

# La compression pré-campano-maastrichtienne dans le Mésozoïque des Andes de Bolivie : l'exemple de Tica Tica (20°01' lat. S et 66°17' long. W)

*Pre campanian mesozoic compressional tectonics  
in South Bolivian Andes  
(Tica Tica region, lat. 20°01' S and long. 66°17' W)*

par C. MARTINEZ<sup>(1 et 2)</sup> et G. LAUBACHER<sup>(1)</sup>

**RÉSUMÉ.** – Dans la Cordillère Orientale des Andes de Bolivie, le Mésozoïque est conservé le plus souvent dans des synclinaux discontinus, fréquemment chevauchés par des écaillés de Paléozoïque. Les sédiments mésozoïques, marins et continentaux de plateforme d'arrière-arc, ont jusqu'à présent été considérés comme déposés en régime extensif. Ils recouvrent en discordance le Paléozoïque plissé et faillé à l'Hercynien et, postérieurement, profondément érodé avant la sédimentation mésozoïque. Des paléofailles majeures N-S, NW-SE et NE-SW, héritées de structurations antérieures, ont influencé l'évolution géodynamique du bassin mésozoïque depuis la fin du Jurassique.

Dans la partie méridionale de la Cordillère Orientale, la région de Tica Tica présente de nombreux indices de serrage synsédimentaire depuis le début des dépôts mésozoïques jusqu'à la discordance campano-maastrichtienne (phase « péruvienne »). Le domaine de la Cordillère Orientale, avant-pays du bassin d'arrière-arc chiléno-péruvien, peut être ainsi interprété comme un secteur en compression sur lequel les transgressions successives, au Cénomanién, au Turonien et au Campano-Maastrichtien, soulignent divers instants d'un processus pratiquement continu de déformation.

Pendant le Tertiaire, les chevauchements andins réactivent les accidents majeurs préexistants : ils en inversent le mouvement, ou les déforment, ou bien les utilisent comme zones de coulissage. Ainsi, contrairement à ce qui a pu être proposé, le raccourcissement de la chaîne des Andes boliviennes, initié à la fin du Jurassique et faisant intervenir des fractures pro-

fondes, implique une participation, non seulement de la totalité de la pile sédimentaire, mais très vraisemblablement aussi de son substratum précambrien comme c'est le cas dans le Nord-Ouest argentin.

**Mots-clés :** Marge active, Bassin et plateforme d'arrière-arc, Mésozoïque, Compression synsédimentaire, Tectonique d'inversion, Cordillère Orientale, Andes de Bolivie.

**ABSTRACT.** – In the Eastern Cordillera of the Andes of Bolivia, Mesozoic outcrops are generally conserved in discontinuous synclines, frequently overthrust by Lower Paleozoic rocks. The mesozoic deposits, which are continental and shallow water marine backarc platform sediments, were considered in past times to have deposited in extensional conditions. They overly unconformably paleozoic strata, which have been folded and faulted during the Hercynian orogenesis, and deeply eroded before the beginning of the mesozoic sedimentation.

In the Tica Tica region of southern Bolivia, the Mesozoic pile is made of more than 2000 m thick conglomerates, sandstones, shales and carbonates with evaporites ranging between a Late Jurassic basal unconformity and the Late Cretaceous unconformity ("Peruvian phase"). Due to non-deposition and/or erosion, part of the sedimentary terms, classically reported from Bolivia, are absent or scarcely represented. Four megasequences, delimited by stratigraphic discontinuities or unconformities are distinguished. Synsedimentary compressional structures, i.e. open folds and reverse faults of metric to

(1) Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération (ORSTOM), 213, rue La Fayette, 75480, Paris, Cedex 10, France.

(2) Laboratoire de Géologie des bassins, U.S.T.L., place Eugène Bataillon, case courrier 058, 34000, Montpellier Cedex 5, France.

hectometric scale, are observed in many levels of the mesozoic sequences. These sedimentary long lived tectonic structures are successively obliterated by the overlying strata and the total shortening amounts are low. This modest but omnipresent faulting and folding of the deposits indicate that subcontinuous to continuous compressional conditions, also recorded in other mesozoic outcrops of the Eastern Cordillera, prevailed during mesozoic times within the Bolivian backarc-platform. Field relations show that NW-SE, NE-SW and N-S major faults are inherited from the old pre-Mesozoic structural pattern. This old structures have been locally reactivated, producing transcurrent and transform faulting, and have influenced the dynamics of the mesozoic basin since Late Jurassic.

During cenozoic times, pre-Campanian faults were reactivated by Andean tectonics producing intense inverse movements and transform faulting which obscured the Mesozoic deformation. It is a deep seated faulting implying not only the whole sedimentary pile but probably also of the Precambrian basement as occurs in northwestern Argentina.

**Key-words :** Actives margins, Backarc basin and platform, Mesozoic, Synsedimentary compression, Eastern Cordillera, Andes of Bolivia.

## I. INTRODUCTION

Avant d'être impliquées dans la tectogenèse andine qui les a édifiées à partir de l'Eocène, les Andes de Bolivie et du Nord-Ouest argentin étaient placées par les auteurs (Schlagintweit, 1937 ; Russo et Rodrigo, 1965 ; Kriz et Cherroni, 1965 ; Lohmann, 1970 ; Reyes, 1972 ; Reyes et Salfity, 1973 ; Cherroni, 1977 ; Martinez, 1980 ; Rodrigo et Braniša, 1984 ; Salfity et Marquillas, 1986), dans un contexte distensif durant tout le Mésozoïque. De nature essentiellement continentale, ce Mésozoïque est caractérisé, à partir du Jurassique terminal, par une sédimentation détritique rouge, interrompue par des passées calcaires qui soulignent les incursions marines du Cénomanién, du Santonien et du Campano-Maastrichtien. De fréquentes intercalations de basaltes révèlent un magmatisme contemporain dont la présence a servi d'argument pour admettre une distension généralisée.

Cependant, des observations au nord de Potosi, dans la Cordillère Orientale du centre de la Bolivie, nous ont révélé que des structures en compression coexistent avec des déformations distensives pendant la sédimentation du Crétacé inférieur (Martinez et Vargas, 1988).

Au sud-ouest de Potosi, aux confins de l'Altiplano et de la Cordillère Orientale du sud de la Bolivie (fig. 1 et 2), la région de Tica Tica et de Yura (20°S et 66°15'W) est un autre site où la sédimentation mésozoïque est accompagnée par

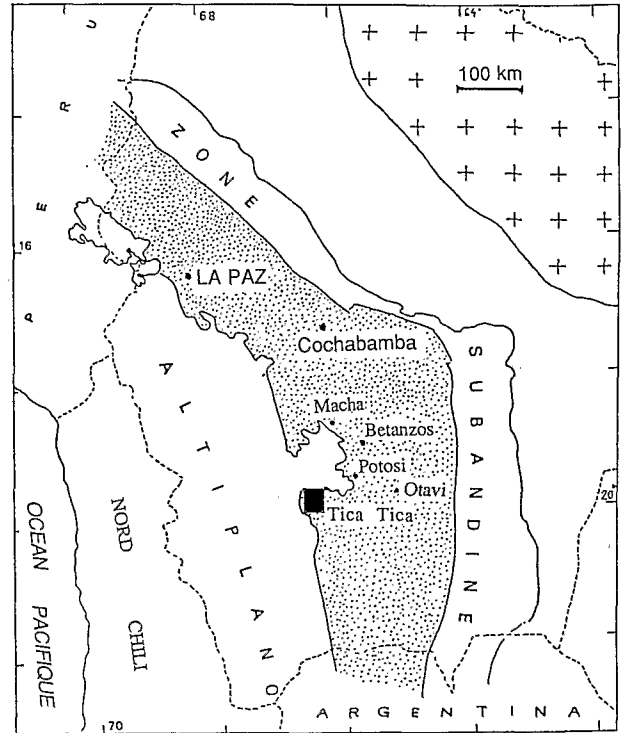


FIG. 1. - Situation de la région de Tica Tica-Yura dans la Cordillère orientale du Sud-bolivien.

FIG. 1. - Location of the Tica Tica-Yura region in the Eastern Cordillera of South Bolivia.

des déformations en distension et en compression. Leurs effets sont enregistrés à divers niveaux d'une succession lithologique dans laquelle nous retrouvons la plupart des séquences de dépôts définies par Sempere (1986) et Sempere *et al.* (1988).

## II. LA SÉRIE STRATIGRAPHIQUE DE TICA TICA

### A. Le substratum pré-mésozoïque

Dans la Cordillère Orientale des Andes boliviennes et du Nord-Ouest argentin, le substratum pré-mésozoïque est représenté par des terrains qui vont du Précambrien au Dévono-Carbonifère et, parfois, au Permien. Dans le secteur étudié, très érodé, n'existent que les grès, les lutites et les diamictites de l'Ordovicien supérieur et du Silurien qui dessinent un ensemble d'anticlinaux et

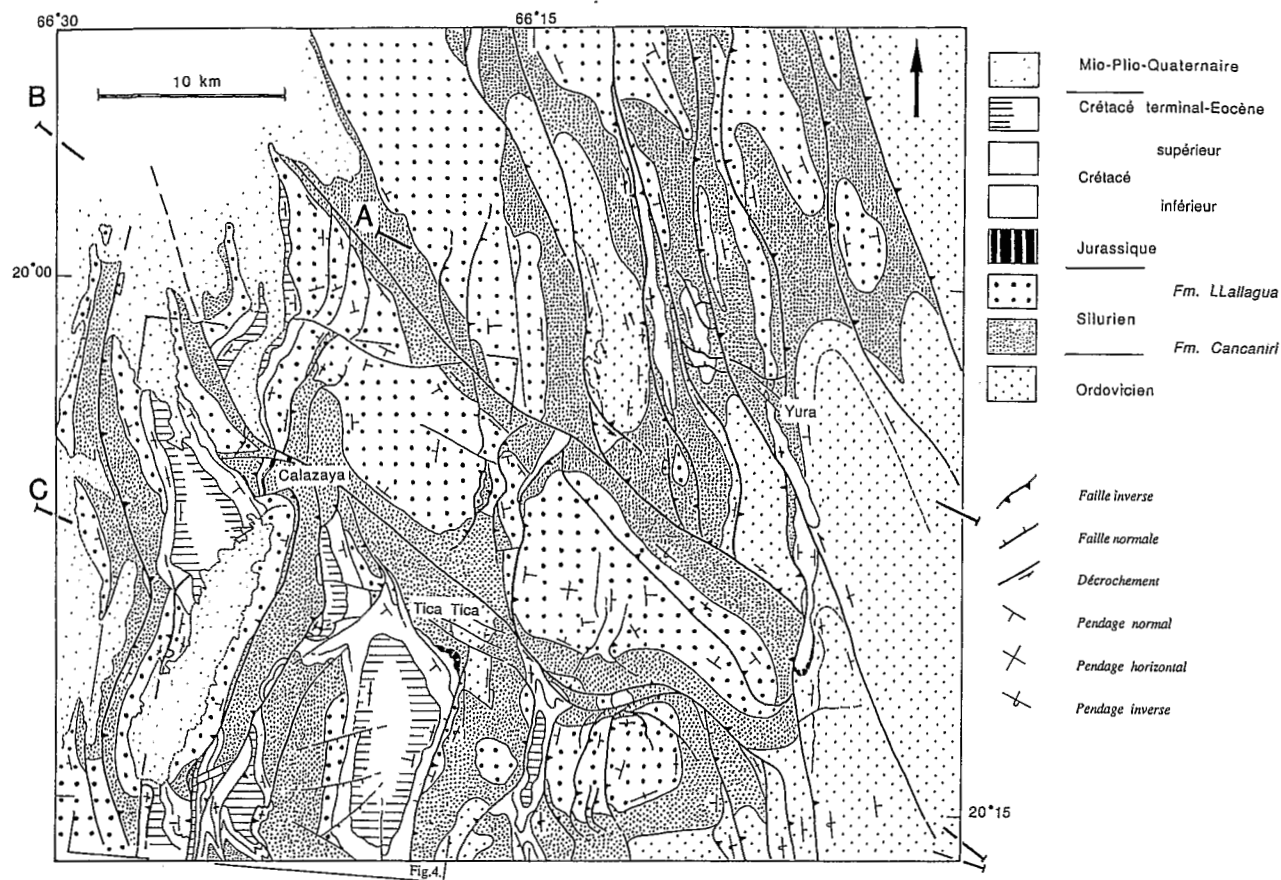


FIG. 2. — Schéma géologique de la région de Tica Tica-Yura.

(d'après : levés inédits et interprétations de photos aériennes et d'images Spot). A, B et C : Traces des coupes structurales de la fig. 3. La situation de la fig. 4 est repérée par un cadre.

FIG. 2. — Simplified geologic map of the Tica Tica-Yura region.

(carried out using new field data, interpretations of aerial photos and SPOT imagery). A, B et C : Locations of fig. 3's cross-sections. A rectangular frame show location of fig. 4.

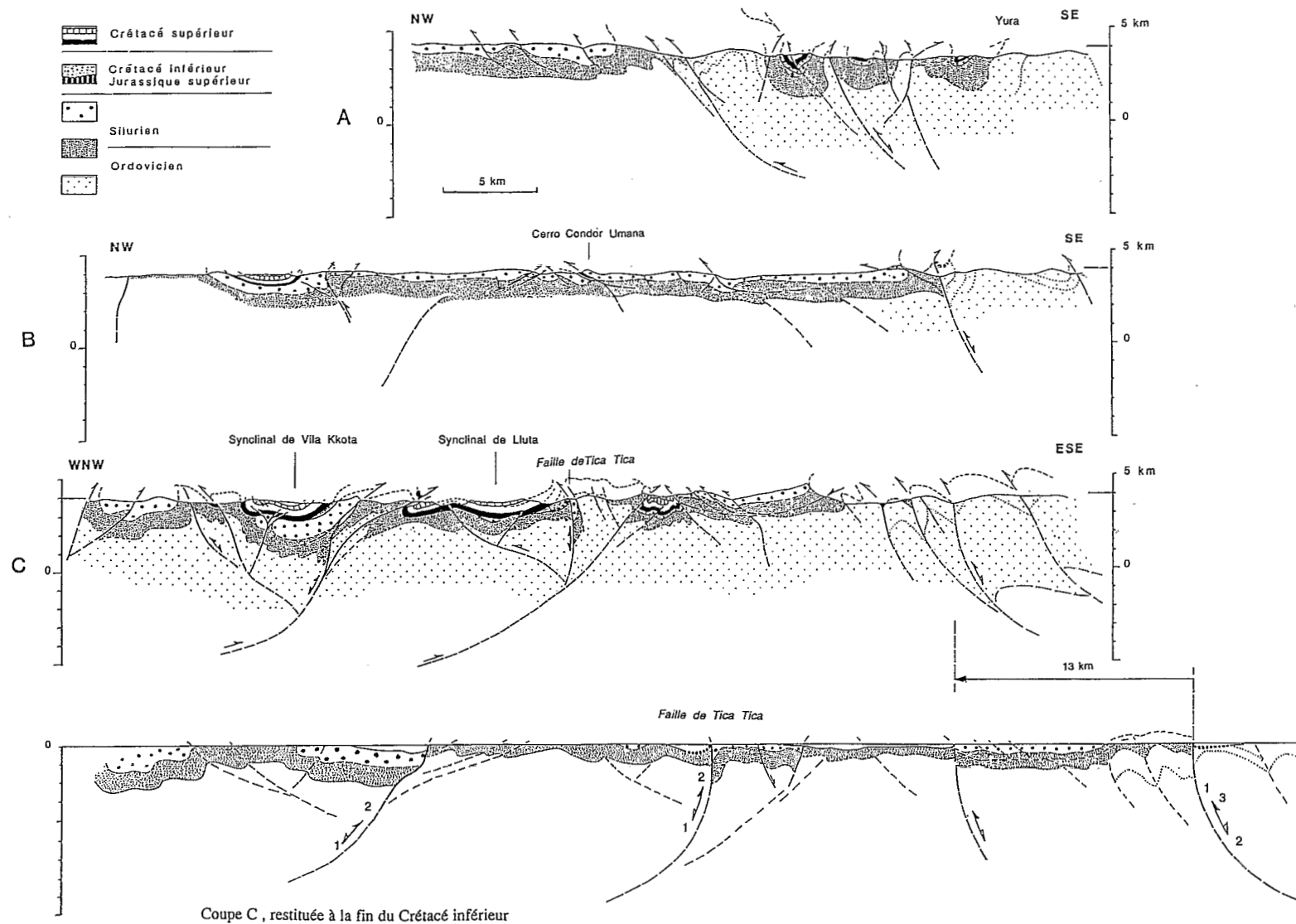
de synclinaux faillés et écaillés, fréquemment chevauchants sur leur couverture mésozoïque (fig. 2, 3 et 4). La géométrie complexe de ce Paléozoïque résulte de la superposition d'une suite de déformations : des déformations synsédimentaires mésozoïques puis tertiaires se superposent à la tectonique hercynienne caractérisée par un plissement globalement N-S dans le sud des Andes de Bolivie et accompagné localement par une schistosité et un épimétamorphisme.

## B. La série lithologique mésozoïque

Épaisse de plus de 2000 m, elle peut être comparée à la série de référence du synclinal de Miraflores (Lohman et Braniša, 1962), aux en-

virons immédiats de Potosi (fig. 5). Décrite par Kriz et Cherroni (1965) puis révisée par Sempere (1986), la suite séquentielle mésozoïque la plus complète et la plus significative du secteur est observée au sud-est de Tica Tica, sur le flanc oriental d'un vaste synclinal N-S, pluri-kilométrique (synclinal de l'Estancia Lluta ; fig. 2 et coupe A, fig. 4 et fig. 5) :

1) A la base, une cinquantaine de mètres de grès fluvio-deltaïques azoïques, blanc-rosé, bien laminés et à stratifications obliques, sont rapportés à la Formation Macha ou Ravelo, attribuée au Jurassique par Sempere et al. (1988). En discordance angulaire sur le Paléozoïque, ces grès sont actuellement cantonnés à la bordure occidentale d'un accident N20 (« faille de Tica Tica »), légèrement chevauchant vers l'ouest (fig. 4).



C. MARTINEZ & G. LAUBACHER

FIG. 3. — Coupes structurales.

Les coupes interprétatives A, B et C sont réalisées dans trois compartiments délimités par les failles de transfert NW-SE. Une tentative de restitution de la coupe C avant le dépôt de la Fm. Aroifilla (Turonien) est proposée. 1, 2 et 3 soulignent les mouvements successifs sur un plan de faille.

FIG. 3. — Structural cross-sections.

Three interpreted cross-sections A, B and C are made through pannels delimited by NW-SE transfert-faults. Restitution of cross-section C is intended before deposition of the Aroifilla Fm. (Turonian). 1, 2 and 3 are successive movements on fault-planes.

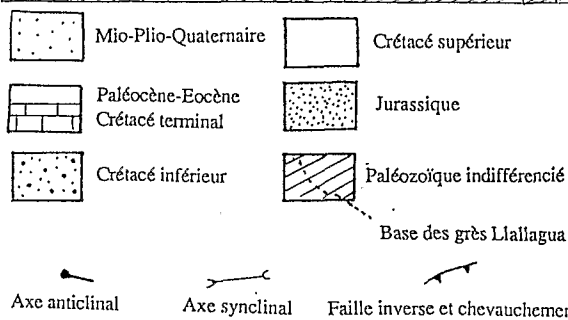
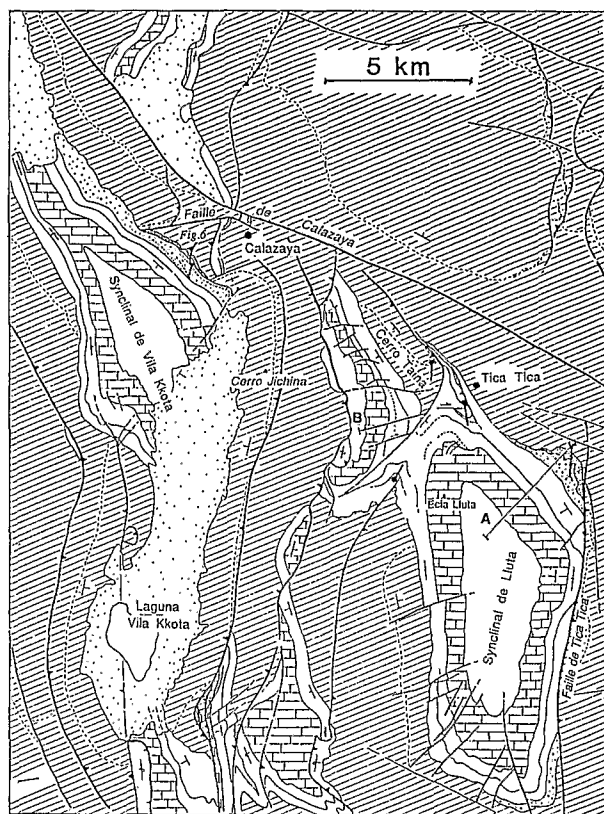


FIG. 4. - Carte géologique des synclinaux de Mésozoïque de la région de Tica Tica.

(A et B sont les traces des colonnes lithostratigraphiques de la fig. 5. La fig. 6 est repérée, à l'ouest de Calazaya).

FIG. 4. - Geological map showing synclines folding the mesozoic sequences of the Tica Tica region.

(A and B, locations of the lithostratigraphic columns of fig. 5 and location of fig. 6 west of Calazaya).

Initialement de grande extension, ils ont été fortement érodés avant le dépôt de la Formation Condo sus-jacente.

2) Le conglomérat de cône alluvial de la Formation Condo est hétérométrique, à clastes anguleux de quartzites paléozoïques dans une matrice gréseuse violacée. Il repose en discordance, sui-

vant une surface d'érosion, soit sur les grès jurassiques, à proximité de la faille subméridienne de Tica Tica, soit directement sur les diamictites siluriennes, au nord-ouest. Quelques mètres de grès rouges et fins, de rivières en tresse (Formation Kosmina), les surmontent.

Ces conglomérats et ces grès continentaux sont azoïques; ils sont classiquement attribués au *Jurassique terminal-Néocomien* (Sempere *et al.*, 1988). Epais de 150 m, les conglomérats s'amenuisent rapidement vers le nord-ouest et disparaissent en s'éloignant de quelques centaines de mètres de l'accident.

3) Des grès jaunes, grano et strato-croissants, de quelques mètres d'épaisseur (Formation Yura), surmontent les grès rouges. Nous pensons qu'ils sont les équivalents d'une formation gréseuse, fluviatile, de même position, réduite à Potosi mais bien développée près de Betanzos et dans la région d'Otavi-San Lucas (« Formation 3 », Martinez *et al.*, 1990), et dont l'âge peut être *aptien*.

4) En poursuivant la coupe vers le nord-ouest, très localement au dos d'un repli anticlinal conique, hectométrique et de direction N020, des grès marins, blanchâtres et finement laminés surmontent une passée de pélites rouges continentales. Selon Sempere (1986), ces grès seraient, ici, des témoins de l'épisode transgressif *cénomanién supérieur* (Formation Miraflores), généralement marqué en Bolivie par des grès et des calcaires fossilifères (Lohmann et Braniša, 1962), et qui reposeraient sur un affleurement réduit et isolé de la Formation Tarapaya probablement d'âge *albién supérieur* (fig. 5).

5) Au-dessus, 300 m d'argilites et de pélites rouge-orangé de plaine alluviale (Formation Aroifilla : *Turono-Coniacien* ?) deviennent gypsifères à leur sommet. Elles sont surmontées par 200 m d'argiles et de pélites rouges (Formation Chuanaca) qui contiennent une intercalation de quelques mètres de marnes vertes et de calcaires marins dont l'âge *santonien à campanien inférieur* a été déterminé dans le bassin de Potosi (Perez L., 1987).

6) La pile sédimentaire est couronnée par les grès calcaires, les calcaires, les argiles vertes et les pélites rouges de la Formation El Molino, transgressive et d'âge *campano-maastrichtien* dans le bassin de Potosi (Braniša *et al.*, 1964; Braniša *et al.*, 1969; Cappeta, 1975), que surmontent : 7) les argiles et les pélites rouges du *Paléocène-Eocène* (Formation Santa Lucia).

Dans l'ensemble de la région, les affleurements du Mésozoïque et du Tertiaire inférieur sont dis-

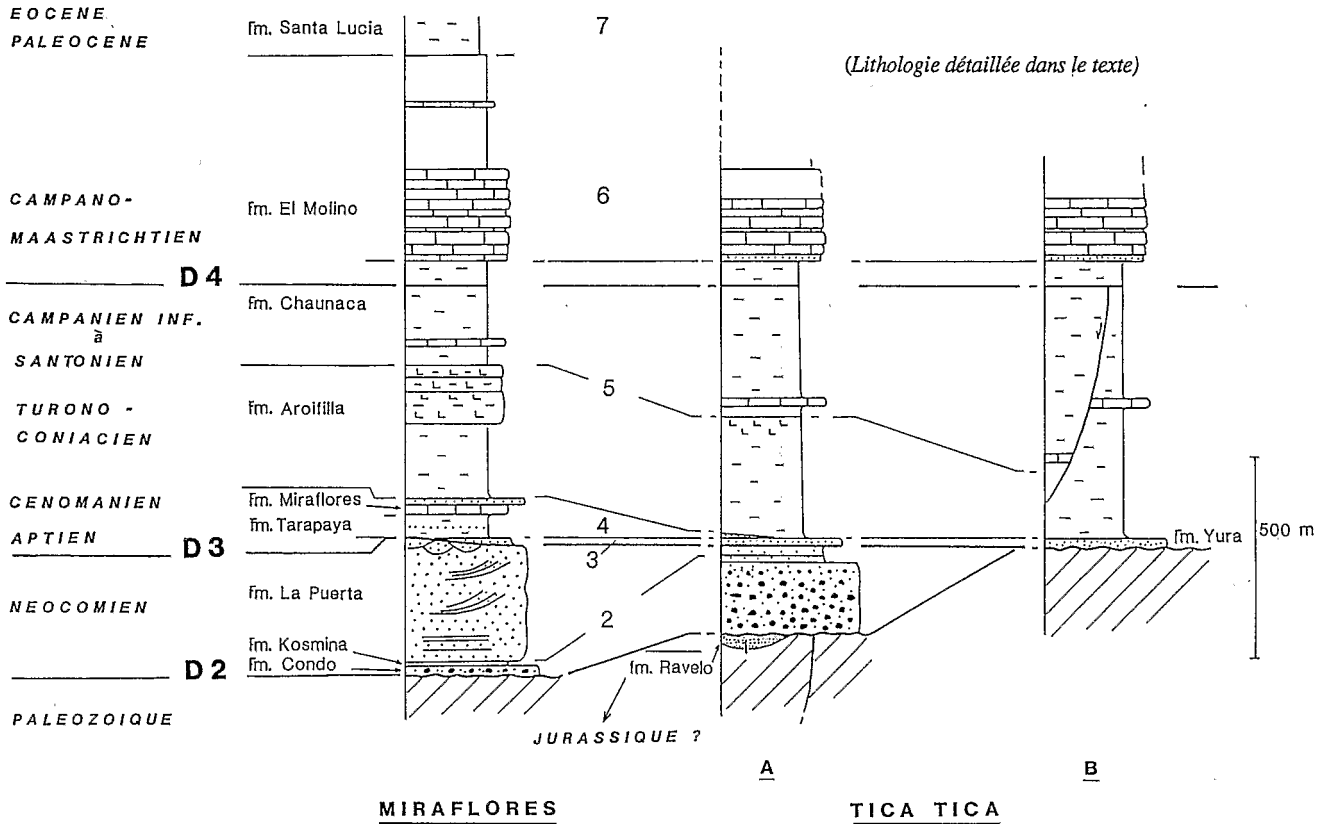


FIG. 5. - Colonnes stratigraphiques A et B (situées sur la fig. 4) du Mésozoïque de Tica Tica comparées à la série-type du synclinal de Miraflores (Potosi).

FIG. 5. - Stratigraphic column A and B (located on fig. 4) correspond respectively to the Mesozoic series of the Tica Tica region and to the Mesozoic type-series of the Miraflores syncline (Potosi).

tribués dans des synclinaux de direction méridienne, plurikilométriques, faillés et déversés avec des vergences E et W (fig. 2, 3 et 4) et chevauchés par la Paléozoïque. Dans ces synclinaux, tous les termes de la série décrite au sud de Tica Tica ne sont pas toujours représentés. D'importantes lacunes sont liées, non seulement à de rapides changements latéraux de faciès, mais aussi à toute une continuité de mouvements tectoniques caractérisés par des discordances successives et des figures de déformation synsédimentaire.

### III. LES DISCORDANCES MAJEURES DANS LA SÉRIE MÉSOZOÏQUE

Entre la discordance basale sur le Paléozoïque et celle, sommitale, de la transgression du Campanien supérieur-Maastrichtien, Kriz et Cherroni (1965), Russo et Rodrigo (1965) et Sempere

(1986) signalent de nombreuses discontinuités dans la série mésozoïque.

Ces discontinuités ont souvent une valeur locale car induites par des mouvements tectoniques qui génèrent des subsidences ou des soulèvements différentiels d'ampleur limitée et des érosions. Mais des événements de portée générale, telles les variations eustatiques avec transgressions et régressions de grande ampleur, en contrôlent également certaines et nous retrouvons ici la plupart des discordances majeures observées dans les Andes de Bolivie :

#### A. La discordance basale du Jurassique : D1

Reconnue depuis les premières observations dans les Andes de Bolivie et du Nord-Ouest argentin, la discordance angulaire de la base de la série mésozoïque s'est effectuée sur une vaste sur-

face d'érosion. Cette surface recoupe divers termes du Paléozoïque inférieur plissé, schistosé et faiblement métamorphisé par la tectonique éo-hercynienne d'âge carbonifère inférieur et, localement, du Permo-Carbonifère lui-même plissé par une phase permienne (Martinez, 1980).

En situation d'avant-pays oriental du bassin marin mésozoïque du Nord-chilien, les terrains de la chaîne hercynienne de Bolivie sont restés longtemps exondés. Au Jurassique terminal, c'est donc sur une plateforme fortement érodée que s'effectue le dépôt des grès Macha, ou Ravelo (Formation 1 dans la fig. 4) ou, lorsqu'il existe, de leur conglomérat de base. C'est ainsi que, dans le secteur de Tica Tica, ce sont les formations siluriennes (Cancaniri, Llallagua et Pampa), qui servent successivement de substratum, alors que près de Yura, vers l'est, le Mésozoïque est discordant jusque sur l'Ordovicien (fig. 2 et 3).

Postérieurement érodés, les affleurements de grès jurassiques sont rares et, généralement, d'extension réduite. Dans la région (fig. 2 et 4), ils sont préservés aux abords de failles subméridiennes, au sud de Yura et à proximité de Tica Tica, et dans un paléograbén orienté E-W, à l'ouest de Calazaya.

### B. La discordance érosive des brèches et conglomérats Condo du Néocomien : D2

La Fm. Condo, dont l'épaisseur varie rapidement sur de courtes distances, repose sur une surface d'érosion irrégulière qui recoupe les structures antérieures. A Tica Tica, comme au sud de Yura, cette formation surmonte les grès jurassiques déformés et érodés; elle déborde sur le Paléozoïque de part et d'autre des failles méridiennes (fig. 2). A l'ouest de Calazaya (fig. 6), à la fois discordante sur le Jurassique, sur deux termes du Silurien et, également, sur les paléofailles qui séparent ces divers éléments, elle scelle un épisode contemporain de déformation. Lorsque la Fm. Condo n'existe pas, les grès rouges de la Fm. Kosmina, puis la Fm. Yura, reposent directement sur le Paléozoïque.

Cette discordance peut être facilement corrélée avec la surface d'érosion et la discordance angulaire observées sur la Côte et dans la Cordillère des Andes du Nord-Chilien où les dépôts du Crétacé inférieur succèdent à un plissement méridien, accompagné d'intrusions granitiques et granodioritiques, et à un soulèvement situés au Jurassique terminal (« phase névadienne ») (Ruiz *et al.*,

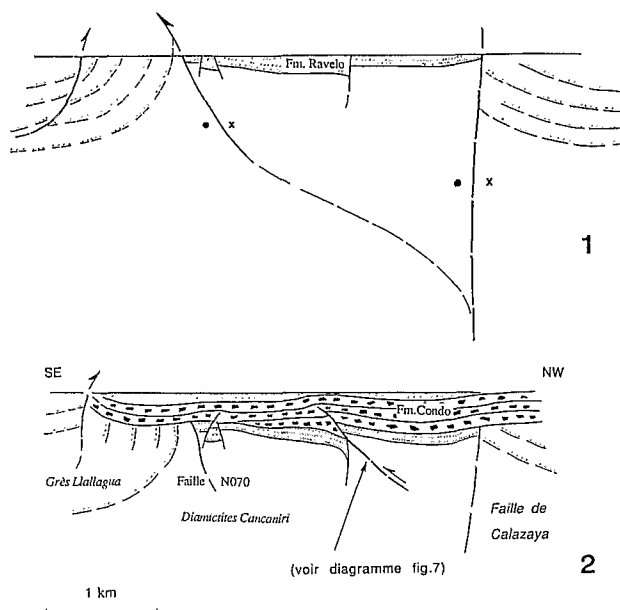


FIG. 6. - Les déformations synsédimentaires en compression à l'ouest de Calazaya :

(1) antérieures à la discordance des conglomérats et grès Condo-Kosmina (fmi-Jurassique à Crétacé inférieur) et (2) contemporaines du dépôt de ces formations. Un mouvement sénestre de la zone de faille de Calazaya est représenté, la pointe de la flèche (•) indiquant le mouvement vers l'observateur.

FIG. 6. - *Synsedimentary compressional deformations west of Calazaya :*

(1) below the unconformable Condo-Kosmina conglomerates and sandstones (latest Jurassic to early Cretaceous) and (2) synchronously with the deposition of this formations. The left-lateral movement of the Calazaya fault zone is shown by the arrow (•) which indicate the movement toward the observer.

1960 ; Cecioni et Garcia, 1960 ; Galli et Dingman, 1962 ; Garcia, 1967 ; Cecioni, 1970).

### C. La discordance turonienne : D3

Dans plusieurs sites de la Cordillère Orientale (région de La Paz, de Cochabamba, bassin de Potosi), le Crétacé supérieur est directement discordant sur le Paléozoïque (Kriz et Cherroni, 1965 ; Cherroni, 1977, Sempere *et al.*, 1988). Dans le secteur de Tica Tica, les formations Yura, aptienne (?), puis Tarapaya et Miraflores, albo-cénomaniennes ont une puissance et une extension réduites, et le Turono-Coniacien (Fm. Aroifilla) repose sur le Crétacé inférieur ou, lorsque celui-ci disparaît également, directement sur le Paléozoï-

que. Cette discordance est révélatrice d'importants mouvements qui, à la limite Cénomanién-Turonien (Sempere *et al.*, 1988), ont créé des aires temporairement émergées et érodées.

#### D. La discordance campanienne : D4

Dans les Andes boliviennes et du Nord-Ouest argentin, les grès et les calcaires marins campano-maastrichtiens (Fm. El Molino) sont largement transgressifs, soit sur la pile sédimentaire mésozoïque, soit directement sur le Paléozoïque. À l'ouest de Tica Tica, c'est dans la partie sommitale des argiles du Santonien-Campanien (Fm. Chaunaca) (fig. 5) qu'une importante discordance scelle des failles inverses et des plis, terminant un long épisode de déformations synsédimentaires qui culmine avec la phase intrasénonienne dont les effets sont bien connus au Pérou, en Argentine et au Chili (« phase péruvienne » de Steinmann, 1929 ; « subhercynienne » de Charrier et Vicente, 1972).

### IV. LES DÉFORMATIONS SYNSEDIMENTAIRES PRÉ-CAMPANO-MAASTRICHIENNES

Dans la région de Tica Tica, les synclinaux de Mésozoïque sont pluri-kilométriques et ont une orientation proche de N-S. Séparés et chevauchés par des écailles de Paléozoïque à vergences opposées, E et W (fig. 2, 3 et 4), ils sont interrompus par de grands accidents NW-SE, verticaux, pluri-kilométriques qui, caractérisant ce secteur de la Cordillère Orientale, le découpent en bandes transverses à la chaîne.

Les observations effectuées portent principalement sur une bande de terrains limitée au nord par l'accident de Calazaya, de direction NW-SE (fig. 2 et 4). De part et d'autre de cette faille, non seulement les structures ne se correspondent pas mais la série lithologique mésozoïque présente des différences : en effet, les grès jurassiques ainsi que les conglomérats et les grès du Crétacé inférieur, observés au sud, n'affleurent pas au nord de Calazaya. Par ailleurs, au sud de cet accident, les failles méridiennes délimitent de vastes compartiments dans lesquels les colonnes lithologiques, paléozoïque comme mésozoïque, peuvent également différer.

Tous ces accidents, N-S et NW-SE à E-W, sont donc précoces et, au passage Jurassique-Crétacé, ils délimitaient une mosaïque de blocs pluri-kilométriques :

#### A. Au Jurassique terminal

1) Au sud-est de Tica Tica (fig. 4), sous la discordance des conglomérats et des grès Condo-Kosmina, les grès jurassiques dessinent un synclinal hectométrique déversé vers l'ouest, dans lequel les stratifications obliques, finement laminées, présentent tout un ensemble de microfailles inverses, à rejet centimétrique (fig. 10, I) et à vergence ouest. Parallèles à la grande faille de Tica Tica, de direction N020, ces microaccidents sont synsédimentaires ; ils accompagnent un mouvement inverse vers l'ouest de l'accident majeur avant d'être scellés par la Fm. Condo.

2) À l'ouest de Calazaya (fig. 2, 4 et 6), au-dessus d'un chevauchement plat d'ampleur kilométrique, de direction méridienne et à vergence E, les brèches et les conglomérats Condo sont épais et discordants. Ils fossilisent un ensemble de blocs juxtaposés, séparés par des failles de direction N050 et N070-N080. Portés par le chevauchement, ces blocs sont de taille hectométrique à plurihectométrique et constitués par divers termes du Silurien (diamictites Cancaniri et grès Llallagua) que recouvrent localement les grès jurassiques (Fm. Macha) (fig. 4 et 6).

Postérieurement au dépôt des grès fluviodeltaïques jurassiques, la discordance du Jurassique terminal-Crétacé inférieur est, ici, précédée par une torsion sénestre-inverse des strates grésopélitiques du Paléozoïque (fig. 2 et fig. 4). Du sud vers le nord, les grès siluriens (Fm. Llallagua) se verticalisent et leur orientation passe de NS à NW-SE puis ENE-WSW ; ils dessinent ainsi un crochon de faille sénestre à axe vertical, aux approches de la zone de faille de Calazaya. À la limite jurassique-crétacé, la faille de Calazaya, NW-SE, et ses failles satellites, N050 et N070-080, jouent en décrochement compressif-sénestre (« structure en fleur », fig. 6) et contrôlent l'érosion et la sédimentation à même temps que la déformation. Postérieurement, pendant le Crétacé puis au cours de la compression andine, la faille de Calazaya sera partiellement réutilisée comme rampe latérale contre laquelle vont coulisser les plis, les chevauchements et les glissements andins ; par contre, les failles satellites sont rapidement fossilisées par les dépôts synorogéniques du Cré-



tacé inférieur (formations Condo-Kosmina) (fig. 6).

3) A une douzaine de kilomètres au sud de Yura (fig. 2), préservé en bordure d'une faille méridienne raide, actuellement inverse vers l'est, un affleurement réduit de Jurassique repose directement sur un anticlinal d'Ordovicien ; le tout est recouvert en discordance angulaire par les conglomérats Condo. Ceci implique que, précocement, avant la sédimentation du Crétacé inférieur, le compartiment occidental est successivement descendu puis remonté par inversions de mouvements sur la faille méridienne.

4) La déformation compressive pré-Condo-Kosmina de la région de Tica Tica rappelle celle déjà reconnue dans la région de Macha-Pocoata, au nord de Potosi (Martinez et Vergas, 1988) où des accidents, de rejets métriques à hectométriques et de direction N150, délimitent, d'une part, des horsts allongés NW-SE, basculés et plus ou moins érodés et, d'autre part, des grabens dans lesquels le Jurassique est conservé et déformé en plis amples NE-SW, sous la discordance du Condo-Kosmina. Des effusions basaltiques y accompagnent cette tectonique que Sempere (1986) rattache hypothétiquement à la « phase araucane », kimméridgienne, repérée dans les Andes centrales du Chili et d'Argentine (Stipanovic, 1969 et Stipanovic et Rodrigo, 1970, Charrier et Vicente, 1972), mais que l'on peut lier, tout aussi bien, à la « phase névadienne » de plissement, placée à la limite Jurassique-Crétacé, au Chili septentrional (Ruiz *et al.*, 1960 ; Cecioni et Garcia, 1960 ; Galli et Dingman, 1962 ; Cecioni, 1970) et au Pérou (Ruegg, 1957).

Sur la côte du Nord-Chili, selon Hervé (1987), Pincheira *et al.* (1990) et Scheuber et Andriessen (1990), la zone de faille méridienne d'Atacama est active au Jurassique-Crétacé inférieur. Par une compression NW-SE, liée à la convergence oblique des plaques de Nazca et sud-américaine, un cisaillement ductile senestre de cette faille développe, au Jurassique terminal-Crétacé basal, une mylonitisation des roches magmatiques contemporaines que recoupe des intrusions datées de 131 Ma (Naranjo *et al.*, 1984).

Dans le Tithonique inférieur de l'Altiplano sud-péruvien (formations Sipin et Muni), Batty et Jaillard (1989) mentionnent la présence de failles normales synsédimentaires donnant une extension NW-SE à WNW-ESE. Plus récemment, Jaillard (à paraître) mentionne également, dans la même région et au même moment, des failles inverses synsédimentaires suggérant une composante en

compression NE-SW. Bien que ces données indiquent des serrages avec des directions orthogonales entre, d'une part, le sud du Pérou et, d'autre part, la Bolivie méridionale et le Nord du Chili, il apparaît que les déformations en compression et en distension sont concomitantes dans ces deux domaines et probablement liées, dans un régime globalement en compression. L'orthogonalité des directions de contraintes peut être expliquée par un effet de bordure au front du bloc précambrien d'Arequipa dont la limite est proche de N-S, en Bolivie et de NW-SE, dans le sud du Pérou.

## B. Pendant le Crétacé inférieur (Condo-Kosmina)

Dans la région de Tica Tica, comme à Macha-Pocoata (au nord de Potosi), des mouvements synsédimentaires distensifs et compressifs réactivent les failles précocement apparues :

1) Depuis Calazaya vers le sud, de part et d'autre d'un chevauchement dirigé vers l'est, méridien et d'extension pluri-kilométrique (fig. 2, 3c et 9), le Crétacé repose sur des termes différents du Silurien : Llandovérien supérieur à Ludlovien (grès Llallagua et lutites Pampa du cerro Jichina Punta), à l'ouest, Asghillien-Llandovérien inférieur (diamictites Cancaniri), à l'est. En outre, les brèches, les conglomérats et les grès du Crétacé inférieur ne sont bien développés que sur le flanc occidental du synclinal de Vila Kkota, c'est-à-dire en bordure est du compartiment occidental, immédiatement au-dessus de l'accident tangentiel.

De toute évidence, le chevauchement à vergence E se superpose à une grande faille subméridienne, à pendage raide vers l'ouest, dont le mouvement, apparemment normal au début du Crétacé inférieur, s'est rapidement inversé (fig. 9). Nous avons mentionné que, dans sa partie septentrionale à l'ouest de Calazaya et associé avec des failles N050 et N070-080, cet accident a délimité des blocs scellés par le Crétacé inférieur ; certains blocs rejouent pendant la sédimentation des conglomérats Condo (fig. 6) et des failles inverses, vers l'est-sud-est ou l'ouest-nord-ouest, sont nettement synsédimentaires (fig. 10, II) ; elles présentent des rejets de l'ordre de la dizaine de mètres à la base de la série qui diminuent progressivement ; vers le haut, elles s'amortissent et sont recouvertes par les grès rouges Kosmina. La rareté des tectoglyphes n'a pas permis une étude systématique ; cependant, des me-

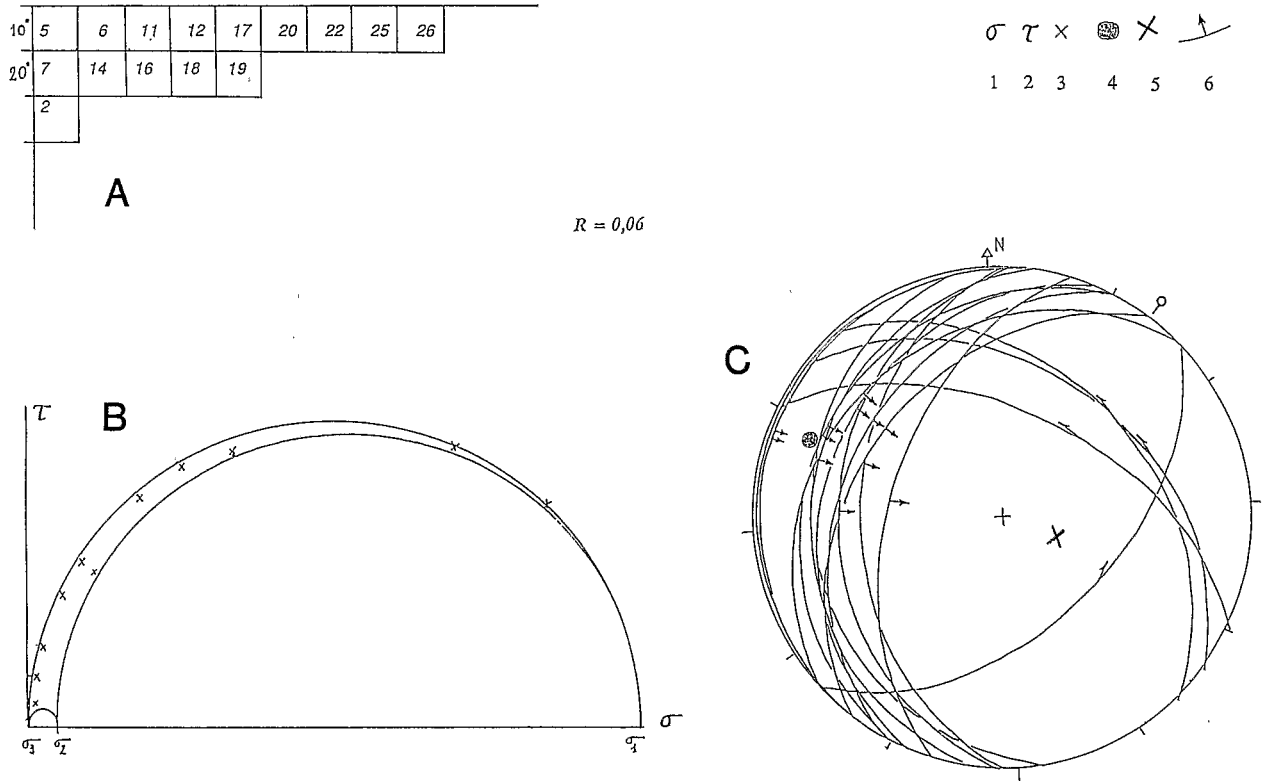


FIG. 7. - Diagramme des mesures de stries effectuées sur une faille inverse synsédimentaire associée à un repli N020, scellés par la Fm. Kosmina (Crétacé inférieur), à l'ouest de Calazaya (voir fig. 6 et photo II).

Une population homogène a pu être distinguée (programme Etchecopar) qui indique une direction de mouvement compatible avec les directions des axes de plis synsédimentaires N020, observés dans la région.

A : Histogramme « B : Cercle de Mohr : 1. contrainte normale, 2. contrainte tangentielle, 3. place des stries sur le cercle de Mohr « C : Projection des mesures sur l'hémisphère inférieur du diagramme de Schmidt : 4. Axe  $\sigma_1$ , 5. Axe  $\sigma_3$ , 6. Strie observée et son plan de faille. Le rapport R proche de 1 tend à montrer que,  $\sigma_1$  étant horizontal,  $\sigma_2$  est très proche et  $\sigma_3$  et donc que failles inverses et décrochements sont concomittants.

FIG. 7. - Diagram of striae measured on an synsedimentary reverse fault associated with a N020 trending open fold progressively fossilized by the Kosmina Fm. (Early Cretaceous) west of Calazaya (see fig. 6 and photo II).

It shows a homogeneous cluster of striae (Etchecopar method) which indicate a movement direction compatible with the trend of the synsedimentary N020 folds observed in the region.

A : Histogram « B : Mohr circle : 1. normal stress « 2. tangential stress « 3. location of the striae on the Mohr circle « C : Schmidt lower hemisphere projection of measurements : 4. axis  $\sigma_1$ , 5. axis  $\sigma_3$ , 6. observed striae and its fault plane. The value of the R ratio, which is at about 1, suggest that  $\sigma_2$ 's value is not very different of  $\sigma_3$ 's value This indicate that reverse faulting and strike slip faulting were contemporaneous.

sures sur l'une de ces failles (fig. 6), associée à un repli N020, donnent une direction moyenne de raccourcissement WNW-ESE (diagramme, fig. 7). Une telle direction suggère qu'avant d'être largement remobilisé au Tertiaire le chevauchement méridien a eu très tôt une vergence E ou SE, alors que les failles E-W et NW-SE jouaient comme rampes latérales.

2) Au sud de Tica Tica, le dépôt des formations Condo et Kosmina, discordantes sur le Jurassique, est également lié à un mouvement

contemporain de la faille méridienne subverticale de Tica Tica (fig. 2 et 9). L'accumulation des brèches et des conglomérats est maximale à l'ouest de la faille, au pied de son escarpement.

3) Cette déformation n'est pas exceptionnelle dans le Crétacé inférieur des Andes :

— Dans la région de Pocoata, au nord de Potosi, des failles inverses, des microdécrochements et des plis associés, synsédimentaires des formations Condo et Kosmina, sont déjà décrits (Martinez et Vargas, 1988). Cette déformation

présente des caractéristiques similaires à celles observées à l'ouest de Calazaya avec une direction de raccourcissement proche de NW-SE.

— A Otavi-San Lucas, au sud-est de Potosi, le Crétacé inférieur est déformé avant la discordance du Campano-Maastrichtien (Martinez *et al.*, 1990). La déformation y est continue et, soulignée par de nombreuses discordances, elle accompagne les dépôts détritiques du Néocomien-Aptien. Elle culmine avec des failles inverses, des décrochements et des plis qui, liés à un raccourcissement NW-SE, affectent jusqu'à l'Albien et que la transgression campanienne de la Fm. El Molino recouvre en discordance.

### C. Au cours du Crétacé supérieur

Une déformation accompagne la transgression albo-cénomaniennne ; on lui doit la réduction des formations Tarapaya et Miraflores (fig. 5), leur disparition et la discordance angulaire du Turonien (Fm. Aroifilla). Pendant le dépôt des argiles Aroifilla et Chaunaca, d'âge turonien à campanien inférieur, la déformation synsédimentaire est en compression :

1) Immédiatement à l'ouest de Tica Tica, la terminaison septentrionale du vaste synclinal de Mésozoïque de l'Estancia Lluta est plissée et écaillée sous le chevauchement de Paléozoïque du Cerro Taina (fig. 2 et 4).

Parmi les structures observées sous le chevauchement, un repli anticlinal faillé, hectométrique et conique déforme les grès aptiens (Fm. Yura), les pélites albiennes (Fm. Tarapaya) et les grès cénomaniens (Fm. Miraflores). Orienté N020, l'axe de cet anticlinal plonge de 25° vers le sud et, avec la faille inverse qui le borde à l'est, il s'ennoie progressivement dans les argiles turoniennes (Fm. Aroifilla). Dans le détail, des discordances progressives estompent la fermeture anticlinale et, vers le sud, en continuité avec le Crétacé inférieur, la série devient totalement parallèle de l'Aptien au Campano-Maastrichtien. Dans ce secteur monoclinale, ni les formations Tarapaya et Miraflores, ni l'axe anticlinal (fig. 4) ne sont visibles à l'affleurement et la structure anticlinale faillée est probablement cachée sous les argiles turoniennes discordantes.

Ce pli conique hectométrique est significatif d'une structuration d'âge crétacé supérieur. Un anticlinal NE-SW, situé à 3 km plus à l'ouest sur le flanc occidental du synclinal de l'E. Lluta et d'ampleur similaire, est un autre exemple de pli

synsédimentaire de même âge ; plongeant vers le nord-est, ce pli est superposé à une faille synsédimentaire de même direction, inverse vers le nord-ouest (fig. 3 et 4) et les argiles turoniennes et santoniennes le recouvrent également en discordance progressive.

2) Au-dessus, dans les argiles turoniennes puis santono-campaniennes (formations Aroifilla et Chaunaca), les figures de déformations synsédimentaires sont des plis métriques à décamétriques orientés N020, des petits chevauchements et des contacts soustractifs (fig. 8 et 10, III, IV et V). Des systèmes de rampes montantes et descendantes (« duplex » et « anti-duplex »), d'échelle métrique à décamétrique, révèlent également des glissements de strates vers l'est et vers l'ouest.

Successivement scellées par des discordances dans les argiles Aroifilla puis Chaunaca qui s'amincissent à leur aplomb, ces déformations s'amortissent vers le sud et vers le haut de la série et ne sont plus observées dans les argiles sommitales de la Fm. Chaunaca, avant les dépôts discordants de la *transgression campano-maastrichtienne* (Fm. El Molino). Nous les interprétons comme résultant d'un ensemble de bombements anticlinaux synsédimentaires hectométriques, en partie contemporains de l'anticlinal conique N020, et associés à des plis mineurs, des failles inverses et des glissements limités de strates vers l'est-sud-est et vers l'ouest-nord-ouest de part et d'autre de ces axes anticlinaux.

3) A l'ouest de Tica Tica, ces plis et ces bombements sont observés aux abords d'une zone d'accidents d'orientation NE-SW, dégagés par l'érosion de leur couverture de Crétacé terminal. De part et d'autre de cette zone, le synclinal discordant de l'Estancia Lluta apparaît cartographiquement décalé vers l'est par rapport à un synclinal septentrional de Mésozoïque qui s'appuie sur le Silurien du Cerro Taina, à l'est, mais que la Paléozoïque chevauche à l'ouest (fig. 4).

Ces deux plis synclinaux ne se correspondent pas ; dès leur origine ils ont été créés indépendamment l'un de l'autre et la zone de failles jouait alors comme zone de transfert de la déformation. Cette zone d'accident est effectivement précoce car elle sépare des domaines avec des évolutions parallèles mais distinctes : alors que, dans le synclinal méridional de Lluta, le Jurassique et le Crétacé inférieur sont conservés au sud-est de Tica Tica, dans le synclinal septentrional le Turonien est directement discordant sur le Silurien du cerro Taina. Au cours du Crétacé supérieur, elle contrôle la déformation dans chaque

compartiment ainsi que le déplacement vers l'est-sud-est du compartiment septentrional. Outre les replis synsédimentaires, des failles décamétriques E-W, décrochantes-dextres (fig. 4), en jalonnent les abords et des crochons, des biseaux de stratifications et des discordances successives en soulignent le caractère synsédimentaire. L'ensemble de ces structures est scellé par le Campano-Maastrichtien.

Cela suggère que cette zone d'accidents constituait au Crétacé supérieur une rampe oblique, à mouvement décrochant-inverse dextre. Se raccordant au chevauchement du cerro Taina, elle a guidé les débuts du glissement vers l'est-sud-est de l'anticlinal de rampe à cœur paléozoïque sur lequel le Turonien est discordant, à l'ouest. Dans ce même événement, le compartiment méridional était bloqué contre la faille de Tica Tica, verticale et subméridienne qui servait de butoir; il a ainsi pu être déformé avec plissement et failles inverses à vergence E et W, pendant le dépôt des formations Aroifilla et Chaunaca (fig. 3c et 9).

Vers le nord, la déformation de ce domaine a été contrôlée également par la faille de Calazaya, NW-SE, de part et d'autre de laquelle les dépôts et les structures diffèrent. Comme celui qui lui est parallèle, 10 km plus au nord, cet accident s'arrête au sud de Yura, sur les failles méridiennes qui font remonter l'Ordovicien. Cette faille de Calazaya présente un tracé rectiligne d'accident vertical, subparallèle au serrage; elle est utilisée au Crétacé comme rampe latérale sur laquelle les structures plissées s'interrompent, au nord comme au sud, et se branchent les failles

inverses ainsi que les chevauchements à vergences opposées vers l'est et l'ouest.

4) A 7 km au sud-ouest de Calazaya, sur le flanc occidental du vaste synclinal de la quebrada Vila Kkota (fig. 2, 4 et 9a), la série est incomplète et débute par le Turonien. Des indices de déformation compressive existent dans le Crétacé supérieur: des discordances successives sont observées dans la Fm. Aroifilla et des failles inverses affectant la Fm. Chaunaca, scellées également par la transgression campanienne.

5) La compression pendant le Crétacé supérieur jusqu'à la discordance campano-maastrichtienne, qui prolonge ici la déformation du Jurassique terminal et du Crétacé inférieur, a été décrite dans divers secteurs des Andes:

— Dans l'arc magmatique du nord du Pérou central, et selon une compression NNE-SSW à N-S (tectonique Mochica, Mégard, 1984), des plis, une foliation et des décrochements déforment les roches volcano-sédimentaires et volcaniques albiennes du Groupe Casma (Myers, 1975; Cobbing *et al.*, 1981; Bussel et Pitcher, 1985) ainsi que des intrusions basiques (Beckinsale *et al.*, 1985). Des décrochements dextres sont toujours actifs au Turono-Santonien (Bussel et Pitcher, 1985).

— Vers l'est, dans la Cordillère Occidentale, Jaillard (à paraître) suggère qu'une compression NNE-SSW, marquée par quelques failles inverses synsédimentaires, affecte les séries carbonatées de la plateforme albo-cénomaniennes, associée à une

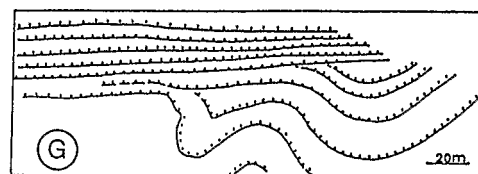
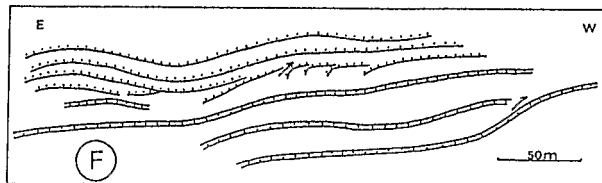
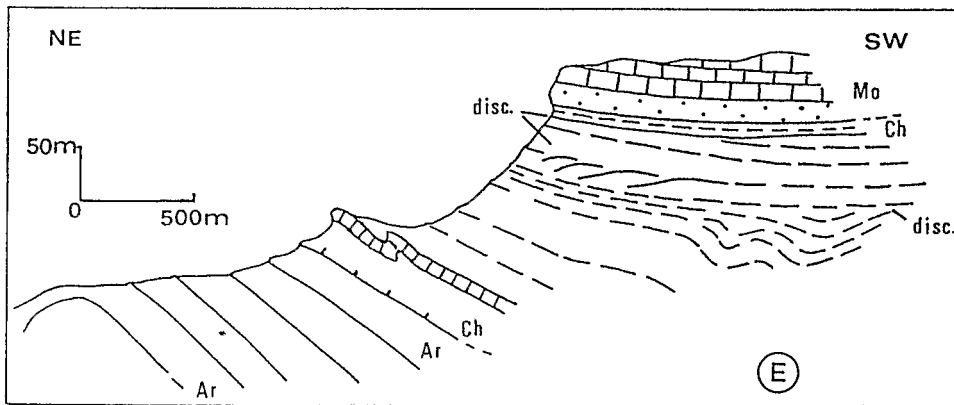
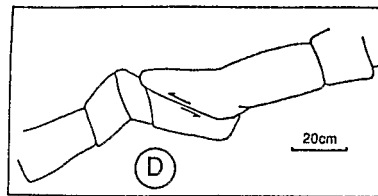
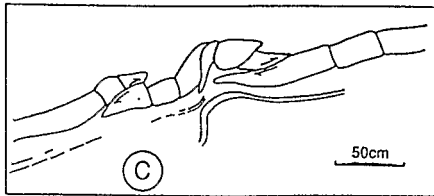
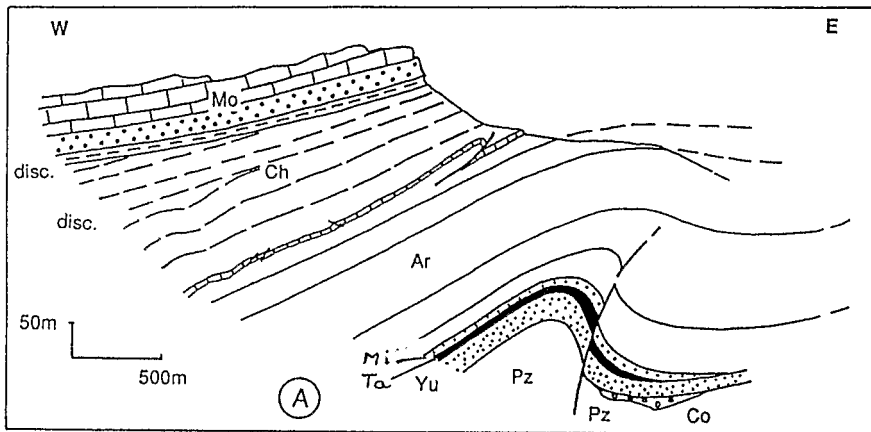
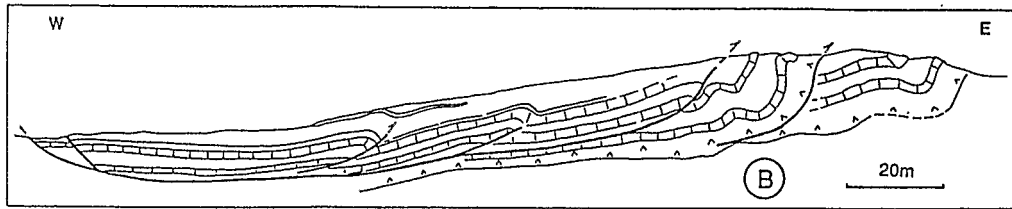
FIG. 8. — Exemples de déformations synsédimentaires dans le Crétacé du synclinal de Lluta (à l'ouest de Tica Tica).

A : Représentation du repli anticlinal faillé, décamétrique, d'axe N020, plongeant vers le sud qui, déformant le Crétacé jusqu'à l'Albo-Cénomaniens, est recouvert en discordance progressive par les argiles turoniennes (Fm. Aroifilla); B : Cisaillements décamétriques, vers l'est, scellés dans le Santonien (Fm. Chaunaca), C et D : Microchevauchements subcontemporains (photo III); E : Déformations dans le Santonien sous la discordance campanienne avec F : cisaillements vers l'ouest (voir photo IV) et G : Replis décamétriques N-S, synsédimentaires, successivement scellés dans le Santonien (photo V).  
Pz : Paléozoïque; Co : Fms Condo-Kosmina; Yu : Fm Yura; Ta : Fm Tarapaya; Mi : Fm Miraflores; Ar : Fm Aroifilla; Ch : Fm Chaunaca; Mo : Fm El Molino.

FIG. 8. — Examples of synsedimentary deformation in the Cretaceous deposits west of Tica Tica.

A : representation of the Albian-Cenomanian synsedimentary faulted and conic N020 anticline seen west of Tica Tica. Its axis dips 25° southward and its progressively fossilized by Upper Cretaceous (Aroifilla and Chaunaca Fms) unconformities. B : intra Santonian eastward vergent decametric duplexes obliterated by overlying Santonian strata (Chaunaca Fm); C and D : contemporaneous small-scale overthrusting (photo III). E : Deformation into the Santonian strata below the campanian unconformity. F : westward vergent duplexes (see photo IV) and G : NS decametric synsedimentary intrasantonian folding successively obliterated by overlying Santonian strata (photo V).  
Pz : Paleozoic; Co : Condo-Kosmina Fm; Yu : Yura Fm; Ta : Tarapaya Fm; Mi : Miraflores Fm; Ar : Aroifilla Fm; Ch : Chaunaca Fm; Mo : El Molino Fm.

COMPRESSION PRE-CAMPANIENNE EN BOLIVIE



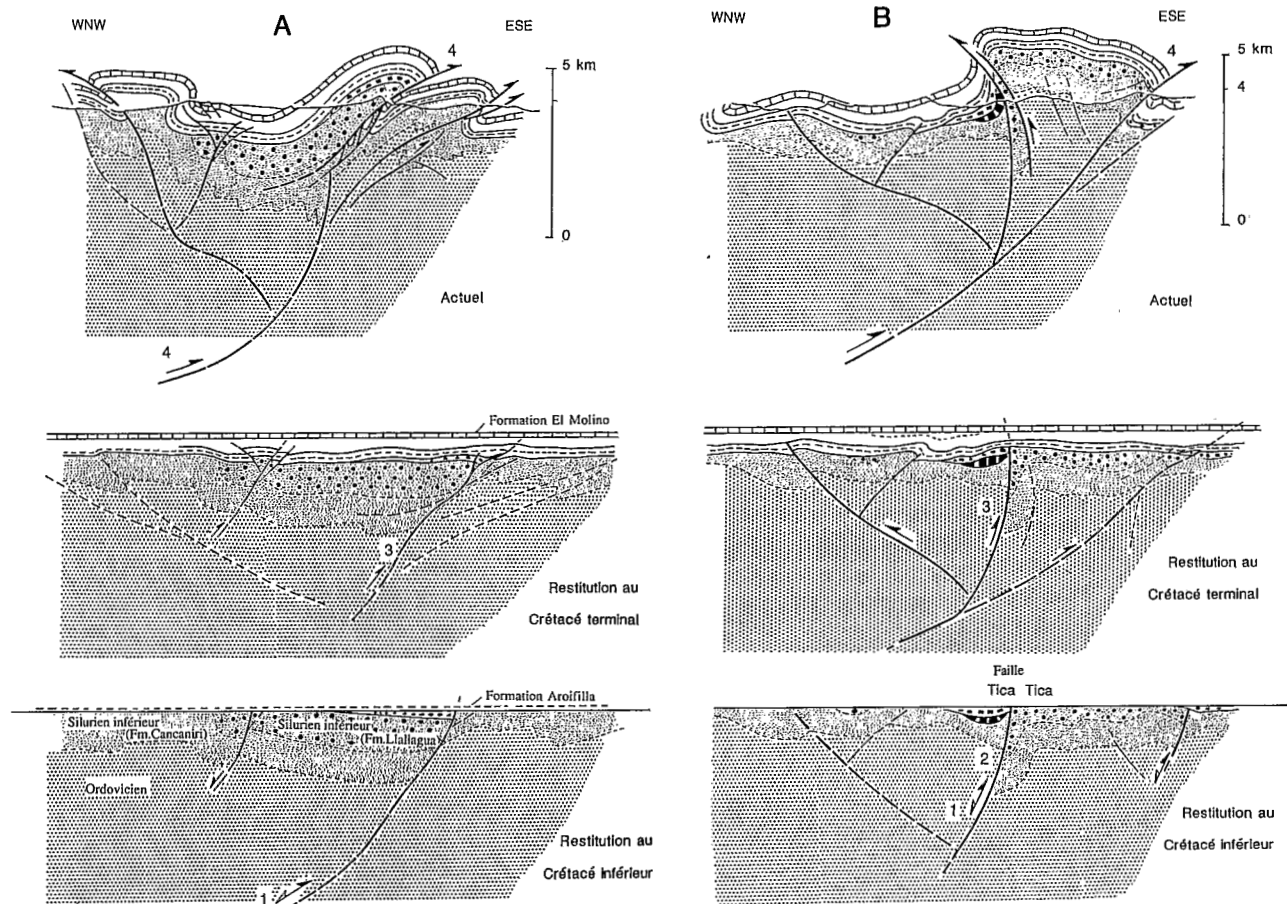


FIG. 9. — Les étapes de la déformation synsédimentaire crétacée : A. Dans le synclinal de Vila Kkota (sud-ouest de Calazaya) et B. Dans le synclinal de Lluta (ouest de Tica Tica).

Essai d'interprétation de l'évolution au Crétacé et allure actuelle des structures plissées et écaillées qui résultent de la superposition des déformations andines aux déformations antérieures.

FIG. 9. — *Cretaceous synsedimentary deformation stages : A. In the Vila Kkota syncline (south west of Calazaya) and B. In the Lluta syncline (west of Tica Tica).*

*Tentatively interpreted Cretaceous evolution and present aspect of folded and imbricated andean structures, that takes in account the influence of the pre-Campanian structural features.*

distension WNW-ESE. Il observe également des failles distensives et compressives dans l'Albo-Cénomanién de l'Altiplano sud-péruvien.

— Dans le sud du Pérou, des discordances successives observées dans le Coniacien et le comblement du bassin sud-péruvien par des séries rouges détritiques sont considérés par Jaillard (à paraître) comme les prémices de la phase péruvienne. Pour Vicente (1989), la mise en place au Sénonien d'un vaste chevauchement vers le NE impliquant le Précambrien d'Arequipa, serait l'aboutissement d'une déformation qui s'étend sur 20 Ma, de l'Albien supérieur au Santonien supérieur.

## V. INCIDENCES DES DÉFORMATIONS MÉSOZOÏQUES SUR LA STRUCTURATION ACTUELLE

Les relations observées entre le Paléozoïque et les affleurements de Mésozoïque sont, fréquemment, celles de chevauchements de l'ordre du kilomètre à l'affleurement. Pour expliquer la superposition du Silurien au Mésozoïque, Sempere *et al.*, 1991 et Baby *et al.* (à paraître) proposent que les grès de la Fm. Llallagua, d'âge llandovérien supérieur, se soient déplacés horizontalement de plusieurs dizaines de kilomètres sur leur substratum de dia-

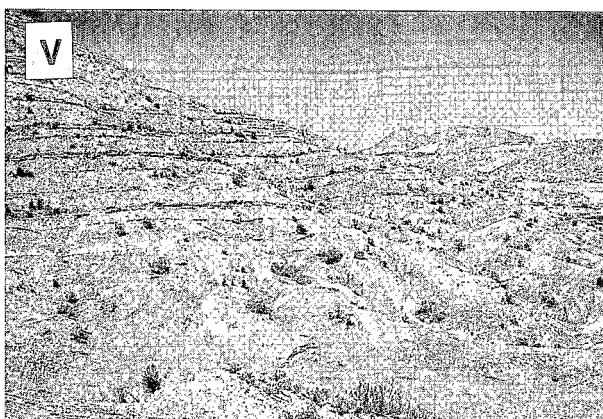
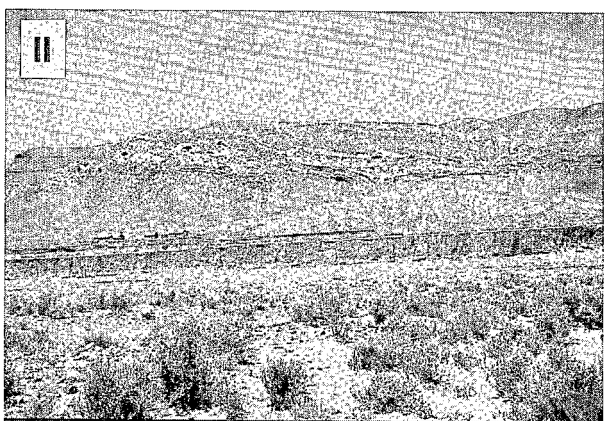
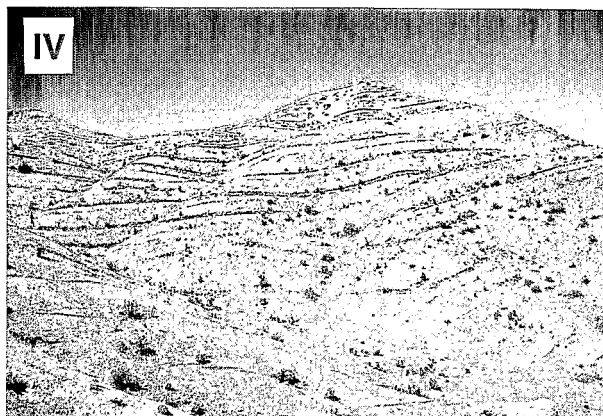


FIG. 10. - Exemples de terrain.

I. Microfailles synsédimentaires jurassiques.

Elles sont inverses vers l'Ouest dans les grès de la Formation Macha (ou Ravelo) faille méridienne de Tica Tica (voir fig. 2 et 4) et n'affectent pas les conglomérats et grès de Condo-Kosmina.

II. Faille synsédimentaire du Crétacé inférieur (Fms Condo-Kosmina), inverse vers le Sud-Est (Ouest de Calazaya).

Vers le haut (non visible ici), elle s'amortit dans un pli fossilisé par les grès de Kosmina. Ce Mésozoïque repose en discordance sur le Silurien, lui-même chevauchant vers l'Est sur un autre affleurement de Jurassique-Crétacé inférieur (voir fig. 2, fig. 4 et fig. 6).

III. Microcisaillements synsédimentaires dans le Crétacé supérieur (Fm. Aroifilla) du synclinal de l'Estancia Lluta (Ouest de Tica Tica) (fig. 2, fig. 4 et fig. 8).

IV et V. Plis, cisaillements et discordances dans le Crétacé supérieur (Fm. Chaunaca) du synclinal de l'Estancia Lluta (fig. 8, F et G).

FIG. 10. - Field examples.

I. Jurassic synsedimentary microfaults.

West vergent reverse microfaults affect only the Jurassic sandstones (Macha or Ravelo Formation), closely to the Tica Tica Faults (see fig. 2 and fig. 4).

II. Synsedimentary south-east Vergent reverse faulting in the Condo-Kosmina Fm. (west of Calazaya).

It changes in an open fold upward (not seen in this view) which is progressively fossilized into Kosmina sandstones. This Mesozoic deposits overly unconformably Silurian strata which in turn, overthrust eastward an other outcrop of the Condo-Kosmina Fm (see fig. 2, fig. 4 and fig. 6).

III. Additive synsedimentary microduplexes in the upper Cretaceous (Aroifilla Fm.) of the Estancia Lluta syncline (west of Tica Tica) (fig. 2, fig. 4 and fig. 8).

IV and V. Folds, duplex and unconformities in the Upper Cretaceous (Chaunaca Fm.) of the E. Lluta syncline (fig. 8, F and G).



mictites (Fm. Cancaniri) de l'Asghillien-Llandovérien inférieur constituant un niveau de disharmonie. Ce glissement aurait ainsi engendré une véritable nappe superficielle, d'âge oligocène supérieur à miocène inférieur (« nappe de Calazaya »), d'origine occidentale et de plus de 42 km de déplacement. Des klippes à matériel silurien en subsisteraient dans la région de Yura-Tica Tica recouvrant des affleurements de Crétacé discordant sur un Silurien autochtone de même nature que l'allochtone.

Cette hypothèse n'a pu être confirmée. En effet, des affleurements de diamictites et de grès siluriens qui chevauchent localement le Crétacé, sont eux-mêmes recouverts en discordance angulaire par du Mésozoïque. C'est le cas, par exemple, du Cerro Taina qui, interprété comme une klippe, s'avère être, comme nous l'avons montré plus avant, un anticlinal de rampe chevauchant vers l'est-sud-est (fig. 4). D'autre part, des contacts tectoniques considérés comme la trace horizontale du plan de glissement de la « nappe » correspondent soit à des zones de rampes latérales NW-SE, soit à des failles inverses, souvent fortement pentées voire subverticales (faille méridienne de Tica Tica) et indiquant des sens de mouvements antagonistes, vers l'est ou vers l'ouest (fig. 2). La plupart de ces structures : plis, rampes frontales et rampes latérales se superposent à des structures actives pendant le Mésozoïque (fig. 9) lesquelles, déformées, amplifiées ou inversées par les raccourcissements tertiaires E-W, ne sont déplacées que de quelques kilomètres au maximum.

La géométrie actuelle et les relations complexes de discordances et de chevauchements entre le Mésozoïque et le Paléozoïque (fig. 2 et fig. 4) peuvent ainsi être expliquées en considérant, non seulement les diverses déformations hercyniennes et andines qui se sont succédées dans la région, mais aussi les déformations synmésozoïques que nous avons mises en évidence.

Les terrains du Paléozoïque inférieur (Ordovicien supérieur et Silurien inférieur) sont impliqués dans la plupart des failles inverses et des chevauchements observés, il en est probablement de même pour l'Ordovicien inférieur, le Cambrien et le Précambrien sous-jacents, ainsi que cela est admis depuis longtemps dans le Nord-Ouest argentin (Turner, 1972 ; Reyes et Salfity, 1973) et, plus récemment, dans le Sud-bolivien (Kley et Reinhardt, à paraître).

Un raccourcissement crustal d'une certaine importance, qui se traduit actuellement dans la couverture sédimentaire par une somme de plis et de

chevauchements, a généré dans le substratum tout un ensemble de cisaillements profonds dont les vergences sont opposées dans ce secteur de la Cordillère, dirigées soit vers l'est, soit vers l'ouest. Les grandes failles transverses qui tronçonnent la région, jouant en zone de transfert de la déformation, font que ce raccourcissement n'est pas ici caractérisé par des structures cylindriques plurikilométriques, comme c'est le cas dans d'autres secteurs.

## VI. CONCLUSION

A la fin du Tithonique, un plissement suivi d'érosion (phase névadienne) est observé sur le bord occidental du bassin marin nord-chilien (Ruiz *et al.*, 1960 ; Cecioni et Garcia, 1960 ; Galli et Dingman, 1962 ; Cecioni, 1970). Dans le domaine de l'Arc magmatique, il lui correspond un cisaillement ductile compressif-senestre des zones de failles d'Atacama et de l'ouest de la Précordillère, que Scheuber et Andriesen (1990) et Scheuber et Reutter (1990) interprètent comme une réponse à une convergence oblique, NW-SE, de la plaque pacifique avec la plaque sud-américaine telle que la propose Larson et Pitman (1972) et Zonenshayn *et al.* (1984).

Pendant le Crétacé, une succession d'événements tectoniques se manifeste dans les zones occidentales de la marge andine. Dans le nord du Chili, le cisaillement transgressif de la faille d'Atacama se poursuit pendant le Crétacé inférieur jusqu'à la base du Crétacé supérieur (Pincheira *et al.*, 1990). Au Pérou central, l'arc volcanique de Casma est déformé depuis au moins l'Albien (phase Mochica s.l.) (Myers 1975 ; Mégard, 1984 ; Bussel et Pitcher, 1985) et la plateforme orientale comme l'Altiplano sudpéruvien présentent des indices de compression (Jaillard, à paraître). Cette déformation culminerait avec les plis et les chevauchements tels ceux mis en place avant le Campanien, dans la région d'Arequipa (Vicente *et al.*, 1979 ; Vicente, 1989), au cours d'une phase (phase péruvienne ou subhercynienne) qui affecte la marge andine depuis le sud du Pérou jusqu'en Patagonie (Cecioni, 1970). Dans le bassin d'arrière-arc chileno-péruvien, la phase « péruvienne » de serrage est donc importante et elle est accompagnée par des intrusions, des effusions, des émergences et des lacunes.

A la tectonique fini-jurassique, semble correspondre dans la Cordillère Orientale de Bolivie, la discordance du Jurassique terminal-Crétacé inférieur (D2). Dans la région de Tica Tica, pen-



dant le Crétacé et avant la transgression campanienne, les terrains mésozoïques sont, au fur et à mesure de leur dépôt, affectés par une déformation dans laquelle les indices de compression sont nombreux. Comme le reste du bassin de Potosi, ce secteur des Andes a été, dès le Jurassique, structuré par des accidents importants. Les uns, transverses à la chaîne, seront des zones de coulissage et de transfert de la déformation; d'autres, d'orientation méridienne, vont armer les axes anticlinaux qui encadrent les grands plis synclinaux. Ces paléofailles longitudinales semblent d'abord normales, à pendage raide E ou W et à rejet hectométrique; elles induisent des basculements avant d'être utilisées par les serrages postérieurs qui les réactivent ou inversent leur mouvement. Les données actuelles ne nous permettent pas de proposer avec certitude un mécanisme à l'origine de ces accidents précoces, apparemment distensifs à la limite Jurassique-Crétacé. Cependant, le serrage fini-jurassique du bassin marin du Nord-chilien et l'observation de microstructures en compression tout au long de la série mésozoïque, nous suggèrent que, dans un contexte global de serrage à l'échelle de la chaîne, il pourrait s'agir de failles d'extension à l'extrados d'une vaste bombement d'arrière-arc qui sera rapidement impliqué dans le serrage. Celui-ci, se propageant d'ouest en est, mobilise progressivement l'avant-pays en réactivant les discontinuités préexistantes.

Dans la reconstitution des événements que nous proposons pour la région de Tica Tica (fig. 9), un premier dispositif en une mosaïque de blocs plus ou moins basculés serait rapidement impliqué dans le raccourcissement de la marge andine. La succession de structures compressives synsédimentaires suggère qu'elles ont été générées par un serrage approximativement NW-SE et continu au long du Crétacé. La transgression campanienne va en souligner les effets, mais on peut imaginer cependant que, comme dans la région de Cuzco (sud du Pérou) (Cordova, 1986; Marocco et Noblet, 1990), ce serrage se poursuivra au Crétacé terminal-Tertiaire inférieur.

## Remerciements

Les auteurs remercient la mission ORSTOM-La Paz de l'Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération ainsi que les organismes boliviens: Universidad Mayor de San Andrés et Yacimientos Petroleros Fiscales de Bolivia qui ont facilité cette étude. Leurs re-

merciements s'adressent aussi à MM. Van Den Driessche, Ricou et un lecteur anonyme pour leur lecture critique et leurs suggestions.

## RÉFÉRENCES

- BABY P., SEMPERE T., OLLER J. et HERAIL (à paraître). - Evidence for a major shortening on the Eastern edge of the Bolivian Altiplano: the Calazaya nappe. *Tectonophysics*.
- BATTY M. et JAILLARD E. (1989). - La sedimentación neocomiana (Jurásico terminal-Aptiano) en el Sur del Perú. In: *Contribuciones de los simpósios sobre el Cretácico de América latina. A: Eventos y registro sedimentario*, Buenos Aires, p. 75-88.
- BECKINSALE R.D., SANCHEZ-FERNANDEZ A.W., BROOK M., COBBING E.J., TAYLOR W.P., MOORE N.D. (1985). - Rb-Sr whole-rock isochron and K-Ar age determinations for the Coastal Batholith of Peru. In: W.S. PITCHER, M.P. ATHERTON, E.J. COBBING, R.D. BECKINSALE eds., *Magmatism at a Plate Edge, the Peruvian Andes*. Blackie Halsted Press, London, p. 177-202.
- BRANIŠA L., GRAMBAST L., HOFFSTETTER R. (1969). - Quelques précisions nouvelles, d'après les charophytes, sur l'âge du Groupe Puca (Crétacé-Paléogène, Bolivie). *C.R. som. Soc. Geol. Fr.*, 8, Paris, p. 321-322.
- BRANIŠA L., HOFFSTETTER R., FRENEIX S., ROMAN J., SORNAY S. (1964). - Nouvelle contribution à l'étude de la paléontologie et de l'âge du Groupe Puca (Crétacé-Paléogène, Bolivie). *Bull. Mus. Nat. Hist. Natur.*, 38, Paris, p. 301-310.
- BUSSEL M.A., PITCHER W.S. (1985). - The structural control of batholith emplacement. In: W.S. PITCHER, M.P. ATHERTON, E.J. COBBING, R.D. BECKINSALE eds., *Magmatism at a Plate Edge, the Peruvian Andes*. Blackie Halsted Press, London, p. 167-176.
- CAPPETA H. (1975). - Sur quelques séliaciens nouveaux du Crétacé supérieur de Bolivie (Amérique du Sud). *Geobios*, 8 (1), Lyon, p. 5-24.
- CECIONI G. (1970). - Esquema de paleogeografía chilena. Edit. Universitaria, Sgo. de Chile, 143 p.
- CECIONI G.O. et GARCIA F. (1960). - Stratigraphy of Coastal Range in Tarapaca Province, Chile. *Am. Assoc. Petroleum Geol.*, 44, 10, Tulsa, p. 1609-1619.
- CHARRIER R. et VICENTE J.C. (1972). - Liminary and geosyncline Andes: major orogenic phases and synchronical evolution of the central and austral sectors of the Southern Andes. Conf. Probl. de la Tierra solida (Buenos Aires, oct. 1970), II, Simp. sobre investigaciones del manto superior con énfasis en América Latina, Bs. Aires, p. 451-470.
- CHERRONI C. (1977). - El sistema cretácico en la parte boliviana de la cuenca cretácica andina. *Rev. Tec. YPF*, VI, 1-2, La Paz, p. 5-46.
- COBBING E.J., PITCHER W.S., WILSON J.J., BALDOCK J.W., TAYLOR W.P., Mc COURT W. et SNELLING N.J. (1981). - The geology of the Western Cordillera of northern Peru: *Inst. Geol. Sc. London, Overseas Mem.* 5, 143 p.
- CORDOVA E. (1986). - Un bassin intramontagneux andin péruvien. Les couches rouges du bassin de Cuzco (Maastrichtien-Paléocène). Thèse 3<sup>e</sup> cycle, Univ. Pau, 272 p.
- GALLI O.C. et DINGMAN J.R. (1962). - Carta geológica de Chile: Cuadrangulos Pica, Alca, Matilla y Chacarilla (Provincia de Tarapaca). *Inst. Invest. Geol., Chile*, III, n° 2, 3, 4 et 5. Sgo. de Chile.

- GARCIA F. (1967). - *Geología del Norte Grande de Chile*. 3, Simp. Geosinclinal Andino, Soc. geol. Chile, Sgo. de Chile.
- HERVÉ M. (1987). - Movimiento sinistral en el Cretácico inferior de la zona de falla Atacama al Norte de Paposo (24°S), Chile. *Revta. geol. Chile*, 31, p. 37-42.
- JAILLARD P. (à paraître). - Tectonic and geodynamic evolution of the peruvian margin between Kimmeridgian and paleocene times. In: Cretaceous tectonics in the Andes, Earth Evol. Sci., International. Monogr. Ser., Vieweg Publ., Wiesbaden, J.A. Salfity ed.
- KLEY J. et REINHARDT M. (à paraître). - Thermal and tectonic evolution of the Eastern Cordillera and the Subandean ranges of Southern Bolivia. In: Structure and evolution of the central Andes in Northern Chile, Southern Bolivia and Northwestern Argentina. Springer Verlag, Berlin.
- KRIZ S.J. et CHERRONI C. (1965). - Diagramas correlativos de formaciones cretácicas del suroeste de Bolivia. *Serv. geol. boliv.*, Hoja informativa II, La Paz.
- LARSON R.L. et PITMAN W.C.III (1972). - World-wide correlation of Mesozoic magnetic anomalies, and its implications. *Bull. geol. Soc. Am.*, 83, p. 3645-3662.
- LOHMANN H. (1970). - Outline of tectonic history of Bolivian Andes. *Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull.*, 54, (5), Tulsa, p. 735-757.
- LOHMANN H. et BRANISA L. (1962). - Estratigrafía y paleontología del Grupo Puca en el sinclinal de Miraflores, Potosí. *Petr. Boliv.*, IV, 2, La Paz, p. 9-16.
- MARROCO R. et NOBLET C. (1990). - Sedimentation tectonism and volcanism relationships in two andean basins of southern Peru. *Geol. Rundsch.*, 79, p. 111-120.
- MARTINEZ C. (1980). - Structure et évolution de la chaîne hercynienne et de la chaîne andine dans le nord de la cordillère des Andes de Bolivie. *Trav. et doc. ORSTOM*, 119, Paris, 352 p.
- MARTINEZ C. et VARGAS E. (1988). - Sur les déformations synsédimentaires mésozoïques de la région de Macha-Pocoata-Colquechaca (nord de Potosí, Cordillère orientale de Bolivie). *Géodyn.*, 3, (1-2), ORSTOM Paris, p. 107-115.
- MARTINEZ C., VARGAS E. et LAUBACHER G. (1990). - Evolution tectono-sédimentaire dans le Crétacé du synclinal d'Otavi-San Lucas (Bolivie centre-sud), Symp. intern.: « Géodynamique andine », Grenoble, ORSTOM Paris, p. 241-244.
- MEGARD F. (1984). - The Andean orogenic period and its major structures in Central and Northern Peru. *J. Geol. Soc. London*, 141, p. 893-900.
- MYERS J.S. (1975). - Vertical coastal movements of the Andes in Peru. *Nature*, 254, p. 672-674.
- NARANJO J.A., HERVÉ F., PRIETO X., MUNIZAGA F. (1984). - Actividad mecánica de la falla Atacama al Este de Chañaral: Milonitización y plutonismo. *Com. Univ.*, 34, Sgo de Chile, p. 57-66.
- PÉREZ L.M. (1987). - Datos palinológicos del Cretácico superior de la sección estratigráfica de Carata, Potosí, Bolivia. IV cong. latinoamericano de paleont., Bolivia, II, p. 739-756.
- PINCHEIRA M., TIHELE R., FONTBOTE L. (1990). - Tectonic transpression along the southern segment of the Atacama fault-zone, Chile. Symp. intern.: « Géodynamique andine », Grenoble, ORSTOM édit., p. 133-136.
- REYES F.C. (1972). - Correlaciones en el Cretácico de la cuenca andina de Bolivia, Perú y Chile. *Rev. Tec. YPF*, 1, (2-3), p. 101-104.
- REYES F.C. et SALFITY J.A. (1973). - Consideraciones sobre la estratigrafía del Cretácico (Subgrupo Pirgua) del Noroeste argentino. V Congr. géol. Arg., 3, Bs. Aires, p. 355-385.
- RODRIGO L.A. et BRANIŠA L. (1984). - Las cuencas de los grupos Puca y Tacuru (Cretácico-Terciario inf.) de Bolivia. In: Cuencas sedimentarias del Jurásico-Cretácico de América del Sur. Comité sudamericano del Jurásico y Cretácico, Bs. Aires, Wolkheimer W. y Musacchio E.A. edit.
- RUEGG W. (1957). - Geologie zwischen Cañete-San Juan 13°00'-15°24' Südperu. *Geol. Rundsch.*, 45, (3), p. 775-856.
- RUIZ C., AGUIRRE L., CORVALAN J., ROSE J., SEGERSTROM, KENNETH et STERN T.W. (1960). - Edades plomo-alfa y marco estratigráfico de granitos chilenos. Con una discusión acerca de su relación con la orogénesis. *Inst. Invest. Geol. Chile*, 7, Sgo. de Chile.
- RUSSO A. et RODRIGO L.A. (1965). - Estratigrafía y paleogeografía del Grupo Puca en Bolivia. *Bol. Inst. Bol. Petr.*, 5 (3-4), La Paz, p. 5-51.
- SALFITY J.A. et MARQUILLAS R.A. (1986). - Marco tectónico y correlaciones del grupo Salta (Cretácico-Eoceno), República Argentina. I<sup>er</sup> symp. ICG - Proyecto 242 Cretácico de América Latina, La Paz, p. 170-184.
- SCHUBERT E. et ANDRIESEN P.A.M. (1990). - The kinematic and geodynamic significance of the Atacama fault zone, northern Chile. *J. Struct. Geol.*, 12, 2, p. 243-257.
- SCHUBERT E. et REUTTER K.J. (1990). Magmatic arc tectonics and their appearance at different structural levels: examples from Northern Chile. Symp. intern. « Géodynamique andine », Grenoble, ORSTOM édit., p. 147-150.
- SCHLAGINTWEIT O. (1937). - Observaciones estratigráficas en el Norte argentino. *Bol. Inf. Petrol.*, 156, Bs. Aires.
- SEMPERE T. (1986). - Contribución a la estratigrafía del Mesozoico boliviano en el dominio andino. *Pub. Mission ORSTOM*, 1, La Paz, 34 p.
- SEMPERE T., BABY P., OLLER J. et HERAIL G. (1991). - La nappe de Calazaya: une preuve de raccourcissements majeurs gouvernés par des éléments paléostratigraphiques dans les Andes boliviennes. *C.R. Acad. Sci. Paris*, 312, Série II, p. 77-83.
- SEMPERE T., OLLER J., BARRIOS L. (1988). - Evolución tectonosedimentaria de Bolivia durante el Cretácico. V Congr. geol. Chileno, III, H37-H65, Sgo de Chile.
- STEINMANN G. (1929). - Geologie von Peru - Karl Winter, Heidelberg, 448 p.
- STIPANIC P.N. (1969). - El avance en los conocimientos del Jurásico argentino a partir del esquema de Groeber. *Assoc. geol. arg.*, p. 367-388.
- STIPANIC P.N. et RODRIGO F. (1970). - El diastrofismo jurásico en Argentina y Chile. *IVas Jorn. Geol. Arg.*, II, Bs. Aires, p. 353-368.
- TURNER J.C.M. (1972). - Puna y Cordillera Oriental, in *Geol. reg. arg.*, Acad. Nac. Cienc., Córdoba, Leanza edit., p. 91-142.
- VICENTE J.C. (1989). - Early Late Cretaceous overthrusting in the Western Cordillera of southern Peru. In: *Geology of the Andes and its relation to hydrocarbon and mineral resources: Houston, Texas, Circum-Pacific Council for energy and mineral resources Earth Sciences ser.*, 11, Erickson G.E., Cañas Pinochet M.T. and Reinemund J.A. édit.
- VICENTE J.C., SEQUEIROS F., VALDIVIA M.A. et ZAVALA J. (1979). - El sobre-escurrimiento de Cincha-Lluta; elemento del accidente mayor andino al NW de Arequipa. *Bol. Soc. geol. Perú*, 61, Lima, p. 67-99.
- ZONENSHAYN L.P., SAVOSTIN L.A. et SEDOV A.P. (1984). - Global paleogeodynamic reconstructions for the last 160 millions years. *Geotectonics*, 18, p. 181-195.

Manuscrit déposé le 21 mai 1991  
 accepté le 18 septembre 1991