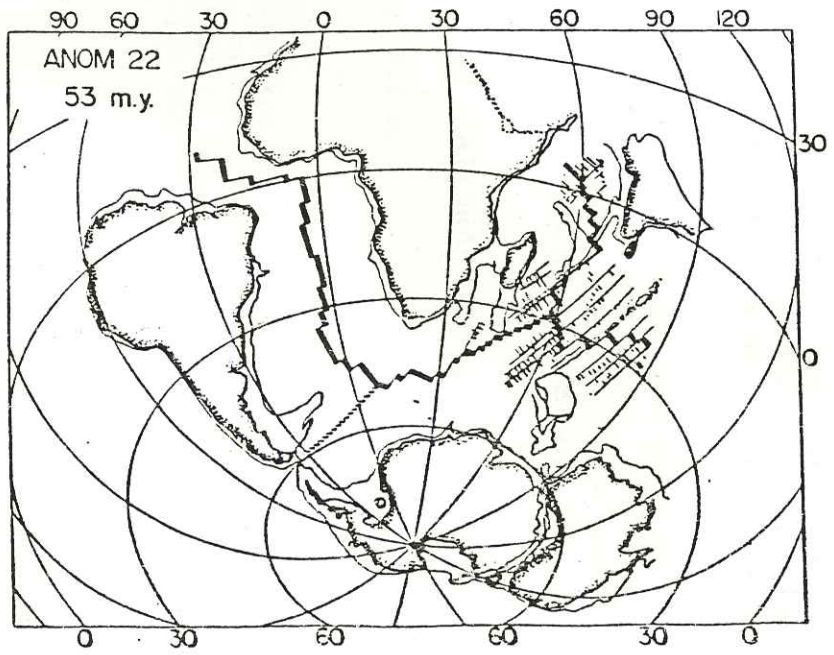
Figure 5.2 (NORTON, 1982)



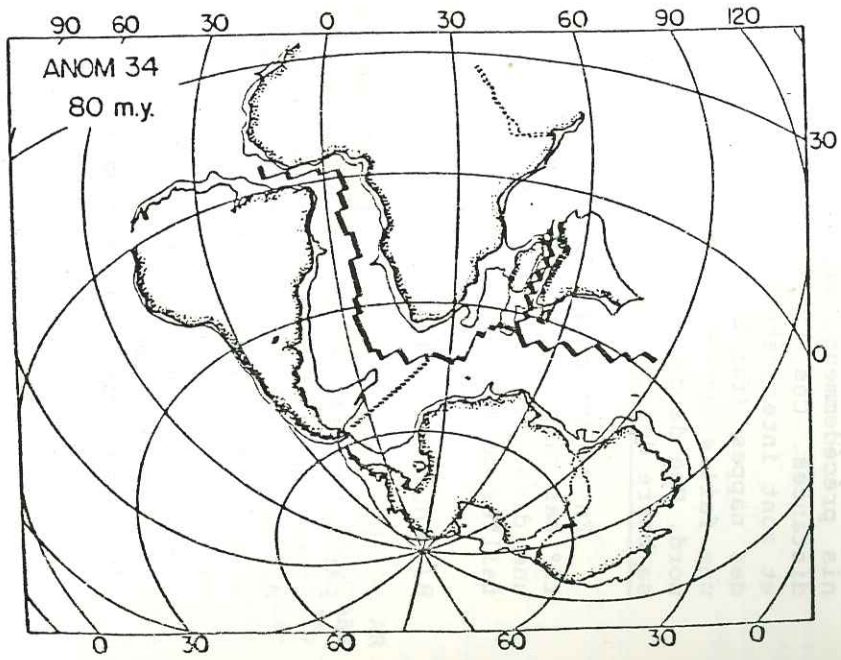
RECONSTITUTION POUR LE MIOCENE MOYEN



RECONSTITUTION POUR LE MAESTRICHTIEN



RECONSTITUTION POUR L'ILERDIEN



RECONSTITUTION POUR LE SENONIEN (SANTONIEN)

b/ Structures (canal 6)

Des linéations transverses aux différents domaines sédimentaires définis précédemment, apparaissent (fig. 5.1) et se suivent sur de grandes distances. Ces linéations ne semblent pas décaler les contacts majeurs, et sont interprétées soit comme des failles synchrones de la mise en place des nappes (failles de déchirement, voir Chapitre 4, p. 118), soit comme une faille inverse tardive postérieure à toutes les structures à vergence nord. Une de ces linéations aboutit à Lardo-brok, lieu ou disparaît l'épaisse barre des calcaires de Khalsi.

En tenant compte de la trajectoire du satellite (correction d'environ 13° par rapport au Nord magnétique), une première famille de failles montre une direction proche de N 50; elle est associée à une seconde famille de failles de direction conjuguées (N 110).

B/ PALÉOMAGNÉTISME

Un échantillonage, aux fins de mesures paléomagnétiques, a été effectué par G. MASCLE, d'une part dans les calcaires de Lingshet d'âge éocène inférieur appartenant aux nappes du Zanskar et d'autre part dans les calcaires de même âge (Eocène inférieur) affleurant le long de la rivière Zanskar au sein des unités du bassin de l'Indus (calcaires de Lydekker). Ces calcaires, se seraient déposés de part et d'autre de la limite entre les plaques indienne et eurasiatique. En effet, le bassin de l'Indus s'individualise sur la marge active tandis que les calcaires de Lingshet représentent les derniers niveaux marins de la marge passive nord indienne.

Les résultats préliminaires obtenus par J. BESSE indiquent qu'à l'Eocène inférieur (Ilerdien Cuisien) ces deux domaines étaient déjà juxtaposés et occupaient une latitude très proche de l'Equateur. Ceci signifie que la suturation entre le subcontinent indien et l'Eurasie était effectuée ou du moins imminente. Le résultat est en bon accord avec les résultats obtenus au Cachemire (Klootwijk et al., 1979-1980; 1983; 1984) et au Tibet (Pozzi et al., 1982; Westphal et al., 1983-1984; Courtillot et al., 1983), ainsi qu'avec les reconstitutions globales (voir fig. 5.2, d'après NORTON, 1982).

CHAPITRE VI
LE BASSIN DE KARGIL

INTRODUCTION

De nombreux auteurs (LYDEKKER, 1883; DAINELLI, 1934; SAHNI et BHATNAGAR 1958; TEWARI, 1964; TEWARI et DIXIT, 1972; TEWARI & SHARMA, 1972, BHANDARI et al., 1977; FRANK et al., 1977; SHAH et al., 1977; SAVAGE et al., 1977; BROOKFIELD et ANDREWS SPEED, 1983) définissent à l'Ouest de Kargil un bassin sédimentaire dont les formations terrigènes sont réputées représenter les derniers dépôts dans cette zone de la suture de l'Indus.

Pour certains, existerait un bassin molassique intramontagneux de haute altitude (comparable au bassin du lac Titicaca dans les Andes, BROOKFIELD et ANDREWS SPEED). Pour d'autres, ce bassin représenterait l'apophyse occidentale du bassin de l'Indus (voir première partie); les molasses continentales de la région de Kargil (Ladakh molasses) passant latéralement vers l'Est aux sédiments flyschoïdes de la région de Khalsi (Indus flysch) (TEWARI, SHAH et al., BHANDARI et al., SHANI et BHATNAGAR).

Notons que ces formations terrigènes sont incluses dans le terme général de "molasse de l'Indus" de FRANK et al.

Au Nord, les dépôts les plus anciens reposent en discordance sur la surface érodée et ondulée du batholite ladakhi, tandis qu'au Sud ces formations disparaissent sous la nappe (Pashkyum thrust) de l'unité de Nindam.

Enfin, l'âge de ce "bassin" est mal défini: Oligocène à Miocène (BROOKFIELD et ANDREWS SPEED), principalement tertiaire (SHAH et al), post-éocène moyen à pré-pléistocène (TEWARI, DIXIT, SAVAGE, GANSSER et DAINELLI), Eocène inférieur à Post-Eocène moyen (SHANI et BHATNAGAR), Eocène à Miocène (BHANDARI et al.).

A/ DESCRIPTIONS ET ANALYSES LITHOSTRATIGRAPHIQUES

1/ COUPE DE PASHKYUM-KARGIL (Fig. 6.1.a)

Introduction

La coupe effectuée le long de la Wakha river est la seule qui permette de recouper toutes les unités (cf. carte). Cette coupe a été décrite par SHANI et BHATNAGAR (1958), TEWARI et DIXIT (Wakha river formation-1972); BHANDARI et al. et plus récemment par BROOKFIELD et ANDREWS SPEED (1983) (Tableau 1).

tel-00641418, version 1 - 15 Nov 2011

Tableau 1 : Tableau de corrélations

SAHNI et BHATNAGAR 1956	BHARGAVI et al 1977	SHAH et al 1977	BROOKFIELD et ANDREWS SPEED 1983	MASCLE et VAN-HAVER 1984	Lithologie et évolution séquentielle	Fossiles	Environnement	Âge
10	Pashkyum formation	WAKKA RIVER FORMATIONS	6	1 formation de Pashkyum	Conglomérats rouges	Hyoboops palaeindicus Palmes Unio et Melania	Cône alluvial proximal	OLIGO-MIOCÈNE
9			5	2 formation de Chaskor	Pélites lie de vin et grès blancs arkhosiques		Plaine alluviale avec dépôts de rivières tressées	?
8	Jeruma formation		4	3	Grès noirs en petits bancs Pélites noires micacées	Charophytes , Palmes Subzebrimus gudeï	Lagune ou lac (dépôts de turbidites)	Ante-MIOCÈNE
7 6			3	formations de Kargil 4		Fimbria	Marin	?
5 4			2		Grès grossiers et lentilles de conglomérats Pélites rouges et grès	Débris de plantes	Plaine alluviale avec dépôts de rivières tressées	
3 2	Kargil formation		1	5	Conglomérats grossiers	Pollens et algues d'eau douce,palmes Unio Kohli ,planorbes Melania Kargilensis	Plaine alluviale proximale (rivières temporaires) Torrentiel	EOCÈNE à MIOCÈNE LUTETIEN (?) ?
					Granodiorites du Ladakh où laves de l'unité de Dras			

De haut en bas se distinguent: (voir fig. 6.1.b)

1- Des conglomérats rouges à galets émoussés de calcaires à Orbitolines, calcaires à Nummulites et Alvéolines, tuffites, radiolarites, grès rouges arkhosiques, granites et laves. La matrice est essentiellement tuffitique (Formation de Pashkyum: MASCLE et VAN HAVER, 1984). Ces conglomérats sont pincés en synclinal sous la nappe du flysch de Nindam.

2- Alternance de pélites lie-de-vin et de grès arkhosiques blancs (formation de Chaskor: MASCLE et VAN HAVER, 1984). Cet ensemble montre de nombreux paléosols (nodules calcaires, traces de racines, marmorisations), à la base un niveau gréso-calcaire orangé à fourni une faune de lamellibranches et gastéropodes d'eau douce J.C. FISCHER et A. LAURIAT-RAGE y ont déterminé des bivalves référables aux Unionacea (super famille connue du Trias à l'actuel, mais surtout répandue à partir de l'Oligocène et plus encore à partir du Mio-pliocène) et une espèce de gastéropode de la famille de Melaniidae.

C'est apparemment dans la même unité que DIXIT et al., (1971) ont découvert, non loin de Baroo colony, une molaire d'Anthracothère (Hyoboops Palaindicus, LYDEKKER) rapportée à l'Oligo-Miocène .

3- Un ensemble constitué par des grès en petits bancs (10 mètres) qui surmontent des pélites noires micacées riches en figures de base de bancs (Flute-casts) et restes de plantes (TEWARI et SHARMA (1972) y notent des Charophytes (Eocène supérieur à Oligocène)). C'est dans cette unité que TEWARI et DIXIT (1971) décrivent un gastéropode terrestre Subzebrimus gudeï) dont ils ne discutent pas l'âge.

4- Grès grossiers montrant des litages légèrement entrecroisés et lentilles de conglomérats. BHANDARI et al. (1977) ont dégagé dans cette unité des spores, des pollens et des algues d'eau douce qui indiqueraient, selon ces auteurs, un âge éocène à miocène (in BROOKFIELD et ANDREWS SPEED, 1983); nous y avons récolté des Mollusques déterminés par J.C. FISCHER et A. LAURIAT-RAGE , comme appartenant tous à une même espèce de Fimbria (ce genre semble parfaitement correspondre à la description (paratype) "d'Unio kohlii" proposé par SRIKANTIA (pl.VII, fig.2), toutefois J.C. FISCHER est formel: ce bivalve n'est manifestement pas un Unionidae), connu du Jurassique moyen à l'actuel, et qui est réputé avoir toujours été caractéristique de milieux marins francs.

5- Conglomérats grossiers à galets et blocs de granites reposant directement sur la surface des granodiorites du Ladakh. Ces conglomérats sont surmontés par une alternance de grès, parfois conglomératiques de teinte blanche et rose, et de pélites silteuses rouges, vertes ou gris verdâtre. Environ 70 mètres au-dessus de la surface des granodiorites, à Kurgalung, des shales silteux gris noir renferment une abondante faune de mollusques d'eau douce et d'arthropodes (In BROOKFIELD et A. SPEED, 1983). Cette faune semble correspondre à celle décrite par SAHNI et BHATNAGAR (1959): Unio kohlii, Melania kargilensis attribués à l'Eocène (Melania kargilensis ressemblerait d'après ces auteurs à Melania clementis décrite par Fossa Mancini à Urucha, ce qui laisserait penser que cette faune appartient bien à l'Eocène supérieur ?).

Ces trois dernières unités constituent la formation de Kargil (MASCLE et VAN HAVER, 1984).

tel-00641418, version 1 - 15 Nov 2011

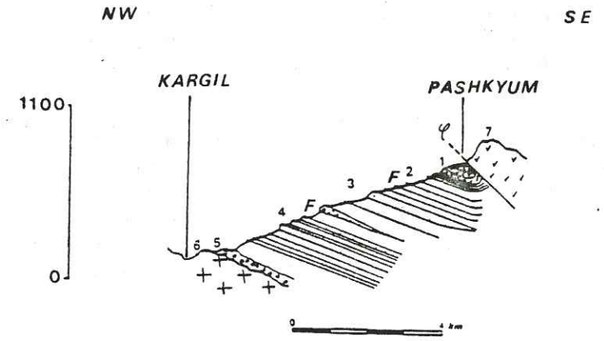


Fig. 6.1.a: Coupe dans les formations du bassin de Kargil le long de la riviére Wakka
1: Congloméräts de Pashkyum 2: Série rouge de Chaskor 3,4 et 5: For-
-mations de Kargil 6: Granodiorites du Ladakh 7: Unité de Nindam
F: Fossile

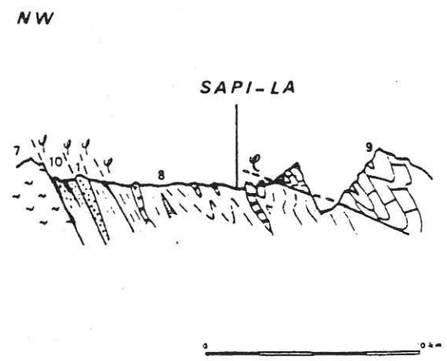


Fig. 6.1.c: Coupe du Sapi-la 1: Congloméräts de Pashkyum (Shergol) 7: Unité de Nindam 8: Flysch de Lamayuru 9: Carbonates de l'unité du Zanskar
10 : Semelle tectonique : Failles majeures

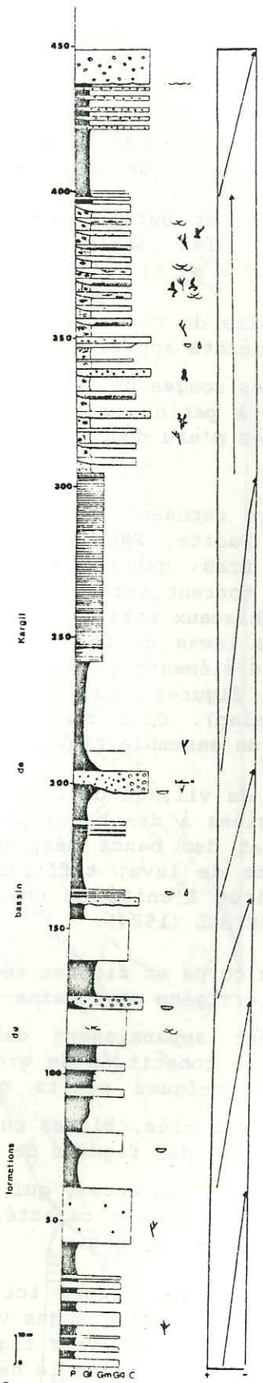


Fig.6.1.b: Coupe dans les formations du bassin de Kargil

tel-00641418, version 1 - 15 Nov 2011

2/ OBSERVATIONS LITHOSTRATIGRAPHIQUES ENTRE MARPOIL ET CHASKOR

1) Directement au Nord de Marpoil s'observe une épaisse barre de conglomérats stratifiés qui forme les falaises en rive gauche du torrent principal. Ces conglomérats polygéniques montrent de gros galets (centile 90 cm) de granites, laves, tuffites, radiolarites, métasédiments, grès fins et calcaires à orbitolines. La matrice est tuffitique et de teinte verte. Ces conglomérats sont analogues à ceux observés au sommet de la coupe de Paskhkyum (conglomérats de la formation de Pashkyum).

Entre Marpoil et Butum, on marche pendant 2 km sur le contact tectonique qui sépare les conglomérats de Marpoil de l'unité de Nindam sus-jacente (Fig. 6.2 a et b).

En rive droite du torrent principal qui rejoint la vallée de la Suru, sous les conglomérats apparaissent (voir Fig. 6.2.a):

. les couches rouges de l'unité de Chaskor (cf. coupe de Pashkyum);
. des grès à patine orangée que nous corrélons avec les grès riches en mollusques d'eau douce de la formation de Kargil (cf. coupe de Pashkyum).

Ces derniers reposent normalement sur l'unité de Dras (volcanites de Dras: Basalte, Dacite, Pyroclastite (HONEGGER, 1983); ensemble plutonique de l'unité de Dras: gabbros lités ou isotropes (REIBEL, 1984)). En rive gauche du même torrent vers le Sud, les séries rouges et les grès oranges disparaissent (biseaux stratigraphiques), les conglomérats surmontent alors directement les laves de Dras. Ceci tend à indiquer un domaine proximal au Sud (dépôts d'éléments grossiers) et de plus en plus distal vers le Nord. De tel cas de figures sont fréquents et caractéristiques des ensembles progradants (onlap). Dans cette partie du bassin s'observerait donc une **progradation d'un ensemble fluviatile depuis le Sud vers le Nord.**

2/ Au Nord du village de Chaskor affleurent des couches rouges silto-gréseuses associées à des bancs pluridécimétriques de grès grossiers arkhosiques blancs et des bancs métriques de grès moyens verts microconglomératiques (galets de lave, tuffites, quartz, grès fins et calcaires). Cet ensemble constitue l'unité de Chaskor (voir coupe de Pashkyum) et a été décrit par G. REIBEL (1984).

De nombreux corps et figures sédimentaires s'observent témoignant d'une sédimentation terrigène en domaine continental:

. localement apparaissent des lentilles de conglomérats (chenaux) exclusivement constitués de gros galets (50 cm) de calcaires à Orbitolines avec quelques petits galets de lave, granite et grès fins;

. les bancs de grès, blancs ou verts, montrent fréquemment des litages entrecroisés et des figures de base de bancs (load casts);

. au sommet des séquences, qui s'organisent en cyclothèmes, apparaissent parfois des paléosols caractérisés par des nodules calcaires ou des traces de marmorisations.

L'unité de Chaskor repose ici directement sur la surface ondulée et rubéfiée des métasédiments ou des volcanites (faciès ankaramitique: REIBEL, 1984) de l'unité de Dras (voir fig. 6.3). Localement la surface des roches volcaniques est altérée avant le dépôt des pélites et des grès continentaux de Chaskor; ceci se traduit par une conglomératisation avec très faible transport des galets (démantèlement et remaniement sur place dans des conditions aériennes).

Fig.6.2.a: Panorama depuis le chemin (c) qui mène de Marpoil à l'Arju-la. 1: Formations de Kargil 2: Série rouge de Chaskor 3: Conglomérats de Pashkyum 4: Unité de Nindam 6: Laves de l'unité de Dras ϒ: Chevauchement majeur Disc: Discordance

tel-00641418, version 1 - 15 Nov 2011

tel-00641418, version 1 - 15 Nov 2011

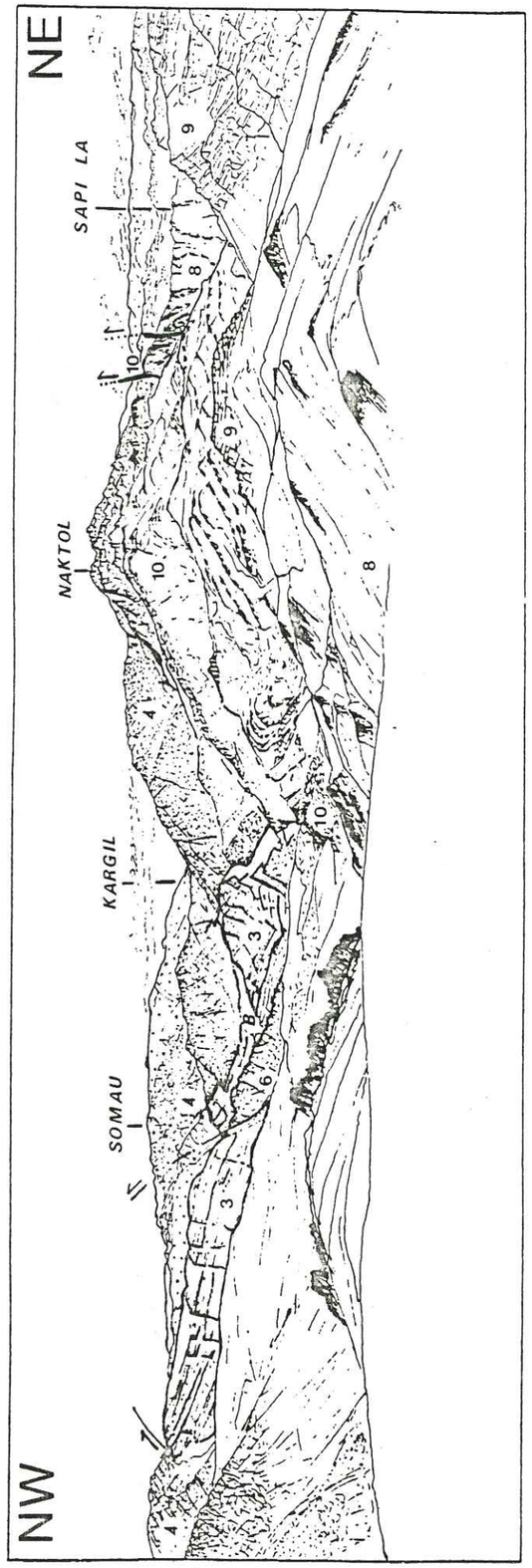


Fig .6.2.b: Panorama depuis le Russi-la d'après G. HONEGGER. 3 : Conglomérats de Pashkyum 4: Unité de Nindam 6: Laves de l'unité de Dras 8: Flysch de Lamayuru 9: Carbonates de l'unité du Zanskar 10: Semelle tectonique

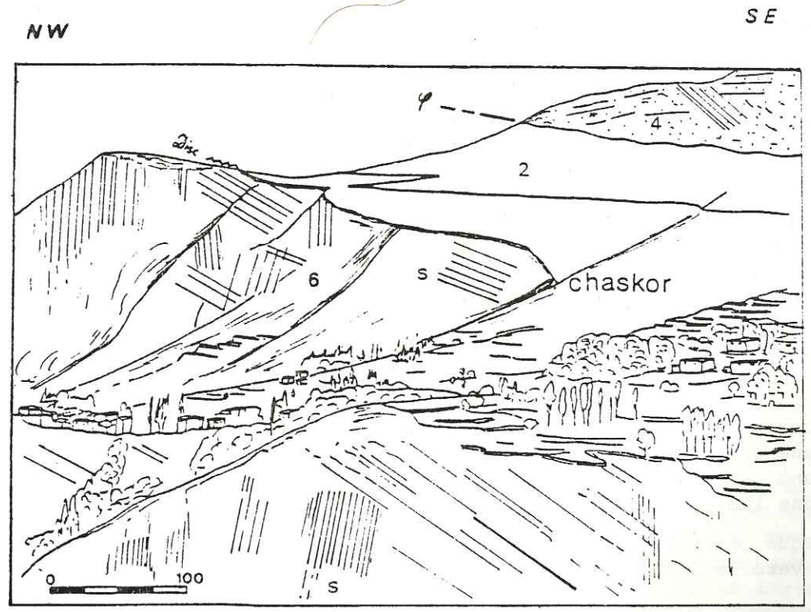


Fig .6.3.a: Panorama au dessus du village de Chaskor 2: Série rouge de Chaskor 4: Nappe de l'unité de Nindam 6: Laves de l'unité de Dras S: Schistosité Disc: Discordance φ: Chevauchement majeur

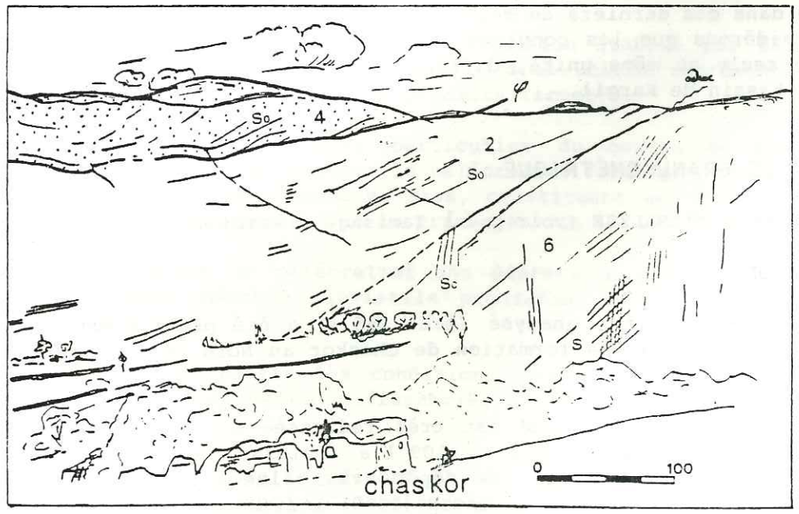


Fig.6.3.b: Panorama au dessus du village de Chaskor vu vers l'Ouest (même légende que la figure 6.3.a)

1, 3, 5 : Légende voir figure 6.1a.

Comme à Pashkyum, les séries continentales du bassin de Kargil (formation de Chaskor) sont chevauchées par la nappe de Nindam (voir fig. 6.3) formée ici de radiolarites blanches et rouges, de grès tuffitiques et de dolérites.

B/ PROBLÈME DES CONGLOMÉRATS DE SHERGOL

Entre Shergol et Marpoil, le flysch argilo-calcaire de Lamayuru chevauche l'unité volcanosédimentaire de Nindam (Fig. 6.1.c). Ce contact majeur est marqué par une zone tectonique plus ou moins large constituée par plusieurs écailles parfois très laminées (Fig. 6.4). Au Nord du Sapi-La, du Sud au Nord se distinguent:

- une lame de Serpentine;
- une bande discontinue de flyschs divers dont des flyschs à blocs;
- une **écaille de conglomérats** (conglomérats de Shergol) à galets polygéniques (péridotites, serpentinites, laves, radiolarites, calcaires oolitiques à Milioles, calcaires à orbitolines, grès fins). Par endroit on distingue de gros galets très altérés de granites. La matrice de ces conglomérats est parfois serpentineuse ou tuffitique ;
- une écaille de radiolarites associées parfois à des calcaires à Globotruncana (HONEGGER, 1983);
- une écaille de schistes bleus (MASCLE et al., à paraître);
- une bande de flysch pélito-gréseux;
- une lame de serpentine.

Chaque écaille est encadrée par des contacts tectoniques fortement pentés vers le Sud-Est;

Les conglomérats qui apparaissent à Shergol se suivent vers le Sud-Ouest jusqu'au Sapi-La, puis Marpoil, semblant se corréler avec ceux de Butum.

Pour étayer ces observations de terrain une analyse pétrographique comparée des galets a été réalisés (annexes) ; celle-ci montre que la seule différence entre les conglomérats de Pashkyum et ceux de Shergol, est la présence dans ces derniers de galets de péridotites (apport local ?). Ainsi, nous considérons que les conglomérats de Pashkyum et de Shergol représentent une seule et même unité, différenciée au sommet des séries continentales du bassin de Kargil.

C/ ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE

1/ METHODE D'ANALYSE (voir p. 61 :Tamisage classique)

2/ RESULTATS

Le seul échantillon analysé (éch. 155.4) a été prélevé dans les grès arkhosiques blancs de la formation de Chaskor au Nord du village de Pashkyum.

La courbe granulométrique est très redressée et peut-être comparée à celle obtenue pour l'échantillon 109.1.a (molasse multicolore de Nurla, cf. page 69) dont le milieu de dépôt très calme caractérise une plaine alluviale. La valeur du Sorting Index (1,66) indique un sédiment bien classé, celle de l'asymétrie montre un classement maximum du côté des grains grossiers.

La valeur du Qd phi (0,75) indique une tendance fluviatile relativement bien marquée.

De même les diagrammes de FRIEDMAN et de PASSEGA ne laissent aucun doute quant à l'appartenance de ce sédiment à un domaine fluviatile (sédiment constitué de grains roulés); la présence de Lamellibranchesd'eau douce renforce cette conviction.

D/ ESSAI DE RECONSTITUTION PALÉOGÉOGRAPHIQUE (voir Fig. 6.5.)

Trois coupes sont nécessaires pour reconstituer une paléotopographie; celle-ci guidant le mode de sédimentation dans le "bassin" de Kargil.

a- Dans un premier temps, au Nord de l'actuel village de Chaskor se seraient déposés, directement sur la surface ondulée du batholite ladakhi, des sédiments détritiques très grossiers (1) issus du démantèlement de ce même batholite granodioritique. La grosseur des blocs anguleux de roches plutoniques (atteignant plusieurs mètres cubes), ainsi que le très mauvais classement de ce sédiment laisse envisager un mode de dépôt torrentiel.

b1- Par la suite, toujours au Nord de Chaskor, s'observe un ensemble gréso-pélitique (2) dont le faciès rappelle celui observé dans les séries continentales de plaines alluviales proximales (dépôts de rivières tressées avec des chenaux d'une profondeur maximale de 14 mètres:BROOKFIELD et A. SPEED, 1983). Cependant au toit du banc sommital de cet ensemble gréso-pélitique, des bivalves caractéristiques du milieu marin témoignent d'un brusque changement de milieu (transgression). Cette incursion marine paraît avoir été brève (les jeux de transgression et de régression en période tectoniquement très active se font en des laps de temps géologiques très courts). Dans ce contexte, les pélites silteuses noires micacées (3) et la barre constituée de petits bancs de grès fins noirs pourraient correspondre à des dépôts accumulés dans les grandes flaques résiduelles (lagunes) qui s'individualisent lors d'une régression (la présence de gastéropodes terrestres indique un milieu proche d'un domaine continental). Ces flaques sont susceptibles de recevoir d'importantes quantités d'eau douce (drainage de fleuves vers les dépressions) d'où la présence de charophytes.

Ce schéma est proche de la reconstitution établie par BROOKFIELD et A.SPEED (1983) qui considèrent que ces deux unités représenteraient des dépôts turbiditiques au sein d'un prodelta lacustre.

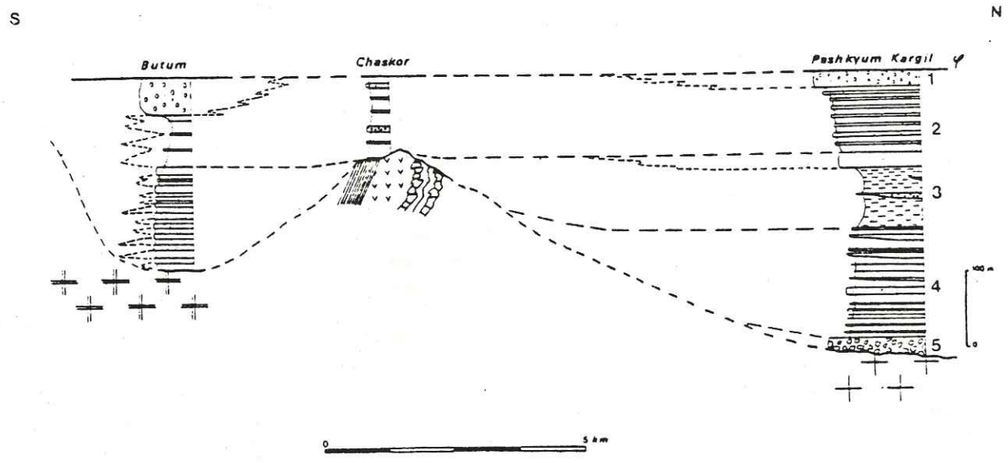
Cet ensemble sédimentaire particulier du bassin de Kargil ne se retrouve pas au Sud de Chaskor; le paléorelief formé par le massif à ossature ankaramitique de l'unité de Dras, constituant une barrière naturelle non franchie par la mer lors de la transgression.

b2- Au Sud de ce paléorelief une dépression piégeait les sédiments terrigènes d'un ensemble fluviatile progradant vers le Nord (voir page 142).

c- Au Nord du bassin les conditions lacustres disparaissent; pendant le même temps la dépression différenciée au Sud du paléorelief de Chaskor va se combler.

Dans tout le bassin les dépôts s'effectuent dès lors en milieu continental (4), proximal au Sud (conglomérats reposant directement sur le substratum de Dras), de plus en plus distal vers le Nord (pélites rouges de l'unité de Chaskor).

tel-00641418, version 1 - 15 Nov 2011



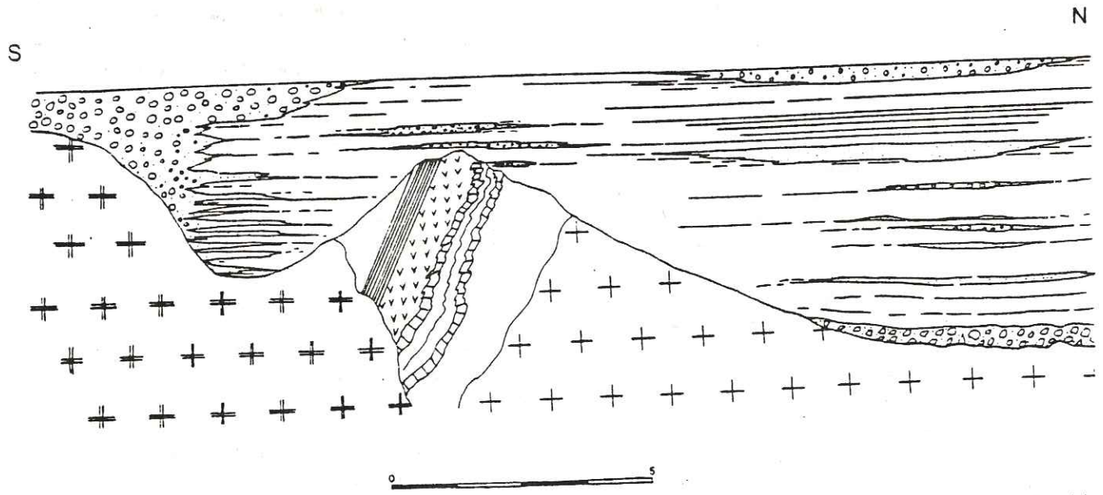


Fig .6.5: Reconstitution paléogéographique du bassin de Kargil. 1: Conglomérats de Pashkyum 2: Série rouge de Chaskor 3, 4 et 5: Formations de Kargil

Dans les régions de Butum et de Pashkyum, les derniers dépôts sont représentés par des conglomérats. Dans certaines parties du bassin et notamment à Chaskor, ces dépôts grossiers n'apparaissent pas (lacune), et seules s'observent des pélites rouges. Cette zonation sédimentaire conduit ainsi à envisager un schéma paléo-hydrographique dont les axes principaux déboucheraient dans la partie occidentale du bassin de Kargil.

E/ TECTONIQUE

1- Une grande partie des formations du bassin de Kargil plongent de façon monoclinale, d'environ 40° vers le Sud-Est.

Seule une étroite bande de sédiments est pincée, voire broyée, directement au contact avec la nappe de Nindam (Pashkyum, Shergol, Chortenchen). Ainsi, la matrice des conglomérats de l'unité de Pashkyum montre-t-elle une schistosité de fracture très raide parallèle à ce contact tectonique majeur (rétrocharriage vers le Nord, BASSOULLET et al., 1978-1983). Les galets de ces mêmes conglomérats sont traversés par cette schistosité tardive et sont parfois cisaillés (décalage d'environ 5 cm) ou broyés (Fig. 6.7).

Les mesures de stries effectuées sur les rares plans de faille qui affectent les unités du bassin de Kargil, ont été reportées sur un canevas de Schmidt. En utilisant la méthode des dièdres droits (ANGELIER et al., 1977), nous avons pu estimer que la compression était proche de Nord 10 (voir carte structurale); toutefois, le faible nombre de stations et de mesures ne nous permet pas de tirer une conclusion de cette estimation (les tableaux de mesures ainsi que les reports sur canevas sont placés en annexe avec ceux concernant le bassin de l'Indus).

2- CHRONOLOGIE DES EVENEMENTS TECTONIQUES: CORRELATIONS (fig. 6.8)

Les observations effectuées le long de la coupe qui mène de Shergol à Kargil, par le Sapi-La, puis l'Argu-La, nous permettent d'envisager un schéma d'évolution structurale dans lequel sont impliqués les conglomérats de l'unité de Pashkyum (chronologie des évènements tectoniques qui ne tient pas compte des phases antérieures ayant affecté le flysch de Lamayaru ou celui de Nindam).

Dans cette évolution deux étapes principales se distinguent:

1) Charriage de l'unité de Nindam sur les séries du bassin de Kargil, ce qui correspond à la phase Z2 ("rétrodéversement vers le Nord") de BASSOULLET et al. (1983). La nappe de Nindam repose sur les conglomérats par l'intermédiaire d'une semelle tectonique (coloured melange HONEGGER et al., 1982) constituée de plusieurs écailles de matériel varié (radiolarites, calcaires, schistes bleus, flysch pélito-gréseux), séparées par des contacts tectoniques parfois jalonnés de serpentine. La schistosité de fracture observée dans les conglomérats serait en partie due à l'arrivée de cette nappe.

2) L'édifice structural ainsi réalisé est replié lors du charriage vers le Nord du flysch de Lamayuru. La nappe de Nindam est elle-même affectée de grandes failles jalonnées de serpentine; il ne serait pas impossible que ces failles puissent également recouper les conglomérats de Pashkyum. A la base du flysch de Lamayuru apparaît de nouveau une semelle tectonique (flyschs à blocs), si bien que les conglomérats de Pashkyum qui affleurent entre Shergol et Isganiap, se retrouvent pincés (écaille tectonique) entre les semelles des nappes de Nindam et de Lamayuru (cf. fig. 6.4).

tel-00641418, version 1 - 15 Nov 2011

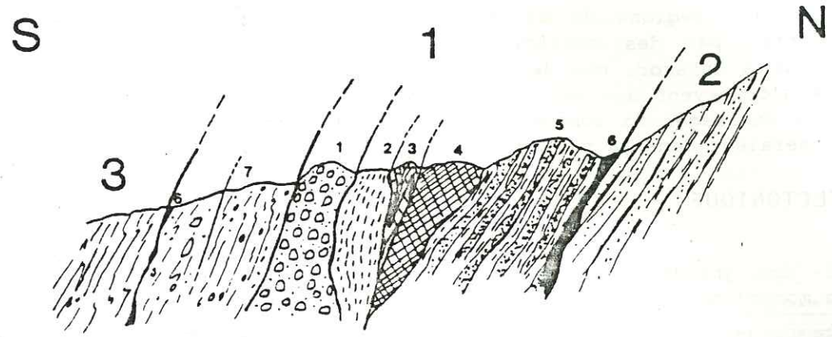


Fig .6.4: Coupe juste sous le Sapi-la **2**: Unité de Nindam **3**: Flysch de Lamayuru
1 Semelle tectonique 1: Conglomérats de Pashkyum (Shergol) 2: Radiolarites
3: Calcaires à Globotruncana 4: Schistes Bleus (Glaucophane et Crosite)
5: Flysch pélito-grèseux 6: Serpentine 7: Flysch à blocs

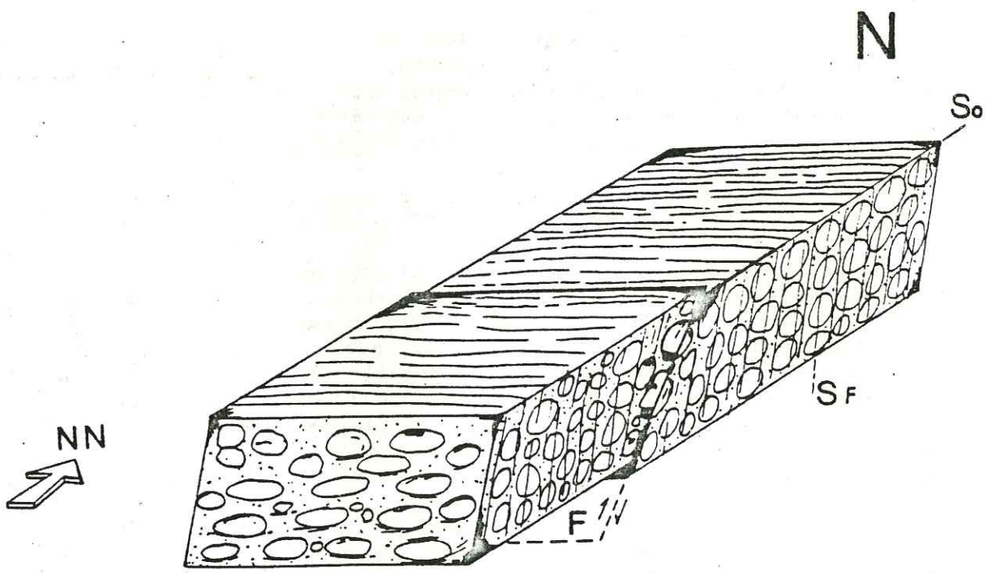


Fig .6.7: Déformations dans les conglomérats de Pashkyum (galets cisaillés et schistosité de fracture) F: Faille Sf: Schistosité de fracture
So: Plan de stratification NN: Nappe de Nindam

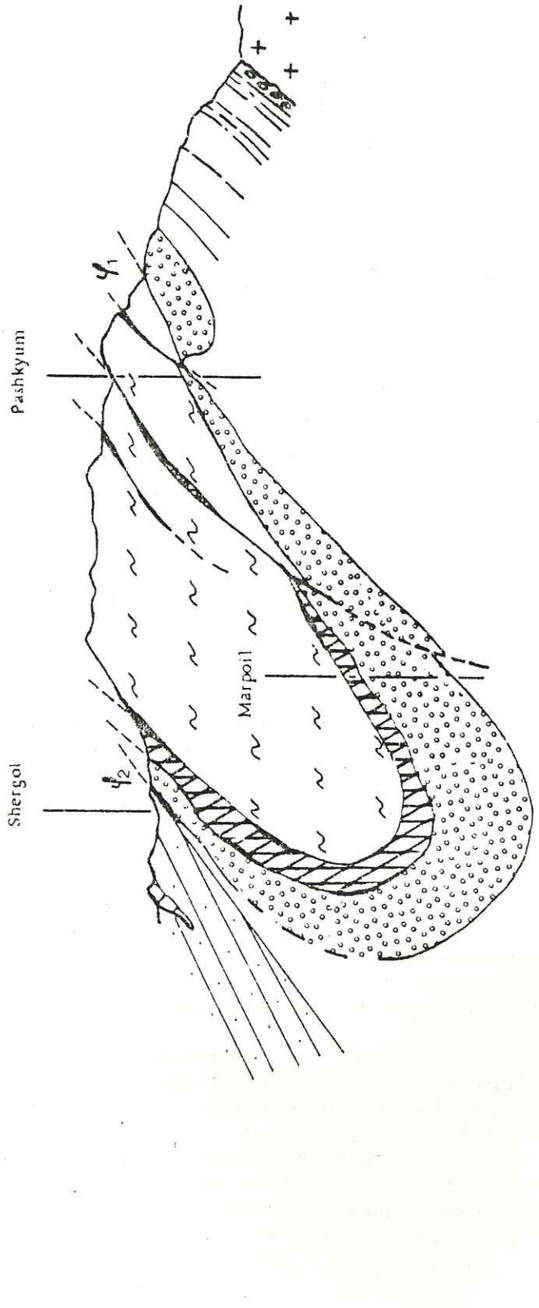


Fig .6.8: Interprétation des structures dans la région de Kargil et rapport des différentes nappes vis à vis des conglomérats de Pashkyum

tel-00641418, version 1 - 15 Nov 2011

La déformation qui apparaît dans ces écailles de conglomérats est doublement marquée (schistosité de fracture très pénétrative, aussi bien dans la matrice que dans les galets).

Cet évènement tectonique, bien que postérieur au premier, s'inscrit dans la même dynamique tangentielle de rétrocharriage vers le Nord (phase Z4).

tel-00641418, version 1 - 15 Nov 2011

CHAPITRE VII

LE LADAKH - UNE ANCIENNE MARGE PRISE EN COLLISION

A) LES DIFFÉRENTS DOMAINES DE LA MARGE (FIG.7.1)

1) LE BATHOLITE LADAKHI

Le batholite Ladakhi appartient à une ceinture granodioritique calco-alcaline à subalcaline développée tout au long de la zone de suture Indus-Yarlung Tsangpo (Ladakh Kangdese). Son âge varie de 103 à 27 MA. Il résulte de la disparition d'une croûte océanique le long d'un plan de subduction plongeant vers le Nord. On sait qu'au Tibet, il est intrusif dans une série sédimentaire reposant sur une croûte continentale, déformée à l'Albien; il est accompagné par des séries volcaniques calco-alcalines (Lingzizong).

2) L'ENSEMBLE VOLCANO-PLUTONIQUE DE DRAS

Cet ensemble (Jurassique supérieur - Crétacé moyen) montre une phase essentiellement basaltique sous saturée et tholéïtique correspondant à l'édification d'une épaisse croûte d'arc sur croûte océanique (REIBEL, 1984).

3) LA CROUTE OCEANIQUE

La croûte océanique fossile subsiste dans la région de la suture, soit sous forme d'écailles emballées ou coincées entre les différentes unités tectoniques, soit dans la klippe de Spongtang-Photaksar. Il s'agit des restes d'une ou plusieurs nappes ophiolitiques charriées versle Sud, parfois jusque sur les sédiments de la plate-forme indienne.

4) LE COMPLEXE DE SUBDUCTION ET LE PRISME ACCRETE

Plusieurs éléments peuvent être rapportés à un ancien complexe de subduction.

a) Schistes bleus

Des écailles de schistes bleus ont été observées localement (région du Sapi-La: à paraître; région d'Ursi et d'Hinju: communication personnelle G. MASCLE). Elles sont parfois reprises dans les rétrocharriages tardifs.

b) Flysch à blocs

Des lames de flysch à blocs sont également insérées entre les unités tectoniques et principalement entre la nappe de Nindam et celle de Lamayuru.

c) Les formations de Nindam

Hétéropiques de la base des formations de l'Indus, caractérisées par des faciès greywackeux se situant tectoniquement entre les schistes bleus et les flyschs à blocs d'une part, et d'autre part l'ensemble série de l'Indus-batholite Ladakhi.

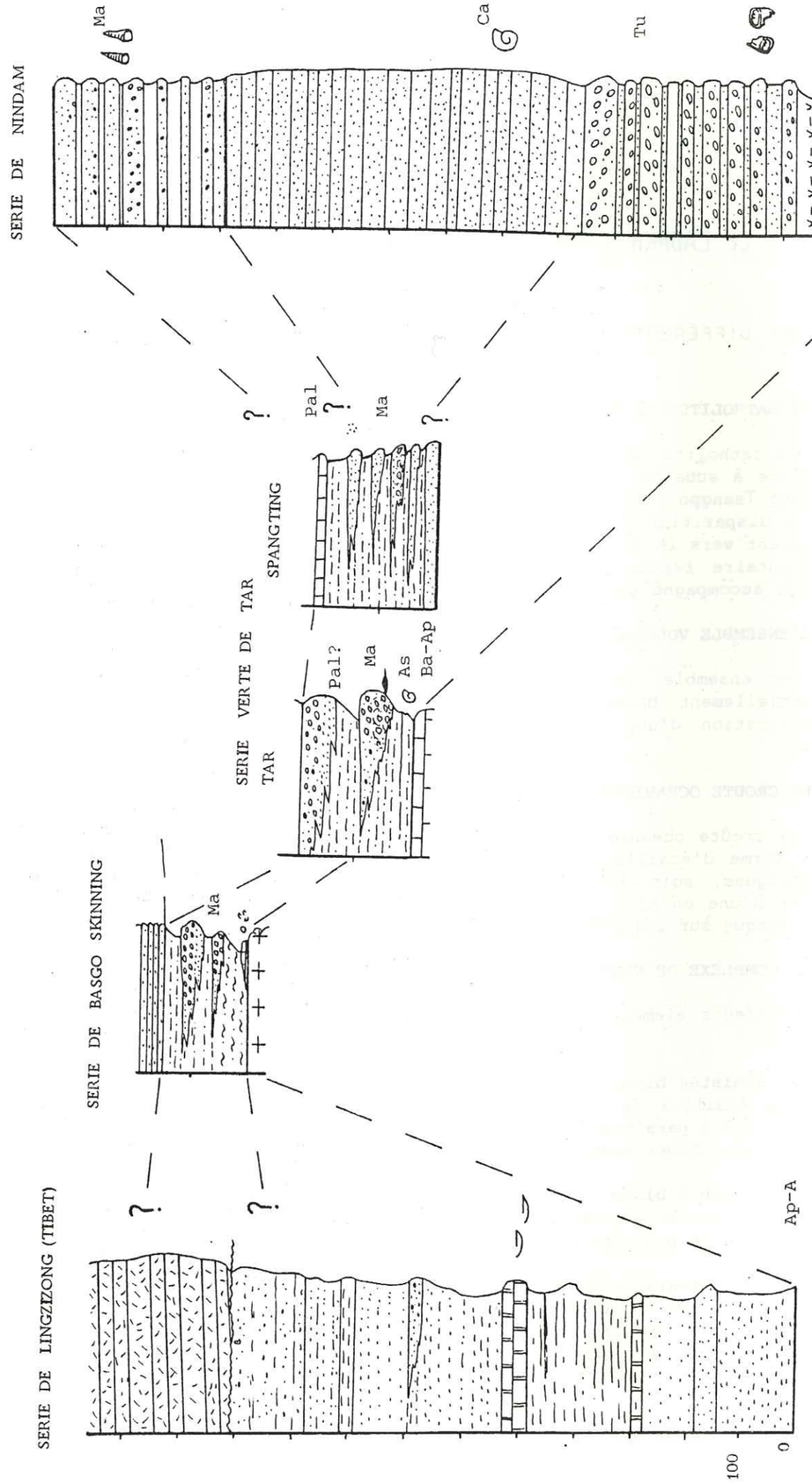


Fig. 7.1: Les différents domaines du "Forearc" (en excluant les séries de Lingzizong)
Les flyschs à blocs dont l'épaisseur est inconnue ne sont pas représentés; ils devraient apparaître au Sud de la série de Nindam.
Légende: Ba-Ap: Barrémo-Aptien; As: Albien supérieur; Tu:Turronien; Ca: Callovien
Ma: Maestrichtien; Pal: Paléocène.

5) CONCLUSION

L'ensemble présente donc les différents éléments constitutifs d'une marge active selon les définitions de SEELY et DICKINSON (1977) et SEELY (1979) (Fig. 7.2).

Dans les marges actives actuelles, la distance séparant l'arc magmatique du fossé de subduction, et qui correspond au "forearc" (voir Fig. 7.2.), varie entre 150 et 200 km en fonction de l'angle de plongement de la surface de subduction.

B) ESSAI DE COMPARAISON AVEC LES MODELES DE MARGES ACTIVES ACTUELLES

1) LES PRINCIPAUX SCHEMAS ACTUELS

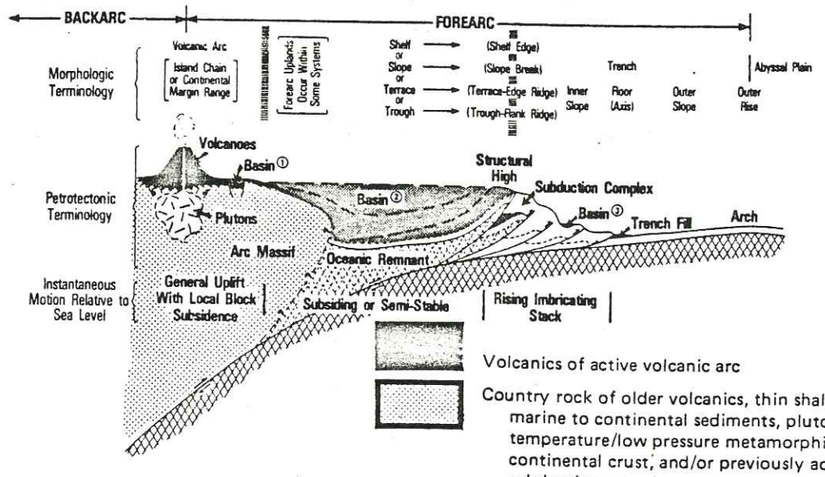
D'après DICKINSON (1976), les marges continentales peuvent présenter quatre aspects (voir Fig. 7.3). Deux types représentent les marges convergentes (convergence frontale) et un, les marges coulissantes (coulissement pur). Cependant une convergence peut s'effectuer avec une composante coulissante non négligeable, par exemple (Fig. 7.4) le long des côtes nord-ouest canadiennes (Iles de la Reine Charlotte).

2) LA MARGE SUD-TIBETAINE - Une ancienne marge de type andin au Crétacé supérieur Paléocène

Effectuons une comparaison avec la marge péruvienne. Celle-ci montre actuellement (Fig. 7.5, d'après COUCH et WHITSETT, 1981; JONES, 1981; THORNBURG et KULM, 1981; in Nazca Plate), un "forearc" composé de deux sub-bassins séparés par un haut fond (outer Shelf High: Lima plateform, voir Fig.7.5). Les bassins de Salaverry et de Pisco Est sont discordants à l'Est sur le batholite Andin; ils représentent le "Inner forearc basin" de SEELY et DICKINSON (1979) ou le "constructed basin" de SEELY (1979). Les bassins de Yaquina, Lima et Pisco ouest, situés plus près de la fosse correspondent à l'"outer forearc basin" de SEELY et DICKINSON (1979) ou à l'"accretionary basin" de SEELY (1979). Comme le remarquent THORNBURG et KULM, le haut fond séparant ces deux domaines n'est pas continu, le "forearc" interne pouvant localement communiquer avec le "forearc" externe et le contaminer par des apports sédimentaires.

Dans un schéma de ce type le bassin de l'Indus représenterait l'équivalent du "forearc" interne et le bassin de Nindam, le "forearc" externe. Ce schéma est compatible avec ce que nous savons des alimentations sédimentaires du bassin de l'Indus (voir Chapitre II-Sédimentologie), il est également compatible avec les dimensions restituées du bassin de l'Indus (environ 60 km, une fois les structures dépliées) si l'on tient compte du fait que la subduction péruvienne est très plate (forearc large de 250 km; plongement de la surface de subduction d'environ 15°).

tel-00641418, version 1 - 15 Nov 2011



Volcanics of active volcanic arc

Country rock of older volcanics, thin shallow-marine to continental sediments, plutons, high temperature/low pressure metamorphics, older continental crust, and/or previously accreted subduction complex

Abyssal plain, trench, or slope sediments, and their structured equivalents that together with dismembered ophiolites, low temperature/high pressure metamorphics, etc. in thrust sheets, isoclines, and melanges form subduction complex

Forearc basin of deep-marine to nonmarine facies

1. Intra-massif basin
2. Residual basin
3. Accretionary basin
4. Constructed basin
5. Composite basin

Fig.7.2 : Generalized forearc model for an instant of geologic time (Seely and Dickinson, 1977). The features are transient in time and space, and may become superposed. The terminology of the present paper begins at the "BACKARC-FOREARC" line.

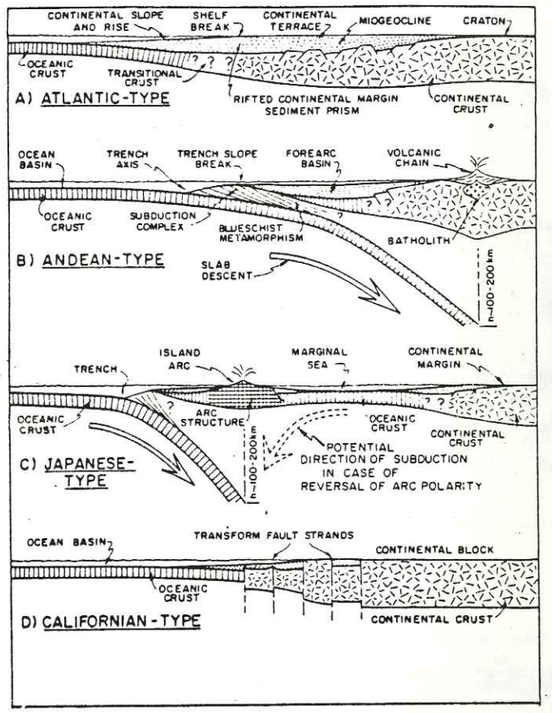


Fig. 7.3 Tectonic configurations of continental margins (after Dickinson, 1976).

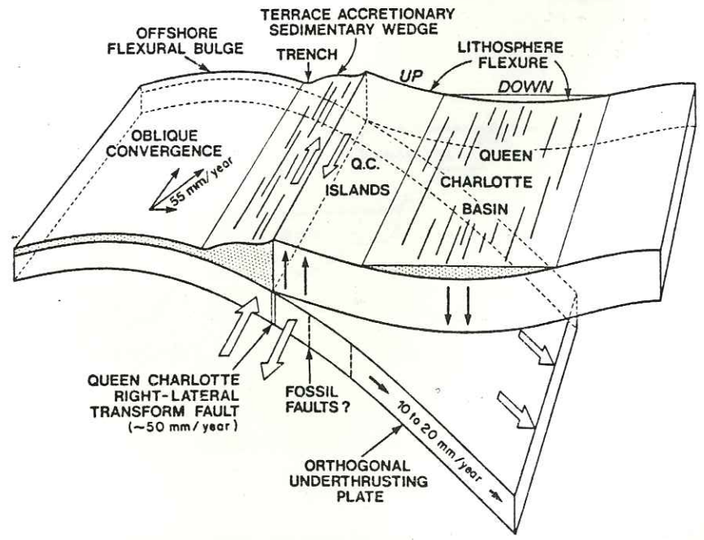


Fig. 7.4 Schematic diagram illustrating the flexure of the continental lithosphere generated by margin underthrusting. The Queen Charlotte Islands are uplifted and Queen Charlotte Basin is sympathetically depressed.

tel-00641418, version 1 - 15 Nov 2011

Légende de la figure page 159

a) Représentation de la côte péruvienne et des différents bassins compris entre le batholite andin et la fosse de subduction.

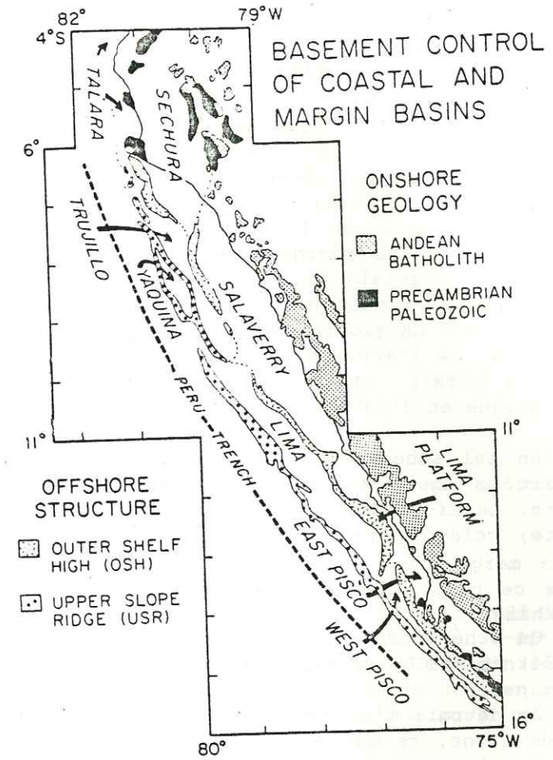
b) Coupe de la marge péruvienne représentant les bassins de Salaverry et de Yaquina.

c) Profil gravimétrique de la marge péruvienne au niveau du bassin de Pisco

tel-00641418, version 1 - 15 Nov 2011

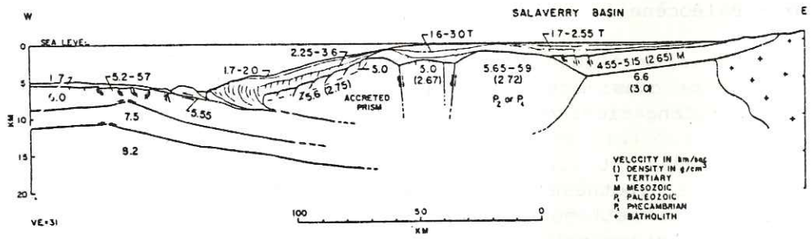
a)

THORNBURG et KULM



b)

JONES



c)

COUCH et WHITSETT

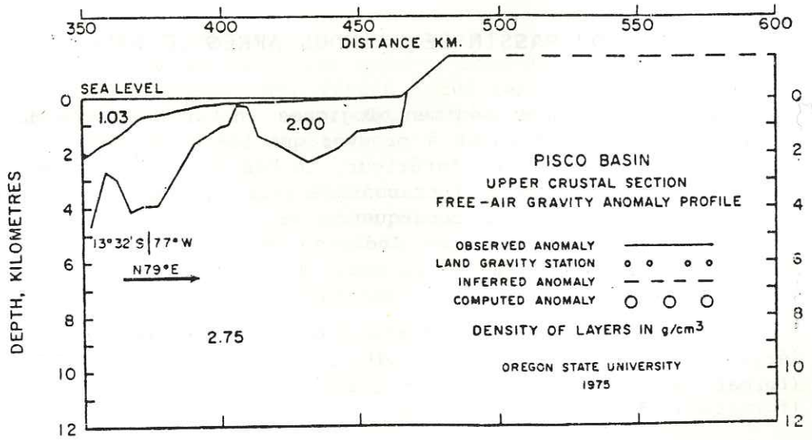


Fig.7.5: In Nazca Plate (1981)

3) LA MARGE SUD TIBETAINE: une ancienne marge de type canadien au Crétacé supérieur - Paléocène

La comparaison est effectuée ici avec le bassin de la Reine Charlotte (YORATH et HYNDMAN; 1983). Cette marge est située dans une région de convergence très oblique; la direction de transport fait actuellement un angle de 65° avec celle de la fosse. Cet angle est apparu il y a environ 60 MA à la suite d'une réorganisation des limites de plaques; précédemment une subduction frontale ou presque régnait dans la région. C'est cette obliquité qui a conduit au soulèvement des anciennes tholéites d'arc (Iles de la Reine Charlotte), mises en place au cours de l'épisode de subduction précédent. A l'arrière de celles-ci s'est développé un bassin sédimentaire (Hecate Strait et Queen Charlotte sound) appuyé d'une part sur l'arc magmatique et d'autre part sur les tholéïtes.

Un tel schéma est possible au Ladakh; le bassin de l'Indus représenterait un équivalent du détroit d'Hécate et de la baie de la Reine Charlotte. Les formations de Dras correspondraient aux îles de la Reine Charlotte; cela implique qu'elles soient partiellement structurées et collées à la marge sud tibétaine avant l'individualisation du bassin de l'Indus; dans ce cas, elles peuvent apparaître comme le substratum des calcaires de Khalsi.

Un schéma de ce type a été envisagé par REIBEL (1984), SCHARER et al. (1984) et MASCLE (à paraître).

Le détroit d'Hécate, dans sa partie la plus étroite mesure environ 110 km de large, ce qui est un ordre de grandeur acceptable pour le bassin de l'Indus dont nous ne connaissons que la partie appuyée au batholite.

4) LE BASSIN DE L'INDUS - Un ancien bassin d'arrière arc au Crétacé supérieur - Paléocène).

Le bassin de l'Indus, situé à l'intérieur des tholéïtes d'arc de Dras, pourrait être considéré comme un bassin d'arrière arc. Cela a été envisagé pour sa prolongation vers l'Ouest au Pakistan (TAHIRKHELI et al., 1979).

Les données stratigraphiques et structurales actuelles permettent de réfuter cette hypothèse dans la mesure où l'essentiel des séries du bassin de l'Indus est nettement postérieur aux séries d'arc de Dras et où l'arc magmatique, contemporain des séries de l'Indus (batholite Ladakhi) est précisément situé au Nord. Les séries du bassin de l'Indus sont donc bien en position d'avant-arc par rapport à celui-ci.

C) ÉVOLUTION DU BASSIN DE L'INDUS APRÈS LE PALÉOCÈNE

Toutes les données sédimentologiques (nature et sens des apports ..) et paléomagnétiques tendent à prouver que les blocs Indien et Sud Tibétain étaient soudés à l'Eocène inférieur. Le bassin de l'Indus est alors impliqué dans une collision intracontinentale provoquant un épaississement crustal. Celui-ci a pour conséquence de soulever les différents domaines des anciennes marges (marges Indienne et Sud-Tibétaine); les conditions marines disparaissent alors, laissant la place, dans la région de l'Indus, à une sédimentation en domaine continental.

Par la suite, sous les effets persistants de la compression liée à la dérive vers le Nord du bloc Indien, les formations du "forearc" externe (formations de Nindam) viennent chevaucher les séries du "forearc" interne (formations du bassin de l'Indus).

tel-00641418, version 1 - 15 Nov 2011

CHAPITRE VIII - CONCLUSION GENERALE

Les caractéristiques tant stratigraphiques que structurales permettent de définir le bassin de l'Indus comme une entité propre ayant évolué à l'avant d'une marge active durant près de 50 MA avant d'être coincée dans une collision intracontinentale qui dure depuis près de 50 MA.

A) STRATIGRAPHIE ET SÉDIMENTOLOGIE

Les observations stratigraphiques, paléontologiques et sédimentologiques permettent de définir neuf unités lithostratigraphiques.

1) AU SUD

La série verte de Tar: A l'Albien supérieur, époque où s'individualise le bassin, se déposent sur les calcaires de plate-forme Bédoulo-Aptien, des sédiments terrigènes marins (ammonites, bélemnites et foraminifères) de type flysch caractérisant un "deep sea fan". Ce mode de sédimentation se poursuit durant tout le Crétacé supérieur et sans doute aussi pendant le Paléocène inférieur.

Les calcaires de Sumdah Gompa: Ils caractérisent au Paléocène un épisode de plate-forme carbonatée et terrigène (milieu tantôt marin (algues), tantôt continental (paléosols)).

Les calcaires à Nummulites (LYDEKKER) : Les nouvelles datations permettent de préciser l'âge Ilerdien-Cuisien (Eocène inférieur) de cette série carbonatée de plate-forme, riche en grands foraminifères. Celle-ci passe latéralement vers le Sud et vers l'Est à des faciès plus distaux où viennent s'épandre des turbidites gréso-calcaires.

Les marnes d'Urucha: Cette unité montre un passage progressif des formations marines aux formations continentales à l'Eocène moyen.

2) AU NORD

La série de Basgo-Skinning: Les couches les plus anciennes connues, reposant directement sur le batholite Ladakhi sont datées du Maestrichtien (Ostracodes). A cette époque, des séries lacustres (marnes de Basgo) se développent entre d'importants cônes détritiques torrentiels fossilisant ainsi une paléosurface des granodiorites.

La série de Témesgam: D'âge Paléocène-Eocène inférieur probable, elle représente les dépôts d'une plate-forme progradante détritique alimentée par les fleuves et les torrents descendant des reliefs du batholite.

3) AU CENTRE

Les dépôts situés au centre du bassin présentent une importante série détritique continentale résultant de la coalescence et de la superposition

des cônes alluviaux qui débordent sur les deux bordures précédentes à partir de l'Eocène moyen.

Les pélites rouges de Gongmaru-La: Elles représentent un milieu de dépôts deltaïques fins associés à quelques lentilles conglomératiques caractérisant des périodes de crues des fleuves (milieu supratidal).

La molasse multicolore de Nurla: A la base de cette unité s'individualise une formation conglomératique (conglomérats d'Hémis) interprétée comme un cône fluviatile proximal. Cet épisode grossier est surmonté par des sédiments terrigènes plus fins (molasse multicolore de Nurla pro parte) caractéristiques d'une plaine alluviale avec dépôts de rivière tressées. Cette unité est couronnée par des conglomérats (conglomérats de Choksti) liés à une phase de surrection majeure du batholite Ladakhi.

Les grès de Nimu Alchi: Représentent les derniers dépôts encore observables. Cet ensemble gréso-pélitique est interprété comme résultant de dépôt lacustres.

B) TECTONIQUE ET METAMORPHISME

1) Une compression voisine de N 10 conduit, dans le bassin de l'Indus, à des déformations caractérisées par des plis à regard nord, d'axe parallèle à l'allongement général de la chaîne (N 110 à 120), accompagnés d'une schistosité de fracture en éventail et de nombreuses failles inverses à rejet modeste. Ces déformations sont peu marquées sur le flanc nord, mais très bien exprimées dans la partie sud du bassin (plis isoclinaux , séries entièrement renversées).

Le serrage se poursuivant, il apparaît des plis à charnière repliée ainsi qu'une schistosité de fracture très raide recoupant les premières structures et plongeant vers le SW ou le NE. Ces caractères d'une tectonique pluriphasée ne s'observent que dans les régions où le contact méridional des formations de l'Indus avec la nappe du flysch de Nindam n'est pas marquée par une semelle tectonique. Cette dernière pourrait jouer un rôle d'amortisseur, atténuant les déformations induites par l'arrivée de la nappe du flysch de Nindam.

Enfin, des fractures tardives (orientées N 10 à N 30) découpent toutes les structures. Ces fractures représentent un élément structural remarquable et constant dans l'ensemble de la chaîne himalayenne.

2) Le métamorphisme n'est pas homogène sur tout le bassin. Anchizonal à épizonal, il est plus intense au Sud-Est là où les déformations sont les plus importantes.

C) INCIDENCE SUR L'HISTOIRE DE LA CHAÎNE HIMALAYENNE

L'individualisation, dès l'Albien supérieur, d'un bassin tel que celui de l'Indus est à mettre en relation directe avec une subduction vers le Nord de la croûte océanique thétysienne. Cette subduction induit la mise en place, le long de la marge sud tibétaine, d'une succession de plutons dont certains dès le Campanien.

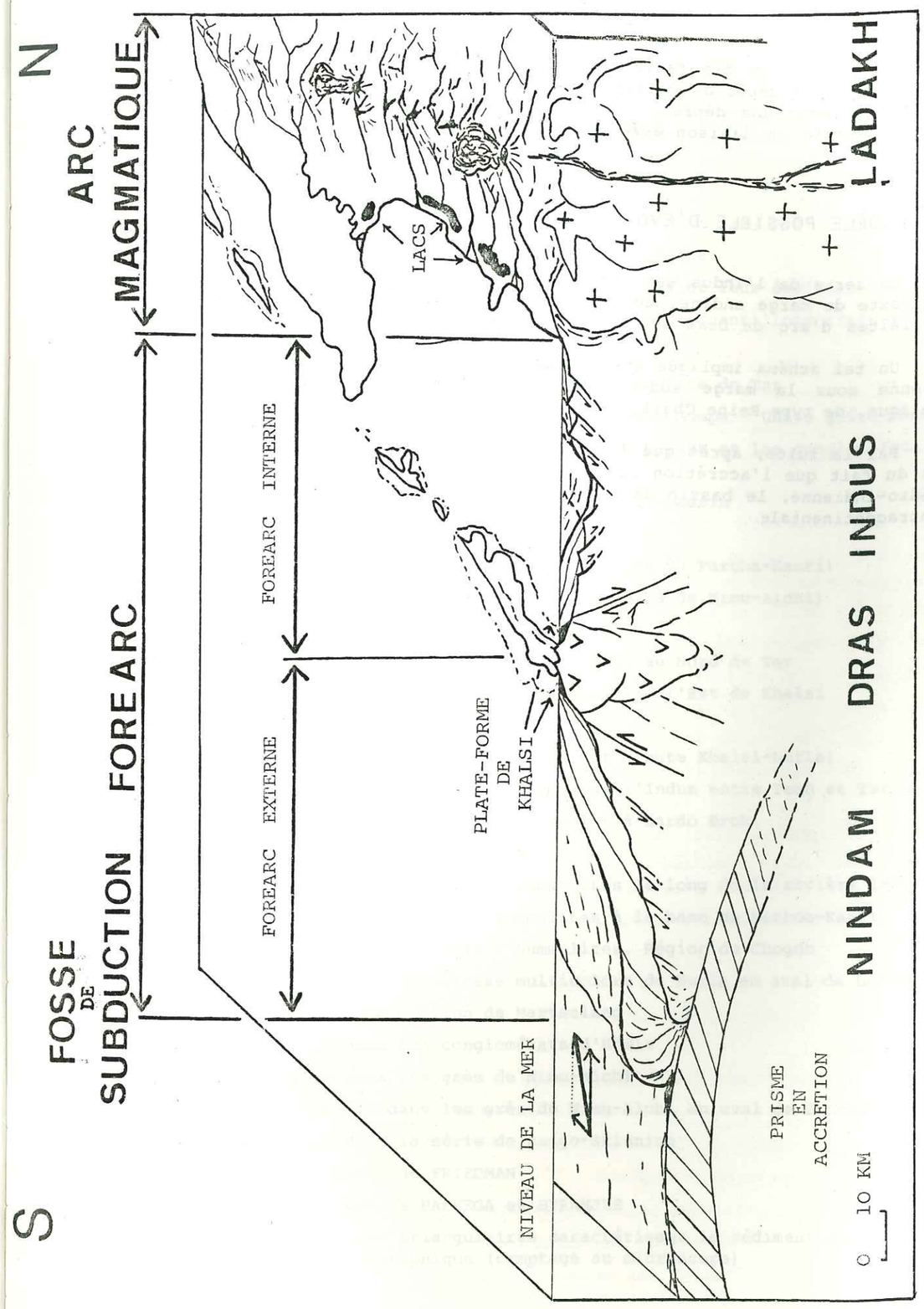


Fig 8.1 Modèle de marge active avec convergence oblique et intégration des différents domaines paléogéographiques de la suture de l'Indus dans ce modèle *pour le Maestrichtien*

tel-00641418, version 1 - 15 Nov 2011

La disparition des faciès marins après l'Eocène inférieur (Ilerdien-Cuisien) et le dépôt de molasses continentales dans un bassin résiduel qui tend à devenir une dépression intra-montagneuse, implique une surrection de l'ensemble en liaison avec la collision de l'Inde et du Sud Tibet.

D/ MODÈLE POSSIBLE D'ÉVOLUTION

La série de l''Indus est une série d'avant-arc. Elle s'intègre dans un contexte de marge andine, cependant la position du bassin par rapport aux tholéïtes d'arc de Dras suggère l'existence d'une composante coulissante.

Un tel schéma implique que la subduction de la croûte océanique téthysienne sous la marge sud-tibétaine ait été, au moins temporairement, oblique, de type Reine Charlotte (marge nord-ouest canadienne).

Par la suite, après que les blocs Indien et Sud Tibétain soient soudés et du fait que l'accrétion océanique se poursuit au niveau de la dorsale médio-indienne, le bassin de l'Indus est pris dans un système de collision intracontinentale.

-=-=-=-=-=-=-=-

tel-00641418, version 1 - 15 Nov 2011

LISTE DES FIGURES

Fig. 1 - Carte schématique de la chaîne himalayenne

Fig.2 - Les différents domaines des deux marges et leur évolution

Fig. 3 - Carte de localisation des coupes et des échantillons traités

Fig. 1.2 - Olistolites calcaires dans la série verte de Tar

Fig. 1.3 - Détail du contact "Calcaire de Sumdah-Gompa - Unité gréso-pélitique"

Fig. 1.4 - Contact entre les granodiorites du Ladakh et les conglomérats de Skinning

Fig. 1.5 - Log synthétique des deux bordures du bassin

Fig. 2.1 - Figure de progradation (conglomérats du Parcha-Kanri)

Fig. 2.2 - Bifurcated wathy flazer bedding (Grès de Nimu-Alchi)

Fig. 2.3 - Slump dans les grès de Nimu-Alchi

Fig. 2.4 - Coupe dans les calcaires de Khalsi au Nord de Tar

Fig. 2.5 - Coupe dans les calcaires de Khalsi à l'Est de Khalsi

Fig. 2.6 - Coupe de Khalsi ouest

Fig. 2.7 - Coupe dans la série verte de Tar (route Khalsi-Nurla)

Fig. 2.8 - Profil synthétique des séries de l'Indus entre Teah et Tar

Fig. 2.9 - Coupe dans la série verte de Tar à Lardo Brok

Fig. 2.10 - Schémas de "Deep sea fan"

Fig. 2.11 - Coupe dans la série à Nummulites le long de la rivière Zanskar

Fig. 2.12 - Coupe de la série à Nummulites à la base du Mathoo-Kanri

Fig. 2.13 - Coupe dans la série à Nummulites. Région de Chogdo

Fig. 2.14 - Coupe dans la molasse multicolore de Nurla en aval de Lardo-Brok

Fig. 2.15 - Base de la section de Martselang

Fig. 2.16 - Coupe dans les conglomérats d'Hémis

Fig. 2.17 - Coupe dans les grès de Nimu-Alchi

Fig. 2.18 - Séquences dans les grès de Nimu-Alchi en aval de Zinchang

Fig. 2.19 - Coupe dans la série de Basgo-Skinning

Fig. 2.20 - Diagrammes de FRIEDMAN

Fig. 2.21 - Diagramme de PASSEGA et BYRAMJEE

Fig. 2.22 - Diagrammes triangulaires caractérisant le sédiment du point de vue pétrographique (comptage au microscope)

Fig. 2.23 - Indus series: volcano-plutonic suite

Fig. 3.1 - Reconstitution paléotopographique de la surface des granodiorites au Maestrichtien et variations de faciès dans la série de Basgo-Skinning

Fig. 3.2 - Allure du paysage sur le rebord du batholite au Maestrichtien

Fig. 3.3 - Hypothèses sur la plate-forme de Khalsi

Fig. 3.4 - Reconstitution paléogéographique et corrélations sur la bordure sud du bassin de l'Indus

Fig. 3.5 - Essai de reconstitution de la paléotopographie du domaine marin à l'Eocène inférieur

Fig. 3.6 - Modèles de plate-forme

Fig. 4.1 - Plis et schistosité associés, faille inverse

Fig. 4.2 - Blocs diagrammes entre Khalsi et Nurla

Fig. 4.3 - La semelle tectonique

Fig. 4.4 - Vue vers L'Ouest depuis le Col entre Alchi-Brok et Lardo-Brok

Fig. 4.5 - Croquis d'interprétation de la structure affectant les formations du bassin de l'Indus au-dessus du village de Lardo-Brok

Fig. 4.6 - Faille de Lardo-Brok: Hypothèses

Fig. 4.7 - Agrandissement de la coupe entre Taruche et Alchi

Fig. 4.9 - Plis anté-schisteux

Fig. 4.10 - Plis repliés

Fig. 4.11 - Phases de déformation : hypothèses

Fig. 4.12 - Panoramas au-dessus et en aval de Chogdo

Fig. 4.13 - Synclinaux dans la molasse multicolore de Nurla

Fig. 4.14 - Faille plate dans les grès de Nimu-Alchi

Fig. 4.15 - Déplissage des structures et limites possibles du bassin de l'Indus à l'Eocène inférieur

Fig. 4.16 - Paramètres cristallographiques de l'illite

Fig. 5.1 - Interprétation de l'image satellite

Fig. 5.2 - Reconstitutions paléomagnétiques

Fig. 6.1 - Coupe dans les formations du bassin de Kargil

Fig. 6.2 - Panorama depuis le chemin qui mène de Marpoil à L'Arju-La

Fig. 6.3 - Panorama au dessus du village de Chaskor

Fig. 6.4 - Coupe sous le Sapi-La

Fig. 6.5 - Reconstitution paléogéographique du bassin de Kargil

Fig. 6.7 - Déformations dans les conglomérats de Pashkyum

Fig. 6.8 - Interprétation des structures dans la région de Kargil et rapport des différentes nappes vis à vis des conglomérats de Pashkyum

tel-00641418, version 1 - 15 Nov 2011

Fig. 7.1 - Les différents domaines de la marge

Fig. 7.2 - Définitions d'une marge active

Fig. 7.3 - Les différents aspects des marges continentales

Fig. 7.4 - Convergence oblique : exemple de la marge nord-ouest canadienne

Fig. 7.5 - Convergence frontale : exemple de la marge péruvienne

Liste des figures annexes

1 - Carte générale du bassin de l'Indus

2 - Légende des coupes

3 - Carte structurale du bassin de l'Indus

4 - Courbes granulométriques

5 - Comptages pétrographiques des galets (conglomérats du bassin de l'Indus)

6 - Microtectonique : tableau de mesures et canevas

7 - Carte générale du bassin de Kargil

8 - Carte structurale du bassin de Kargil

9 - Comptage pétrographique des galets (conglomérats du bassin de Kargil)

10 - Petit lexique des noms propres

-=-=-=-=-=-

-=-=-=-=-=-

ANNEXES

1: carte générale du bassin de L'Indus
2: légende des coupes
3: carte structurale du bassin de l'Indus
4: courbes granulométriques
5: comptages pétrographiques des galets (conglomérats du bassin de l'Indus)
6: microtectonique: tableau de mesures et canevas
7: carte générale du bassin de Kargil
8: carte structurale du bassin de Kargil
9: comptage pétrographique des galets (conglomérats du bassin de Kargil)
10: petit lexique des noms propres

-=-=-

Annexe 2

1 Conglomérats de Skiu

2 Grès de Nimu-Alchi

3 Conglomérats de Choksti

4 Molasse multicolore de Nurla

5 Conglomérats d'Hemis

6 Pélites rouges du Gongmaru-la

7 Grès de Wuley-tokpo

8 Série jaune de Temesgam

9 Série de Basgo-Skinning

10 Conglomérats du Parcha kanri

11 Calcaires à Nummulites

12 Séries pélitiques associées aux calcaires à Nummulites

13 Grès associés aux calcaires de Sumdah gompa

14 Calcaires de Sumdah gompa

15 Série verte de Tar

16 Calcaires de Khalsi

17 Flysch de Nindam

18 Flysch de Lamayuru

19 Serpentine

20 Granodiorites du Ladakh
Laves associées au batholite

Nérinées

Rudistes

Orbitolines

Hedbergelles

Ammonites

Belemnites

Siderolites et Lepidorbitoides

Ostracodes

Nummulites

Asterodiscus et Orbitolites

Lamellibranches

Gastéropodes marins

Oursins

Algues

Débrits de coquilles

Mollusques d'eau douce

Gastéropodes d'eau douce

Débris de végétaux

Ripple marks

Mud craks

Tool casts

Load casts

Sous-face de bancs ondulée

Slumps

Litages entrecroisés

Chenaux

Clibing

Direction de courants

Sens de courants

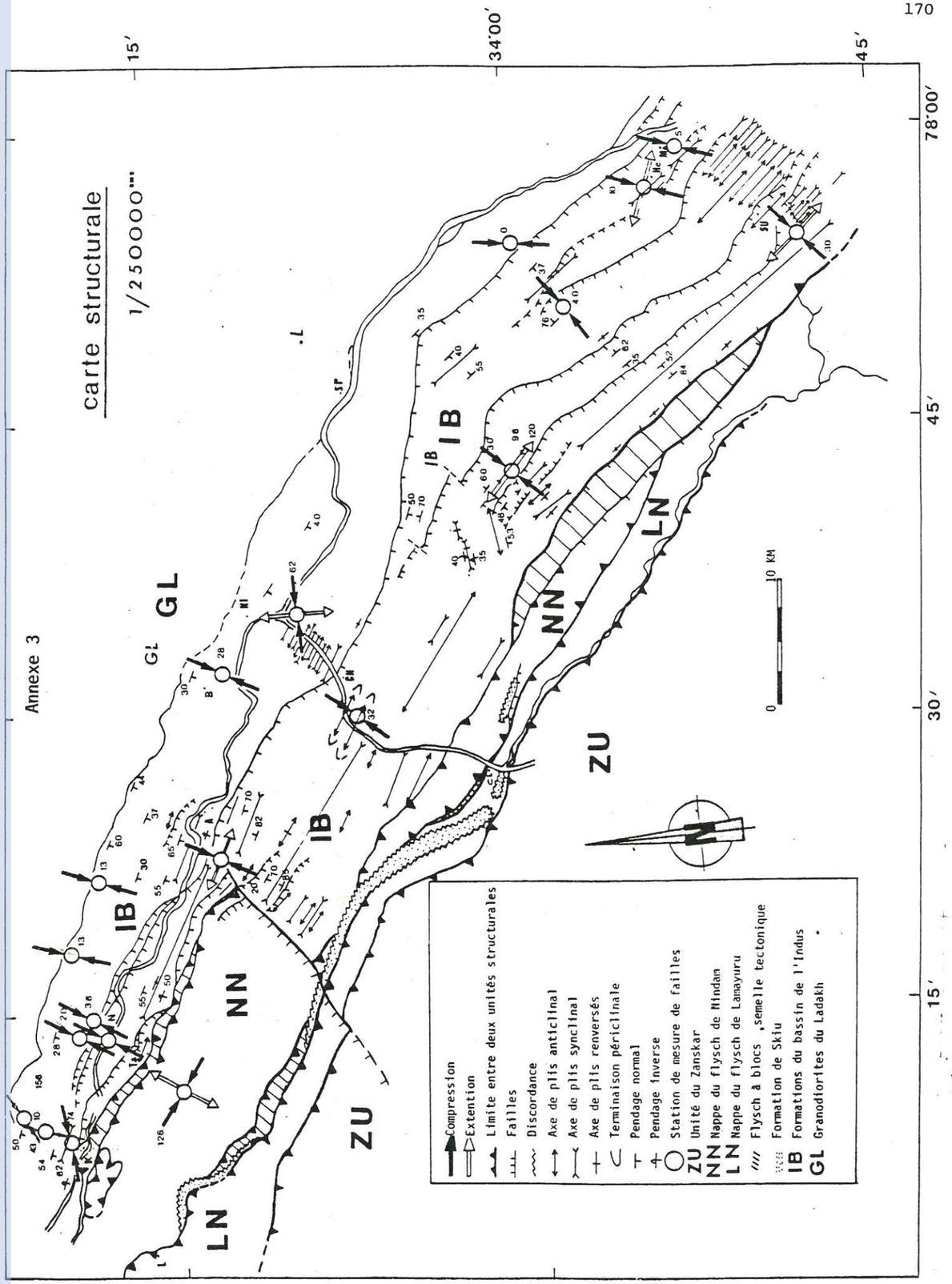
Galets mous

Marmorisation

Rogons de silex

tel-00641418, version 1 - 15 Nov 2011

tel-00641418, version 1 - 15 Nov 2011



LAME MINCE : 117.2 PROVENANCE : LADAKH

OPERATEUR : (MOUSTABCHIR) TVH DATE : 20 02 84

UNE DIVISION = 10 microns grès de Nimu-Alchi

RESULTATS

Q(16 %)22.639 Divisions donc 226.39 Microns

Q(25 %)25.819 Divisions donc 258.19 Microns

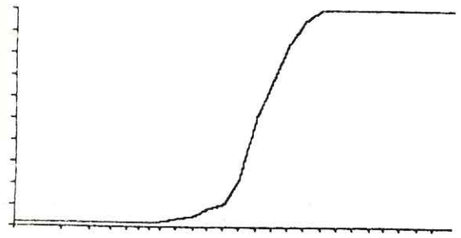
Q(50 %)31.834 Divisions donc 318.34 Microns

Q(75 %)44.581 Divisions donc 445.81 Microns

Q(84 %)50.208 Divisions donc 502.08 Microns

Qd Phi = 0.395

SO = 1.31403323
S = 1.13585625
COURBE DES POURCENTAGES CUMULES



LAME MINCE : 108.3 PROVENANCE : LADAKH

OPERATEUR : (AARJOUNI) TVH DATE : 20 02 84

UNE DIVISION = 25 microns grès de Nimu-Alchi

RESULTATS

Q(16 %)10.241 Divisions donc 256.025 Microns

Q(25 %)11.294 Divisions donc 282.35 Microns

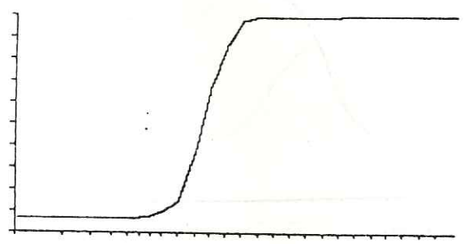
Q(50 %)14.196 Divisions donc 354.9 Microns

Q(75 %)17.652 Divisions donc 441.3 Microns

Q(84 %)19.565 Divisions donc 489.125 Microns

Qd Phi = 0.325

SO = 1.25020507
S = .989284142
COURBE DES POURCENTAGES CUMULES



LAME MINCE : 80.3 PROVENANCE : LADAKH

OPERATEUR : TVH DATE : 17.2.84

UNE DIVISION = 30 microns grès de Nimu-Alchi

RESULTATS

Q(16 %)2.978 Divisions donc 89.34 Microns

Q(25 %)4.511 Divisions donc 135.33 Microns

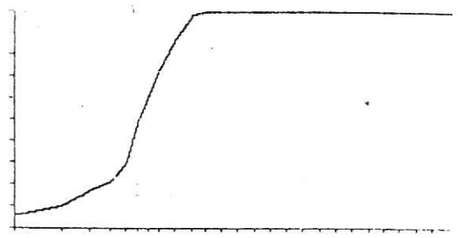
Q(50 %)6.073 Divisions donc 182.19 Microns

Q(75 %)8.351 Divisions donc 250.53 Microns

Q(84 %)9.656 Divisions donc 289.68 Microns

Qd Phi = 0.45

SO = 1.76069005
S = 1.02133819
COURBE DES POURCENTAGES CUMULES



LAME MINCE : 80.1 PROVENANCE : LADAKH

OPERATEUR : TVH DATE : 17.2.84

UNE DIVISION = 10.4 microns grès de Nimu-Alchi

RESULTATS

Q(16 %)0 Divisions donc 0 Microns

Q(25 %)9.977 Divisions donc 103.7608 Microns

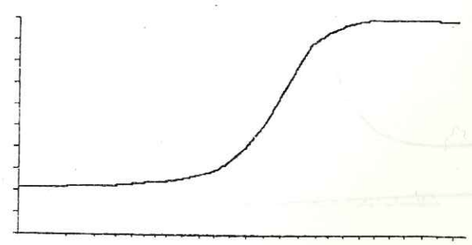
Q(50 %)31.844 Divisions donc 331.1776 Microns

Q(75 %)48.678 Divisions donc 506.2512 Microns

Q(84 %)57.857 Divisions donc 601.7128 Microns

Qd Phi = 1.15

SO = 2.20881543
S = .478935022
COURBE DES POURCENTAGES CUMULES



LAME MINCE : B.3.1 PROVENANCE : LADAKH

OPERATEUR : TVH DATE : 17 2 84

UNE DIVISION = 10.4 microns molasse multicolore de Nurla

RESULTATS

Q(16 %)0 Divisions donc 0 Microns

Q(25 %)7.327 Divisions donc 76.2008 Microns

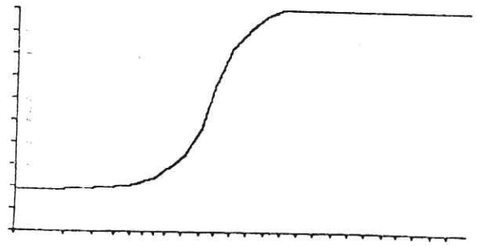
Q(50 %)13.627 Divisions donc 141.7208 Microns

Q(75 %)18.259 Divisions donc 189.8936 Microns

Q(84 %)21.419 Divisions donc 222.7576 Microns

Qd Phi = 0.65

SO = 1.57856322
S = .720507503
COURBE DES POURCENTAGES CUMULES



LAME MINCE : 56.1 PROVENANCE : LADAKH

OPERATEUR : (BEKKARY)-TVH DATE : 20 02 84

UNE DIVISION = 25 microns molasse multicolore de Nurla

RESULTATS

Q(16 %)0 Divisions donc 0 Microns

Q(25 %)9.57 Divisions donc 239.25 Microns

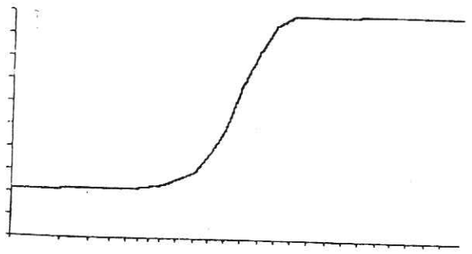
Q(50 %)20.583 Divisions donc 514.575 Microns

Q(75 %)28.181 Divisions donc 704.525 Microns

Q(84 %)32.45 Divisions donc 811.25 Microns

Qd Phi = 0.775

SO = 1.71604895
S = .636589938
COURBE DES POURCENTAGES CUMULES



LAME MINCE : 101.1 PROVENANCE : LADAKH

OPERATEUR : (ELWAFA) TVH DATE : 22 02 84

UNE DIVISION = 25 microns molasse multicolore de Nurla

RESULTATS

Q(16 %) = 10.8575269 Divisions donc 271.438173 Micron

Q(25 %) = 14.2272214 Divisions donc 355.680534 Micron

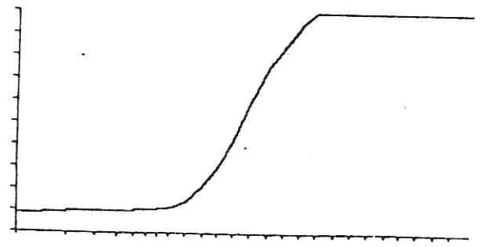
Q(50 %) = 21.9218834 Divisions donc 548.047085 Micron

Q(75 %) = 31.9090549 Divisions donc 797.726372 Micron

Q(84 %) = 39.3951587 Divisions donc 984.878967 Micron

Qd Phi = 0.68

SO = 1.49760378
S = .94466604
COURBE DES POURCENTAGES CUMULES



LAME MINCE : 115.1 PROVENANCE : LADAKH

OPERATEUR : (ERRAOUI) TVH DATE : 22 02 84

UNE DIVISION = 10 microns molasse multicolore de Nurla

RESULTATS

Q(16 %) = 9.33362163 Divisions donc 93.3362163 Microns

Q(25 %) = 21.7012564 Divisions donc 217.012564 Microns

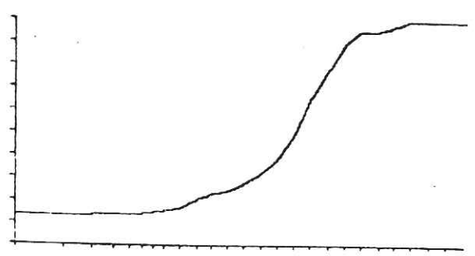
Q(50 %) = 50.9228847 Divisions donc 509.228847 Microns

Q(75 %) = 76.0789741 Divisions donc 760.789741 Microns

Q(84 %) = 90.313358 Divisions donc 903.13358 Microns

Qd Phi = 0.905

SO = 1.87236229
S = .636683406
COURBE DES POURCENTAGES CUMULES



LAME MINCE : 67.1 PROVENANCE : LADAKH

OPERATEUR : (BAHRA) TVH DATE : 24 02 84

UNE DIVISION = 25 microns MOLASSES MULTICOLORES DE NURLA

RESULTATS

Q(16 %) = 21.6160409 Divisions donc 540.401022 Microns

Q(25 %) = 25.6708638 Divisions donc 641.771595 Microns

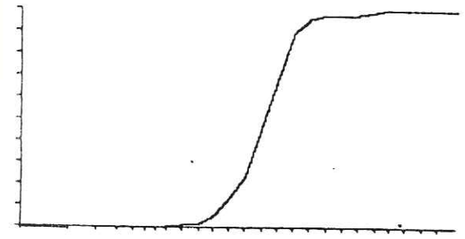
Q(50 %) = 33.2125061 Divisions donc 830.312653 Microns

Q(75 %) = 43.3995354 Divisions donc 1084.98838 Microns

Q(84 %) = 47.867864 Divisions donc 1196.6966 Microns

Qd Phi = 0.378

SO = 1.30023634
S = 1.01000208
COURBE DES POURCENTAGES CUMULES



LAME MINCE : 82.1 PROVENANCE : LADAKH

OPERATEUR : (BOUDFOUST) TVH DATE : 20 02 84

UNE DIVISION = 25 microns MOLASSES MULTICOLORES DE NURLA

RESULTATS

Q(16 %)10.462 Divisions donc 261.55 Microns

Q(25 %)12.759 Divisions donc 318.975 Microns

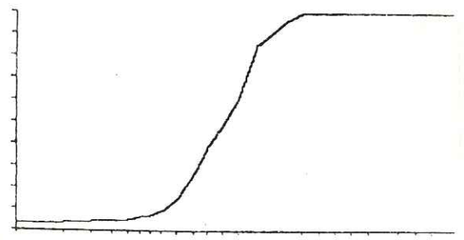
Q(50 %)20.62 Divisions donc 515.5 Microns

Q(75 %)28.982 Divisions donc 724.55 Microns

Q(84 %)31.873 Divisions donc 796.825 Microns

Qd Phi = 0.8

SO = 1.50713203
S = .869737869
COURBE DES POURCENTAGES CUMULES



LAME MINCE : 55.2 PROVENANCE : LADAKH

OPERATEUR : TVH DATE : 17.2.84

UNE DIVISION = 30 microns MOLASSES MULTICOLORES DE NURLA

RESULTATS

Q(16 %)0 Divisions donc 0 Microns

Q(25 %)0 Divisions donc 0 Microns

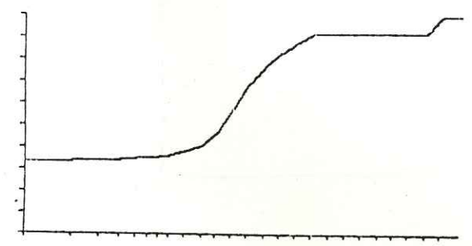
Q(50 %)17.573 Divisions donc 527.19 Microns

Q(75 %)30.716 Divisions donc 921.48 Microns

Q(84 %)43.551 Divisions donc 1306.53 Microns

Qd Phi = ? He = .4

S = 0
COURBE DES POURCENTAGES CUMULES



LAME MINCE : 109.1.A PROVENANCE : LADAKH

OPERATEUR : (RHINANE) TVH DATE : 22 02 84

UNE DIVISION = 25 microns MOLASSES MULTICOLORES DE NURLA

RESULTATS

Q(16 %) = 8.40907387 Divisions donc 210.226847 Microns

Q(25 %) = 9.56694311 Divisions donc 239.173578 Microns

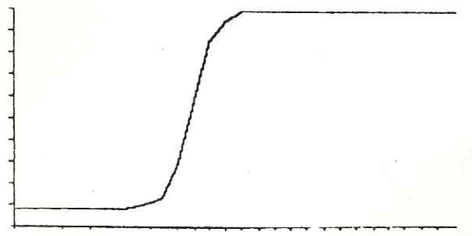
Q(50 %) = 11.9928454 Divisions donc 299.821135 Microns

Q(75 %) = 14.7473752 Divisions donc 368.684381 Microns

Q(84 %) = 15.8847973 Divisions donc 397.119932 Microns

Qd Phi = 0.31

SO = 1.24156874
S = .980942279
COURBE DES POURCENTAGES CUMULES



tel-00641418, version 1 - 15 Nov 2011

LAME MINCE : 53.1 PROVENANCE : LADAKH

OPERATEUR : (LAROUSSI) TVH DATE : 22 02 84

UNE DIVISION = 25 microns pélites rouges du Gongmaru-la

R E S U L T A T S

Q(16 %) = 8.81913445 Divisions donc 220.478361 Microns

Q(25 %) = 10.9259956 Divisions donc 273.149891 Microns

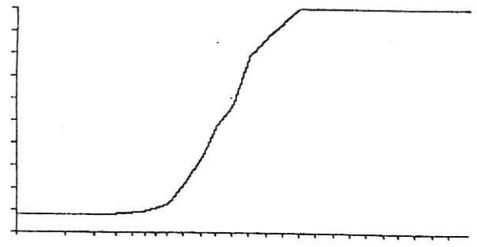
Q(50 %) = 17.1096342 Divisions donc 427.740856 Microns

Q(75 %) = 24.1584271 Divisions donc 603.960678 Microns

Q(84 %) = 29.1908289 Divisions donc 729.770723 Microns

Qd Phi = 0.575

SO = 1.48697551
S = .901671262
COURBE DES POURCENTAGES CUMULES



G R A N U L O M E T R I E : Tamisage classique (A L'EAU"

ECHANTILLON: BASGO PROVENANCE : LADAKH

OPERATEUR : TVH-CG DATE : 20 02 84

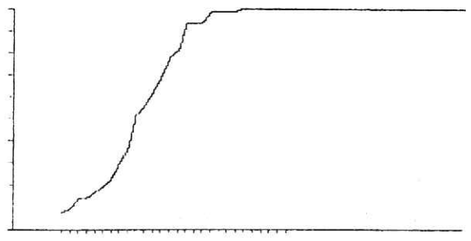
Poids Total Echantillon = 737.200001

R E S U L T A T S

Q(16 %) = .0971172002 Millimetres
Q(25 %) = .176631737 Millimetres
Q(50 %) = .313374355 Millimetres
Q(75 %) = .757027478 Millimetres
Q(84 %) = 1.05430869 Millimetres
Qd Phi = 1.06

SO = 2.07024361
S = 1.36161234

COURBE DES POURCENTAGES CUMULES



ECHANTILLON: 155.4 PROVENANCE : LADAKH

OPERATEUR : TVH-CG DATE : 20 02 84

Poids Total Echantillon = 365.6

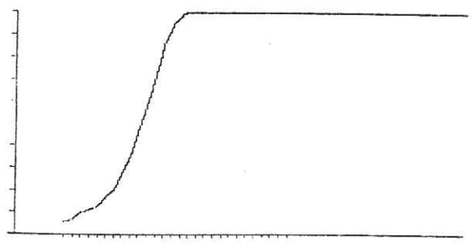
bassin de Kargil

R E S U L T A T S

Q(16 %) = .12349858 Millimetres
Q(25 %) = .186967866 Millimetres
Q(50 %) = .337573854 Millimetres
Q(75 %) = .516895047 Millimetres
Q(84 %) = .610034329 Millimetres
Qd Phi = 0.75

SO = 1.66271456
S = .848070074

COURBE DES POURCENTAGES CUMULES



LAME MINCE : 63.3 PROVENANCE : LADAKH

OPERATEUR : (KIADI) TVH-CG DATE : 21 02 84

UNE DIVISION = 25 microns série jaune de Temesgam

R E S U L T A T S

Q(16 %) = Divisions donc 0 Microns

Q(25 %) = 4.02151376 Divisions donc 100.537844 Microns

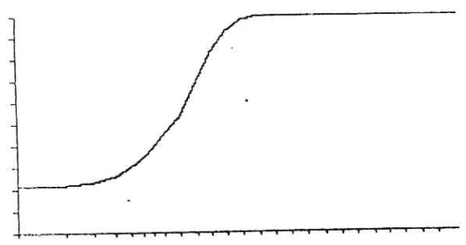
Q(50 %) = 9.24753109 Divisions donc 231.188277 Microns

Q(75 %) = 14.1782311 Divisions donc 354.455776 Microns

Q(84 %) = 16.5327842 Divisions donc 413.319604 Microns

Qd Phi = 0.91

SO = 1.87765693
S = .66674537
COURBE DES POURCENTAGES CUMULES



LAME MINCE : 51.1 PROVENANCE : LADAKH

OPERATEUR : TVH DATE : 17

UNE DIVISION = 10.4 microns flysch à blocs de la semelle de Tar

R E S U L T A T S

Q(16 %)0 Divisions donc 0 Microns

Q(25 %)0 Divisions donc 0 Microns

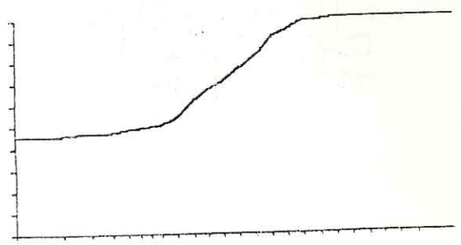
Q(50 %)8.237 Divisions donc 85.6648 Microns

Q(75 %)23.733 Divisions donc 246.8232 Microns

Q(84 %)33.297 Divisions donc 346.2888 Microns

Qd Phi = ? He = .75

S = 0
COURBE DES POURCENTAGES CUMULES



LAME MINCE : B.7.1 PROVENANCE : LADAKH

OPERATEUR : (AIT HAMMON) TVH DATE : 20 02 84

UNE DIVISION = 25 microns flysch à blocs de la semelle de Tar

R E S U L T A T S

Q(16 %)0 Divisions donc 0 Microns

Q(25 %)0 Divisions donc 0 Microns

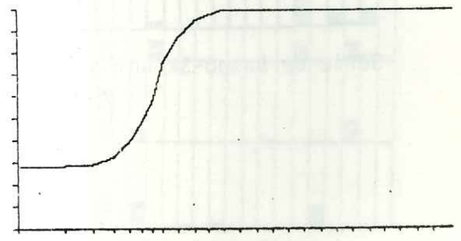
Q(50 %)6.211 Divisions donc 155.275 Microns

Q(75 %)8.124 Divisions donc 203.1 Microns

Q(84 %)9.551 Divisions donc 238.775 Microns

Qd Phi = ? He = 1

S = 0
COURBE DES POURCENTAGES CUMULES



LAME MINCE : 51.1 PROVENANCE : LADAKH

OPERATEUR : (BENTAHAR) TVH DATE : 20 02 84

UNE DIVISION = 10 microns

R E S U L T A T S

Q(16 %)0 Divisions donc 0 Microns

Q(25 %)7.078 Divisions donc 70.78 Microns

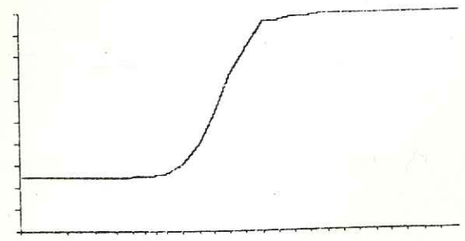
Q(50 %)15.228 Divisions donc 152.28 Microns

Q(75 %)21.52 Divisions donc 215.2 Microns

Q(84 %)25.298 Divisions donc 252.98 Microns

Qd Phi = 0.8

SO = 1.74363908
S = .656864633
COURBE DES POURCENTAGES CUMULES

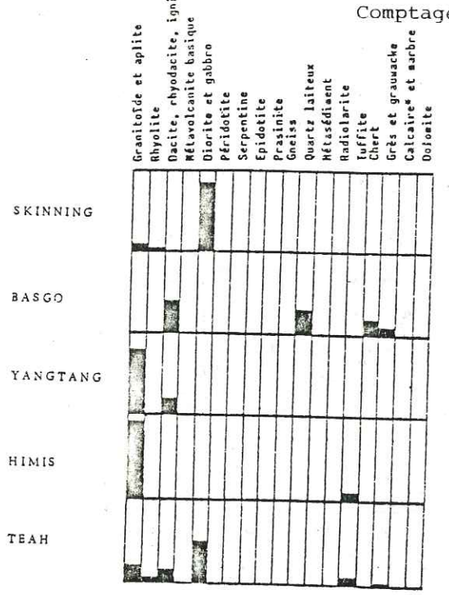


tel-00641418, version 1 - 15 Nov 2011

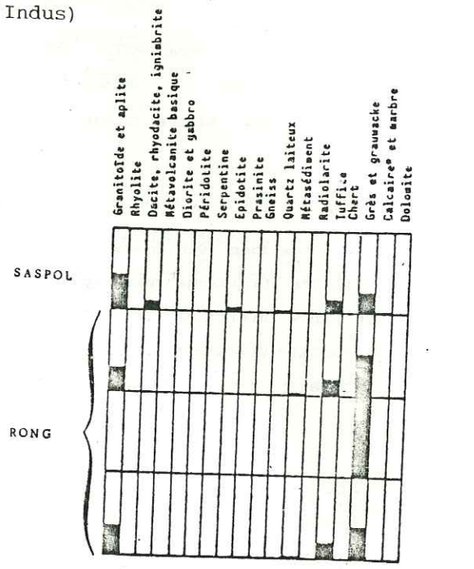
Annexes 5

Comptages pétrographiques des galets

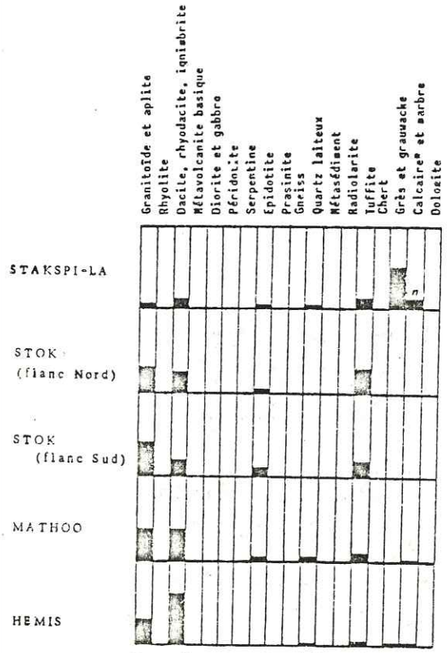
(série de l'Indus)



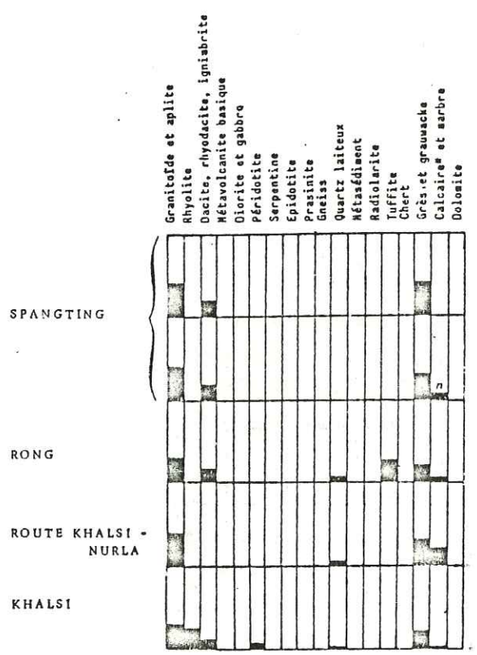
Série de Basgo-Skinning



Pélites rouges du Gongmaru-la

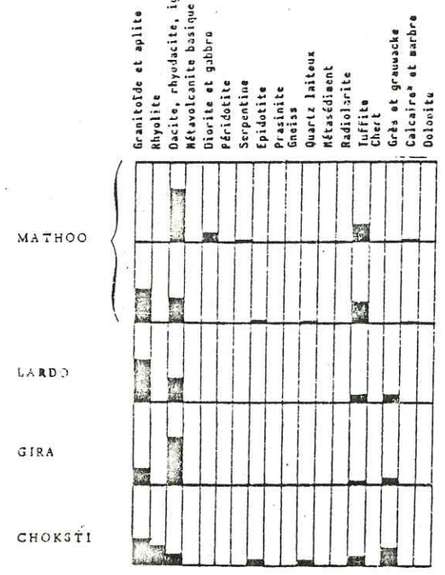


Conglomérats d'Hemis

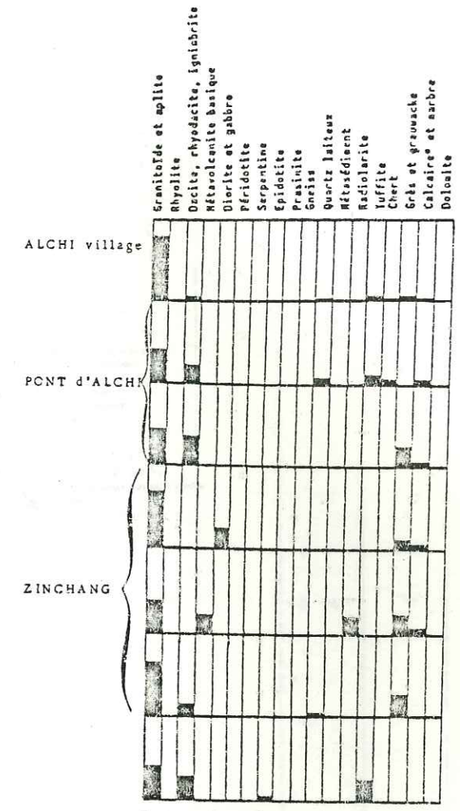


Molasse multicolore de Nurla

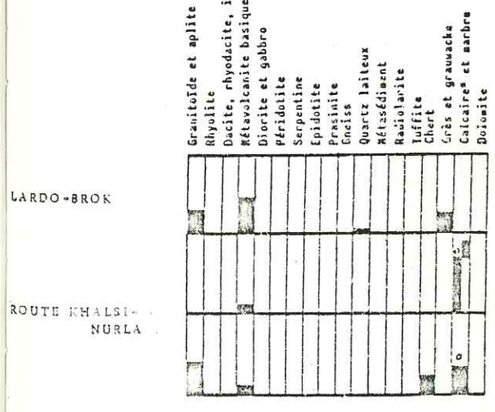
Légende: Valeur du pourcentage de galets en noir (la case = 100 %)



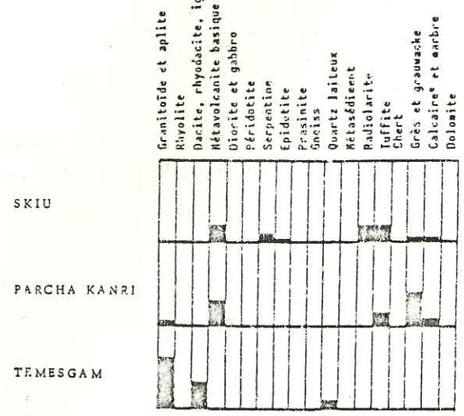
Conglomérats de Choksti



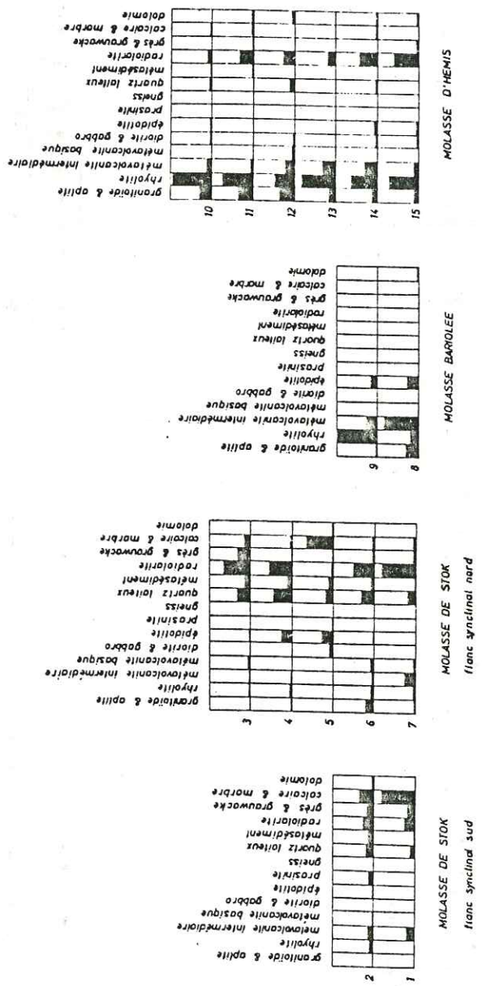
Grès de Nimu-Alchi



Série verte de Tar



tel-00641418, version 1 - 15 Nov 2011



Comptage pétrographique des galets réalisé par H. BUCHER.

Un carreau égale 60% .Molasse de Stok = Molasse bariolée = Molasse multicolore de Nurla. Molasse d'Hemis = Conglomérats d'Hemis.

Annexes 6

Formations (Lieu)	Plan de Fracture Direction	Pendage	Stries Pitch	Plongement	Direction	Jeu	Rejet	σ_1	σ_3
	N 120	80 SW	5 SE			D			
	N 120	52 NE		10	NW	I			
Molasses	N 65	20 NW		10	NE	I		N 5	
	N 100	65 N	45 NW			I			
multicolores	N 75		75 NE			S			
	N 150	30 W		30	W	I			
de Nurla	N 90	75 N	40 W			D			
à	N 150	65 N	68 W			I			
	N 150	60 SW	40 W			N			
	N 32	28 SE		20	E	N			
Hémis	N 0	23 E		20	E	N			
	N 118	50 N	5 W			S			
Molasses	N 25	66 N	73 SW			I			
	N 167	71 W	22 S			S			
multicolores	N 171	22 NE	10 N			I		N 74	
	N 56	72 NW	70 E			N			
de	N 90	80 N	80 W			N			
	N 126	38 N			25	I			
Nurla	N 110	vert	vert						
	N 115	43 N	80 E			I			
à	N 15	50 N	77 W			I			
	N 120	47 E	55 SW			I			
Khalsi	N 122	44 N	58 W			I			
	N 108	47 S	71 W			I			
	N 002	20 E			15	I			
	N 120	63 N	58 W			N			
	N 120	32 SW	85 W			I			
	N 113	47 NE	80 E			I			
	N 130	45 NE	76 E			I			
	N 115	47 NE	85 E			I	5 m		
Molasses	N 130	55 SW	80 W			I	2 m		
	N 110	80 SW							
	N 155	44 E			28	I			
multicolores	N 130	21 N			27	I			
	N 134	45 N	82			I			
	N 115	63 N	vert			I		N 35	
de	N 120	16 S			36	I			
	N 122	42 N	82 E			I			
	N 124	79 N	82 W			I			
Nurla	N 124	66 S	76 E			I			
	N 120	52 N	vert			I			
	N 131	18 S			41	I			
à	N 035	vert		19	N	I			
	N 042	81 W		03	S	D			
	N 026	88 E		04	N	D			
Nurla	N 123	87 S	82 W			I			
	N 112	35 N			26	I			
	N 025	25 W			58	I			
	N 057	85 NW		10	S	S			
	N 018	87 E		25	S	S			
	N 038	74 W		16	S	S			
	N 032	77 W	40 S			I D			
	N 016	85 W		40	S	S			
	N 060	63 W	50 N			I			

tel-00641418, version 1 - 15 Nov 2011

Formations (Lieu)	Plan de Fracture Direction	Pendage	Stries Pitch	Plongement	Direction	Jeu	Rejet	σ_1	σ_3
	N 140	36 SW		25 S		I			
Série	N 52	32 SE		12 S		S			
	N 90	45 S		25 SW		S			
Nimu	N 60	23 N				S		N 0	
	N 125	68 SW				I			
à Mathoo	N 75	42 SSW		37 S		I			
	N 120	50 NE				I			
	N 150	45 NE		40 E		S			
Molasses	N 50	65 ESE	20 NE			S			
	N 125	28 NE	30	30 N		I		N 40	
multicolores	N 70	80 S	20 E			S		N 40	
	N 160	10 WSW		13 S					
de Nurla	N 125	75 NE	70 N			I			
	N 140	60 NE	40 N			I			
à Mathoo	N 150	72 NE	42 N			N ?			
	N 150	60 SW							
Molasses	N 40	30 NW		5 SW		S			
	N 100	52 NE	5 SE			I		N 20	N 122
multicolores									38 NW
	N 90	50 N		30 E		I			
de Nurla à Lardo	N 90	40 N		30 E		I			
	N 10	85 E	75 N			I			
	N 30	75 E	5 S			D			
Série de	N 10	70 W	65 S			N			
	N 035	80 E	20 N			D			
Nimu	N 010	vert	15 N			D		N 82	N 140
Zanskar	N 044	85 S	0			D			
	N 085	30 N	75 E			N			
	N 140	60 N	90						
	N 133	60 N	Vert			I			
Calcaires	N 108	45 N	84 E			I			
	N 90	21 S			018	I			
Eocènes	N 175	30 W		3 N		D			
	N 100	42 N	78 W			I		N 32	
Zanskar	N 134	28 N			038	I			
	N 85	35 N			005	I			
	N 45	72 W	80 SW			N			
	N 20	70 W	12 S			D	20.50cm		
	N 110	77 N	70 E						
	N 90	85 N	76 E			I			
	N 95	50 N	vert			I			
Calcaires	N 55	32 N	64 E			I			
	N 58	84 SE	7 W			D			
	N 145	75 NE	60 NW			I			
de	N 100	28 S			40	I		N 4	
	N 100	72 N	68 W			I			
	N 60	78 SE				D			
Khalsi	N 40	72 SE	8 S			D			
	N 55	82 SE	12 S			D			
	N 57	70 NW	82 E			I			
	N 100	69 S	65 W			I			

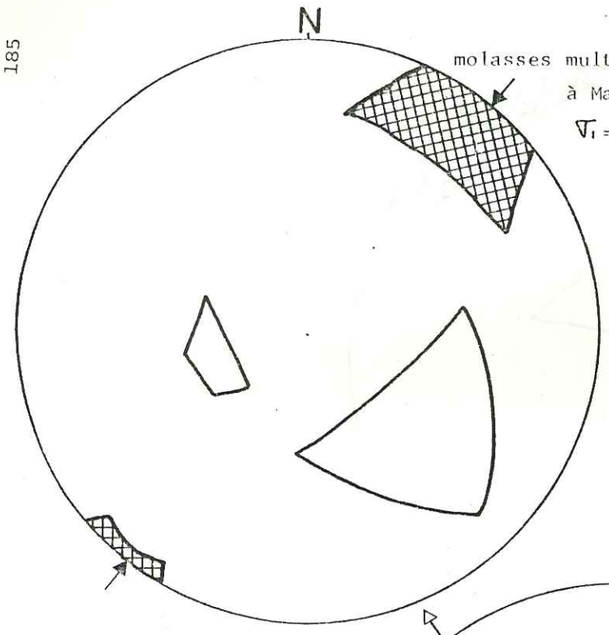
Formations (Lieu)	Plan de Fracture Direction	Pendage	Stries Pitch	Plongement	Direction	Jeu	Rejet	σ_1	σ_3
Série de	N 115	vert		60 E		I			
Témesgam	N 100	70 SW		65 E		I			
à	N 120	80 SW		35 SE		D		N 10	
Khalsi	N 70	25 NNW		15 NE		I			
	N 110	75 NE		76 E		I			
Grès de	N 85	35 N			05	I			
	N 134	28 N			38	I			
Wuley-Tokpo	N 100	42 N	78 W			I			
	N 175	30 W		03 N		D		N 36	
à Nurla	N 90	215			18	I	10 m		
	N 108	45 N	84 E			I			
	N 133	60 N	vert			I			
	N 38	82 W	14 N			D			
Série	N 15	54 W		30 N		D			
	N 18	80 E		18 S		D			
de	N 11	87 W		15 S		D			
	N 55	76 W	47 N			I		N 42	
Témesgam	N 42	82 W	25 N			D			
	N 42	70 W	35 N			D			
à	N 11	46 W	22 N			D			
	N 179	78 E	10 S			D			
Skinning	N 100	75 N	75 W			I			
	N 135	7 N			05	N			
	N 108	30 N			62	I			
	N 172	10 W			54	I			
Série	N 32	42 W			46	I			
	N 142	37 NE			42	I			
de	N 105	42 N	58 E			I			
	N 55	12 W			35	I			
Témesgam	N 40	68 W				S		N 40	
	N 3	81 N		30 S		D			
	N 8	88 W		24 S		D			
	N 165	82 E		44 S		S			
	N 110	85 NE		77 E		I			
	N 155	22 E			24	I			
	N 53	26 W			20	I			
Série	N 108	30 N			62	I			
	N 172	10 W			54	I		N 20	N 120 5 NW
de	N 32	41 E			46	I			
	N 142	37 NE			42	I			
Témesgam	N 105	42 N	58 E			I			
	N 55	12 W			35	I			
à	N 40	68 W				S			
	N 003	81 W		30 S		D			
Nurla	N 008	88 W		24 S		D			
	N 165	82 E		44 S		S			
	N 110	85 NE		77 E		I			

tel-00641418, version 1 - 15 Nov 2011

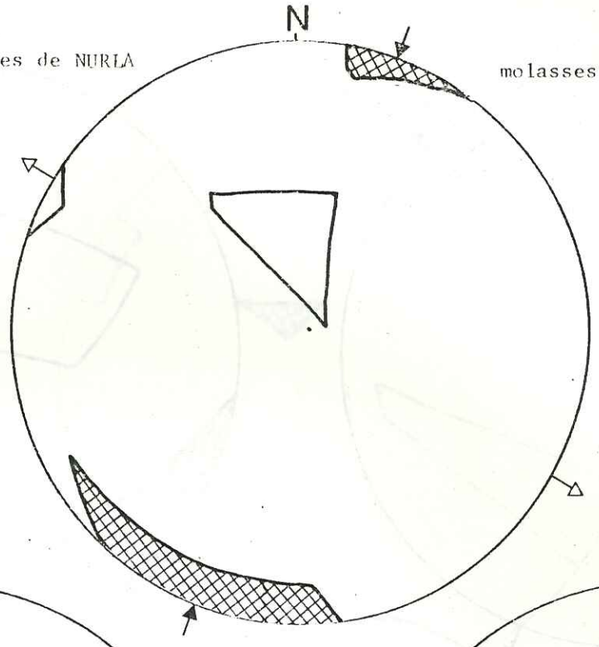
Formations (Lieu)	Plan de Fracture Direction	Pendage	Stries Pitch	Plongement	Directio	Jeu	Rejet	σ_1	σ_3
	N 120	78 NE	40 SE			S			
Série	N 145	70 SW	75 W			I			
de Basgo	N 120	74 NE	76 E			I		N 28	
	N 115	70 NE				S			
à Nimu	N 30	75 E	10 NE			S			
	N 120	80 SW	70 S			I			
Série	N 40	30 SE		10 SW		S			
	N 150					D			
de Basgo	N 30	75 WNW	30 SW			S		N 15	
	N 108	45 SSW		60 W		I			
à Yangtang	N 130	65 NE	68 E			I			
	N 80	40 N		42 E		I			
	N 10	25 W			100	N			
Flysch	N 100	88 S	64 N			N			
	N 44	88 W							
de	N 105	70 S	44 W			D		N 158	N 55 40
	N 50	82 W	25 S			D			
Nindam	N 58	66 W	36 S			S			
	N 115	74 N	65 W			N			
à Tar	N 35	86 E	21 S			S			
	N 55	77 W	30 S			D			
	N 30	45 W	30 S			?			
Flysch	N 5	78 W	15 N			S			
	N 5	80 E	21 N			S			
de Nindam	N 133	59 N	22 E			D		N 6	
	N 170	68 W	29 N			S			
à	N 45	85 W	15 N			S			
	N 120	50 N	22 E			D			
Pashkyum	N 100	52 S	vert			I			
	N 110	60 S	26 E			S			
Flysch	N 108	52 S	85 E			I			
	N 118	70 S	72 W			I			
de	N 122	30 S			25	I			
	N 110	56 S	69 E			I			
Nindam	N 72	66 S	60 W			I		N 56	
	N 130	85 S	71 W			I			
à	N 132	83 S	67 W			I			
	N 92	59 S	51 W			I			
Marpoil	N 60	87 W	35 SW			S			
	N 142	69 S	79 W			I			
	N 120	48 S	79 W			I			
	N 97	69 S	26 W			I			
	N 103	58 S	28 E			S			
	N 115	85 N	26 E			S			
	N 50	35 NE	37 E			D			
	N 32	20 NW			48	I			
	N 35	10 SE			60	I			
	N 140	58 S	2 W			D			
	N 175	50 W	80 E			N			

Formations (Lieu)	Plan de Fracture Direction	Pendage	Stries Pitch	Plongement	Direction	Jeu	Rejet	σ_1	σ_3
	N 10	75 W	12 N			D			
	N 85	85 S	20 N			S			
Formation	N 175	75 E				D			
	N 145	6 NW			160	I	30 cm		
du bassin	N 160	12 E			160		3 cm		
	N 60	57 SE	63 E			I			
de Kargil	N 75	50 S	90			N			
	N 10	70 E	10 S			S			
	N 122	61 NE	17 W			D			
	N 1	69 W	56 N			I		N 10	
	N 102	79 N	vert			I			
	N 78	72 N	80 E			I			
	N 125	73 N	62 W			I			
	N 97	70 S	50 E			I			
	N 110	54 S	37 E			D			
Laves associées	N 175	45 W			24	I			
	N 139	43 S			40	I			
en flysch	N 125	75 S	85 S			I			
	N 075	20 SE			12	I			
du type	N 125	40 S	85 W			I			
	N 0	49 W	2 S			D		N 28	
Lamayuru	N 115	75 S	61 W			I			
	N 104	36 S	69 W			I			
	N 145	69 S	vert			I			
	N 105	68 S	77 W			I			
	N 177	85 W	20 S						
	N 70	60 S	85 E			I			
Flysch type	N 85	55 S	70 E			I			
	N 60	87 S	80 E			I			
de	N 56	55 S	88 E			I			
	N 36	52 S	83 E			I		N 132	
Lamayuru	N 73	74 N	86 W			I			
	N 51	81 N	78 W			I			
au	N 127	70 S	29 SE			D			
	N 58	67 S	74 E			I			
Sapi-la	N 50	57 NW	77 W			I			
	N 41	72 NW	78 W			I			
	N 56	49 NW	47 W			I			
	N 80	57 N	60 W			I			
	N 75	39 N	87 W			I			
	N 133	33 S	78 W			I			
	N 10	28 W	87 N			I			
	N 145	56 SW	81 NW			I			

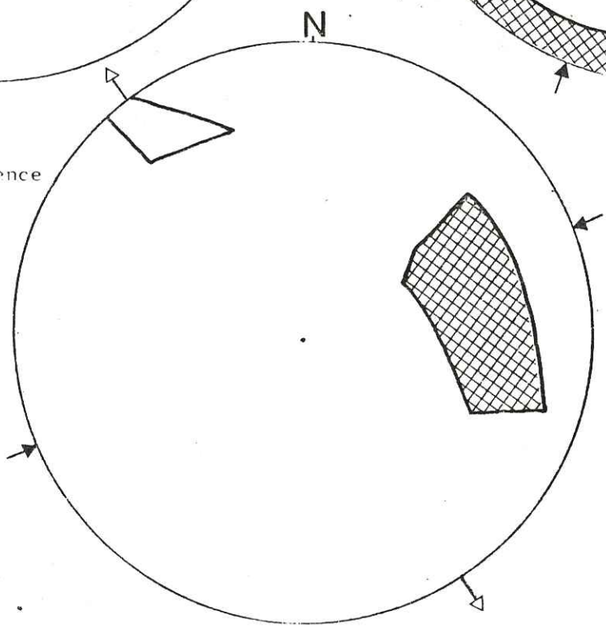
tel-00641418, version 1 - 15 Nov 2011



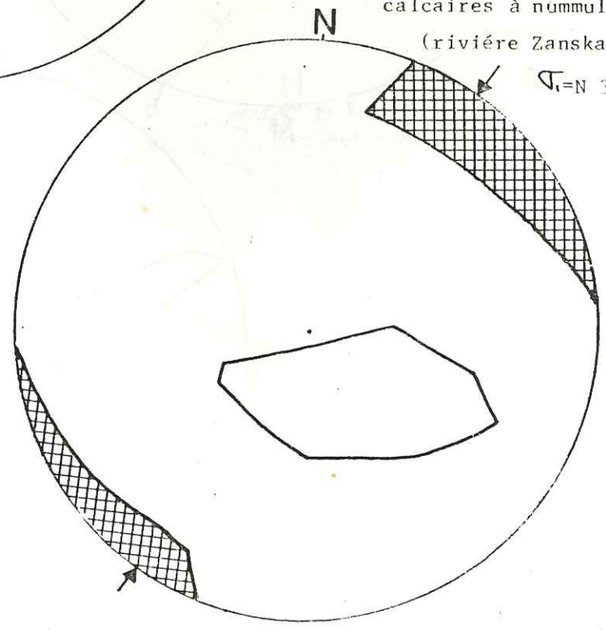
molasses multicolores de NURLA
à Mathoo
σ_1 =N 40



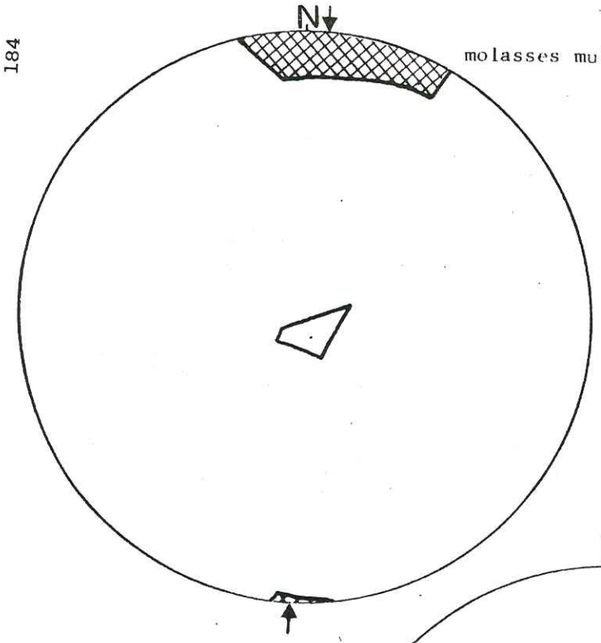
molasses multicolores de NURLA à Lardo
σ_1 =N 20
σ_3 =N 122 38 NW



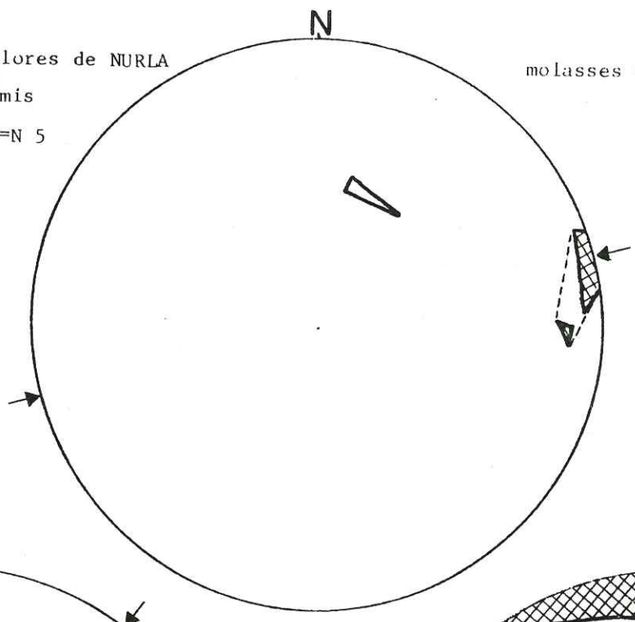
grès de NIMU à la confluence
Zanskar Indus
σ_1 =N 82
σ_3 =N 140 ---



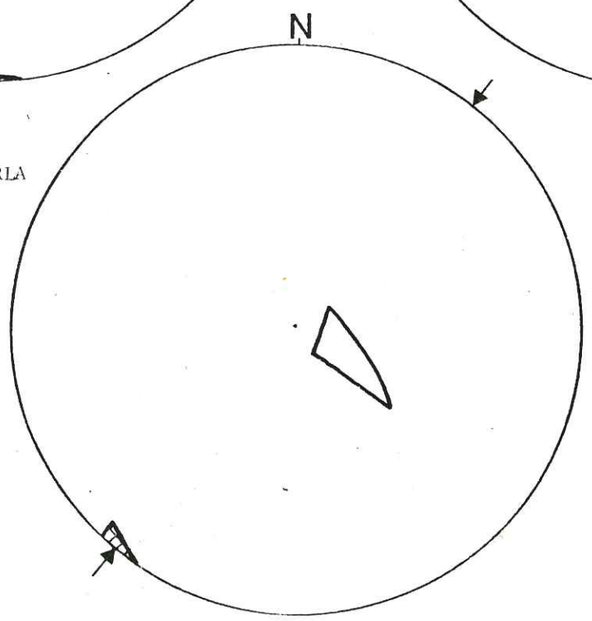
calcaires à nummulites
(riviére Zanskar)
σ_1=N 32



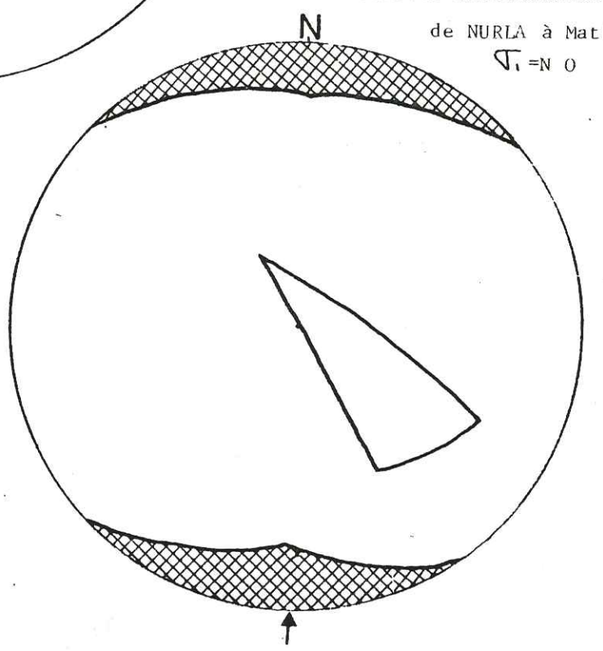
molasses multicolores de NURLA
à Hemis
σ_1 =N 5



molasses multicolores de NURLA à Khalsi
σ_1 =N 74



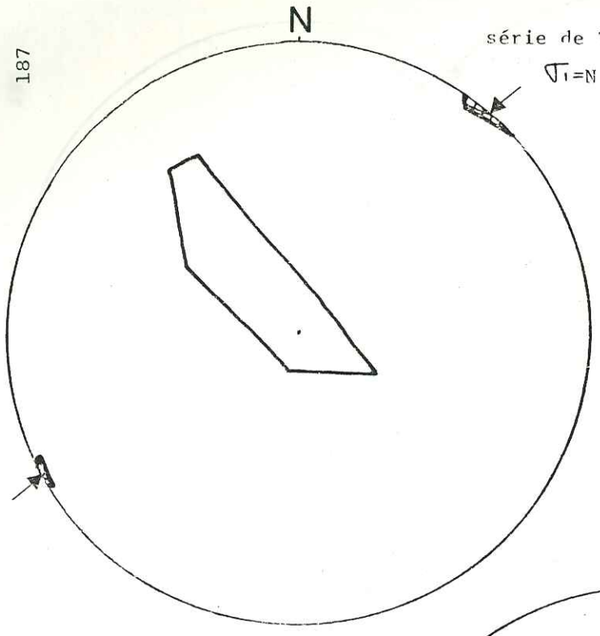
molasses multicolores de NURLA
à Nurla
σ_1 =N 35



molasses multicolores
de NURLA à Mathoo
σ_1 =N 0

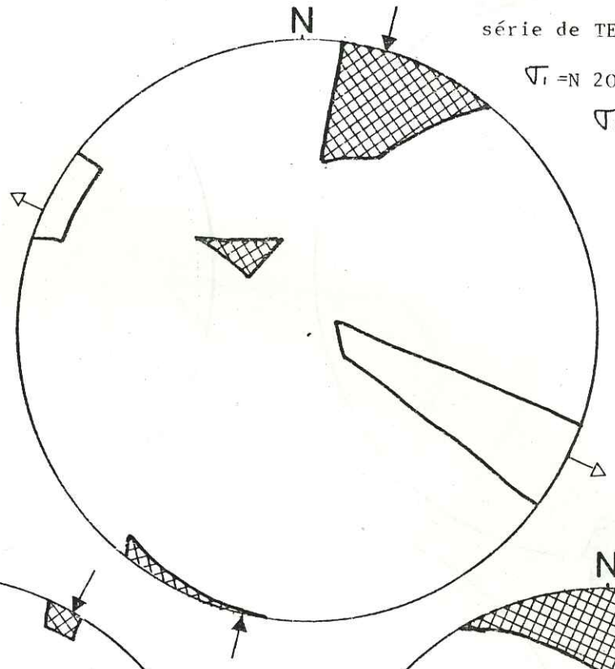
tel-00641418, version 1 - 15 Nov 2011

187



série de TEMESGAM

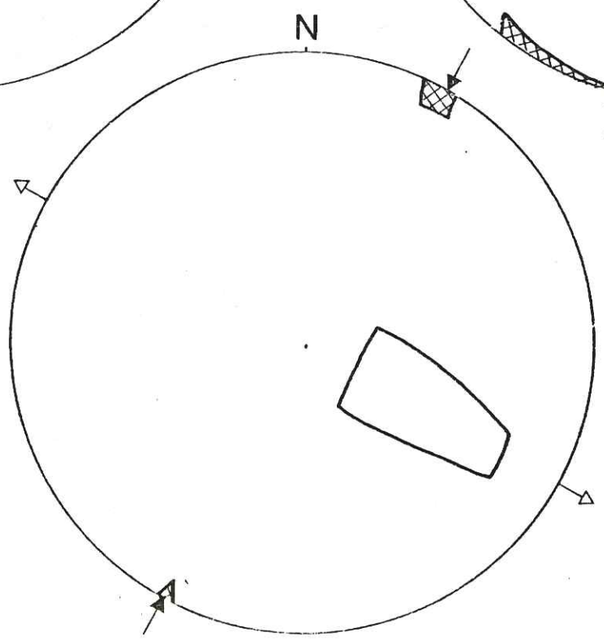
σ_1=N 40



série de TEMESGAM à Nurla

σ_1=N 20

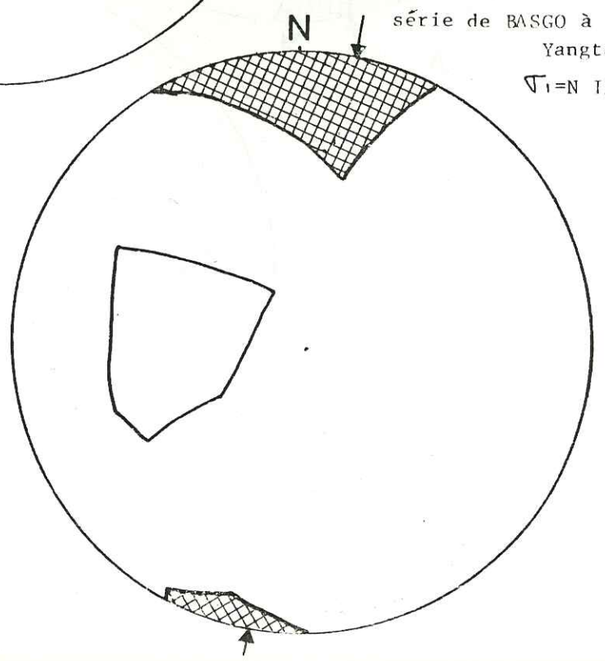
σ_3=N 120 5NW



série de BASGO à Nimu

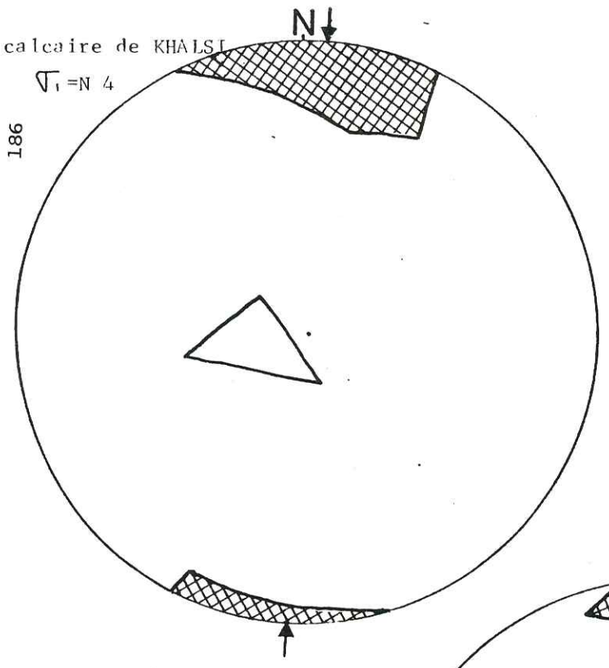
σ_1=N 28

σ_3=N 118 45 ESE



série de BASGO à Yangtang

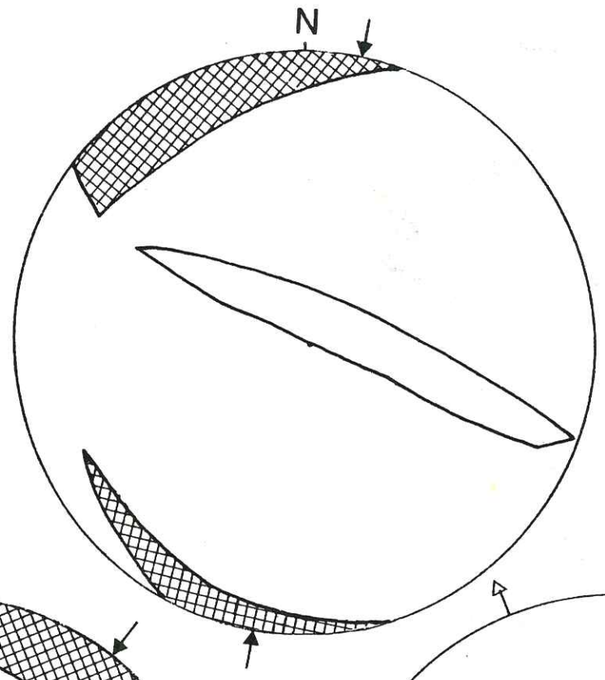
σ_1=N 15



calcaire de KHALSI

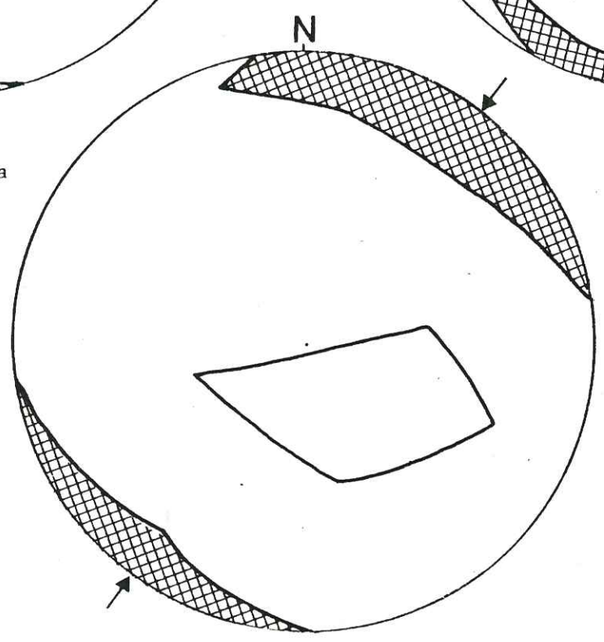
σ_1=N 4

186



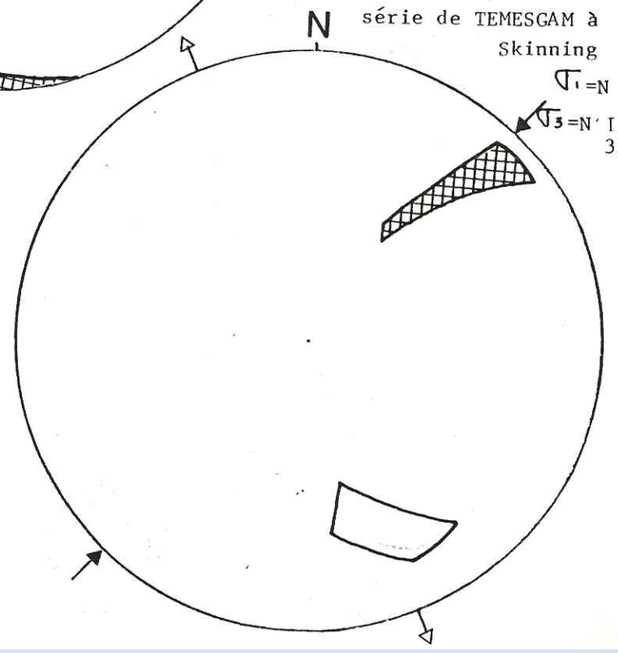
série de TEMESGAM à Kalsi

σ_1=N 10



grès de WULEY-TOKPO à Nurla

σ_1=N 36



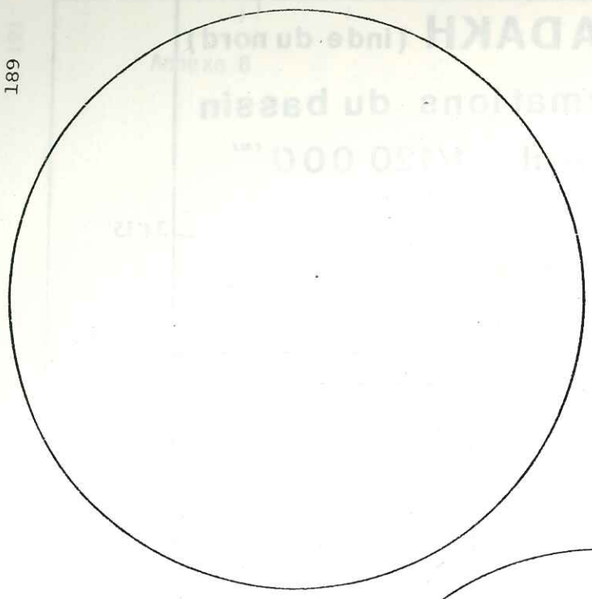
série de TEMESGAM à Skinning

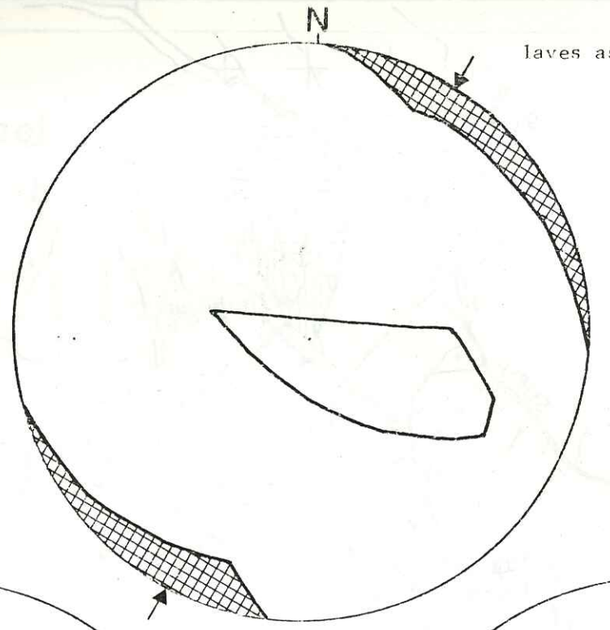
σ_1=N 42

σ_3=N 156 33 SE

tel-00641418, version 1 - 15 Nov 2011

189



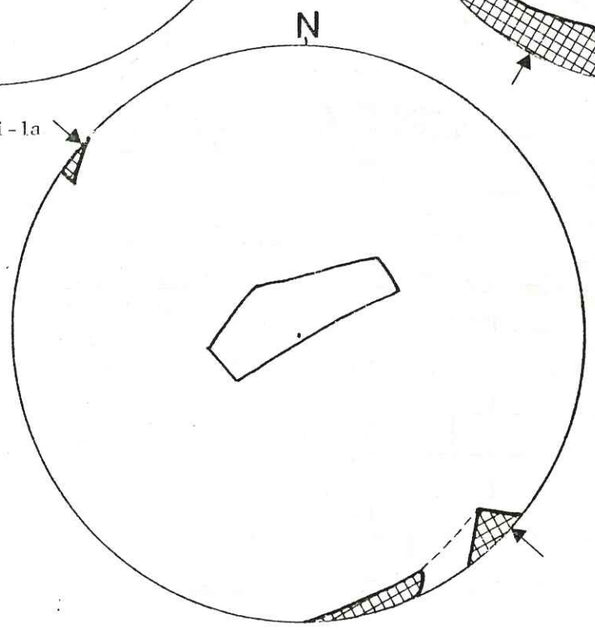


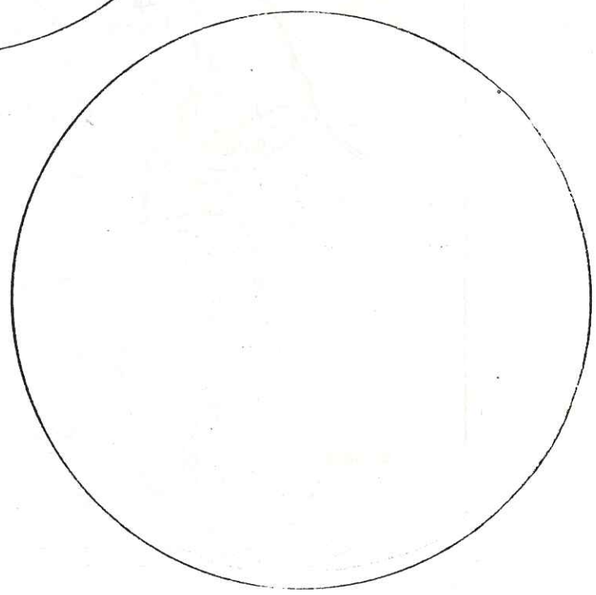
laves associées au flysch de IAMAYURU

σ_1=N 28

flysch de IAMAYURU au Sapi-la

σ_1=N 132



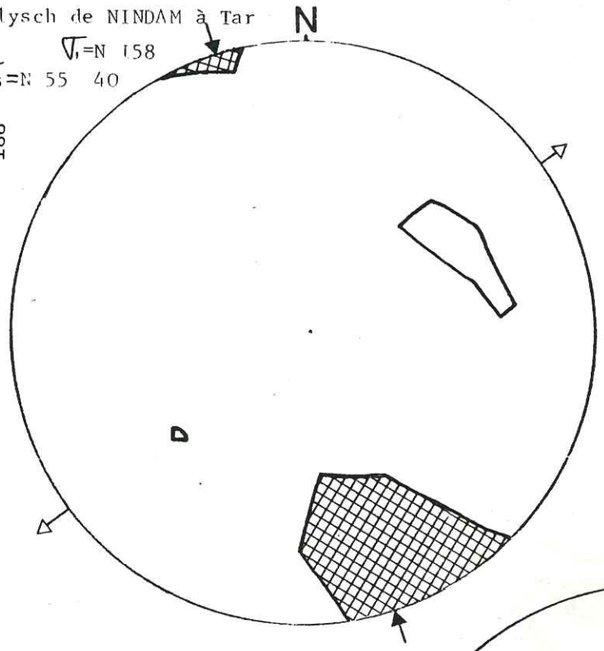


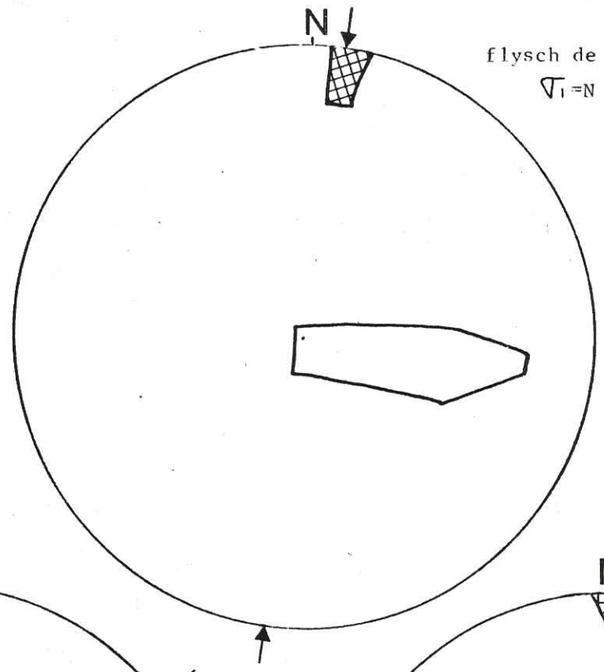
188

flysch de NINDAM à Tar

σ_1=N 158

σ_3=N 55 40





flysch de NINDAM à Paschkyum

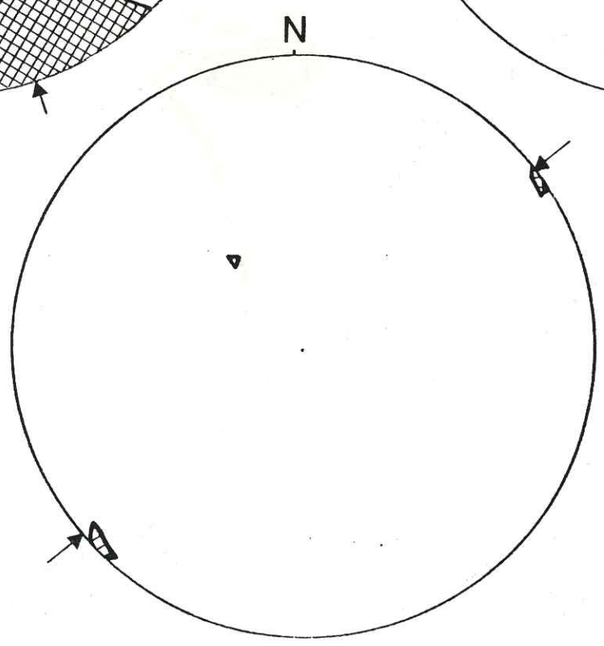
σ_1=N 6

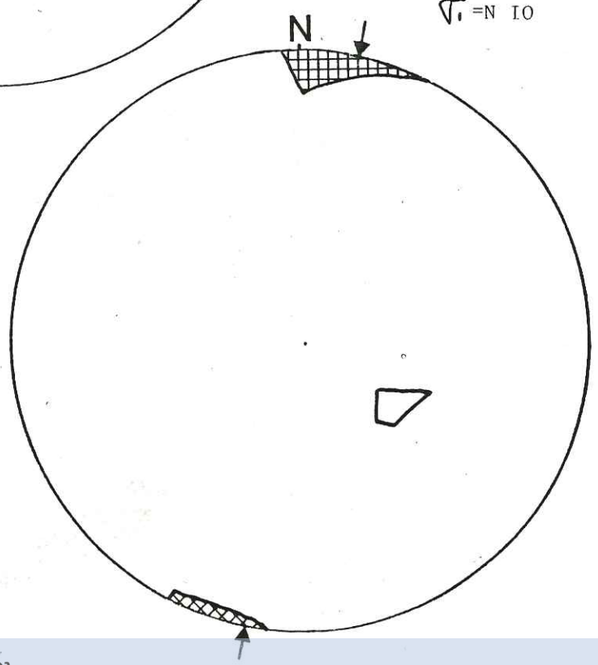
formations de KARGIL

σ_1=N IO

flysch de NINDAM à Marpoil

σ_1=N 56





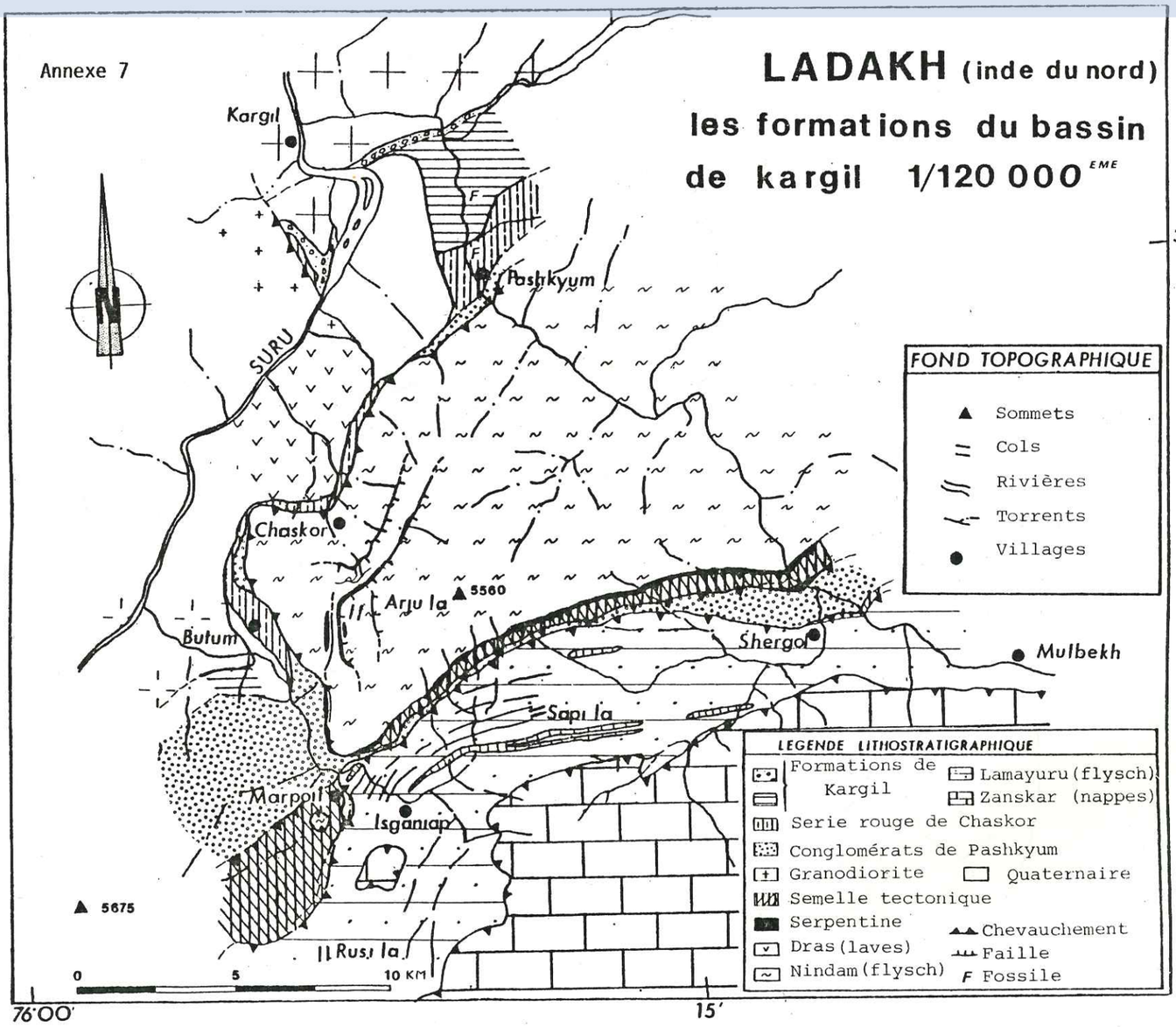
tel-00641418, version 1 - 15 Nov 2011

tel-00641418, version 1 - 15 Nov 2011

Annexe 7

LADAKH (inde du nord)

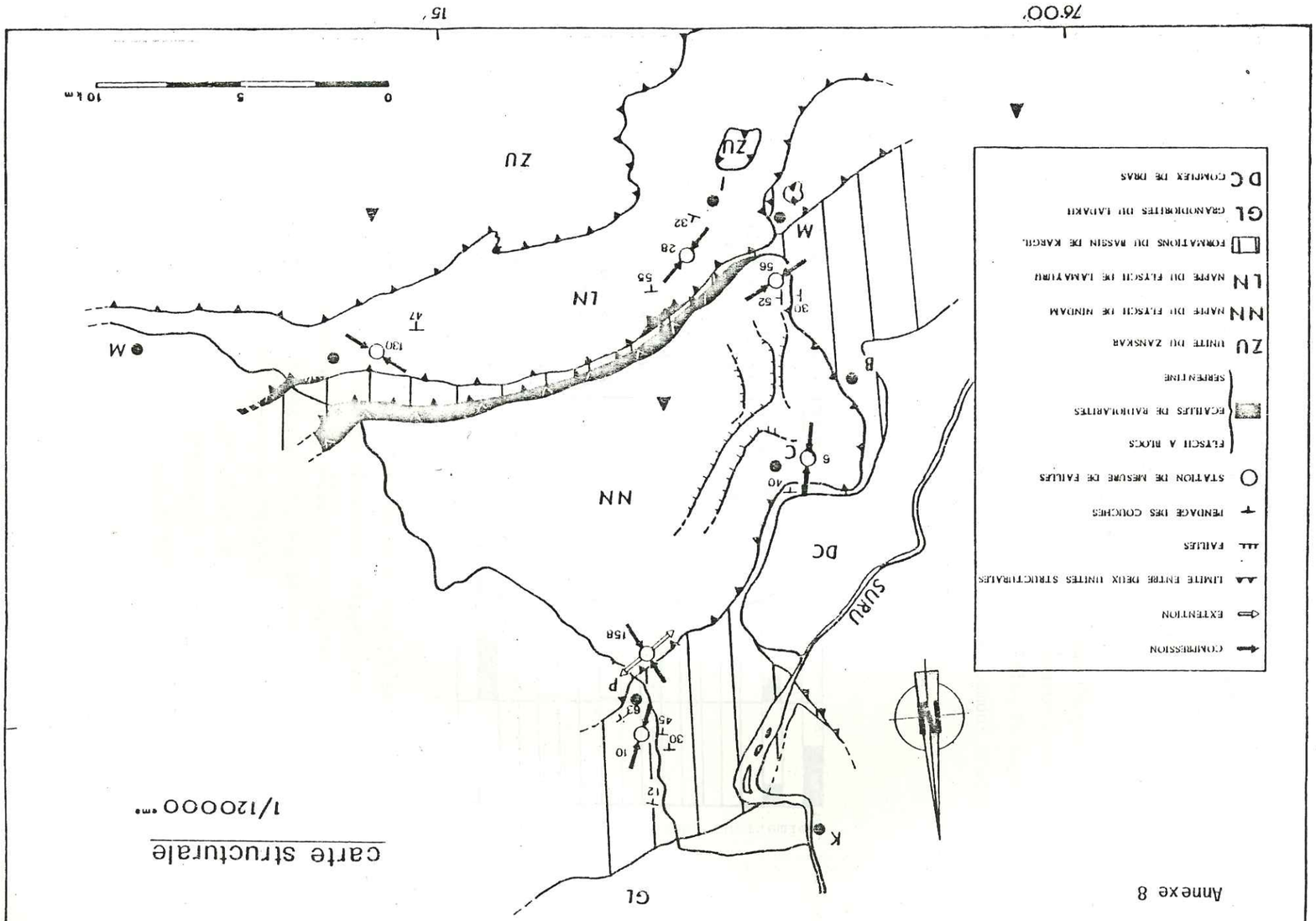
les formations du bassin de kargil 1/120 000 EME



Annexe 8

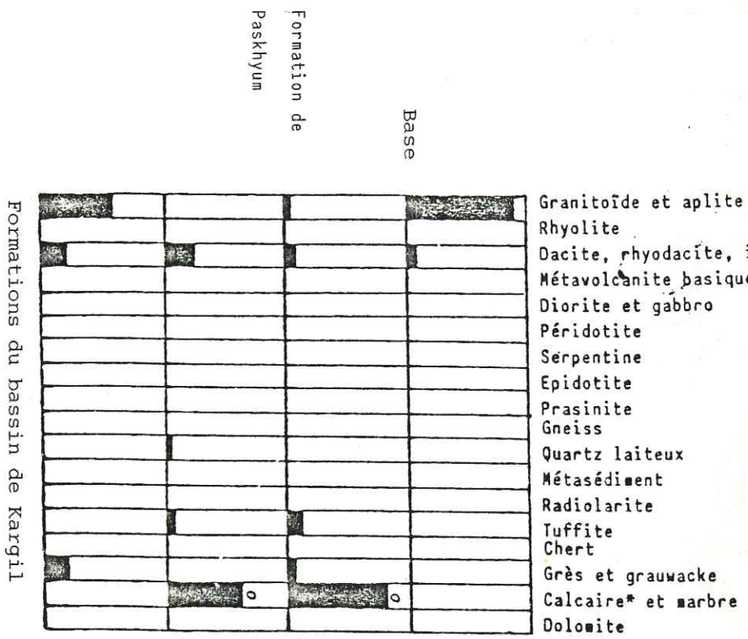
carte structurale

1/120000 ème



ANNEXE 9

Comptage pétrographique des galets (formation de Kargil)



Annexe 10

PETIT LEXIQUE DES NOMS PROPRES

VILLAGES

Alchi- Alchi brok- Basgo- Butum- Chaskor- Chiling- Chogdo- Choksti- Ezans- Hemis- Himis(shukpa)- Hipti- Isganiap- Kargil- Khalsi- Lamayuru- Lardo brok- Leh- Likir- Markha- Martselang- Marpoil- Mathoo- Mongu- Nimu- Nurla- Pashkyum- Rumbak- Saspul- Shingo- Skinning- Skiu- Spituk- Stok- Sumdah gompa- Sumdo- Urucha- Tar-Taruche- Teah- Temesgam- Tiksey- Wuley tokpo- Yangtang- Zinchang.

COLS(se dit la en Tibétain)

Arju la- Dundunchang la- Kunda la- Rusi la- Sapi la- Spangting la- Stakspi la- Stok la.

SOMMETS (Kanri signifie neige en Ladakhi)

Mathoo kanri- Naktol- Nimu pic- Palam pic- Spangting- Stok kanri.

RIVIERES

Indus- Markha- Suru- Wakha- Zanskar.

NOMS DE FORMATIONS

Granodiorites du LADAKH- Formation de DRAS- Flysch de NINDAM- Flysch de LAMAYURU (MARKHA)- Nappe ophiolitique de SPONGTANG- Nappe carbonatée de l'unité de ZANSKAR- Formations de l'INDUS: série de BASGO-SKINNING, série jaune de TEMESGAM, pélites rouges du GONGMARU LA, molasse multicolore de NURLA,(conglomérats d'HEMIS, conglomérats du STAKSPI LA, conglomérats de CHOKSTI), grès de NIMU-ALCHI, calcaires de SUMDAH GOMPA, séries à Nummulites (calcaires de LYDEKKER, flysch de CHOGDO), série verte de TAR, calcaires de KHALSI- Formations du bassin de KARGIL: conglomérats de PASHKYUM, série rouge de CHASKOR, formations de KARGIL.

tel-00641418, version 1 - 15 Nov 2011

LISTE BIBLIOGRAPHIQUE

ANGELIER J., MECHLER P. (1977).- Sur une méthode graphique de recherche des contraintes principales également utilisable en tectonique et en séismologie: la méthode des dièdres droits. Bul. Soc. Géol. France, (7), t.19, p. 1309-1318.

ACADEMIA SINICA (1980).

A Scientific guidbook to south Xizang (Tibet), org. comm. symp. on Qinghai-Xizang (Tibet) plateau, Aca. Sinica, 104 p.

ABU BAKR M. (1965).- Geology of parts of Transhimalayan region in Gilgit and Baltiskan, west Pakistan. Rec. geol. surv. Pakistan, vol.11, part.3, p. 1-14.

ANDRIEUX J., BRUNEL M., SHAH SK. (1977).- La suture de l'Indus au Ladakh (Inde). C.R. Acad. Sc., t. 284, p. 2327-2330.

ANDREWS-SPEED C.P., BROOKFIELD M.E. (1981).- Middle Paleozoïc to Cenozoïc geology and tectonic evolution of the northwestern Himalaya. Cambridge earth science series contribution, nº108, p. 1-33.

ARNAUD-VANNEAU A. (1980).- Micropaléontologie, paléo-écologie et sédimentologie d'une plateforme carbonatée de la marge passive de la Téthys: l'Urgonien du Vercors septentrional et de la Chartreuse. Thèse de Doctorat ès Sciences Naturelles. Géologie Alpine, Mem. nº11, 3 vol., 873 p.

APRAHAMIAN J. (1974).- La cristallinité de l'illite et les minéraux argileux en bordure des massifs cristallins externes de Belledonne et du Pelvoux. Geologie Alpine, t.50, p. 5-15.

ARNI P. (1965).- Evolution des Nummulitidae en tant que facteur de modification des dépôts littoraux. Mem. B.R.G.M., nº32, p. 7-21.

ARGAN E. (1924).- La tectonique de l'Asie. C.R. 13è Congrès géol. Intern., 1922, Liège.

ASRARULLAH, ZAKI AHMAD, GHAZANFAR ABBAS (1977).- Ophiolites in Pakistan. In Geodynamics of Pakistan, Farah Dejon Ed. Geol. surv. Pakistan, p. 181-192.

BAILEY Sir E.B., Mc. CALLIEN W.J. (1950).- The Ankara melange and the Anatholiant thrust. Nature, vol. 166, p. 93-940.

BALLY A.W., ALLEN C.R., GEYER R.B., HAMILTON W.B., HOPSON C.A., MOLNAR P., OLIVER J.E., OPDYKE N.D., PLAFKER G., WU F.T. (1980).- Note of the geology of Tibet and adjacent areas. Report of the American plate tectonics delègation to the people's republic of China. U.S. Geol. Surv. open file rep., 80-501, 100 p.

BASSOULLET J.P., BELLIER J.P., COLCHEN M., MARCOUX J., MASCLE G. (1978).- Découverte de Crétacé supérieur calcaire pélagique dans le Zanskar (Himalaya du Ladakh). Bull. Soc. Geol. France , (7), t.20, p. 961-964.

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; géologie des chaînes alpines issues de la Téthys. AUBOUIN J., DEBELMAS J., LATREILLE M., Eds., mém. B.R.G.M., nº115, p. 180-198.

BASSOULLET J.P., COLCHEN M., GUEX J., LYS M., MARCOUX J., MASCLE G. (1978).- Permien terminal néritique, Scythien pélagique et volcanisme sous-marin, indices de processus tectono-sédimentaires distensifs à la limite Permien-Trias dans un bloc exotique de la suture de l'Indus (Himalaya du Ladakh). C.R. Acad. Sc., t. 287, p. 675-678.

BASSOULLET J.P., COLCHEN M., JUTEAU T., MARCOUX J., MASCLE G., REIBEL G. (1983).- Geological studies in the Indus suture zone of Ladakh (Himalayas). In Contr. to Himal. geol., V.J. Gupta éd., vol. 2, p. 1 à 30.

BASSOULLET J.P., COLCHEN M., MARCOUX J., MASCLE G. (1978).- Une transversale de la zone de l'Indus de Khalsi à Phothaksar. Himalaya du Ladakh. C.R. Acad. Sc., t. 286, p. 563-566.

BASSOULLET J.P., COLCHEN M., MARCOUX J., MASCLE G. (1979).- The Indus suture zone: possible evidence for early Triassic oceanization. Rapp. comm. int. mer Medit., 25/26, 2a., p. 107-108.

BASSOULLET J.P., COLCHEN M., MARCOUX J., MASCLE G. (1981).- Les masses calcaires du flysch triasico-jurassique de Lamayuru (zone de la suture de l'Indus, Himalaya du Ladakh): klippes sédimentaires et éléments de plate-forme remaniés. Riv. Ital. Paleont. Strat., vol. 86, p. 825-844.

BASSOULLET J.P., COLCHEN M., MASCLE G., WANG N. (1984).- Les ensembles sédimentaires de la zone de Tsangpo (Lhazé, Lhaza, Linzhu). In Mission Franco-Chinoise au Tibet 1980. J.L. MERCIER et LIGUANGLEN Ed., Edition du C.N.R.S., p.133-153.

BASSOULLET J.P., COLCHEN M., MASCLE G., VAN HAVER Th., ARNAUD A., THIEULOY J.P., BAUD A., et GARZANTI G. (1984).- L'individualisation du bassin de l'Indus au Ladakh Résumé, 10e R.A.S.T., Bordeaux, Soc. Geol. Fr. Paris.

BAUD A., GAETANI M., FOIS E., GARZANTI D., NICORA A., TINTORI A. (1982).- Les séries tibétaines de l'Himalaya sont elles allochtones: nouvelles observations dans le Zanskar oriental (Inde du Nord). C.R. IXe, R.A.S.T., p.33.

BAUD A., ARN R., BUGNON P., CRISINEL A., DOLIVO E., ESCHER A., HAMMERSCHLAG J.G., MARTHALER M., MASSON H., STECH A., TIECHE J.C. (1982).- Le contact Gondwana - péri Gondwana dans le Zanskar oriental (Ladakh, Himalaya). Bull. Soc. Géol. France (7), t.24, p.341-361.

BAUD A., ARN B., BUGNON P.,CRISINEL A., DOLIVO E., ESCHER A., HAMMERSCHLAG J.C., MARTHALER M., MASSON H., STECH A., TIECHE J.C. (1983).- Geological observations in the Eastern Zanskar area, Ladakh Himalaya. Contribution to Himal. Geol. V.J. Gupta Ed., vol.2, p. 130-142.

BERTHELSEN A. (1953).- On the geology of the Rupshu district, N.W. Himalaya, Medd. dansk. geol. foren., vol.12, nº3, p.350-415.

BHALLA S.N. (1983).- India. In the phanerozoïc geology of the world, vol.II, the Mesozoïc B, M. MOULLADE and A.E.M. NAIRN éd., Elsevier, Amsterdam, p. 305-351.

BHANDARI L.L., VENKATACHALAYA B.S., SINGH P., (1977).- Stratigraphy, phalynology and paleotology of Ladakh molasse group. Proc. 4e coll. on Indian Micropal. and strat., 1974-1975, oil and gas commission and instit. petrol. explor., Dehradun, p. 127-133.

BIGNOT A. & CAVELIER C. (1981).- Stratotype du Paléogène. Pomerol C. Ed. Bull. A.G.B.P., mem. h. s., nº2. Le contenu de l'Ilerdien et sa place dans le Paléogène (1975). Bull. Soc. Geol. Fr. (7), vol.17, p. 126-223.

BLANFORD W.T. (1878).- Scientific results of the second Yarkand mission. Geology based upon the collection and notes of the late Ferdinand STOLICZKA, Calcutta, Off. of the Superint of Governm. Print

BLONDEAU A. (1972).- Les Nummulites. Vuibert Ed., Sciences de La Terre, 255 p.

BROOKFIELD M.E. (1981).- Metamorphic distribution and events in the Ladakh range, Indus suture zone and Karakorum mountains. In metamorphic tectonites of the Himalaya: SAKLANI P.S. éd., p. 1-14.

BROOKFIELD M.E. (1983).- Reconnaissance geology of the area between leh and the Markha valley. Ladakh. Contribution to Himal. geol., V.J. Gupta, Ed., vol. 2, p. 173-179.

BROOKFIELD M.E., REYNOLDS Ph. (1981).- Late Cretaceous emplacement of the Indus suture zone ophiolitic melanges and Eocene-Oligocene magmatic arc on the northern edge of the Indian plate. E.P.S.L., vol.55, Elsevier Ed., p. 157-162.

tel-00641418, version 1 - 15 Nov 2011

BROOKFIELD M.E., ANDREWS SPEED C.P. (1984).- Sedimentology, petrography and tectonic significance of the shelf, Flysch and molasse clastic deposits across the Indus suture zone, Ladakh, N.W India. Sedimentary geology (in Press).

BURG J.P. (1983).- Tectonique comparée de deux segments de chaîne de collision: -le Sud du Tibet (Tsangpo); -la chaîne hercynienne en Europe (M.C.). Thèse S.C., Montpellier, 361 p.

SENGOR A.M. (1981).- Symposium on Quinghai-Xisang (Tibet) plateau - Beijing (Pékin), China, E.O.S., vol. 62, n°30, 1981.

CAILLEUX A., TRICART J. (1959).- Initiation à l'étude des sables et des galets. C.D.U. Paris, t.1, 369 p.

CHANG C. (1980).- The recent theater and evolution of the Yarlung-Zangbo suture zone. Coll. Franco-Chinois, Tibet, Himalaya, campagne 1980-1981, résumé.

CHERCHI A., SCHROEDER R. (1980).- Palorbitolinoïdes hedini n. gen. n. sp., grand foraminifère du Crétacé inférieur du Tibet méridional. C.R. Acad. Sc., t.291, p. 385-388.

COLCHEN M. (1977).- Sur le flysch et la molasse de l'Indus. Himalaya du Ladakh.C.R.5e R.A.S.T., Rennes, p. 160.

COLCHEN M., LE FORT P. (1978).- Some remarks and question concerning the geology of the Himalayas, Himalaya Sciences de La Terre. Coll. Int. du C.N.R.S., n° 268, p. 131-138.

COLCHEN M., GILBERT E., MASCLE G., VAN HAVER Th. (1983).- Some aspects of the collisions tectonics in the Indus suture zone Ladakh Himalaya. Symp. Intern. Tecto. collision, London (note déposée).

CRAWFORD A.R. (1974).- The Indus suture line, the Himalaya. Tibet et Gondwanaland, Geol., Mag., vol.3, p.369-383.

CURRAY J.R., MOORE D.G. (1974).- Sedimentary and tectonic processes in the Bengal deep sea fan and geosyncline. In the geology of continental margins (BURK C.A. et DRAKE C.L.); Springer-Verlag, Ed., p. 617-627.

DAINELLI G. (1933-1934).- La serie dei terreni parte prima, gpe. Italiana De FILLIPI, série 2, vol. 2, 458 p.

DAVIS R.A. (1983).- A genetic approach to sedimentary geology in Depositional system, p. 124.125. Prentice Hall.ed., 669 p.

DEBON F., LE FORT P. et SONET J. (1981).- Granitoid belts west and south of Tibet about their geochemical trends and Rb-Sr isotopic studies. In Geological and ecological studies of Qinghai-Xizang (Tibet) Plateau, vol.1, Science Press Beijing, p. 395-405.

DEBON F., SONET J., LIU G.H., JIN C.W. et XU R.H. (1982).- Caractères chimico-minéralogiques majeurs et datations Rb-Sr des trois ceintures plutoniques du Tibet méridional. C.R.Ac.Sc., v. 295, p. 213-217.

DENG WAN M., YANG RUI Y., HUANG ZHONG X., JIANG Y., GUO YING R., LUO SHI H., ZHAO ZHEN L., FENG XI Z. (1980-1981).- Trace element geochemistry of the ophiolite complexe from Xigaze district: coll. Franco-Chinois, Tibet Himalaya. Campagne 1980-1981.

DESIO A., SHANS F.A. (1977).- The occurence of blueschists between the middle Indus and the Swat valley as an evidence of subduction (N. Pakistan). Rend. cl. sc. fis. mat. e nat. Accad. naz. dei Lincei. Série 8, vol. 62, fasc.5, p. 1-9.

DESIO A., SHANS F.A. (1980).- The age of the blueschists and the Indus Kohistan suture line, NW Pakistan, Rend. Cl., sc. fis. mat. e nat. Accad. naz. dei Lincei, série 8, vol. 68, fasc. 1, p. 74-79.

DE TERRA H. (1935).- Geological studies in the Northwest Himalaya between the Kashmir and Indus valley. Mem. Connecticut Ac. Arts Sci., v.8, p.18-76, New-Haven.

DIXIT P.C., KACHROO R.K., RAI H. et SHARNA N.L. (1971).- Dicovery of vertebrate fossils from Kargil basin, Ladakh (J. & K.). Current science, n°23, p.633.

DUNOYER de SEGONZAC G. (1969).- Les minéraux argileux dans la diagenèse. Passage au métamorphisme. Mem. Serv. carte géol. Als.Lor., n° 29, 317 p.

ESQUEVIN J. (1969).- Influence de la composition chimique des illites sur leur cristallinité. Bull. Centre Rech. S.N.P.A., vol.3, p. 147-153.

FLORES G. (1959).- Evidence of slump phenomena (olistostromes) in areas of hydrocarbon exploration in Sicily. V. World Petro. congr., Sect.1, n°13, p. 259-275.

FOLK R.C., WARD W.C. (1957).- Brazos river bar, a study in the significance of grain size parameters. Journ. Sed. Petrology, vol. 27, p. 3-27.

FRANK W., GANSSER A., TROMMSDORFF V. (1977).- Geological observations in the Ladakh area (Himalayas), Schweiz mineral. petrog. mitt., 57, p.98-113.

FRIEDMAN G.M. (1961).- Distinction between dune, beach and river sands from their textural characteristics. Journ. Sed. Petrology, vol. 31, p. 514-529.

FRIEDMAN G.M. & SANDERS J.E. (1978).- Principes of sedimentology. J. WILEY Ed., 792 p.

FUCHS G. (1977).- Traverse of Zanskar from the Indus to the valley of Kashmir - a preliminary note, jb. Geol. B.A., vol. 120, n°2, p. 219-228.

FUCHS G. (1979).- On the geology of Western Ladakh, jb. Geol. B.A, vol.122, n°2, p. 513-540.

FUCHS G. (1982).- The Geology of Western Zanskar. Jb. Geol., B-A, vol.125 n. 1-2, p. 1-50, 18 fig. 6 tabl.

FUCHS G. (1983).- Events along the Indus suture zone as documented in the Geology of Zanskar (Ladakh Himalaya). Terra Cognita, 3, p.212.

GANESAN T.M., RAZDAN M.L., RAZDAN R.K., MUTHU V.T. (1981).- Stratigraphy, structure and geological history of the Zanskar Basin. In contemporary geosientific researches in Himalaya; vol.1. Tectonics-regional geology and biostratigraphy A.K. SINHA Ed., p. 177-188.

GANSSER A. (1964).- Geology of the Himalayas. J. WILEY interscience pub., 289 p.

GANSSER A. (1976).- The great suture zone between Himalaya and Tibet, a preliminary account, Himalaya sciences de la terre. Coll. int. C.N.R.S., n° 268, p.181-192.

GANSSER A. (1979).- The Himalayas- A fascinating geological challenge. Episode n°4, vol. 1979, p. 17-20.

GANSSER A. (1980).- The ophiolite suture zone of the Ladakh and the Kailas region - A comparison. Journ. Geol. Soc. India, vol. 20, p. 277-281.

GANSSER A. (1980).- The peri-Indian suture zone. In Géologie des chaînes alpines issues de la Téthys (AUBOUIN J., DEBELMAS J., LATREILLE M.); Mém. B.R.G.M., n°115, p.140-148.

GANSSER A. (1980).- The signific ance of the Himalayan suture zone. Tectonophysics, vol.62, p. 37-52.

GANSSER A. (1981).- The geodynamic history of the Himalaya. In Zagros Hindu Kush, Himalaya geodynamic evolution, Geodynamics series, vol.3, Agu, GSA Ed., p.111-121.

GILBERT E., COLCHEN M., MASCLE G., REIBEL G., REUBER I., VAN HAVER Th. (1983).- Multiphased tectonic in the Indus suture zone Ladakh Himalaya. Terra cognita, vol.3, p.266.

GIRARDEAU J., NICOLAS A., MARCOUX J., DUPRE B., CHENG FA C., XI BIN W., YO GAN Z. (1981).- The Xigaze ophiolite (Tibet). A peculiar oceanic crust. Terra cognita sp. issue, p. 17.

GUO M.T., GUANG Q.L. (1981).- Type et âge des mélanges répartis en rive sud de la rivière de Yarlung Zangpo. Coll. Franco-Chinois, Tibet, Himalaya - Campagne 1980-1981.

GUPTA V.J. (1981).- Tethys biostratigraphy of Spiti, Ladakh and Kashmir. In Contemporary geoscientific researches in Himalaya, vol.1, tectonics-regional geology and biostratigraphy. A.K. SINHA Ed., p. 189-200.

tel-00641418, version 1 - 15 Nov 2011

GUPTA V.J., GAUTAM MAHAJAN, KUMAR S., CHADHA D.K., BISARIA P.C., VIRDI N.S., KOCHHNAR N., KASHYAP S.R. (1970).- Stratigraphy along the Manali-Leh-road. Pub. cent. adv. study in geology, Panjab university, Chandigarh, n°7, p.77-84.

GUPTA V.J., KUMAR S. (1975).- Geology of Ladakh, Lahaul and Spiti regions of Himalaya with special reference to the stratigraphic position of flysch deposits. Geol. Rdsch., vol.64, p. 540-563.

HAKIM RAI (1982).- Origin and emplacement of Ladakh batholith present day knowledge, Himal. geol., vol.10, p.78-93.

HAYDEN H.H. (1916).- Note of the geology of Chitral, Gilgit and the Pamir. Rec. Geol. Surv. Ind. vol. 45, p. 271-335.

HEIM A., GANSSER A. (1939).- Central Himalaya, geological observations of the Swiss expedition 1936. Mem. Soc. Helv. Sc. nat., vol. 73, mem.1, 245 p.

HOBDAY D.K., MORTON R.A. (1984).- Lower cretaceous shelf storm deposits, northeast Texas. In Siliciclastic shelf sediments, Soc., Eco., Pal. & Min., Ethington Ed. p. 205-213.

HONEGGER K.H., DIETRICH V., FRANK W., GANSSER A., THOENI M., TROMMSDORFF V. (1982).- Magmatism and metamorphism in the Ladakh Himalayas (the Indus Tsangpo suture zone).Earth and planetary science letters, 60, p. 253-293.

HONEGGER K.H. (1983).- Strukturen und metamorphose im Zanskar kristallin. Thése Zurich, Diss ETH n. 7456. , 117 p

HERGE R. (1960).- Tintin au Tibet. Casterman Ed., 62 p.

HSU K.J. (1971).- Franciscan melange as a model for eugeosynclinal sedimentation and under thrusting tectonics. Journ. Geophys., Res.,vol. 76, p. 1162-1170.

JUTEAU T., REIBEL G. (1981).- Indus suture: petrographic description of the pillow lavas of the Dras formation, and of the ophiolite of the Spongtang- Photoksar nappe. Terra cognita, sp. issue, p. 19.

KANVAR R.C. (1980).- Evolution of structures in the subduction zone of the Himalayas. Pub. Cent. adv. Study in geology.Panjab univ., Chandigarh, p. 685.

KELEMEN P.B., SONNENFELD M.D. (1981).- Observations on stratigraphy structure, petrology & tectonics from traverses in central Ladakh & Zanskar. Earth Sc. dep. Dartmouth coll. ,Hanover, New Hampshire, p. 1-61.

KRUMBEIN W.C. (1938).- Size frequency distribution of sediments and the normal phi curve. Journ. Sed. Petrology., vol.8, p. 84-90.

KUBLER B. (1968).- Evaluation quantitative du métamorphisme parla cristallinité de l'Illite. Bull. Centre Rech. S.N.P.A., vol.2, p. 385-397.

KUMAR S. (1983).- Trace fossils from the Indus suture zone, Ladakh. In stratigraphy and structure of Kashmir and Ladakh Himalaya, V.J. GUPTA Ed., contribution to Himal. Geol., vol. 2, p. 257-259.

LAKHANPAL R.N., SAH S.C.D., SHARMA K.K., GULERIA J.C. (1983).- Occurence of Livistona in the Hemis conglomerate horizon of Ladakh. In Geology of Indus suture zone of Ladakh, wadia Inst. Himal. Geol. Dehra Dun, V.C. THAKUR et K.K. SHARMA Eds. p. 179-185.

LYDEKKER (1880-1881).- Geology of Ladakh & neighbouring districts, being fourth notice of geology of Kashmir and neighbouring territories. Rec. Geol. Surv. India, vol. 13, p. 10-304.

LYDEKKER (1883).- The geology of the Kashmir and Chamba territories and British district of Khagam. Mem. Geol. Surv. India vol. 22, p. 1-344.

LYS N. avec la collaboration de COLCHEN M., BASSOULLET J.P., MARCOUX J., MASCLE G. (1980).- La biozone à Colaniella Parva du Permien supérieur et sa microfaune dans le bloc calcaire exotique de Lamayuru, Himalaya du Ladakh. Rev. Micropal., vol. 23, p. 76-108.

tel-00641418, version 1 - 15 Nov 2011

MANGAIN V.O., JAGANNATRA RAO BR. (1965).- Orbitolines from the limestone intercalations of Dras volcanics; Jammu and Kashmir state; journ. geol. soc. India, vol. 6, p. 122-129.

MARCOUX J., BURG J.P., GIRARDEAU J., CHANG C.F. et XIAO X.C. (1983).- A key piece of the Yarlung-Tsangpo suture puzzle: the Xigaze group s.l. Terra cognita, vol.3, p.349.

MARCOUX J., NICOLAS A., GIRARDEAU J., CHANG CHENG FA, ZHAO YOGANG, WANG NAIWEN, BASSOULLET J.P., COLCHEN M., NASCLE G. (1980-1981).- La couverture sédimentaire transgressive du "complexe effusif supra ophiolitique" dans la région de Xigaze. Zone de la suture Yaluzangbu (Tsangpo); Coll. Franco-Chinois, Tibet-Himalaya - campagne 1980-1981.

MASCLE G., VAN HAVER Th. (1984).- Stratigraphie et structure du bassin de Karghil (Ouest Ladakh, Kashmir, Himalaya); C.R. 10e R.A.S.T., p. 384.

MASCLE G. (1976).- Quelques réflexions sur la question de l'Océan Téthysien. Himalaya, Sciences de la Terre. Coll. Int. C.N.R.S., n° 268, p. 251-260.

MASCLE G. (1984).- L'Himalaya résulte-t-il du télescopage de trois chaînes ?

MAC BRIDE E.F. (1963).- A classification of common sandstone. Journ. Sedim. Petr., vol.33, p. 664-669.

MEHROTRA N.C., SINHA A.K. (1978).- Discovery of microplanktons and the evidences of the younger age of Sangcha Malla formation (upper flysch) of Malla Johar area in the Tethyan zone of Kumaun Himalaya. Himal. Geol. vol.8, p.1001-1004.

MERCIER J.L., TAPPONNIER P., 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 Tingdong, XIAO Xuchang, CHANG Chenfa, LIN Baoyu, LI Guangcen, WANG Naiwen, CHEN Guoming, HAN Tonglin, WANG Xibin, DENG Wanming, ZHENG Haixiang, SHENG Huaibin, CAO Yougong, ZHOU Ji, QIU Hongrong (1984).- La collision Inde-Asie côté Tibet. In Mission franco-chinoise au tibet 1980. J.L. MERCIER et LIGUANGCEN Ed., Edition du C.N.R.S., p. 1-13.

METZELTIN S., NICORA A. (1977).- A new Eocene outcrop from Zanskar range, Himalaya. Riv. Ital. Paleon., vol.83, p. 803-824.

MOLNAR P., TAPPONNIER P. (1975).- Cenozoïc tectonics of Asia: Effects of a continental collision.Sciences, vol. 189, p. 419-426.

MOORE D.G., CURRAY J.R., RAITT R.W., EMMEL F.J. (1974).- Stratigraphic-seismic section correlations and implications to Bengal fan history. In VON DER BORCH, C.C. SCLATER J.G. et al; Init. rep. D.S.D.P., vol.22, US GOV, Print. off. Washington, p.403-412.

MU A.T., WEN S.H., WANG Y.K., CHANG G.P.K. et YIN C.H. (1973).- Stratigraphy of the mount Jolmo-Lungma region in Southern Tibet (China). Scientia Sinica, 16, p. 96-111.

MANDA MM., SIGNH MP (1976).- Stratigraphy and sedimentation of the Zanskar area. Ladakh and adjoining parts of the Lahul region of Himachal Pradesh. Himal. geol., vol.6, p.367-388.

NICOLAS A., GIRARDEAU J., MARCOUX J., DUPRE B., CHANG CHENG FA, WANG XIBIN, ZAO YOGANG (1980-1981).- Les ophiolites de Xigaze: une lithosphère océanique bien particulière. Coll. Franco-Chinois, Tibet, Himalaya-Campagne, 1980-1981.

NORIN E. (1946).- Geological exploration in western Tibet. Rep. from the Swedish exp. to the NW prov. China under the leadership of Dr. SVEN HEDIN, III geology 7.

NORTON I.O. (1982).- Paleomotion between Africa south America, and Antartica and implications for the Antartic Peninsula in Antartic Geoscience. Campbell Craddoct Ed., I.U.G.S., séries B, n°4, p.99-106.

PAL D. & MATHUR N.S. (1977).- Some observations on stratigraphy and structure of Indus flysch. Ladakh region.Himal. Geol., vol.7, p.464-478.

PAL D., SRIVASTAVA R.A.K., MATHUR N.S. (1978).- Tectonic framework of the miogeosynclinal sedimentation in Ladakh Himalaya: A cristal analysis.Himal. geol., vol.8, part.1, p.500-523.

PANDE IC., TEWARI B.S., GUPTA V.J., BISARIA P.C., CHADHA D.K., MAHAJAN G., KUMAR R., KUMAR S., KASHYAP SM., KOCHHAR N., VERDI N.S. (1969).- On the age of the Indus flysch, Ladakh.Pub. Cent. adv. study in geology, Panjab Univ. Chandigarh, p.72-73.

PARONA C.F. (1928).- Faune cretacich del Caracorum e deghi Altipiani Tibetani. Spedizione Ital. de Filippi nell'Himalaja. Caracorum e Turchestan cinese 1913-14; S.2, vol.6, p.121-134.

PASSEGA R., BYRANJEE R. (1963).- Analyses granulométriques, outil géologique pratique. Rev. Inst. Fr. Pétrole, vol. XVIII, p. 1489-1498.

(1969).- Grain size image of clastic deposits. In sedimentology, 13, p.233-252.

PRASAD E., SINGH B., VENKATRAMAN K., GHOSH D.B. (1980).- Petrochemical characteristics of basic and ultrabasic rocks of Dras area, "Indus ophiolite belt", Ladakh, India. Ophiolites proceeding international ophiolite symposium, Cyprus 1979, Minist. agric. et nat. res, geol. surv. dep., p.444-453.

PROCEEDING OF SYMPOSIUM ON QUINGHAI-XIZANG (Tibet) (Abstract, 1980, acad. Sinica).

. Geological outline and geological history of the Yarlung Zangbo suture zone (WU, HAORUO), p.15.

. Characteristics of the sedimentary facies belts in the Yarlung Zangbo-Xing-Quan, the subsidence region and their sedimentary models (LIENCHENG M., TIOGAN W.), p.21.

.The mesozoïc-cenozoïc volcanic rocks in Xizang and the bearings on geology (CHENGWER J.), p.31.

. A pair of metamorphic belts in south Xizang (QI Z., DAZHOU L., SHAIRHUA L.), p. 32.

. The collision of India plate with Eurasian plate as viewed from geological and geochimical features of the Kangdese magmatic complex zone (FUMING C.), p.49.

. The sequence formation and emplacement of the Yarlungzanbo ophiolite belt, Xizang (WANNING D., HAORUO W., CHENFGA C., GUANGIAN L.), p.52.

. The ophiolite system on Quinghai-Xizang plateau and its genesis in west Xizang (HOUJUN M., XUENONG L., MINGTANG W., JIAXIANG C., GUANGYU Z.), p.53.

. Studies on the igneous petrology of the Yarlung Zangbo ophiolite, Xizang (LANMING D), p. 55.

. Lithological features and geological significance of Yarlung Zangbo Jiang ophiolite belt and trench sediments in Xizang plateau (RONGLONG C.), p.56;

. Some observations on the ophiolites of Ladakh and Nagaland (GUPTA V.J.), p.57.

. Ophiolite emplacement and suture (SKACKLETON R.M.), p.57.

. The India-Asia collision underthrusting of the Tibetan plateau and post collisional deformation of south central Asia; implications from new paleo magnetic data (KLOOT WIJKCT, p.101).

REIBEL G. (1983).- The Dras complex : a trapped volcanoplutonic island arc crust in the Indus suture zone (Ladakh Himalaya), Terra Cognita, 3, p. 157.

REIBEL G. (1983).- Structure interne du complexe volcanoplutonique de Dras Suture de l'Indus Himalaya du Ladakh. (Note déposée Soc. Geol. France, Juin 1983).

REIBEL G. (1984).- L'association pluto-volcanique de Dras (suture de l'Indus, Himalaya du Ladakh): Pétrologie d'un fragment de croûte d'arc insulaire. Thèse de 3e cycle, Univ. Louis Pasteur, Strasbourg, 169 p.

REINECK HE, SINGH IB. (1980).- Depositional sedimentary environments, 2nd éd., Springer Ed. 549 p.

REYNOLDS P.H., BROOKFIELD M.E., Mc NUTT R.H. (1983).- The age and nature of Mesozoïc-Tertiary magmatism across the Indus suture zone in Kashmir and Ladakh (N.W. India and Pakistan). Geologishe Rundschau vol.72, part.3, p.981-1004.

RICE D.D. (1984).- Widespread, shallow marine, storm-generated sandstone units in the upper cretaceous mosby sandstone, Central Montana. In Schiclastic shelf sediments, Soc. Eco. Pal. et Min., Ethington Ed., p. 143-161.

ROSSI RONCHETTI C. (1967).- Molluscs from the upper Cretaceous at Burgil La, Riv. Ital. Paleont. Strat., vol.73, p.811-827.

ROY S.S. (1981).- Reactivated Tibetan block in a Tethyan context. Journ. struc. geol., vol.3 p.459-466.

ROY S.S. (1978).- Eastern Tethys and microplates framed in Himalayan, central, and southeast Asian geology. Third regional conference on geology and mineral ressources of southeast Asia, Prinya Nutalaya Ed., p.165-172.

SAHMI M.R., BHATNAGAR N.C. (1958).- Freshwater mollusca and plant remains from territaries of Kargil, Kashmir. Rec. Geol. Surv., India; vol.87, p.467-475.

SHAMI M.R., SASTRI V.V. (1957).- A monograph of the Orbitolines found in the India continent (Chitral, Gilgitand, Kashmir), Tibet and Burna, with observations on the age of the associated volcanic series. Geol. Surv. India. Paleont. India, NS, 33, 3, p. 1-44.

SAVAGE R.J.G., DIXIT P.C., MURTY D.A.N. (1977).- On an Antracothere upper molar from Ladakh, Kashmir. Journ. Paleont. Soc. India, n°20, p.219-223.

SCHÄRER V., HAMET J., ALLEGRE C.J. (1984).- The Transhimalaya (Gangdese) plutonism in the Ladakh region: a U-Ph and Rb-Sr study, EPSL, vol.67, Elsevier Ed., p.327-339.

SCHWELLER W.J., KULM L.D., PRINCE R.A. (1981).- Tectonics, structure, and sedimentary framework of the Peru-Chili trench. In Nazca plate: crustal formation and andean convergence. Geol. Soc. America, Mem. 154, p.323-586.

SEARLE M.P. (1983).- On the tectonics of the western Himalaya. Episodes, vol. 1983, n°4, p.21-26.

SEARLE M.P.(1983).- Stratigraphy, structure and evolution of the Tibetan. Tethys zone in Zanskar and the Indus suture zone in the ladakh Himalaya. In Transaction of the Roy. Soc. Edimbourg: Earth Sciences, 73, p.205-219.

SEELY D.R. (1979).- The evolution of structural highs bordering major forearc basin. In Geological investigations of continental margins, A.A.P.G., Mém.29, p.245-260.

SHACKLETON R.M. (1981).- Structure of southern Tibet: report on the traverse from Lhasa to Khatmandu, organised by academia Sinica. Journal Struct. Geol., vol.3, p. 97-105.

SHAH SK. (1976).- Indus ophiolite belt and the tectonic setting of the Malla Johar-Kiogad exotics. In Himalaya Sciences de la Terre. Coll. int. C.N.R.S., n°268, p.361-368.

SHAH SK., SHARMA L., GERGAN J.T., TARA C.S. (1976).- Stratigraphy and structure of the western part of the Indus suture belt, Ladakh, northwest Himalaya, Himal. Geol., vol.6, p.534-556.

SHANKAR R., PADHI R.N., PRAKASH G., THUSSU J.L., WANGDUS C. (1976).- Recent geological studies in upper Indus valley and the plate tectonics. Misc. Pub. Geol. Surv. India, vol.34, pt.1, seminar on tectonics and metallogeny on south East Asia, p.41-56.

SHARMA K.K., GUPTA K.R. (1978).- Some observation on the geology of the Indus and Shyok valleys between Leh and Panamik, district Ladakh, Jammu and Kashmir, India recent researches in geology, vol.7, p.133-143.

SHARMA K.K., KUMAR S. (1979).- Contribution to the geology of Ladakh, North Western Himalaya. Himal. Geol., vol.8, p.252-287.

tel-00641418, version 1 - 15 Nov 2011

SHARMA K.K., SINHA A.K., BAGOASARIAN Gl. GUKASIAN R.Ch. (1979).- Potassium argon dating of Dras volcanics, Shyok volcanics and Ladakh granite Ladakh northwest Himalaya. Himal. Geol., vol.8, p.280-295.

SHARMA K.K., CHOUBEY V.M. (1983).- Petrology, geochemistry and geochronology of the southern margin of the Ladakh batholith between Upshi and Chumathang. In Geology of Indus suture zone of Ladakh, Wadia Inst. Himal. Geol. Dehar Dun, V.C. THAKUR et K.K. SHARMA, Eds., p.41-60.

SHEPHERD G.L., MOBERLY R. (1981).- Coastal structure of the continental margin, northwest Peru and southwest Ecuador. In Nazca plate: crustal Formation and Andean convergence. Geol. Soc. America. Mem., 154, p.323-586.

SINHA A.K. (1981).- Geology and tectonics of the Himalayan region of Ladakh, Himachal, Garwhalkumaun and Arunachal Pradesh: A review. In Zagros, Hindu Kush, Himalaya geodynamic evolution. Geodynamics serie, vol.3, AGU, GSA Ed., p. 122-148.

SINHA A.K., SRIVASTAVA RAK (1978).- On the occurence of Glauconite with radiolarites in the flysch sediments of Malla Johar area in higher Himalaya and sedimentation. Himal. Geol., vol.8, p. 1043-1048.

SRIKANTIA S.V. (1976).- Sedimentary cycles in the Himalaya and their significance on the orogenic evolution of the mountain belt. Himalaya Sciences de la Terre, Coll. int. C.N.R.S., nº268, p.395-404.

SRIKANTIA S.V., BHARGAVA O.N. (1978).- The Indus tectonic belt of Ladakh Himalaya: its geology significance and evolution. In Tectonic geology of the Himalaya, P.S. SAKLAMI Ed., p.43-62.

SRIKANTIA S.V., RAZDAN M.L. (1980).- The ophiolite sedimentary belt of the Indus tectonic zone of the Ladakh Himalaya, its stratigraphic and tectonic significance. Ophiolites, proc. intern. ophiolite symposium Cyprus 1979 - Minist. of Agri. et Nat. res, geol. surv. dep., p.430-443.

SRIKANTIA S.V., RAZDAN M.L. (1980).- Geology of part of central Himalaya with particular reference to Indus tectonic zone. Journ. Geol. Soc. India, vol.21, p.523-545.

SRIVASTAVA RAK, DEVENDRA PAL, MATHUR N.S. (1979).- Sedimentological studies of Indus formation Ladakh. Himal. Geol., vol.9, p.668-700.

STERNE E.J. (1979).- Report on geological traverses across the Indus-Tsangpo suture zone in Ladakh, northern India. Dep. of. Geol. Sci. Harward Univ. Camb. Massachussetts, 61 p.

STOLICZKA F. (1965).- Summary of geological observation during a visit to the province. Rupshu, Karnag, south Ladakh, Zanskar, Suroo and Dras - of western Tibet. Mem. Geol. Surv. India , vol.5, p.337-354.

. Les notes du Dr STOLICZKA sont reprises dans: BLANFORD W.T., Scientific result of the second Yarkand mission , geology based upon the collection and notes of the late Ferdinand STOLICZKA, Calcutta, 1878.

Studies in East Asian (1981).- Tectonics and ressources (Seatar), 250 p.

SUTRE E. (1983).- Un exemple probable de sédimentation d'arc insulaire: l'unité de Nindam et les mélanges ophiolitiques associés.Himalaya du Ladakh, mémoire du D.E.A. Univ. de Poitiers, 1983.

TAHIRKHELI RAK., MATTAUER M., PROUST F., TAPPONNIER P. (1979).- The India Eurasia suture zone in northern Pakistan . Synthesis and interpretation of recent data at plate scale. In Geodynamics of Pakistan, Farah Dejon Ed., Geol. Surv. Pakistan, p.125-130.

TAPPONNIER P., MATTAUER M., PROUST F., CASSAIGNEAU C. (1980).- Mesozoïc ophiolites, sutures, and large-scale tectonics mouvements in Afghanistan; E.P.S.L. 52, p.335-371.

tel-00641418, version 1 - 15 Nov 2011

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., 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, vol. 294, nº5840, p. 405-410. New-York.

THAKUR V.C. (1981).- Regional framework and geodynamic evolution of the Indus-Tsangpo suture zone in Ladakh Himalayas. Earth Science, vol.72, p.89-97.

THAKUR V.C., VIRDI N.S. (1981).- Lithostratigraphy, structural framework, deformation and metamorphism of the south-eastern region of Ladakh Kashmir Himalaya, India Himal., Geol., vol.9, p.63-78.

THAKUR V.C., BAGATI T.N. (1983).- Indus formation: an arc-trench gap sediments. In Geology of Indus suture zone of Ladakh, Wadia Inst., Himal. Geol. Dehra Dun, V.C. THAKUR et K.K. SHARMA Eds., p.9-19.

THEYER P. (1983).- Obduct ophiolite complex, Dominican Republic. G.S.A. Bull., vol.94, nº12, p.1438-1441.

THORNBURG T., KULM L.D. (1981).- Sedimentary basins of the Peru continental margin: structure stratigraphy and cenozoïc tectonics from 6ºS to 16ºS latitude. In Nazca plate, crustal formation and Andean convergence. Geol. Soc. America, Mem. 154, 1981, p. 393-422

TEWARI B.S., GUPTA V.J., MAHAJAN G., KUMAR S., CHADHA D.K., BISARIA P.C., VIRDI N.S., KOCHHAR N., KASHYAP S.R. (1970).- Some foraminifera from Indus flysch, Ladakh. Pub. Cent. adv. study in geology, Panjab univeristy, Chandigarh, nº7, p. 191-196.

TEWARI B.S., SHARNA S.P. (1972).- Charophytes from the Wakka River Formation, Kargil, Ladakh. Bull. Ind. Geol. Ass. Chandigarh, 5, p. 52-62.

TEWARI B.S., DIXIT P.C. (1971).- A new terrestrial gastropod from fresh water beds of kargil Ladakh. J & K State, Bull. Ind. Geol. Ass. 4, p.61-67.

TEWARI B.S., PANDE I.C., KUMAR R. (1970).- Lower cretaceous fossiliferous limestone from Khalsi, Ladakh. Pub. Cent. adv. study in geology, Panjab Univ., Chandigarh, nº7, p. 191-196.

TEWARI A.P. (1964).- On the upper Tertiary deposits of Ladakh Himalayas and correlation of various gestectonics units of Ladakh with those of the Kuamaon-Tibet region. Int. Geol. Cong., 22e Ses. Ind., part.11, p.37-58.

TREVISAN L., TONGIORGI E. (1958).- La Terra. UTET, Torina, 730 p.

VAN HAVER Th., BASSOULLET J.R., BLONDEAU A., GILBERT E., MASCLE G., SUTRE E. (1983).- L'âge des séries détritiques de l'Indus au Ladakh. Terra cogneta, nº3, p.272.

VAN HAVER Th., BUCHER N. (1984).- Nouvelles précisions sur les séries du bassin de l'Indus au Ladakh. C.R. 10e R.A.S.T., p. 536.

VAN HAVER Th., BASSOULLET J.P., BLONDEAU A., MASCLE G. (1984).- Les séries détritiques du bassin de l'Indus au Ladakh; nouvelles données stratigraphiques et structurales. Riv. Ital. Pal. Strat., vol.90, sous presse.

VAN HAVER Th., BASSOULLET J.P., BUCHER H., COLCHEN M., MASCLE G. (1984).- New precision about Indus Formations in the Ladakh area, in Intern. Symp. Geol. Himal. Chengdu China, 1984.

VIRDI M.S. (1981).- On the geodynamic significance of mega lineaments in the outer and lesser regions of western Himalaya. Himal. Geol., vol.9, p.79-99.

VIRDI N.S. (1981).- Geotectonic evolution of the Indus suture zone. In Contemporary geoscientific researches in Himalaya; vol.1: Tectonics regional geology and biostratigraphy, SINHA A.K., Ed. p.131-136.

VIRDI N.S., THAKUR V.C., KUMAR S. (1977).- Blueschist facies metamorphism from the Indus suture zone of Ladakh and its significance. Himal. Geol., vol.7, p.479-482.

VITTORI J., BRANBATI A., GOT H., LE QUELLEC P., MASCLE G., MEZZADRI G., MONACO A. (1980).- Alimentation des fosses de subduction de l'arc hellenique au Sud du Péloponnèse. Bull. Soc. Géol. France, vol.7, t.22, p.707-711.

WADIA D.N. (1937).- The Cretaceous volcanics series of Astor-Deosai, Kashmir, and its intrusions. Rec. Geol. Surv. India, vol.72, p.151-161.

WANG H.R., DENG W. (1980).- Basic geological features of the Yarlung Zangbo ophiolite belt, Xizang, China. Ophiolites. Proceeding international ophiolite symposium, Cyprus 1979. Minist., agric. et nat. res., geol. surv. dep., p.462-472.

WANG N., WANG S., LIU G., BASSOULLET J.P., COLCHEN M., MASCLE G., JAEJER J.J. (1983).- The Juro cretaceous marine terrestrial alternating formations in Lhasa area Xizang, Tibet. Acta geologica sinica, nº1, p.83-95 (en chinois).

WANG N. (1983).- Discovery of paleocene-eocene foraminifera in Zhongba area Xizang (Tibet). In Coll. Franco-Chinois; Géologie du Tibet, Montpellier.

WANG S. (1983).- The age of the Qiuwu coal, bearing srtata in Xizang (Tibet), China. In coll. Franco-Chinois, géologie du Tibet, Montpellier.

XIAO X. et al (1980, 1981).- Some observations on ophiolite along the Tsangpo river and revelant tectonics problems. Coll. Franco-Chinois, Tibet Himalaya-Campagne 1980-1981.

XIAO X., QU J., CHENG G., ZHU Z., GU Q. (1980).- Ophiolites of the Tethys Himalayas of China and their tectonic significance. Géologie des chaines alpines issues de la Téthys, AUBOUIN J., DEBELMAS J., LATREILLE N. Eds.,Mem. B.R.G.M., nº115 p. 149-151.

YORATH C.J. and HYNDMAN R.D. (1983).- Subsidence and thermal history of Quenn Charlotte basin. Can. Journ. Earth Sciences, vol.20, p.135-153.

ZHAO H.X., CAO Y.G. et WANG X.B. (1980-1981).- Sur la relation entre la formation Xigazé et les ophiolites. Coll. Franco-Chinois, Tibet-Himalaya; Campagne 1980-1981.

-=-=-=-

Réalisé avec le concours du Service Imprimerie de la 5ème Circonscription
1, Place Aristide-Briand – 92190 Meudon – Tél. 534 75 50 – Télex 204135

tel-00641418, version 1 - 15 Nov 2011

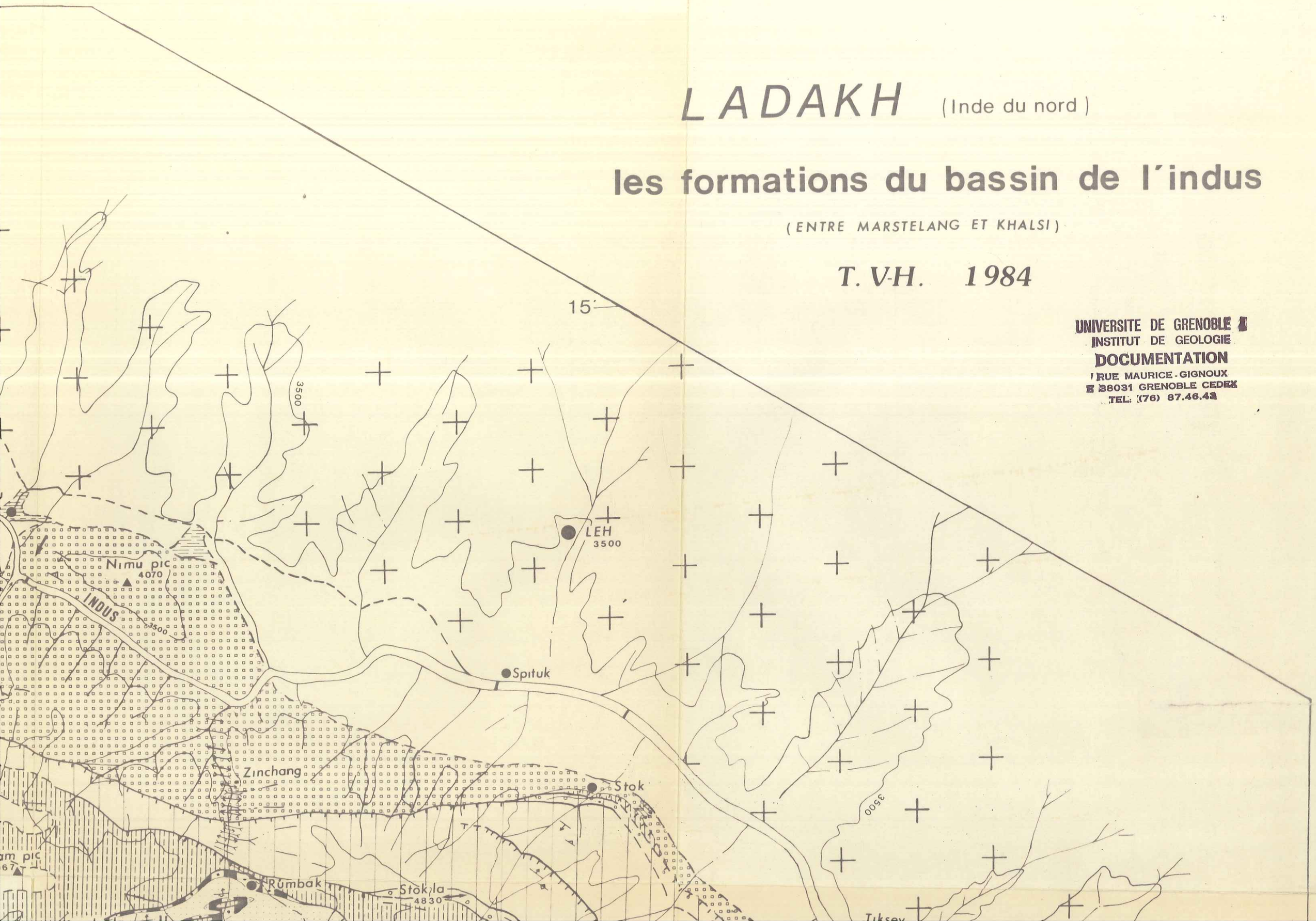
LADAKH (Inde du nord)

les formations du bassin de l'indus

(ENTRE MARSTELANG ET KHALSI)

T. V-H. 1984

UNIVERSITE DE GRENOBLE I
INSTITUT DE GEOLOGIE
DOCUMENTATION
1 RUE MAURICE-GIGNOUX
38031 GRENOBLE CEDEX
TEL. (76) 87.46.43



Skinning
Teah
Temesgam
Khalsi
3090
Nurla
3017
Tar
Himis
Yangthang
Likir
Taruche
Saspol
Wuley
Basgo
Nimu
Mongu
Lardo Brok
Alchi Brok
Spangting
5640
Spangting la
5300
Stakspi la
5100
Sumdah gompa
Choksti
Dundunchang la
4790
Palam pic
5067
ZANSKAR
3500
4500
4500
3500
3500
4500
4500
5500

FOND TOPOGRAPHIQUE

- POINTS CULMINANTS
- COLS
- RIVIERES
- TORRENTS PRINCIPAUX
- VILLAGES
- PONTS

LEGENDE LITHOSTRATIGRAPHIQUE

- CONGLOMERATS DE WHANLA (SKIU)
- GRES DE NIMU-ALCHI
- CONGLOMERATS DE CHOKSTI
- MOLASSES MULTICOLORES DE NURLA

Post Eocène inf.

LEGENDE LITHOSTRATIGRAPHIQUE

CONGLOMERATS DE WHANLA (SKIU)

Post Eocéne inf.

- GRES DE NIMU-ALCHI
- CONGLOMERATS DE CHOKSTI
- MOLASSES MULTICOLORES DE NURLA
- CONGLOMERATS D'HEMIS
- PELITES ROUGES DU GONGMARU LA-MARNES D'URUCHA
- GRES DE WULEY TOKPO
- SERIE JAUNE DE TEMESGAM
- CALCAIRES A NUMMULITES-GRES DU PARCHA KANRI(Ilerdien Cuisien)
- PELITES VERT FONCE DE CHOGDO(Paléocéne-Eocéne→?)
  CALCAIRES DE SUMDHA GOMPA(Crétacé *sup.*-Paléocéne?)
- MARNES DE BASGO-CONGLOMERATS DE SKINNING(Maestrichtien)
- SERIE VERTE DE TAR (Aptien-Maestrichtien→?)
- CALCAIRES DE KHALSI(Bedoulo Albien)

SEMELLE TECTONIQUE

- FLYSCH A BLOCS
- LAVES ET AGGLOMERATS
- LAVES ASSOCIEES AUX GRANODIORITES DU LADAKH
- GRANODIORITES DU LADAKH
- SERPENTINE-CONGLOMERATS A GALETS DE PERIDOTITE(Dunduchang la)
- FLYSCH PELITO-GREYWACKEUX DE NINDAM
- FLYSCH ARGILO-CALCAIRE DE LAMAYURU
- CARBONATES DE L'UNITE DU ZANSKAR
- TERRASSES QUATERNAIRES DE L'INDUS

- Limites de formation
- Limites supposées
- Limites entre deux unitées structurales
- Failles
- Pendages
- Schistosités
- Axes de plis synclinaux
- Axes de plis anticlinaux
- Sens des courants
- Direction des courants

Dunduchang la 4790

ZANSKAR

Palam 5067

Chiling

Shingo

Skiu

5500

4500

3500

N

ECHELLE : 0 5 10 KM

125'000 ème

7°00'

15'

30'

Zinchang
Stok
Rumbak
Stok la
4830
Kunda la
4940
Parcha Kanri
5400
Stok Kanri
6100
Tiksey
Mathoo
Hemis
Martselang
Sumdo
Markha
3810
Mathoo Kanri
5800
Chogdo
Gongmaru la
5100
5500
4500
3500
34°00′
45′
78° 00′