

LA CARTE TECTONIQUE DE BOLIVIE

Maquette à l'échelle du 1/5 000 000

Ruben BOTELLO - Tomas SUBIETA

*Servicio Geologico de Bolivia, Casilla 2797
La Paz (Bolivie)*

Claude MARTINEZ - Pierre TOMASI

*Géologues de l'ORSTOM, Universidad Mayor
de San Andrés (UMSA), Casilla 2977 - La Paz (Bolivie)*

RÉSUMÉ

Les auteurs donnent une brève notice pour la première édition de la Carte Tectonique de Bolivie (H.T), dans laquelle ont pu être différenciés trois cycles orogéniques : précambrien, hercynien et andin.

ABSTRACT

The authors give a brief note for the first edition of the Tectonic Map of Bolivia, in which three orogenic cycles can be differentiated : Precambrian, Hercynian and Andean.

RESUMEN

Los autores dan una breve noticia para la primera edición del Mapa Tectónico de Bolivia, en el cual se han podido diferenciar tres ciclos orogénicos : precámbrico, hercínico y andino.

ZUSAMMENFASSUNG

Die Autoren geben einen kurzen Bericht für die erste Auflage der tektonischen Karte von Bolivien, in der man drei orogenetische Zyklen unterscheidet: den präkambrischen, den herzynischen und den andischen Zyklus.

РЕЗЮМЕ

Заметка авторов к первому изданию тектонической карты Боливии, в которой различаются три орогенных цикла: кембрийский, герцинский и андийский.

La Sous-Commission (1) de la Carte Tectonique du Monde a confié la réalisation de la Carte Tectonique de Bolivie au Service Géologique de Bolivie, dans le cadre de la préparation de la Carte Tectonique de l'Amérique du Sud. Plusieurs maquettes furent jusqu'à présent réalisées :

— la première est l'œuvre de S. RIVAS, exécutée après la réunion de Montevideo (1968), où furent définies les règles devant servir à l'élaboration de la Carte Tectonique d'Amérique du Sud,

— la seconde interprétation, préparée par M. MONTAÑO et G. PEREIRA, fut présentée à la réunion de travail de Lima (mai 1969).

— Postérieurement à cette réunion, M. MONTAÑO dessina une nouvelle maquette, encore inédite, qu'il ne nous fut pas possible de consulter.

En 1971, le Service Géologique de Bolivie désigna les ingénieurs (R.) BOTELLO et (T.) SUBIETA pour l'exécution de ce travail.

Ayant participé aux réunions de travail qui se sont déroulées à Lima, en 1969 et 1970, les géologues de l'Office de la Recherche

(1) Sous-Commission de la Carte Tectonique du Monde : (A.) BOGDANOFF, (F.) MARÇAIS.
Coordinateur Général pour l'Amérique du Sud : (F.M.) ALMEIDA
Coordinateur du Groupe II (Argentine, Chili, Pérou et Bolivie) : (Y.) FURQUE.

Scientifique et Technique Outre-Mer, (C.) MARTINEZ et (P.) TOMASI furent appelés, après accord avec la Sous-Commission, à collaborer à la réalisation de cette maquette.

La maquette présentée avec ce texte est presque identique à celle envoyée, en avril 1971, par les auteurs, au Comité de Coordination du Groupe II, quelques corrections ayant été faites à partir de découvertes récentes.

INTRODUCTION

La réalisation de la maquette bolivienne est basée sur la compilation des travaux effectués et publiés par le Service Géologique de Bolivie, des thèses présentées à la Faculté des Sciences Géologiques de l'UMSA, des publications de la Société Géologique de Bolivie, de « Yacimientos Petroliferos Fiscales de Bolivia » et d'un certain nombre de publications (voir liste bibliographique).

L'interprétation et la représentation de ces données furent faites en accord avec les résolutions adoptées lors de la réunion de Lima (1969) et des dernières réunions qui se sont tenues pendant le Premier Congrès Géologique Latino-américain à Lima (novembre 1970).

LES GRANDS TRAITES TECTONIQUES ET LEUR REPRÉSENTATION SUR LA CARTE

Le territoire bolivien présente cinq unités morpho-structurales distinctes :

- la plate-forme précambrienne, prolongement occidental du Bouclier brésilien ;
- les plaines du Béni et du Chaco, formées par une épaisse couverture quaternaire ;
- la zone sub-andine dont l'aspect morpho-structural est dû au plissement andin ;
- la Cordillère orientale où s'observe nettement la superposition des plissements hercyniens et andins ;
- l'Altiplano qui correspond à une dépression remplie de sédiments très épais, en majorité tertiaires et quaternaires, sur lesquels se sont superposés les volcans et les coulées de laves qui constituent la Cordillère occidentale.

Au point de vue tectonique, il est possible de distinguer les terrains appartenant à trois cycles orogéniques :

- cycle précambrien,
- cycle hercynien,
- cycle andin.

Les connaissances acquises sur l'existence d'un cycle calédonien ne permettent pas de le différencier ; la lacune générale du sommet de l'Ordovicien, souvent considérée comme la preuve du plissement calédonien, peut correspondre à une émergence due à des mouvements verticaux.

1. Le cycle précambrien et les couvertures de plate-forme

— *Les limites des terrains précambriens*, dans le Nord-Est bolivien, ne sont connues qu'approximativement. La bordure occidentale du Bouclier se déduit de quelques affleurements (Rio Madre de Dios, région de Trinidad...) qui permettent de repousser la limite, vers l'Ouest, au-delà du Rio Mamoré (méridien 66° Ouest).

A l'Ouest du méridien 68° Ouest et jusqu'à la frontière avec le Chili et le Pérou, les terrains précambriens ne sont pas connus à l'affleurement. On les observe cependant remaniés dans des formations volcaniques et continentales tertiaires de l'Altiplano.

— *La composition et l'âge des terrains* correspondant au cycle précambrien n'ont pas été étudiés systématiquement jusqu'à présent. Le Bouclier brésilien est constitué de gneiss, micaschistes et de quartzites ; ces roches métamorphiques correspondent à des orogènes précambriens différents, définis au Brésil, et dont le dernier, d'un âge de 500 à 600 M.A. (Rondonides), se prolonge en Bolivie. Des roches intrusives, de type granitoïde, affleurant sur la bordure ouest du Bouclier, sont représentées comme appartenant au cycle précambrien.

En ce qui concerne les éléments de précambrien remaniés, mentionnés précédemment, on constate qu'ils sont constitués de différentes roches métamorphiques dont l'une a donné un âge radiométrique de 647 M.A. confirmant ainsi, l'existence d'un socle précambrien masqué dans la zone frontière Chili-Pérou-Bolivie, peut-être en relation avec le massif précambrien d'Aréquipa (Sud du Pérou).

— La couverture de la plate-forme précambrienne

Elle est représentée sur la bordure sud et ouest du Bouclier (plaines du Chaco et du Béni), mais seul ont pu être différenciés la couverture quaternaire et un complexe sédimentaire d'âge paléozoïque à cénozoïque (*).

Au Sud, le Quaternaire repose directement sur le Crétacé-Tertiaire plissé de la zone sub-andine et, plus

(*) NOTA : L'information publiée sur cette zone est assez rare, bien qu'il existe de nombreux travaux géologiques et forages. Les courbes de niveau du Carbonifère (Gondwana) sont extraites de « Los yacimientos minerales y de hidrocarburos de Bolivia » de (F.) AHLFELD et (A.) SCHNEIDER-SCHERBINA, 1964, Geobol, Bol, 5, p. 346, fig. 123.

Les courbes de niveau du sommet de la plate-forme précambrienne, pour la zone frontière Bolivie-Paraguay sont dessinées à partir d'informations extraites de « Die Geologie von Paraguay » de (H.) PUTZLER, 1962. Gebrüder Borntraeger, Berlin.

à l'Est, successivement sur le Mésozoïque et le Paléozoïque de la plate-forme.

Au Nord-Ouest, le Quaternaire qui recouvre directement le Précambrien peut atteindre une grande épaisseur (800 m à l'Ouest de Trinidad). Plus vers l'Ouest, près de la Cordillère, la couverture quaternaire repose probablement sur les couches plissées méso-cénozoïques de la zone sub-andine nord.

A partir des données de forages publiées, des courbes interprétatives ont été dessinées, donnant l'altitude approximative du socle précambrien sous la couverture de plateforme.

2. La chaîne hercynienne

L'existence de segments orogéniques hercyniens à l'intérieur du système andin est une découverte récente. Bien que la tectonique andine affecte aussi, évidemment, les terrains paléozoïques, il nous a paru nécessaire d'insister sur la représentation de la tectonique hercynienne et donc de l'individualiser sur la carte.

La chaîne hercynienne est largement développée dans la Cordillère orientale ; on peut y distinguer les terrains du Paléozoïque inférieur, affectés par la *tectonique éo-hercynienne* (post-dévonien et pré-carbonifère) ainsi que par la *tectonique tardi-hercynienne*. Les terrains d'âge carbonifère à permien moyen, postérieurs à la tectonique éo-hercynienne et plissés par la phase tardi-hercynienne, ont été différenciés.

Les terrains paléozoïques postérieurs au permien moyen et considérés comme *post-tectoniques*, bien connus au Pérou, ne semblent exister en Bolivie que près de la frontière avec le Pérou (Nord du Lac Titicaca) où ils seraient représentés par des terrains volcaniques et de rares conglomérats.

Dans le Sud de la Bolivie, à proximité de la frontière avec l'Argentine, existent des *noyaux précambriens* constitués de gneiss, schistes et granitoïdes qui furent repris dans les plissements hercyniens et andins.

A l'intérieur de la chaîne hercynienne, on observe une zone avec schistosité et épimétamorphisme (niveau structural inférieur) et une zone sans schistosité (niveau structural moyen et supérieur), ayant, ainsi, une indication sur l'intensité du plissement.

La direction du plissement, déduite des directions générales de schistosité et d'axes de plis, se présente suivant deux segments de directions presque orthogonales, l'un dans la partie nord de la Cordillère orientale de direction N 120° à E-O, l'autre dans la partie sud de direction proche de N-S. Les relations

structurales entre ces deux segments ne sont pas encore connues, mais cette disposition pourrait peut-être correspondre à une virgation hercynienne.

Les affleurements paléozoïques rencontrés dans le Sud de l'Altiplano sont les témoins les plus occidentaux de la chaîne hercynienne dans la partie méridionale de Bolivie ; ils correspondent au substratum pénéplanisé des formations méso-cénozoïques de l'Altiplano.

Les manifestations magmatiques, nombreuses en Bolivie, ont rarement été caractérisées comme appartenant au cycle hercynien, à l'exception d'un massif granitique situé dans la Cordillère Royale (Nord de La Paz). Les affleurements de syénite néphélinique connus près de Cochabamba correspondraient à un massif intrusif atectonique peut-être d'âge mésozoïque.

3. Le cycle orogénique andin

On distingue deux domaines :

- le domaine de la plate-forme hercynienne, affecté par les plissements andins,
- le domaine de la fosse subsidente sub-andine.

La zone sub-andine qui s'étend depuis le Pérou, au Nord, jusqu'à l'Argentine, au Sud, est représentée comme étant déformée par une seule phase de plissement, probablement d'âge pliocène. Les terrains du Paléozoïque au Tertiaire sont concordants.

NOTA :

Le symbole A et une couleur propre ont été choisis pour différencier la zone sub-andine qui constitue un domaine particulier dans le cycle andin par sa position entre la plaine hercynienne et le bouclier brésilien. Cette caractéristique se retrouve également dans les zones sub-andines du Pérou et de l'Argentine.

Le revêtement méso-cénozoïque de la plate-forme hercynienne est constitué de sédiments typiques de bassins intra-montagneux. Deux phases tectoniques ont affecté successivement tout cet ensemble et il est possible de différencier ainsi dans le cycle andin :

1. les terrains formés de couches rouges, d'âge crétacé à éocène supérieur, qui ont été plissés par une phase tectonique pré-oligocène ou oligocène inférieur (tA_1).
2. les terrains volcaniques et volcano-détritiques, d'âge oligocène inférieur à pliocène, qui ont été

affectés pendant le pliocène par deux phases de déformations, (tA_2 pour la première phase et tA'_2 pour la dernière).

Les terrains post-tectoniques, plio-quatérnaires, sur l'Altiplano et dans la Cordillère occidentale, sont constitués par deux types de formations :

— les unes volcano-sédimentaires et lacustres déposées dans les dépressions tectoniques des lacs Ballivian et Minchin ;

— les autres, produits d'un volcanisme acide (laves de composition andésitique, dacitique et rhyolitique ainsi qu'ignimbrites et tuffs) surtout développées dans l'Ouest de l'Altiplano (Cordillère occidentale). Une tectonique cassante est observable dans ces terrains.

L'activité magmatique du cycle andin est représentée par la chaîne de plutons de la Cordillère Royale, groupés sous le titre de granitoïdes non différenciés.

L'intensité et la direction des plissements andins sont figurées par les principaux axes de plis et les grandes failles inverses. Afin de montrer la superposition des tectoniques andines sur les tectoniques paléozoïques, on a différencié, quand cela fut possible, les axes de plis hercyniens.

CONCLUSION

Cette première édition de la Carte Tectonique de Bolivie permet de se rendre compte que :

— la connaissance des orogénèses précambriennes et des couvertures de plate-forme présente encore de grandes lacunes dues à l'extension et à la situation géographique des zones à étudier ;

— des tectoniques superposées ont pu être caractérisées, l'une, hercynienne, assez intense, l'autre, andine, relativement moins importante et sûrement influencée par la première ; ainsi la virgation des Andes en Bolivie, observée actuellement, pourrait correspondre à une architecture structurale acquise antérieurement, peut-être à la fin de l'orogénèse hercynienne.

— s'il existe un magmatisme lié au cycle hercynien,

c'est cependant le magmatisme andin tant plutonique qu'effusif qui est le plus important.

Actuellement, l'activité magmatique se manifeste à proximité de la frontière entre la Bolivie et le Chili.

Manuscrit reçu au SCD le 17 octobre 1972

REMERCIEMENTS

Nous remercions en premier lieu les différents organismes qui ont permis la réalisation de ce travail commun, par l'apport de documentation et d'informations et par le soutien matériel et financier qu'ils nous ont fournis :

- « Servicio Geológico de Bolivia » (GEOBOL),
- « Facultad de Ciencias Geológicas » de l'Université de La Paz (UMSA),
- Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer (ORSTOM),
- Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS-RCP 132).

Nous sommes reconnaissants à Ms les Professeurs M. MATTAUER et F. MEGARD pour les suggestions et les critiques apportées à ce travail. Nos remerciements vont également aux géologues boliviens qui ont bien voulu apporter leur collaboration pour l'élaboration de la Carte Tectonique de Bolivie.

DOCUMENTS CONSULTÉS

- la carte géologique de Bolivie 1/2 500 000, publiée (1968) par GEOBOL ;
- les cartes géologiques 1/100 000, publiées entre 1960 et 1972 par le "Departamento Nacional de Geología" puis par GEOBOL ;
- la carte géologique 1/500 000 de Bolivie d'Ahlfeld et Branisa (en hors texte dans « Geología de Bolivia », 1960) ;
- les thèses présentées à la « Facultad de Ciencias Geológicas », UMSA, entre 1960 et 1971 ;
- les bulletins publiés par GEOBOL entre 1961 et 1968 (n° 1 à 14) ;
- les bulletins publiés par la « Sociedad Geológica Boliviana » ;
- les bulletins publiés par YPFB.

CARTE TECTONIQUE DE BOLIVIE - MAPA TECTÓNICO DE BOLIVIA

dressée par : elaborada por :
BOTELLO Ruben, SUBIETA Tomas - Servicio Geológico de Bolivia - LA PAZ
MARTINEZ Claude, TOMASI Pierre - Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer - PARIS
et/ Departamento de Geología - Universidad Mayor de San Andrés - LA PAZ

LÉGENDE LEYENDA

PLISSEMENTS PRÉCAMBRIENS non différenciés PLEGAMIENTOS PRECAMBRICOS no diferenciados

- PX Précambrien
Precámbrico
- Y Granitoïdes
Granitoides

PLISSEMENTS VARISQUES (HERCINIENS) PLEGAMIENTOS VARISICOS (HERCINICOS)

- Terrains post-tectoniques, volcano-clastiques d'âge permien supérieur (?)
Terrenos post-tectónicos, vulcano-clásticos de edad permica superior (?)
- Terrains du Paléozoïque supérieur plissés par la phase tardi-hercynienne (Permien moyen ?)
Terrenos del Paleozoico superior plegados por la fase tardi-hercínica (Permico medio ?)
- Terrains du Paléozoïque inférieur (Cambrien ? à Dévonien supérieur) plissés par les phases eo- et tardi-hercyniennes
Terrenos del Paleozoico inferior (Cambriaco ? hasta Devónico superior) plegados por las fases eo- y tardi hercínicas
- PXV Précambrien repris
Precámbrico reactivado
- VY Granite hercynien syntectonique
Granito hercínico sintectónico

PLISSEMENTS ANDINS PLEGAMIENTOS ANDINOS

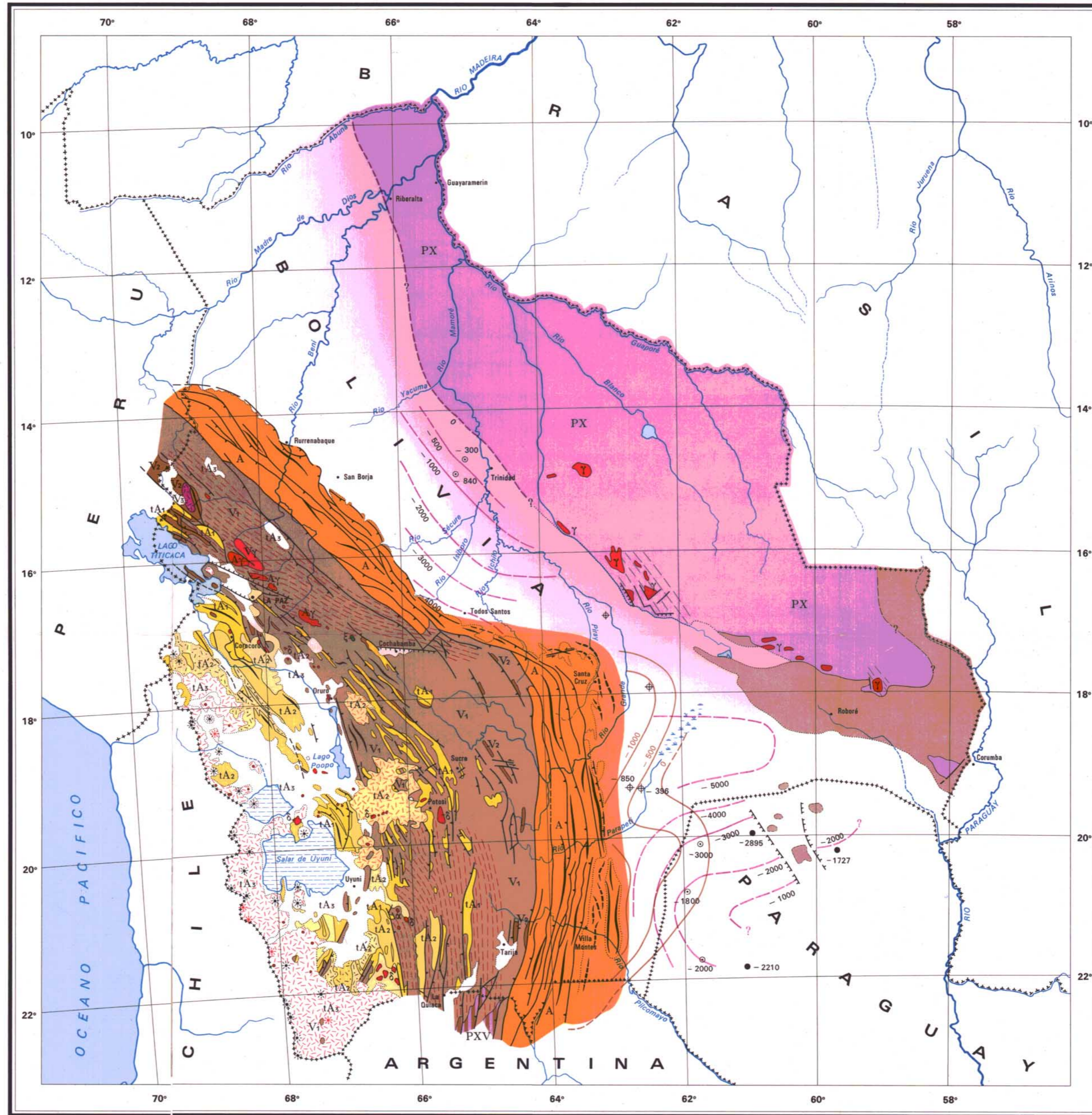
- Zone sub-andine
Zona subandina
- Zone sub-andine sous couverture quaternaire
Zona subandina bajo cubierta cuaternaria
- Terrains paléozoïques, mésozoïques et tertiaires affectés par une phase de plissement pliocène
Terrenos paleozoicos, mesozoicos y terciarios afectados por una fase de plegamiento pliocena
- Zone andine
Zona andina
- tA3 Dépôts plio-quaternaires (Volcanisme et Bassins lacustres récents) affectés localement par une tectonique cassante
Terrenos plio-cuaternarios (Vulcanismo y Cuencas lacustres recientes) afectados localmente por una tectónica de fractura
- tA2 Terrains pliocènes affectés par la deuxième phase de plissement pliocène
Terrenos pliocenos afectados por la segunda fase de plegamiento pliocena
- tA2 Couches rouges tertiaires (Oligocène et Néogène) affectées par la première phase de plissement pliocène
Capas rojas terciarias (Oligoceno y Neogeno) afectadas por la primera fase de plegamiento pliocena
- tA1 Couches rouges du Crétacé supérieur - Éocène affectées par la phase de plissement anté (ou intra) Oligocène inférieur.
Capas rojas del Cretácico superior - Eoceno afectadas por la fase de plegamiento ante (o intra) Oligoceno inferior
- Ay Granites andins
Granitos andinos

COUVERTURES DE PLATE-FORME CUBIERTAS DE PLATAFORMA

- Couverture quaternaire de la plate-forme précambrienne
Cubierta cuaternaria de la plataforma precámbrica
- Soile situé entre la surface et l'altitude 0 m
Zócalo entre la superficie y la altura 0 m
- Soile situé entre 0 m et - 500 m d'altitude
Zócalo entre 0 m y - 500 m de altura
- 500 m à - 1000 m
- 500 m hasta - 1000 m
- > - 1000 m
- Couverture quaternaire (non différenciée)
Cubierta cuaternaria (no diferenciada)
- Couverture paléo et mésozoïque tabulaire de la plate-forme précambrienne (non subdivisée)
Cubierta paleo y mesozoica tabular de la plataforma precámbrica (no subdividida)

VOLCANISME et MAGMATISME VULCÁNISMO y MAGMÁTISMO

- * Volcans actifs, éteints
Volcanes activos, apagados
- Formations volcano-clastiques
Formaciones vulcano-clásticas
- Volcanites non différenciées
Vulcanitas no diferenciadas
- Granitoïdes
Granitoides
- Dacites
Dacitas
- Andésites
Andésitas
- Syénites néphéliniques atectoniques
Sienitas nefelínicas atectónicas



STRUCTURES TECTONQUES ESTRUCTURAS TECTÓNICAS

- Anticlinaux visibles, masqués
Anticlinales visibles, ocultos
- Synclinaux
Sinclinales
- Failles et fractures non différenciées
Fallas y fracturas no diferenciadas
- Failles normales
Fallas normales
- Failles inverses
Fallas inversas
- Décrochements
Fallas de desplazamiento de rumbo
- Schistosités
Esquistosidades

SYMBOLES DIVERS SIMBOLOS DIVERSOS

- Contact normal
Contacto normal
- Limite de bassins récents
Limite de cuencas recientes
- Limite approximative du Bouclier brésilien
Limite aproximado del Escudo Brasileño
- 500 Courbes de niveau du sommet de la plate-forme précambrienne
Curvas de nivel del tope de la plataforma precámbrica
- 500 Courbes de niveau du sommet du Paléozoïque inférieur
Curvas de nivel del tope del Paleozoico inferior
- 2000 Forages qui ont atteint le socle précambrien
(altitude du socle en mètres)
Perforaciones que alcanzaron el zócalo precámbrico
(altura del zócalo en metros)
- 1727 Forages qui n'ont pas atteint le socle précambrien
(profondeur du forage en mètres)
Perforaciones que no alcanzaron el zócalo precámbrico
(profundidad de la perforación en metros)
- 850 Forages qui ont atteint le Paléozoïque inférieur
(altitude du toit du Paléozoïque inférieur en mètres)
Perforaciones que alcanzaron el Paleozoico inferior
(altura del tope del Paleozoico inferior en metros)

