

## LE CADRE STRATIGRAPHIQUE DU PLIO-QUATERNAIRE DE L'ALTIPLANO DES ANDES TROPICALES EN BOLIVIE

par M. SERVANT  
Universidad Mayor San Andres  
et Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer, Cajón postal 8714, La Paz (Bolivie)

### RÉSUMÉ

Un tableau de corrélation précise les rapports stratigraphiques existant entre les dépôts glaciaires (attribués à quatre glaciations majeures), les surfaces morphologiques interglaciaires (glacis) et les sédiments lacustres de la bordure des bassins.

L'Altiplano des Andes boliviennes se situe vers 3 600-4 500 m d'altitude entre deux hautes chaînes montagneuses, la Cordillère Orientale et la Cordillère Occidentale, qui culminent vers 7 000 m (fig. 1). Cette région correspond à un ensemble endoréique de bassins d'effondrement actuellement occupés par des lacs ou par des salines.

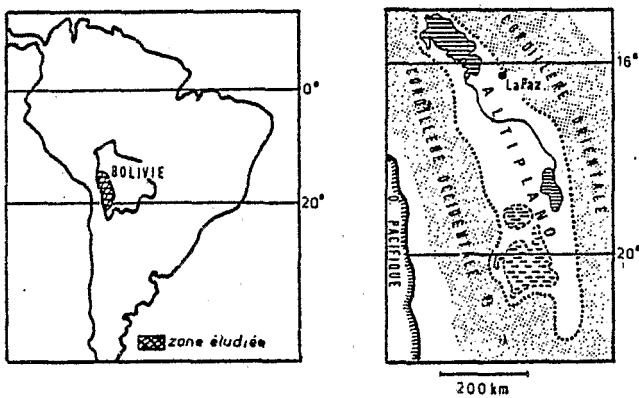


FIGURE 1. — Localisation des régions étudiées.

### I. — SÉQUENCES ANTÉRIEURES A LA PREMIÈRE GLACIATION

Après le Miocène supérieur, défini par des arguments paléontologiques (VILLARROEL, 1974) et radiochronologiques (EVERDEN *et al.*, 1966) convergents, l'Altiplano a été localement le siège d'une sédimentation conglomératique ou argilo-sableuse, les deux faciès présentant de fréquents passages latéraux par interdigitation hecto ou kilométriques. Les dépôts, épais de 300 à 600 m, contiennent quelques gisements de Vertébrés (HOFFSTETTER *et al.*, 1971), où la faune tertiaire endémique de l'Amérique du Sud est relayée par des associations plus récentes à affinités nord-américaines (1).

(1) Ce changement de faune marque régionalement et sans avoir été daté en termes absolus la limite Pliocène/Pléistocène.

### ABSTRACT

Stratigraphical correlations indicate the relationships between the glacial deposits (assigned to four major glaciations) in the Eastern Andean Belt and the morphological surfaces (four pediments) within the Altiplano. The lacustrine phases in the endoreic basins appear synchron of the deglaciation stages.

Ces dépôts, largement développés dans la partie orientale de l'Altiplano, n'ont pas été reconnus dans la partie occidentale, où se développe une surface d'érosion post-Miocène assimilable à un vaste glacis d'ablation. Cette surface est fossilisée par une ignimbrite (*Formation Perez*), datée de 2,5 M.A. (EVERDEN *et al.*, 1966), dont la position stratigraphique par rapport aux formations fossilifères n'est pas encore définie avec précision.

Une ou plusieurs phases d'érosion sont décelables, après la mise en place des séries à Vertébrés, au pied de la Cordillère Orientale et autour des petits massifs (*serranias*) de l'Altiplano. Elles constituent l'empreinte morphologique d'une phase de déformations tectoniques qui a permis l'individualisation, par effondrement, des bassins actuels et en particulier de la dépression du Lac Titicaca. L'érosion ne s'est pas exercée de manière continue: elle fut interrompue, épisodiquement ou localement, par une pédogenèse dont les témoins ont presque disparu. Un seul est connu pour le moment: ils comprennent, sur une frange d'altération de 15 m au moins, un horizon rouge d'accumulation de 2 à 3 m d'épaisseur, lui-même recouvert par les sédiments de la première glaciation.

### II. — LES GLACIATIONS ET LA MORPHOGENÈSE DES PIEDMONTS

Les piedmonts des *serranias* sont caractérisés par un grand développement des glacis d'ablation. Au-dessus de 3 800 au 4 000 m, et au pied de la Cordillère Orientale, la morphologie se trouve compliquée par l'action des oscillations glaciaires et en particulier par des accumulations fluviales ou morainiques qui atteignent localement 400 m d'épaisseur. La révision, dans cette région, des travaux antérieurs (DOBROVOLNY, 1962) nous conduit à proposer une nouvelle chronologie dont un résumé est donné par le tableau 1. Nos interprétations sur les glaciations s'appuient principalement sur une étude des piedmonts de l'Illampu au Nord du lac Titicaca et sur une étude de la région de La Paz (fig. 2).



010021847

Fonds Documentaire IRD

Cote: B\*21847

Ex: unifiée

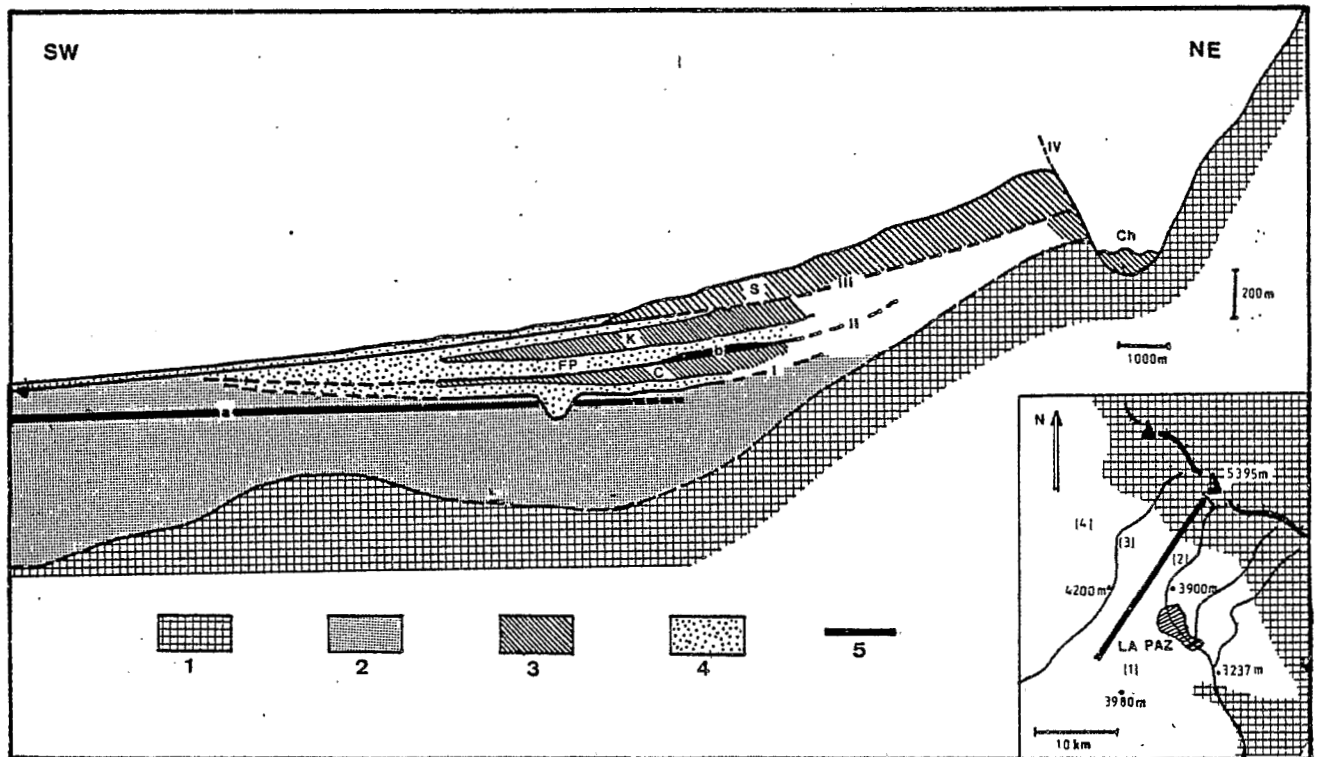


FIGURE 2. — Stratigraphie du Plio-Quaternaire de la région de La Paz : schéma d'interprétation élaboré d'après les coupes relevées à Achocalla (1) dans les rios Choqueyapu (2), Milluni (3) et dans la région de Hacienda Villaque (4).

1. Substratum paléozoïque ou crétacé.
2. Dépôts post-miocènes argilo-sableux ou conglomératiques (formation La Paz d'âge pliocène au moins dans sa partie inférieure).
3. Dépôts morainiques : C, glaciation Calvario ; K, glaciation Kaluyo ; S, glaciation Sorata ; Ch, glaciation Choqueyapu.
4. Dépôts fluviatiles ou fluvio-glaciaires indifférenciés ; localement coulées boueuses (FP : formation Purapurani fluviatile).

5. Cinérites : a, cinérite Chijini ; b, cinérite Sopari (confondue avec la précédente par DOBROVOLNY).
  - I, II : Surfaces d'érosion visibles dans les zones d'affleurement.
  - III : Glacis d'érosion, visible dans la morphologie et localement disséqué par un creusement fluviale avant le dépôt des moraines S.
  - IV : Surface de creusement pouvant passer à un glacis vers l'aval.
- Les témoins de paléosols n'ont pas été représentés.

Les glaciations les plus anciennes (*Calvario*, *Kaluyo*) sont attestées dans les hautes vallées de La Paz par deux formations morainiques (2), très puissantes (100 m). Ces formations sont séparées par 100 à 200 m d'épandages grossiers à galets roulés (*Formation Purapurani*) qui supposent un important recul des glaciers. Les dépôts glaciaires, définis par leur lithologie, ne présentent pas de formes morainiques reconnaissables, celles-ci ayant disparu par érosion ou recouvrement. Par contre, les glaciations plus récentes (*Sorata*, *Choqueyapu*) sont représentées par des cordons morainiques très bien conservés tout au long de la Cordillère. Bien qu'il ne soit pas encore possible de reconstituer, pour chacune d'elles, les oscillations mineures des anciens glaciers, nous pouvons confirmer, par l'examen d'un nouveau site, situé à l'Est du lac Poopó, l'existence, déjà notée par TROLL (1931), dans la dernière glaciation de deux avancées séparées par une période de retrait et d'érosion.

Les interglaciaires sont surtout définis par une érosion importante qui s'est traduite, dans la morpho-

logie des piedmonts de la Cordillère Orientale, par l'élaboration de surfaces de dissection ou de glacis d'ablation. Ce sont d'ailleurs ces surfaces qui permettent, mieux que la lithologie ou le degré d'altération des moraines, de séparer les différentes glaciations. Il faut noter que les périodes d'érosion ont été interrompues ou suivies par des phases d'accumulation ou par des époques de pédogenèse. Les paléosols subsistent de manière très isolée ; ils sont particulièrement nets dans le deuxième interglaciaire (*Kaluyo/Sorata*).

Les glacis d'ablation sont bien conservés sur les piedmonts des *serranias* : ils s'y présentent en témoins étagés où nous avons reconnu, pour l'ensemble de l'Altiplano, quatre surfaces successives désignées par les chiffres I, II, III et IV (fig. 3). La position de chacune de ces surfaces par rapport aux glaciations (tableau I) est établie par l'observation directe en ce qui concerne les glacis III et IV. Par contre, les glacis plus anciens (I et II) ne sont pas identifiés dans le domaine des oscillations glaciaires et il est probable qu'ils sont très érodés et recouverts par des dépôts fluviatiles ou morainiques. En première hypothèse, et d'après les études faites dans la région de La Paz, nous situons le glacis I sous les dépôts de la première glaciation (*Calvario*) et le glacis II au-dessus de ces dépôts dans le deuxième interglaciaire (*Calvario/Kaluyo*).

(2) La glaciation *Calvario* regroupe les moraines *Patapatani* et *Calvario* de DOBROVOLNY. L'unité *Milluni*, définie par ce même auteur correspond en fait à deux glaciations (*Kaluyo*, *Sorata*) que l'on peut distinguer dans la région de Hacienda Villaque.

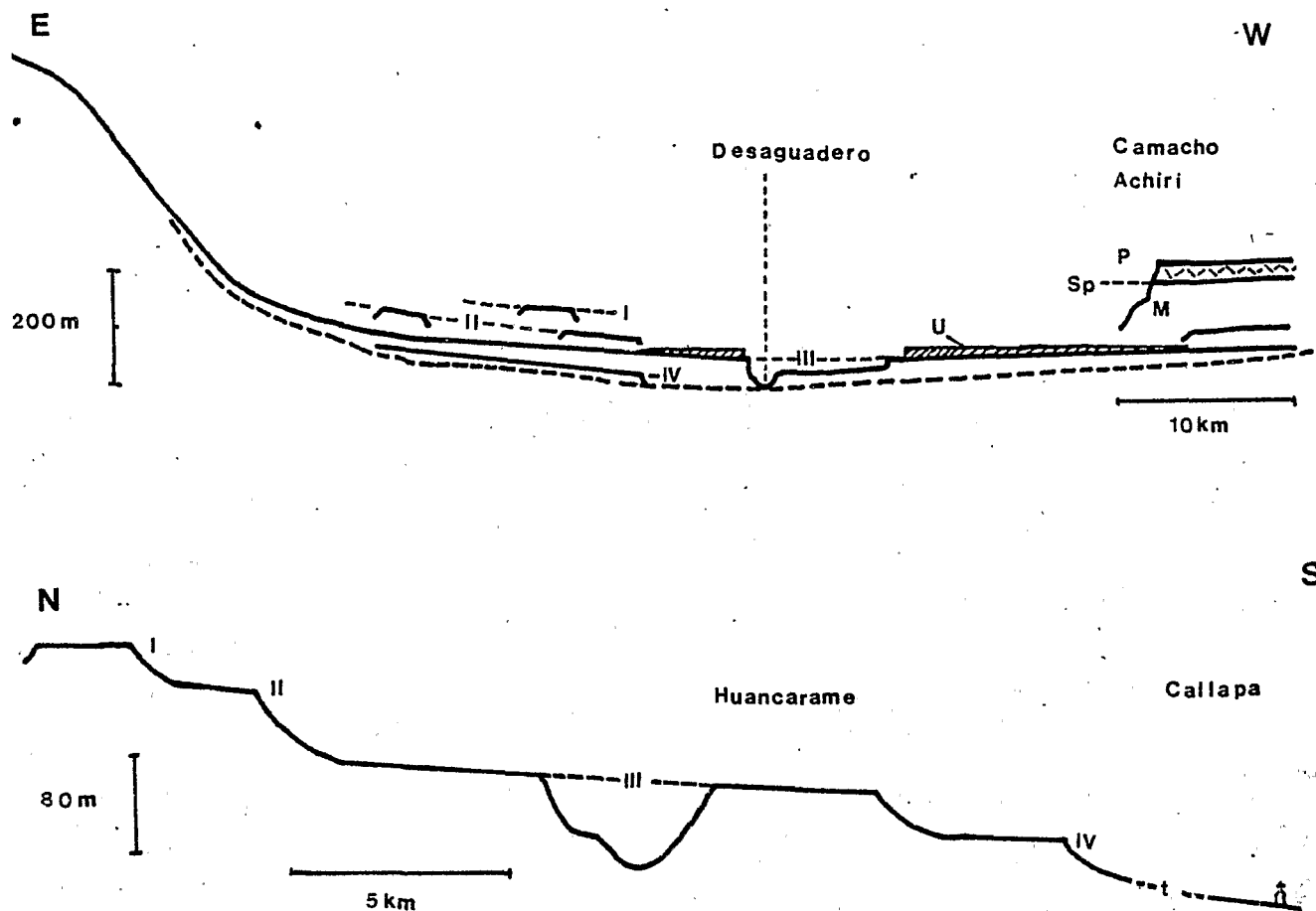


FIGURE 3. — Les principales surfaces morphologiques de l'Altiplano. Exemples régionaux (profils schématisés).

M, Miocène; Sp, surface d'érosion (pliocène); P, ignimbrite Perez; I, II, III, glacis d'ablation;

U, dépôts lacustres Ballivián (formation Ulloma); IV, glacis d'ablation; t, basses surfaces (terrasses ou glacis).

Au Nord-Ouest de l'Altiplano, les glacis II et III se développent en contrebas de l'ignimbrite Perez datée de 2,5 M.A. Il en est sans doute de même du glacis I mais les témoins qui pourraient lui être attribués ne sont pas assez nets pour conclure avec certitude. Du moins ce glacis est-il nettement postérieur aux formations post-miocènes à Vertébrés qu'il recoupe en plusieurs endroits.

### III. — LES EXTENSIONS LACUSTRES

Les bordures des bassins de l'Altiplano sont tapissées par des dépôts lacustres qui se rattachent pour la plupart à trois extensions successives des nappes d'eau.

La première (Ballivián) est connue de longue date par des surfaces d'abrasion littorale ou par des sédiments argilo-sableux situés au maximum à 70 m au-dessus du niveau actuel du lac Titicaca. Elle fut attribuée à tort au Quaternaire ancien (TROLL, 1931).

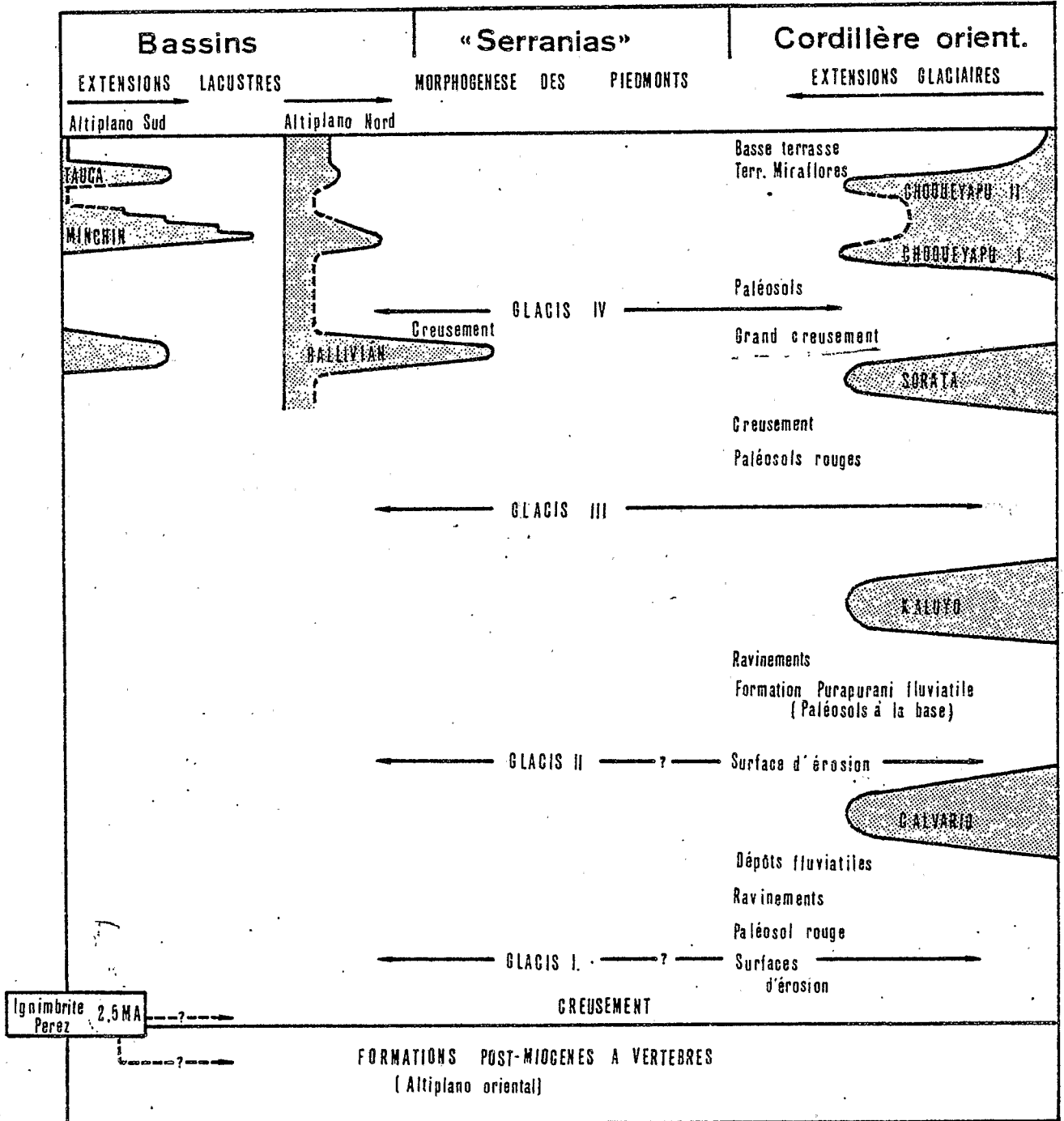
La seconde (Minchin) s'est accompagnée, dans la moitié sud de l'Altiplano, par un développement spectaculaire de récifs stromatolithiques (TROLL, 1927), dont certains tapissent des terrasses d'abrasion littorale, particulièrement nettes à 80, 60 et 40 m environ au-dessus des zones actuellement les plus basses.

La troisième (Tauca), est attestée surtout par des calcaires sableux à Diatomées dont les plus hauts témoins se situent à 60 m au-dessus du fond des dépressions, ce qui implique la présence au Sud de l'Altiplano d'un lac de 43 000 km<sup>2</sup>.

Ces extensions lacustres ont largement débordé sur les piedmonts des serranias, où il est possible de préciser leurs relations avec les glacis d'ablation: les dépôts du lac Ballivián reposent, directement ou par l'intermédiaire d'un ravinement, sur le glacis III, ceux du lac Minchin sont situés en contrebas sur le glacis IV (3). Les anciens lacs n'ont pas atteint le domaine trop élevé des oscillations glaciaires et l'observation directe n'a pas permis d'en déterminer l'âge relativement aux glaciations. Mais nous savons, par des datations au <sup>14</sup>C, que la période lacustre Tauca se situe entre 13 000 et 10 000 ans B.P. et qu'elle coïncide avec le dernier recul important des glaciers (FONTES et SERVANT, 1976). Cette indication laisse présumer que les lacustres plus anciens sont, de la même façon, associés aux périodes de récession des glaciers: vers la fin de la glaciation Sorata pour le lacustre Ballivián, vers la fin de la phase Choqueyapu I pour le lacustre Minchin.

(3) Il existe quelques témoins lacustres antérieurs au glacis III mais leur position stratigraphique n'est pas encore définie avec précision.

TABLEAU I  
 SCHÉMA STRATIGRAPHIQUE  
 DU PLIO-QUATÉRNAIRE DE L'ALTIPLANO DES ANDES TROPICALES  
 EN BOLIVIE



CONCLUSION

L'Altiplano offre un champ de recherches qui recouvre des phénomènes variés : morphogénèse des piedmonts, avancées et reculs des glaciers, extensions lacustres, etc. Le tableau I donne, en introduction à

une interprétation dynamique qui sera présentée ultérieurement, les rapports chronologiques pouvant actuellement être établis entre ces différents phénomènes.

## BIBLIOGRAPHIE.

- AHLFED F. (1960). — Geologia de Bolivia. *Instituto Boliviano del Petroleo*, La Paz, 245 p.
- DOBROVOLNY E. (1962). — Geologia del valle de La Paz. *Bol. Departamento Nacional de Geologia*, 3, 153 p.
- EVERDEN J., KRIZ S., CHERRONI C. (1966). — Correlación de formaciones terciarias de la cuenca altiplanica a base de edades absolutas determinadas por el metodo potasio-argon. *Serv. geol. de Bolivia, Hoja informativa, 1*, La Paz.
- FONTES J.-Ch., SERVANT M. (1976). — Dataciones radiométricas sobre el Cuaternario Reciente del Altiplano de Bolivia. *Primer Congreso de Geologia*, Potosi, Bolivia, 1976 (sous presse).
- HOFFSTETTER R., MARTINEZ C., MUÑOZ REYES, TOMASI P. (1971). — Le gisement d'Ayo-Ayo (Bolivie) : une succession stratigraphique Pliocène-Pléistocène datée par les Mammifères. *C.R. Acad. Sc., Paris*, 273, p. 2472-2475.
- TROLL C. (1927). — Forschungsreisen in den zentralen Anden von Bol. u Peru. *Peterm. Mittl.*, 73, p. 41-43 et p. 218-222.
- TROLL C. (1931). — Die übersichtskarte der Cordillera Real Boliviens. *Zschr. Ges. Erdk.*, 4, p. 117-124.
- TROLL C., FINSTERWALDER R. (1935). — Die Karten der Cordillera Real und des Talkessels von La Paz (Bolivien). *Petermanns Geogr. Mitteilungen*, 11, p. 393-399, 12, p. 445-455.
- VILLARROEL C. (1974). — Les Mésotherinés (Notoungulata, Mammalia) du Pliocène de Bolivie. Leurs rapports avec ceux d'Argentine. *Ann. Paléontologie*, 60, p. 245-281.

