

Esquisse géologique de la plateforme du Bouclier Brésilien dans l'Orient des Chiquitos (Bolivie)

Autor(en): **Chamot, Guy A.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Eclogae Geologicae Helvetiae**

Band (Jahr): **56 (1963)**

Heft 2

PDF erstellt am: **21.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-163046>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Esquisse géologique de la plateforme du Bouclier Brésilien dans l'Orient des Chiquitos (Bolivie) *

Par Guy A. Chamot, Santa Cruz de la Sierra (Bolivie)

Avec 10 figures dans le texte

TABLE DES MATIÈRES

Abstract	818
Résumé	818
1. Généralités	820
A. Introduction	820
B. Remerciements	820
C. Historique	820
2. Stratigraphie	821
A. Le Complexe Corumbéen (Timiskaming ?)	821
B. La Série Bodoquena ou de Arara (Algonkien)	823
C. La Série Jacadigo (Ordovicien)	827
D. La Formation Fortín Ravele (?)	834
E. Les Formations San José-El Carmen, Roboré, et Limoncito (Dévonien)	835
F. Le Système Gondwanien (Carbonifère)	835
1. La Formation Salinas	835
2. La Formation Portón	837
G. La Formation Xaraies (Plio-Pleistocène)	837
H. Le Quaternaire	838
I. Résumé Stratigraphique	839
3. Tectonique	839
A. Les Cassures	839
B. Les Plissements	841
C. Conclusions	846
4. Paléogéographie	847
5. Références	852

LISTE DES FIGURES

Fig. 1. Tableau synthétique de la stratigraphie régionale	822
Fig. 2. La pente NW du Cerro de Mutún	824
Fig. 3. Deux des collines coniques de la région de Corumbá (d'après <i>Almeida</i>); le sommet de ces collines indique approximativement une surface plane correspondant à la pénéplaine pré-Jacadigo	826

*) Nous tenons à remercier la Bolivian Gulf Oil Co. de l'aide financière à l'impression de ce travail.

Fig. 4. Comparaison des logs stratigraphiques entre les Cerros Urucum (<i>Dorr</i>) et Mutún . . .	829
Fig. 5. Tableau de corrélation régionale	832
Fig. 6. La terrasse de Corumbá (selon <i>Almeida</i>): la Fm. Xaraies repose en discordance sur la Fm. Tamengo (Algonkien)	838
Fig. 7. Esquisse géologique	840
Fig. 8. Croquis aérien de l'Anticlinorium de Jacadigo; interprétation, à l'E d'après <i>Almeida - Barbosa</i> , et à l'W d'après l'auteur. Cette différence démontre que des levés détaillés sont nécessaires	842
Fig. 9. Schéma tectonique (lignes directrices) de la Plateforme du Bouclier brésilien	843
Fig. 10. Esquisses paléogéographiques: A) Algonkien, Ordovicien inférieur; B) Silurien inférieur et supérieur	848

ABSTRACT¹⁾

Geological Outline of the Brazilian Shield Platform in the E Chiquitos (Bolivia)

The first section of this paper describes the stratigraphy of the extreme eastern part of Bolivia and of the immediately surrounding Brazilian Mato Grosso area. The oldest sequence described is a poorly exposed metamorphic rock sequence invaded by intrusive granite, called the Corumban Complex of assumed Timiskaming age. Resting in great angular unconformity upon the Corumban Complex is the Bodoquena Group sequence of limestone, dolomites, and shales. This group was strongly folded during the Chiquitean Orogeny but is unmetamorphosed. It is of probable Algonkian age.

The Jacadigo Group of Ordovician age, was laid down over a thoroughly peneplaned surface. Its lower formation is the Urucum Fm., essentially an arkose more or less conglomeratic and quartzitic, of some 450 m. thick. The Urucum Fm. grades into the Corrego das Pedras Fm. (100m. thick) composed of ferruginous arkosic layers and of ferruginous jasperized limestones. The Banda Alta Formation which conformably overlies the Urucum Fm. is essentially constituted of banded hematite ore deposits of commercial value with two manganese layers, of which the lower one (4 m. thick) is extensively mined at the Urucum Mountain in Brazil. White laminae of micro-crystalline silica give the rock its striped appearance. The upper limit is a present day erosional surface.

Devonian rocks: a basal conglomeratic sandstone, the San José - El Carmen Fm., followed by the Roboré Fm. of well bedded sandstone and finally by the Limoncito Fm., an alternating sequence of micaceous shales and sands are present, although not widely represented.

The Gondwanian system is incomplete. The Salinas Fm., a Lower Machareti equivalent (possibly lower Mississippian) rests unconformably upon the eroded Devonian and pinches out northwards under the Porton sand Fm. of Pennsylvanian age and an equivalent of the Mandiyuti Group.

The Xaraies Fm. Plio-Pleistocene age rests with a strong angular discordance upon the Bodoquena Group in the Corumbá area.

The second section of the paper deals with the structure and geologic history of the area as well as can be reconstructed, considering the generally poor and widely scattered nature of the outcrops.

The Fortín Mutún fault and the San Salvador fault are both high angle reverse faults which separate an eastern area where Ordovician sediments are scattered as isolated remnants, from another area to the west where the Ordovician has been eroded off prior to deposition of the Devonian. This faulting took place during a period of Silurian uplift whose trends are not so clearly defined as those of the Chiquitean Orogeny of assumed Middle Cambrian age (Albertan). The Chiquitean Orogeny built the Bodoquena Mountain System and gave rise to two directional trends, a WNW-ESE trend and a N-S trend. The trends of the much later Andean Orogeny paralleled this archaic pattern. The third set of tectonic movements, readily documented by the field evidence, are those of the Chaquean Phase of an indefinite Mesozoic age (post-Permian to pre Upper Cretaceous). Finally, post-Pleistocene fault reactivation is suspected and could be associated with the final Pleistocene Subandean uplift.

¹⁾ This paper was summarized and presented as a talk at the 2nd Convention of the Instituto Boliviano del Petróleo, on February 22, 1962, in La Paz (Bolivia).

RESÚMEN²⁾*Bosquejo geológico de la plataforma del escudo Brasileño en el Oriente Chiquitano*

La primera parte de este trabajo describe la estratigrafía de la región extrema oriental de Bolivia y las zonas inmediatas tales como el área oeste del Mato Grosso Brasileño. Las rocas más antiguas aflorantes consisten en una secuencia de rocas cristalofílicas pobremente expuestas e invadidas por granitos intrusivos, denominadas «el Complejo Corumbaense», del cual se asume una edad timiskamiana. Descansando en gran discordancia angular sobre el Complejo Corumbaense, se halla la secuencia de la Serie Bodoquena, que consiste en calizas, dolomitas y lutitas. Esta serie ha sido fuertemente plegada durante la Orogénesis Chiquitana, pero no ha sido metamorfizada. Probablemente se trata de sedimentos de edad algonquiense.

La Serie Jacadigo, de edad ordovicica, fué depositada sobre una superficie peneplanizada. La formación de la parte inferior de esta serie se denomina formación Urucum, y está compuesta esencialmente de arcosas algo conglomerádicas y cuarzíticas, con un espesor total de aproximadamente 450 m. La formación Urucum pasa transicionalmente a la formación Corrego das Pedras (100 m. de espesor) que se halla compuesta de estratos de arcosa ferruginosa y calizas jaspisadas y ferruginosas. Suprayace conformaembiente a la formación Corrego das Pedras, la formación Banda Alta, la cual está esencialmente constituida de depósitos de hematita bandeada de un valor comercial, además de dos estratos de manganeso, de los cuales el inferior es intensamente explotado en el Morro do Urucum en el Brasil. Las laminaciones blanquecinas de cílice microcristalina dan a la roca un aspecto bandeado. Su parte superior corresponde a una superficie de erosión.

Las rocas Devónicas observadas en la región se hallan distribuidas en la siguiente forma: una arenisca conglomerádica basal, la formación San José – El Carmen, seguida por la formación Roboré que consiste de areniscas bien estratificadas, y finalmente, coronando a las rocas devónicas, se halla la formación Limoncito, constituida de una alternancia irregular de lutitas micáceas y areniscas, las cuales no se hallan presentes en toda la región.

El sistema Gondwanico se halla incompleto. La formación Salinas, equivalente a la parte basal del Machareti (probablemente mississippiano inferior) descansa en ligera discordancia sobre la superficie erodada del Devónico, y se bisela hacia el Norte bajo las areniscas de la formación Portón, las cuales son de una edad pensylvánica y el equivalente de la Serie Mandiyuti.

La formación Xaraies, de edad plio-pleistocénica descansa en el área de Corumbá sobre la Serie Bodoquena y se halla separada de ésta por una fuerte discordancia angular.

La segunda parte de este artículo trata sobre la geología histórica y estructural de la zona en la medida que nuestro conocimiento nos ha permitido interpretarla, si consideramos la pobreza y escasez de los afloramientos en el área que nos ocupa.

La falla de Fortín Mutún y la de San Salvador son del tipo inverso y de alto grado, separan un área oriental donde los sedimentos ordovicicos están esparcidos en mesas aisladas de otra área hacia el Oeste, donde el Ordovicico ha sido completamente erodado antes de la deposición de los estratos devónicos. Esto corresponde a un levantamiento silúrico del cual sus alineamientos no están claramente definidos como los de la Orogénesis Chiquitana de asumida edad Cámbrica Media (Albertan). La Orogénesis Chiquitana que ha elevado el sistema de montañas de las Bodoquénidas expone dos direcciones, la una ONO-ESE y la otra N-S, que sugieren una orogénesis bifásica. A este patrón arcaico, la Orogénesis Andina que ocurre mucho más tarde, mostrará direcciones paralelas. El tercer juego de movimientos tectónicos que puede ser comodamente evidenciado son los de la fase Chaqueña de edad Mesozoica indefinida entre post-pérmico y pre-Cretácico superior. Finalmente, se sospecha de la existencia de fallas reactivadas del Pleistoceno, las cuales podrían estar asociadas con el último levantamiento Sub-Andino de la misma época.

²⁾ Un resumen de este trabajo fué presentado en la 2a. Convención del Instituto Boliviano del Petróleo, el 22 de Febrero de 1962 en La Paz (Bolivia).

A la mémoire de mon ami WALTER A. HESS³⁾

1° Généralités⁴⁾

A. Introduction

Dans la zone SE de l'Orient de Bolivie s'étendent d'immenses plaines à végétation variée et dense; les plaines se poursuivent au-delà du Rio Paraguay dans l'Etat de Mato Grosso au Brésil, où elles sont recouvertes d'eau et constituent ce que les Brésiliens nomment «Pantanal»; les moustiques y pullulent et la population y est clairsemée, communiquant avec ses semblables par canoë, ou avec la ville par avionette. En Bolivie, cette grande plaine marécageuse, piquée de collines ou de courtes chaînes de montagne à faible relief, correspond à la ligne de partage des eaux des systèmes hydrographiques de l'Amazone et du Rio de La Plata.

Actuellement le chemin de fer qui relie Corumbá à Santa Cruz de la Sierra située aux confins des Andes et du Gran Chaco, sert d'épine dorsale à cette région des Chiquitos; il provoque la naissance ou le renouveau de villages en voie de disparition, tels San José de Chiquitos où fut fondée la première Santa Cruz il y a 400 ans, El Portón, Roboré, El Carmen, Puerto Suárez. En même temps d'autres agglomérations, plus éloignées, dépérissent, telles Concepción, San Ignacio de Velasco, Santa Ana, San Rafael, Santiago, etc.

Le climat est torride, la moiteur pénètre partout. La bourgade frontière de Puerto Suarez, bâtie sur un ancien cours du Rio Paraguay, est reliée par une route souvent défoncée, de 21 km de long, à Corumbá, ville brésilienne de province située approximativement à mi-distance entre les Océans Atlantique et Pacifique; tête des chemins de fer vers Sao Paulo et la mer, et vers la Bolivie, petit port fluvial situé à quelque 2500 km de l'estuaire du Rio de la Plata, Corumbá est à une altitude absolue de 145 m.

Les populations assez mélangées de ces régions reçoivent l'étranger de passage avec sympathie et hospitalité.

B. Remerciements

Je tiens à remercier ici la Direction Générale de Gulf Oil Corporation qui a bien voulu approuver cette publication. A Mr. PAUL B. TRUITT, Directeur d'Exploration, qui a encouragé le projet, relu le texte et proposé d'utiles retouches, je suis particulièrement reconnaissant. Que le Dr. HUMBERTO SUÁREZ, de Y. P. F. B. trouve ici ma gratitude pour son aimable collaboration, de même que tous ceux qui m'ont accompagné et aidé. Il m'est particulièrement agréable de remercier Mr. le professeur HÉLI BADOUX, Lausanne, qui a accepté de relire le texte et d'apporter d'heureuses modifications.

C. Historique

Faisant suite au voyage scientifique en Bolivie du grand savant français ALCIDE D'ORBIGNY, un autre envoyé du même gouvernement, le comte FRANCIS DE CASTELNAU fut le premier géologue à atteindre ce coin perdu en plein continent; il arrive à Corumbá par le Rio Paraguay en 1849. Sa description de la terrasse de Corumbá est suffisamment précise pour que l'on reconnaisse l'existence de deux calcaires superposés, un fait qui n'a pas toujours été reconnu par les auteurs récents.

³⁾ Mort sur les pentes du Cerro Chochis (Centre Chiquitos) le 14 novembre 1960 en mission géologique.

⁴⁾ Ce travail fut présenté sous forme abrégée à la 2^e Convention de l'Instituto Boliviano del Petroleo, le 22 février 1962, à La Paz (Bolivie).

Vient ensuite EVANS (1894), qui donne une description adéquate des calcaires de Corumbá. Il les compare aux calcaires de Arara près de Cuiaba, et en signale l'extension sur toute l'étendue du môle que contourne le rio Paraguay. Il annonce pour la première fois l'existence des gisements de fer et manganèse, maintenant célèbres, du Morro do Urucum.

En 1909, MIGUEL ARROJADO LISBOA, en étudiant le tracé pour le projet de la voie ferrée, crée les Séries de Bodoquena et Jacadigo qu'il attribue respectivement au Cambrien et au Silurien s.l. Il visite le Morro do Urucum et en décrit les gisements d'hématite pure.

Venons-en maintenant à OLIVEIRA et LEONARDOS (1940) qui dans leur «Géologie du Brésil», présentent la Série de Bodoquena comme algonkienne supérieure et la Série de Jacadigo comme silurienne s.l.

En 1945 paraît le travail de DORR sur le gisement de manganèse du Morro do Urucum avec une étude très poussée de la Série de Jacadigo.

ALMEIDA publie son étude stratigraphique sur l'Ouest du Mato Grosso (1945) dans laquelle il sépare définitivement la Série de Bodoquena, d'âge éo-paléozoïque pour lui, des calcaires plio-pleistocènes de la formation Xaraies, auparavant improprement groupés sous le nom de «calcaires de Corumbá».

AHLFELD (1946) donne un court exposé de la région et attribue un âge ordovicien au Groupe Jacadigo.

BARBOSA (1949, 1950) reprend quelques considérations sur la stratigraphie de la région, et lui fait faire un bond en avant en prouvant l'âge dévonien de la formation Limoncito, et ainsi de la formation San José – Santiago – El Carmen. De plus il propose, après DORR, une origine glaciaire ou mieux glaciomarine pour une partie de la Série de Jacadigo.

BEURLEN et SOMMER (1957) présentent une espèce nouvelle d'algue, qui démontrerait l'âge cambrien des calcaires affleurant à Corumbá, qu'ils dissocient de la Série de Bodoquena en se basant sur un argument tectonique de valeur douteuse.

Puis PUTZER (1958) passe en revue les gisements de l'Urucum et donne une coupe structurale de la région, reprenant la «tectonique de blocs» à la suite de STEINMANN, AHLFELD, etc.

AHLFELD et BRANIŠA (1960) attribuent la formation Jacadigo à l'Ordovicien. A ce propos, ils repellent l'existence du Cerro Mutún, l'un des plus puissants gisements de fer du monde.

Enfin notre groupe a passé quelque semaines au printemps 1961 dans la région de Puerto Suárez-Corumbá.

2° Stratigraphie

Nous décrirons la succession des roches reconnues jusqu'à présent dans la région qui nous intéresse.

A. Le Complexe Corumbéen

Il serait bien téméraire de prétendre que nous sommes sur la plateforme du Bouclier Brésilien si nous n'en avons quelque preuve. En effet il existe dans la zone comprise entre Corumbá et Pôrto Esperanza sur le rio Paraguay, plusieurs affleurements de roches crystallophylliennes. Par exemple à la Fazenda do Urucum, un gneiss œillé, chloriteux, forme le soubassement du Morro do Urucum. Les cristaux de quartz, de microcline rose, de plagioclase sodique, de muscovite, ont subi les effets des poussées liées au métamorphisme général ou bien peut-être de la mise en place du granite, au sujet duquel on n'a pratiquement aucune connaissance. On connaît également des micaschistes, des paragneiss à biotite, des schistes à amphiboles, etc. (ALMEIDA, 1945). Ce sont là les schistes cristallins qui constituent avec les granites porphyroïdes, ce que nous appelons le *Complexe Corumbéen* du socle (cf. fig. 1).

A une demie lieue de la Fazenda do Urucum, le long du chemin de fer et au bord de la route à Corumbá, peut s'observer un granite à gros grains, parcouru par des venues aplitiques, lesquelles suggèrent qu'il s'agirait d'un granite intrusif plutôt qu'un granite d'anatexie, ce granite serait syncinématique.

AGE	GROUPES et FORMATIONS	LITHOLOGIE	REMARQUES
QUATERNAIRE	Alluvions		
PLIO-PLÉISTOCÈNE	Xaraies		Contrecoups Pléistocènes (Phase Pasadénane ?)
Discordance			Phase Chaqueenne (anté-Névadienne) Contrecoups acadiens, hercyniens et pfalziens ?
DÉVONIEN INFÉRIEUR	San José - Santiago - El Carmen		Fe
Discordance			Phase Taconienne (Silurien s. s. absent en Chiquitos)
ORDOVICIEN MOYEN	Banda Alta		Fe
	Corrego das Pedras		Mn
ORDOVICIEN INFÉRIEUR	Urucum		
Discordance			Orogénèse Chiquitéenne (Cambrien moyen Alberton ?)
ALGONKIEN	Tamengo		Algues
	?		Algues
	Bocaina		
Discordance			Conglomérat de base ? Contact couvert Orogénèse Algomanienne ?
ARCHÉEN TIMISKAMIEN ?	Gneiss + Granites		Granites Algomaniens ?

Fig. 1. Tableau synthétique de la stratigraphie régionale

Ce terme de «Complexe Corumbéen» se justifie par l'existence, en Bolivie, en dehors de la région qui nous occupe, de complexes crystallophylliens plus étendus et probablement différents; l'ensemble de tous ces complexes constitue le Bouclier Brésilien dans le domaine formé des Provinces de Chiquitos, de Velasco et Nuflo de Chavez en Bolivie, et de l'Etat de Mato Grosso au Brésil (cf. fig. 7).

Il est possible de serrer l'âge du Complexe Corumbéen, en tout cas de lui donner une limite supérieure probable. Il est recouvert en discordance par une séquence non métamorphique d'âge algonkien. Comme le complexe sous-jacent ne s'est pas métamorphisé et injecté à la surface, mais bien en profondeur, il est logique

de supposer qu'il constitue la racine d'une chaîne, dont l'érection, le soulèvement et l'arasement jusqu'à une grande profondeur, se produisirent avant le dépôt des sédiments algonkiens. Tout cela prend du temps. Ces considérations nous conduisent, en l'absence d'âges absolus, à admettre comme probable un *cycle timiskamien*, avec les granites intrusifs comparables aux granites algomaniens. Nous espérons tenir un jour pas trop lointain, des déterminations d'âges absolus pour le crystallophyllien et pour le granite aussi.

Le Complexe du Rio Apa dans le Nord du Paraguay, est probablement l'équivalent du Complexe Corumbéen.

B. La Série de Bodoquena ou de Arara

C'est pour le moment la série sédimentaire non métamorphique la plus ancienne que nous connaissions en Bolivie. Ce nom lui fut donné par ARROJADO LISBOA en 1909, et est généralement adopté par les géologues brésiliens. Les géologues étrangers lui préfèrent le terme de calcaires de Corumbá, se référant ainsi à EVANS (1894); mais en fait, EVANS compare les calcaires à Corumbá aux calcaires de Arara dans la zone de Cuiaba au Mato Grosso. C'est donc le terme de *Série de Arara* qui devrait avoir la préséance.

En discordance sur le Complexe Corumbéen, repose une puissante série, encore mal définie, de calcaires sublithographiques gris-bleu, de calcaires dolomitiques bleu-foncé, de calcaires grés-marneux gris, de calcaires oolitiques ou plutôt onkolitiques, de calcaires cristallins blancs souvent partiellement silicifiés, de grès, de schistes argileux rouge-lie-de-vin, de schistes gréseux micacés (voir tableau synthétique, fig. 1), etc. Cette énumération des différentes lithologies rencontrées est certainement loin d'être exhaustive; elle permet d'entrevoir une histoire sédimentaire propre à une plateforme continentale à faible profondeur.

Il est bon de préciser ici, que dans la région de l'Orient Chiquitéen et de la partie limitrophe du Mato Grosso, il ne nous a pas été donné d'observer de vrai métamorphisme affectant la Série de Bodoquena. Un peu de silicification, des filons de quartz, des géodes tapissées de cristaux de quartz, de la calcite cristalline, de la dolomie cristallisée, sont ce que certains géologues admettent comme preuves du métamorphisme général.

La Série de Bodoquena, dont la base n'est pas exactement connue, pas plus au reste que les termes les plus élevés, fut subdivisée par ALMEIDA (1945) en deux formations, *Bocaina* en bas et *Tamengo* au-dessus. La formation Bocaina serait plus particulièrement calcaire, alors que celle de Tamengo renfermerait plutôt les termes détritiques, sans exclure cependant des calcaires. Il est malgré tout encore difficile d'identifier ces formations en dehors de leur localité type, car, à Bocaina, le contact avec le soubassement n'est pas observable; la disposition relative des Séries de Bodoquena et du complexe de base suggère un contact tectonique, de sorte qu'on peut affirmer l'absence d'une partie de la succession lithologique. Dans la région de Corumbá – Puerto Suárez – El Carmen, la Série Bodoquena, qui est très fortement plissée, affleure en quelques endroits difficiles à repérer en l'absence de photographies aériennes. Le géologue pressé doit se contenter de visiter les quelques rares collines de calcaire. L'auteur a eu la chance de visiter, en outre,

des endroits où il a pu observer qu'une partie de la série est redressée à la verticale (environs de Puerto Suárez, collines de San Pedrito et Mutún, etc., cf. fig. 2).

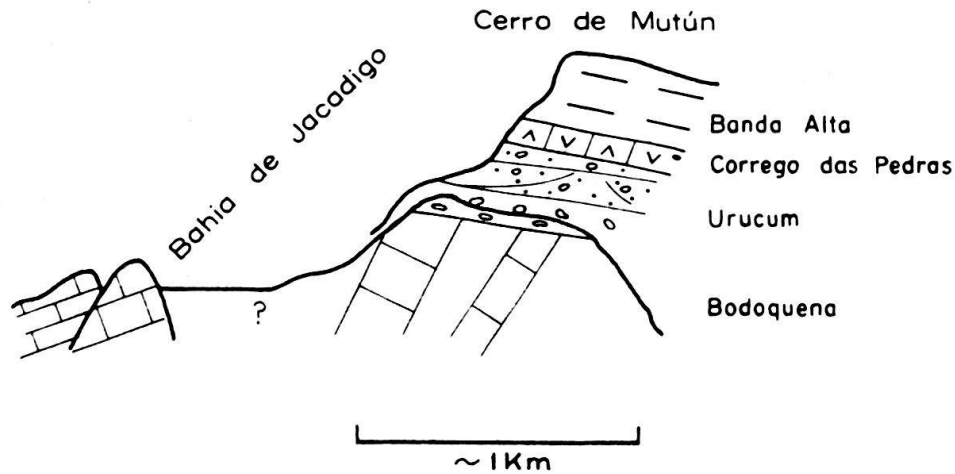


Fig. 2. La pente NW du Cerro de Mutún

La limite supérieure est une limite d'érosion; la surface pénéplainée du system plissé de Bodoquena (les Bodoquénides) dans l'orient Chiquitéen, recoupe à travers toute la série, et même, entame le socle cristallin dans les zones qui devaient correspondre aux noyaux anticlinaux ou aux parties élevées d'un chevauchement (cf. fig. 8). Que le socle cristallin soit impliqué dans le plissement, montre à quel point l'orogénèse pré-Jacadigo, que nous nommons *Orogenèse Chiquitéenne*, fut importante; il faut remarquer toutefois qu'elle n'est pas accompagnée de métamorphisme, ni de la mise en place de roches ignées, pour le moins dans la région qui nous occupe. A moins que l'on admette que la Série de Bodoquena ne soit la *substructure* (au sens de E. WEGMANN) non métamorphique de l'orogène corumbéen, conservée dans quelques graben; les affleurements de cristallin seraient ainsi assimilés à des horsts pré-Jacadigo. L'étude stratigraphique a montré qu'il n'en est pas ainsi, et ces déductions seront confirmées par les considérations structurales, suivant lesquelles les cassures principales sont post-Jacadigo et anté-Dévonien-

Les épaisseurs données par ALMEIDA (1945) de 120 m pour la formation de Bocaina, de 300 m pour celle de Tamengo, soit au total 420 m, nous apparaissent grandement sous-estimées. A partir des logs stratigraphiques donnés par BARBOSA (1949) pour les sondages de recherche d'eau le long de la voie ferrée Corumbá-Santa Cruz, on obtient une épaisseur de 500 à 600 m pour une partie de la formation de Tamengo dans la région des collines de Yacuces. Dans la région de Mutún, on arrive aisément à plus de 600 m de calcaire. Nous ne pensons pas exagérer en donnant à la Série de Bodoquena une puissance minimale de 1500 m.

Les fossiles de la Série de Bodoquena ne permettent pas une datation précise. SOMMER (cf. BEURLÉN & SOMMER, 1957) étudia des algues pauvrement conservées qui furent découvertes par BARBOSA; il les rapporte avec quelque hésitation cependant, au genre *Aulophycus* de FENTON & FENTON connu du Cambrien des Etats-Unis. Il donne à cette algue de Cormubá un nom d'espèce nouveau - *lucianoï*, ce qui, on en conviendra, n'est pas une preuve de l'âge cambrien. Afin de soutenir ou

mieux, de préparer cette attribution, BEURLÉN utilise une argumentation basée sur des observations incomplètes. Il commence par contester l'appartenance à la Série de Bodoquena des calcaires exposés dans la région de Puerto Suárez – Corumbá – Pôrto Esperanza, équivalence généralement admise (OLIVEIRA & LEONARDOS, 1940; ALMEIDA, 1945; OLIVEIRA, 1956) depuis que ARROJADO LISBOA, en 1907, exécuta le levé du projet de la ligne ferrée. L'argument de BEURLÉN est d'ordre tectonique et n'aurait qu'une valeur relative même s'il était basé sur des observations complètes. Du moment, dit-il, que les calcaires de la région de Corumbá ne sont que légèrement inclinés, ils ne peuvent être équivalents à ceux fortement plissés de la Chaîne de Bodoquena pourtant toute proche, et doivent donc être plus jeunes. C'est un peu comme si on affirmait que l'Hauterivien en position sub-horizontale du Plateau Suisse ne pouvaient être l'équivalent de celui du Jura plissé, à 60 km de là.

Or, nous venons de voir que notre série de calcaires et de schistes est fortement plissée, avec pendage vertical (Puerto Suárez, Mutún, etc.), peut-être même renversement des couches en d'autres endroits. Cette observation non seulement enlève toute valeur à l'argument de BEURLÉN, mais le retourne à l'avantage de l'interprétation de LISBOA. A part cela, BEURLÉN admet l'âge algonkien de la Série de Bodoquena proprement dite, qu'il compare sans restriction aucune aux calcaires de la Série de Arara près de Cuiaba (BEURLÉN, 1959). Il pense même, mais il n'en a aucune preuve, que les calcaires de Arara font partie du cycle sédimentaire de la série métamorphique de Cuiaba, dont l'âge anté-cambrien ne fait pas de doute. Or sa description des calcaires de Arara peut s'appliquer mot pour mot à celle des calcaires de Corumbá.

Par le fait que la Série Jacadigo, qui est immédiatement superposée aux calcaires de Bodoquena, n'a pour ainsi dire pas subi de déformation tectonique, autre que celle due à un bombement d'allure épirogénique et accompagné de cassures, en quelque sorte une répercussion des mouvements précurseurs de l'Orogenèse Andine, il s'en suit que les déformations intenses de la Série Bodoquena sont dues à une orogenèse qui lui est propre et que nous avons nommée *Orogenèse Chiquitéenne*. C'est cette même orogenèse qui a si fortement plissé les calcaires de la chaîne de montagne de Bodoquena sur lesquels repose avec une discordance angulaire marquée, le conglomérat de base de la Série de Jacadigo, d'après OLIVEIRA et MOUTA (cf. ALMEIDA, 1945, p. 95), à l'extrémité méridionale de cette chaîne, à l'ENE de Pôrto Murinho. Ceci est en bonne harmonie avec ce qui s'observe plus au Nord, dans l'Orient Chiquitéen et la région limitrophe.

Peu avant d'arriver au Cerro San Salvador, sur la route qui conduit de Puerto Suárez vers Fortín Mutún au Sud, nous avons trouvé un affleurement de calcaires dolomitiques contenant des structures concentriques qui rappellent celles des Collenia. On sait bien que les Collenia, s'ils montent assez haut dans l'échelle stratigraphique, y descendent aussi très bas, puisque au Katanga la Série de Roan, d'âge huronien probable en contient plusieurs niveaux (DUBOIS et DUMONT, 1959). Cependant l'absence de fossiles autres que des algues, ne peut servir d'argument en faveur d'un âge pré-cambrien en l'état actuel de la connaissance de la Série de Bodoquena. Cependant aucun argument sérieux ne s'oppose à l'âge algonkien admis par OLIVEIRA et LEONARDOS (1940), etc.

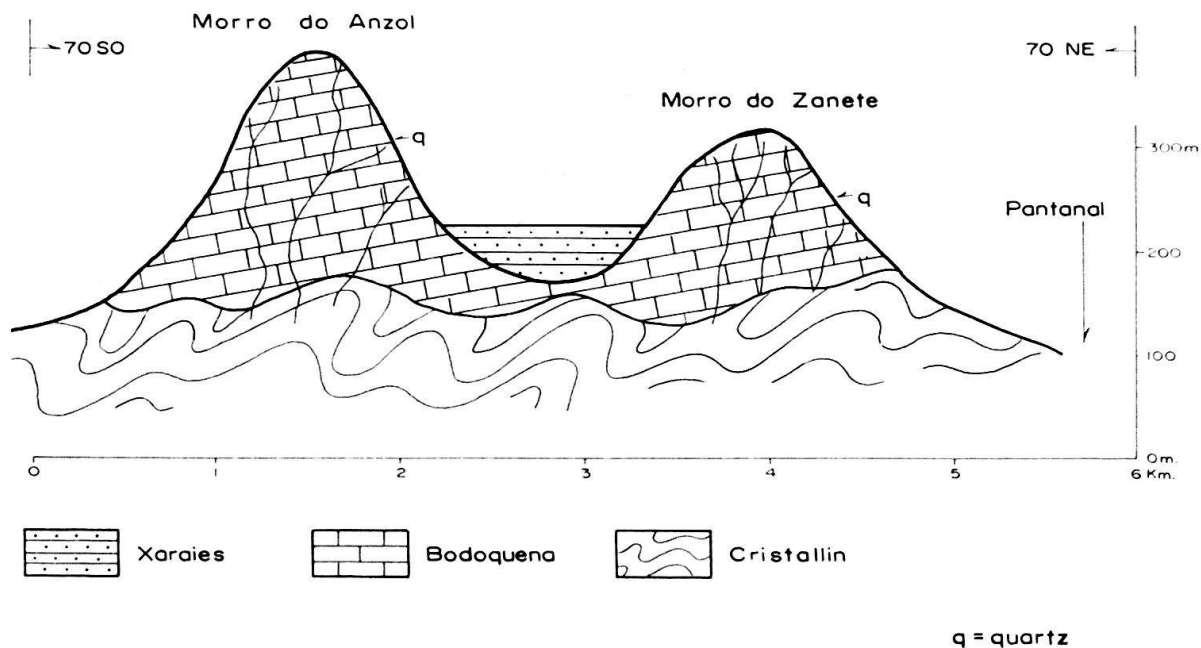


Fig. 3. Deux des collines coniques et la région de Corumbá (d'après Almeida); le sommet de ces collines indique approximativement une surface plane correspondant à la pénélaine pré-Jacadigo.

La disposition générale, dans les Chiquitos, indique en outre, que le cycle sédimentaire dont la Série de Bodoquena n'est qu'un témoin partiel, a dû débiter bien en arrière dans le Pré-Cambrien pour se terminer probablement à un moment donné du Cambrien, peut-être vers la fin du Cambrien inférieur déjà (Waucoban).

A ce moment-là, l'Orogenèse Chiquitéenne, la dernière orogénèse manifestée par cet orogène fatigué, était sur le point d'atteindre son paroxysme. S'il est vrai que la pénélaination d'une chaîne dure autant que sa formation, il faut bien convenir, qu'il n'est pas exagéré d'assigner à cette phase d'érosion une partie du Cambrien moyen et tout le Cambrien supérieur; de plus, la surface plane sur laquelle s'est déposée la Série de Jacadigo n'a rien d'une «morphologie calcaire»; certaines légères ondulations font croire à des roches moutonnées, et nous pensons, en accord avec l'hypothèse de DORR, BARBOSA, etc. qui voient une origine glacio-marine pour une partie du conglomérat de base de Jacadigo, que des glaciers d'inlandsis ont parfait la surface de la pénélaine, un peu comme les grandes surfaces polies du Canada. Ceci se passait vraisemblablement à l'extrême fin du Cambrien, à la veille du dépôt de la formation de Urucum. On verra une autre fois, que ce schéma local cadre bien avec un schéma plus général.

Donc les termes plus jeunes du cycle sédimentaire de Bodoquena ont dû être érodés, et il ne reste qu'une partie des plus anciens, à savoir ceux que nous attribuons à l'Algonkien.

En résumé, nous avons de bonnes raisons de croire que la Série de Bodoquena date de l'Algonkien, sinon d'une époque plus ancienne encore. Sa puissance doit de beaucoup surpasser 1500 m. La Série de Bodoquena est équivalente à la Série de Arara et probablement à la Série de Açungui au Brésil, et aussi à la Série de Itapucumi au Paraguay (HARRINGTON, 1956; ECKEL, 1959); elle recouvre une grande

partie de l'Orient de Bolivie, du Mato Grosso et au-delà au Brésil, ainsi que le Nord du Paraguay (cf. Tableau de corrélations, fig. 5).

Remarques – Il se pourrait que la formation Fortín Ravelo représente un terme non encore reconnu de la Série Bodoquena.

De même il ressort d'autres études que la formation Corrego das Pedras dans le sens de BARBOSA (1949), ne doit absolument pas être confondue avec la formation Corrego das Pedras de DORR (1945), et correspond en partie à la Série Bodoquena.

C. La Série de Jacadigo

Sur la surface pénéplainée de la chaîne des Bodoquénides, se déposent les sédiments de la Série de Jacadigo, ainsi nommée par LISBOA (1909 et subdivisée plus tard en deux ou en trois formations.

LISBOA (1909)	ALMEIDA (1945)	DORR (1945)
Jacadigo	Santa Cruz	Banda Alta
	Urucum	Corrego das Pedras
		Urucum

La formation Corrego das Pedras est en somme un étage de passage entre les deux formations qui l'encadrent. Nous préférons utiliser la subdivision proposée par DORR, qui permet de mettre en évidence les calcaires jaspés de la formation Corrego das Pedras (voir Tableau synthétique, fig. 1).

La formation Urucum est essentiellement une arkose conglomératique hétérogène, de couleur verdâtre à la cassure, rougeâtre sur la surface altérée. Cette arkose souvent calcaire et généralement silicifiée, renferme des galets et des blocs de granite, de gneiss, de calcaire dolomitique siliceux. Laminations et stratification entrecroisée caractérisent les termes moins grossiers. Les passées plus arkosiques offrent moins de résistance à l'érosion, et s'altèrent en rouge gris clair. Le conglomérat arkosique donne des formes en coupoles surbaissées semblables aux formes de desquamation du granite, roche avec laquelle ce conglomérat fut confondu à plus d'une reprise.

Sur les pentes du Cerro Mutún, le conglomérat de Urucum est par places calcaire. Les éléments à facettes abondent: granite, gneiss, tandis que les galets de calcaire dolomitique sont arrondis. On y trouve un bloc de granite de $40 \times 25 \times 20$ cm de côté, et même il semble en exister de plus considérables. La présence de tels blocs peut s'expliquer au mieux par dérive sur des glaces flottantes ou sur un glacier d'inlandsis s'étendant aux abords de la terre nourricière.

L'arkose conglomératique est fort mal triée; les grains sont arrondis à subangulaires; ils montrent un assemblage plutôt lâche dans une pâte de couleur brune à verdâtre, argilo-calcaire et chloriteuse.

Les carrières de San Miquicho à 5,5 km au Sud de Puerto Suárez, présentent des affleurements frais d'une très belle arkose quartzitique légèrement calcaire, et aussi d'un conglomérat quartzitique à éléments plus ou moins dispersés, de quartz, de granite, de schistes métamorphiques, de schistes siliceux rouges pareils à ceux de la formation Tamengo. La roche est massive à part quelques rares intercalations fines (2 à 5 cm) de schistes grés-argileux; les feldspaths sont roses. Cette arkose quartzitique assez grossière a l'aspect d'une granulite, avec laquelle elle fut con-

fondue à plus d'une reprise (cf. AHLFELD, 1946; 1960). Mr. l'ingénieur E. CORNEJO, pétrographe de la Gulf, la décrit ainsi: «roche clastique, arkosique, composée de quartz et de feldspaths à assemblage compact ou lâche, baignant dans une pâte brune à verdâtre, argilo-calcaire et chloriteuse. Les grains de quartz (maximum 2,8 mm) sont généralement subangulaires à subarrondis et présentent une extinction roulante; on note quelques grains arrondis de quartzite. Les feldspaths (maximum 4,2 mm) sont généralement arrondis à subangulaires et un peu altérés; parmi les plus frais se trouvent les cristaux de microcline rose qui parfois présentent une structure perthitique; en outre on observe des cristaux d'orthose et de plagioclases basiques.»

L'épaisseur de la formation Urucum atteint 400 à 500 m au Morro do Urucum selon DORR (1945). Au Cerro Mutún, elle est probablement du même ordre, certainement bien supérieure aux 200 m visibles. Bien que la base y affleure, il est impossible d'indiquer la puissance de la formation à cause d'une faille de rejet non mesurable qui abaisse le contact avec la Série de Bodoquena.

L'âge du conglomérat de Urucum fut très discuté, de pré-Cambrien à Carbonifère. Actuellement, l'opinion des géologues concorde assez bien autour d'un âge ordovicien; quant à nous, nous croyons pouvoir préciser Ordovicien inférieur, ainsi qu'on le verra plus loin.

Il est difficile d'imaginer les conditions qui prévalaient à l'Ordovicien inférieur. Cependant l'angularité des éléments dans une pâte chlorito-calcaire, leur courbe granulométrique très étendue, la dimension énorme de quelques blocs, l'émoussage peu poussé des feldspaths et leur bon état de préservation, suggèrent un mode de transport puissant, une provenance très proche, un enfouissement rapide dans un bassin marin peu profond et en voie de subsidence; le tout devait se passer sous un climat extrêmement froid sinon en période de glaciation.

La formation Urucum recouvre de vastes étendues puisqu'on la trouve sur une grande région des Chiquitos, dans toute la zone de Corumbá – Puerto Suárez – Mutún – Fortín Coimbra et aussi comme déjà cité, à l'Est de Pôrto Murtinho sur le Rio Paraguay. Il se peut que les collines qui bordent les Bahias de Mandioré et Verdelha en soient constituées. Il est probable qu'une partie des soi-disant Intrusifs pré-cambriens de la Carte Géologique de l'Amérique Latine (STOSE 1950) ou Intrusifs créacés selon la carte de ECKEL (1959), dans le Nord du Paraguay, représentent des affleurements de conglomérat Urucum, sauf en ce qui concerne le Pao d'Azucar. Il est concevable aussi que le conglomérat Paraguari et la formation Piribebuy de la Série Caacupé de HARRINGTON au Paraguay (HARRINGTON, 1956; ECKEL, 1959) puissent appartenir à la formation Urucum. En outre, la formation Grand Conglomérat Chaparé (environ 700–800 m), près Cochabamba, dans les Andes, a exactement le même aspect, la même situation stratigraphique et un âge probablement ordovicien inférieur (cf. FRÄNKEL, 1959, fig. 5).

La formation Corrego das Pedras, d'environ 100 m de puissance, est surtout caractérisée par la présence, vers les deux tiers de sa hauteur, d'une assise de calcaires jaspés et un peu ferrugineux de 15 à 30 m d'épaisseur (voir Tableau synthétique, fig. 1). La base de la formation, au Morro do Urucum, montre des bancs d'arkose ferrugineuse et silicifiée, parfois conglomératique, à stratification entrecroisée à grande échelle. Hormis la présence de jaspes et de fer, souvent sous forme

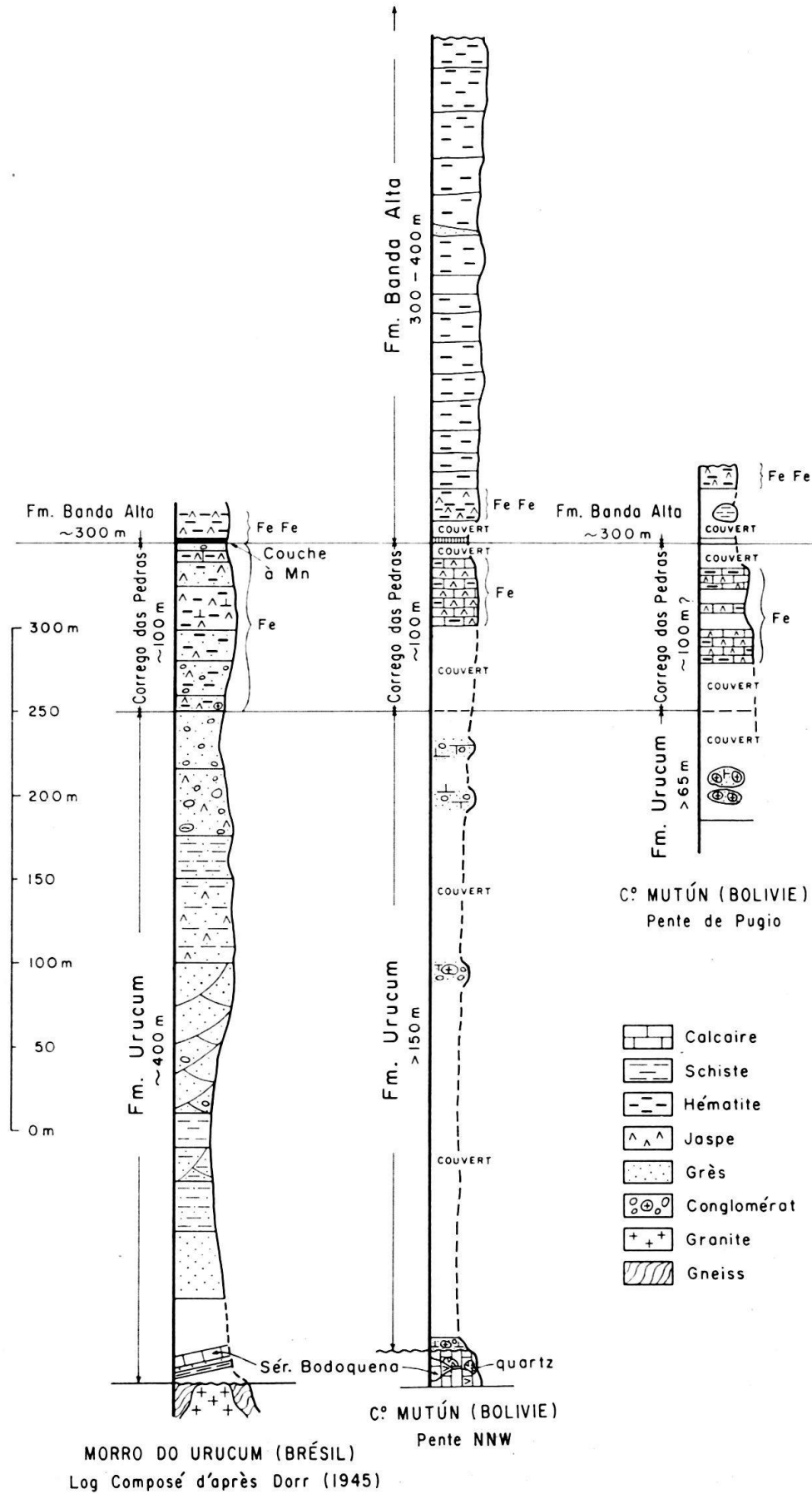


Fig. 4. Comparaison des logs stratigraphiques entre les Cerros Urucum (DORR) et Mutún

de limonite, cette formation pourrait faire partie du conglomérat de Urucum. Le sommet est marqué par un banc d'arkose conglomératique très ferrugineux, sur lequel repose un lit d'hématite rouge de 5 à 10 cm, passant très rapidement à la couche des oxydes de manganèse, épaisse de 4 m environ, et qui est intensément exploitée au Morro do Urucum. La base de ce banc à manganèse constitue, pour DORR, le pied de sa formation Banda Alta.

Remarquons ici que la formation Corrego das Pedras rappelle étonnamment la partie tout à fait supérieure de la formation Chaparé (Grand Conglomérat), la présence de jaspe en moins. Sous le microscope, la silicification apparaît très nettement comme un caractère secondaire; le fer semble suivre la silice et se fraie un chemin le long de microfractures, sous forme d'imprégnation. Il est probable que la silice et le fer proviennent du lessivage de la formation sus-jacente, dont la surface montre clairement que la silice est moins résistante que l'hématite. Il semble que la formation Corrego das Pedras indique des conditions d'origine pareilles à celles de la formation de Urucum, avec peut-être une mer un peu plus chaude, mais cependant très froide encore. L'âge est le même, ordovicien inférieur.

La formation Banda Alta, qui a une puissance de 300 à 400 m, est en continuité stratigraphique; elle est caractérisée par la présence d'hématite rubanée en gros bancs, le «Banded iron ore» des auteurs américains (cf. Tableau synthétique, fig. 1) ou «pronto-itabirite» des géologues brésiliens.

Des lits ou délits minces et lenticulaires, de quelques millimètres à 2 ou 3 cm d'épaisseur, faits de silice microcristalline de couleur gris-jaune, donnent à la roche son aspect rubané. L'hématite est finement grenue, très dure, cassante, de couleur noir-pourpre à bleu-noir. Dans la partie inférieure, on reconnaît une mince zone de schistes argileux rouge-violet moins riches en fer, et qui rappellent les schistes violets du Chaparé. La roche montre une très fine lamination de quelques millimètres ou fractions de millimètres, due à des intercalations de silt quartzeux. En surface, la silice est éliminée par les eaux, de sorte que l'on assiste à un enrichissement superficiel du gisement très spectaculaire, car la roche est criblée de petits trous arrondis, ovoïdes ou lenticulaires qui marquent l'emplacement de la silice microcristalline emportée. Selon DORR, la roche contient de 70 à 80% d'hématite.

La formation Banda Alta renferme deux couches d'oxydes noirs de manganèse la première située à la base même de la formation, atteint près de 4 m d'épaisseur, la seconde, à environ 40 m plus haut, a une puissance qui varie entre 0,5 et 2 m. Il existe quelques poches de manganèse de faible épaisseur. Selon BARBOSA (1950), un banc épais d'arkose conglomératique surmonte la première couche de manganèse.

Dans le tiers supérieur de la formation, on trouve des lentilles de grès conglomératique à stratification entrecroisée.

Il arrive que la surface des bancs expose des ondulations de ripple-marks. On peut y voir également des empreintes allongées qui rappellent des traces d'algues, telles qu'on observe fréquemment dans certaines sections de l'Ordovicien andin. En outre, près de Fortin Mutún, nous avons découvert dans une assise tigilitique des moules de petits brachiopodes ou pélecypodes fort mal préservés. Les tigilites en position perpendiculaire ou parallèle à la stratification, sont identiques à celles que l'on trouve dans l'Ordovicien andin («grès à tigilites ou à *Scoli-*

thus» et autres formations). L'origine marine de la formation Banda Alta ne fait donc plus aucun doute.

DORR (1945) reprend quelques faits saillants, à la lumière d'une saine critique, afin de tenter une explication réaliste de l'origine du fer et du manganèse. Il repousse l'hypothèse sur l'origine hydrothermale des gisements de Urucum, Mutún, etc. vu leur énorme étendue (plus de 800 km²), leur stricte homogénéité horizontale et verticale, et plus particulièrement l'absence de la moindre preuve d'un métamorphisme post-Jacadigo dans toute la région. Pour lui, le fer et le manganèse sont d'origine sédimentaire. Quant à la source, il la voit dans le lessivage des roches ignées répandues dans la région. Mais ce processus aurait dû produire bien d'autres gisements d'hématite d'origine sédimentaire, et cela, à toutes les époques où un granite fut exposé. Quoique notre explication ne consiste qu'à reporter dans le passé l'origine du fer hématitique, il semble plus probable que les sédiments de la formation Banda Alta proviennent de l'érosion d'une série hématifère antécambrienne, comme par exemple la Série de Minas qui, apparemment, n'est plus représentée sur cette partie du Bouclier Brésilien. Les études de STRAKHOV (1958) sur le fer dans les sédiments actuels de la Mer Noire, apportent un renouvellement bienvenu du problème, généralement insoluble sous sa forme purement chimique ou biochimique, de la sédimentogénèse de l'hématite. STRAKHOV montre que le fer est surtout transporté par les fleuves, non à l'état soluble, mais bel et bien à l'état de suspension mécanique sous forme d'hydroxydes ou autres. Autrement dit, un gisement d'hématite sédimentaire peut se faire par dépôt de particules en suspension, et plutôt rebelles à des transformations chimiques durant leur transport particulièrement rapide, dans un milieu pratiquement inerte étant donné la lenteur de la vitesse de réaction. Il s'ensuit qu'un gisement d'hématite sédimentaire est en très grande partie d'origine clastique (silt, poussière, colloïdes) et non chimique ou biochimique, l'intervention des bactéries se faisant lors de la diagénèse. L'explication mécanique satisfait mieux que l'explication chimique, qui exige des concentrations en fer ou autres métaux telles, que toute vie serait prohibée dans ces eaux; or la présence de fossiles (pélécytopodes, brachiopodes, Scolithus) prouve que la vie y était florissante, même si les pélécytopodes et brachiopodes mouraient... Par exemple, contestant l'origine sédimentaire du gisement d'hématite de Wabana (Bell Island, Terre Neuve, Canada), TANTON (1952) utilise entre autres ce même argument – la présence de fossiles marins et l'incompatibilité de la vie dans des eaux à forte teneur en fer –, pour battre en brèche l'explication selon laquelle le gisement serait dû à la précipitation chimique. Il conclut, pour sa part, que les eaux de mer ne montraient pas une teneur en fer anormale, que le fer devait provenir d'une autre manière, et que le gisement serait un cas typique de gisement de remplacement. Il en voit la preuve dans la présence de cristaux d'hématite spéculaire et de pyrrhotine.

L'explication détritique a l'avantage, si c'en est un, d'exiger d'avoir à disposition un gisement d'hématite d'origine quelconque; or leur rareté conditionne la rareté des gisements d'hématite d'origine sédimentaire au cours des temps géologiques sur la face de la terre.

La puissance de la formation Banda Alta, dont la surface est une limite d'érosion, peut atteindre 300 à 400 m.

L'extension de cette formation est grande dans la région de Corumbá – Puerto Suárez – Mutún – Vitiones, soit sur plus de 800 km². Primitivement elle recouvrait une surface pour le moins dix fois plus grande. Son équivalent dans la partie centrale et occidentale des Chiquitos, mais sous un faciès plus argileux, s'appelle la

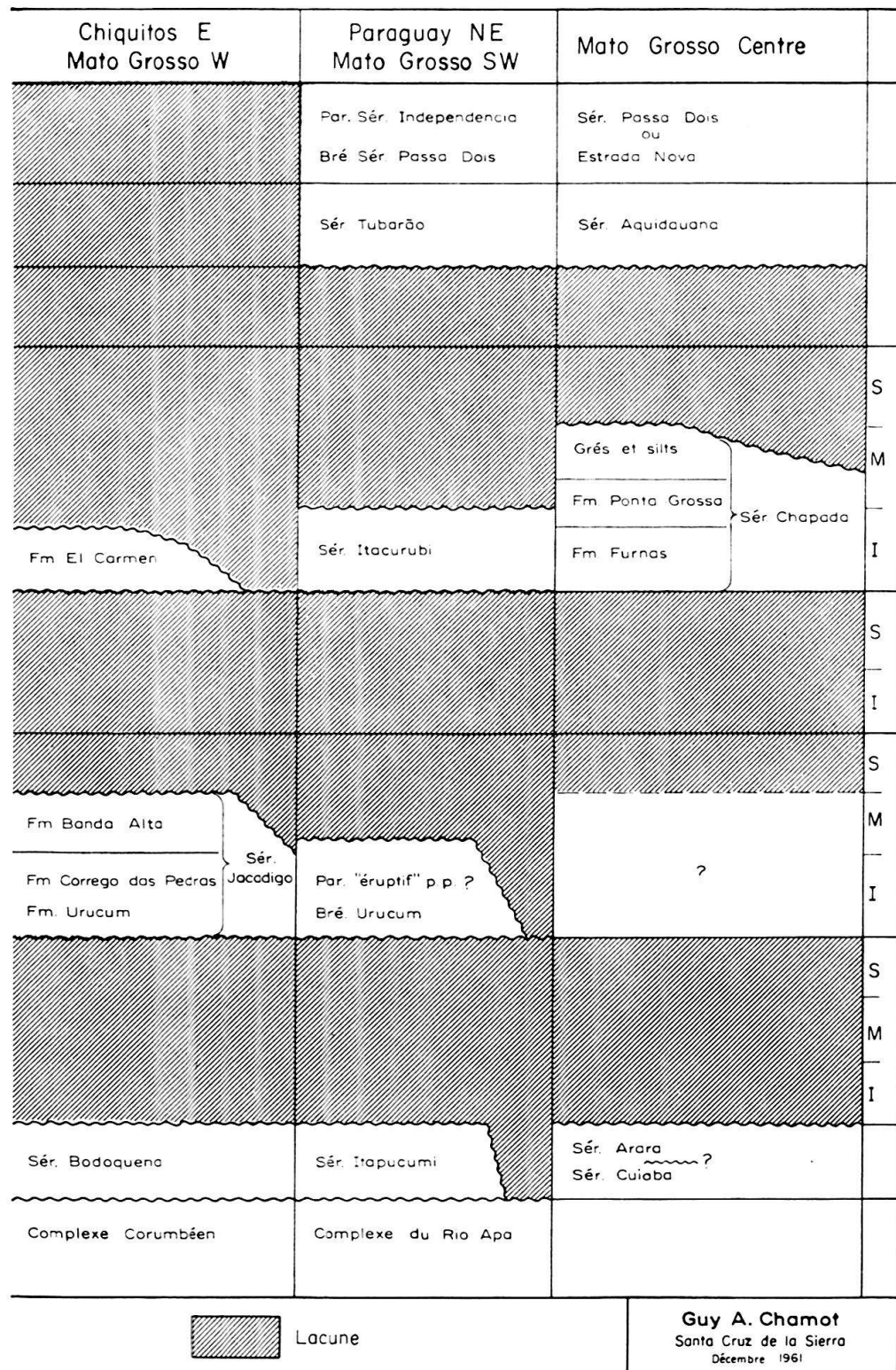
Age		Andes (Bolivie)	Chiquitos W, C et Sud	
E U Q T O Z S L É A P	Carbonifère	GONDWANIEN	Permien	
			Pennsylvanien	Sér. Mandiyuti Fm. Porton
			Mississippien	Sér. Machareti Fm. Salinas
	Dévonien	S M I	Fm. Pojo	Fm. Limoncito
			Fm. Huamampampa	Fm. Roboré
			Fm. Iclo	Fm. San José Santiago
			Fm. Santa Rosa	
	Silurien s.l.	S I	Fm. Quirusillas Fm. Sacta	
	Ordovicien	S M I	Sér. Cochabamba	Fm. Pesenema Fm. Fn. Ravelo
Fm. Chapare			Fm. Taperas	
Cambrien	S M I	Sér. Yungas		
		?		
PRÉ-CAMBRIEN	S M I	Algonkien	Sér. Pororo	
		Archéen	Complexes Chavezán, Velascan, etc.	

Symboles : ————— Contact normal ~~~~~ Discordance

Dessin by B. Velázquez R.

Fig. 5. Tableau

formation des schistes de Pesenema qui sont situés au-dessus des quartzites conglomératiques et arkosiques de Taperas; ils ont une couleur rouge-violet bien typique. On retrouve des schistes rouge-violacé identiques dans le Chaparé près de Cochabamba, entre autre au sommet du «Grand Conglomérat». Donc la «Mer du



de corrélation régionale

Fer» baignait une grande surface de la Bolivie, du Paraguay et du Brésil occidental. Son extension vers le Sud, l'Est et le Nord est encore inconnue, peut-être même le restera-t-elle toujours, si les sédiments ordoviciens furent complètement érodés ou jamais déposés (cf. fig. 10).

Il est difficile de donner un âge précis à la formation Banda Alta, et ainsi à la Série de Jacadigo. Cependant quelques arguments d'ordre lithologique, mais de valeur non absolue, conduisent à considérer la Série Jacadigo comme de l'Ordovicien inférieur et moyen p.p.

Nous avons déjà insisté sur l'équivalence du conglomérat Chaparé et du conglomérat Urucum par l'intermédiaire du conglomérat Taperas, (cf. fig. 5).

Les derniers cent mètres de la formation conglomératique du Chaparé contiennent des intercalations de schistes argileux rouge-violet semblables aux schistes violets de la formation Pesenema en Chiquitos, et qui rappellent cette intercalation de schistes rouge-violet de moindre contenance ferrugineuse, que l'on trouve sur le Cerro Mutún, vers la partie inférieure de la section.

De plus le banc à tigilites qui contient les moules mal préservés de brachiopodes ou lamellibranches, est situé haut dans la formation; ce banc correspond bien à l'assise à tigilites qui passe vers le bas au grand conglomérat du Chaparé de l'Ordovicien inférieur (il ne s'agit pas des «grès à tigilites ou à *Scolithus*» de STEINMANN, mais d'un horizon inférieur).

Ce sont là quelques-uns des arguments qui nous font admettre que la Série de Jacadigo appartient à l'Ordovicien inférieur et partiellement à l'Ordovicien moyen (cf. Tableau de corrélation, fig. 5).

D. La formation Fortín Ravelo

Fortín Ravelo se trouve au pied du Cerro San Miguel dans le Gran Chaco, au Sud de Roboré et juste au Nord de la frontière avec le Paraguay. Le Cerro San Miguel est une mesa légèrement inclinée vers le Nord, faite de grès quartzitiques du Dévonien inférieur, qui reposent en discordance angulaire (reconstruite, 23° vers l'Est) sur une séquence de 80 m de roche que nous avons nommée *formation Fortín Ravelo*.

Cette formation est constituée de microgrès ou siltstones quartzitiques et micacés, bien lités (4 à 20 cm); quelques couches sont plus schisteuses ou présentent une lamination grossière (0,6 à 2 cm). Le couleur varie de lit à lit ou même de lamination à lamination: gris, gris-sombre, gris-rose avec une légère teinte lila. Des agrégats discoïdes (0,5 à 3 mm), blancs à blanc-jaune, de matériel siliceux en voie de cristallisation, forment un trait caractéristique de cette roche. Des cristaux de pyrite en remplissent les microfractures. Il existe aussi de toutes petites géodes (1 à 2 mm) tapissées de cristaux de quartz. Une touche de métamorphisme semble avoir affecté cette série.

La détermination de l'âge de la formation Fortín Ravelo présente bien des difficultés, particulièrement à cause de la dimension restreinte de l'affleurement. Il est probable qu'une étude plus poussée de cette région amènera la découverte de lithologies plus caractéristiques et qu'on pourra ainsi mieux paralléliser cette formation avec d'autres.

Pour le moment nous pensons que l'assise décrite pourrait être ordovicienne, car des schistes finement gréseux sont signalés dans la zone de Pesenema (cf. fig. 5). Cette estimation « conservatrice » implique une histoire anté-dévonienne identique pour les deux flancs du bassin de Chiquitos: le Dévonien inférieur repose en discordance angulaire sur l'Ordovicien.

Cependant nous nous demandons s'il ne s'agit pas d'un terme non encore clairement distingué de la Série de Bodoquena, c'est-à-dire de l'Algonkien. Cette interprétation irait plutôt à l'encontre de l'idée d'une épaisse série sédimentaire (plusieurs milliers de mètres) reposant sur le soubassement magnétique, dans la région. Le synclinorium Roboré-Tucavaca correspondrait alors à un sillon anté-dévonien où l'Ordovicien fut préservé.

E. *La formation San José – El Carmen*

Le nom El Carmen donné par les géologues Brésiliens aux grès subhorizontaux qui dominent la station de El Carmen est équivalent à celui de San José ou Santiago de AHLFELD (1946). Il s'agit d'un grès en gros bancs, quartzitique par places, arkosique, conglomératique à la base, avec laminations et stratification entrecroisée. Les grains grossiers à la base deviennent plus fins et plus homogènes vers le haut. Le grès est souvent étonnamment propre. Certaines couches sont faites de quartz cristallin dont les faces miroitent au soleil (Glittersand). Leur origine est littorale marine.

Ces grès équivalent ceux de la formation Santa Rosa du Dévonien inférieur des Andes boliviennes, dont les fossiles sont semblables, ou aussi les grès de la formation Furnas de la Série de la Chapada au Mato Grosso (cf. fig. 5).

Ils sont surmontés par la *formation Roboré* faite de grès jaunâtres en banc minces, micacés, du Dévonien inférieur et de la base du Dévonien moyen. Enfin la *formation Limoncito* qui comprend une alternance irrégulière de schistes argileux micacés et de grès micacés appartient au Dévonien moyen. Il semble que la partie basale du Dévonien supérieur y soit représentée également. Les fossiles découverts par BARBOSA (1949) lui permirent de déterminer avec exactitude l'âge d'une formation, pour la première fois dans les Chiquitos. D'autres découvertes vinrent confirmer et préciser les données de BARBOSA. La limite supérieure de Dévonien est apparemment une limite d'érosion.

Les grès de San José-Santiago, comme les grès de Santa Rosa dans les Andes, deviennent plus quartzitiques vers le Sud, sans toutefois former de vrais quartzites. Ils constituent la « mesa » du Cerro San Miguel ou flanc sud du synclinal de Roboré et le cœur de l'anticlinal du Cerro León (cf. MORAN, 1956). Le Cerro San Miguel est une colline isolée au nord de la frontière avec le Paraguay et qui jalonne le Bombement du Gran Chaco ou de l'Izozog vers l'ENE (cf. fig. 7).

La puissance de la formation San José-El Carmen atteint 300 à 400 m, et celle du Dévonien total, quelque 800 m.

F. *Le système Gondwanien*

1° *La formation Salinas.*

C'est une séquence rocheuse tout à fait imprévue qui existe sur la rive nord-ouest de la lagune « Salinas de Santiago », à 30 km à l'Ouest de Fortín Ravelo ou du

Cerro San Miguel, d'où le nom que nous proposons. Des collines surbaissées descendent jusqu'à l'eau sursalée, où les sauvages Ayoreo viennent s'approvisionner en sel.

La section mesure approximativement 400 m, dont le 25% est couvert et semble correspondre à des schistes, alors que le reste est constitué pour 60% de grès très fins (siltstone) et de grès moyens, et pour 15% de grès conglomératiques grossiers. Les couches alternent irrégulièrement. Ni la base, ni le sommet de la section ne sont visibles.

Les grès très fins (siltstones) sont faits de cristaux de quartz bien triés, aux faces très peu arrondies; le ciment manque souvent de sorte que ces microgrès sont très propres. Leur couleur varie de gris-jaunâtre à gris-verdâtre. Les laminations fines (et graded-bedding) et la stratification entrecroisée indiquent que la série est normale; souvent des ripple-marks affectent la surface des couches dont l'épaisseur varie de 0,15 à 1 m.

Les grès moyens sont généralement bien calibrés; les cristaux de quartz à faces peu arrondies leur donnent un aspect cristallin. Les grains de quartz rose sont fréquents. L'assemblage est compact; quand il y a du ciment, il est argilo-siliceux. La roche est grise, rose-gris à rose-violet foncé.

Les grès conglomératiques sont grossièrement cristallins, fort mal calibrés. Les plus gros grains sont les plus arrondis. Les grains de feldspaths, peu nombreux et petits, sont complètement altérés en amas blanchâtres. Les grains de quartz rose ou rouge abondent. L'assemblage est compact, un ciment argilo-siliceux unit les grains. Normalement le grès est propre, mais le pourcentage de matrice argileuse peut atteindre 10 à 20% dans certaines couches. Les éléments conglomératiques, galets et cailloux subangulaires, sont dûs essentiellement à un granite prophyroïde rouge. Ces galets et cailloux jonchent les plages de la lagune où l'on reconnaît, à part le granite, quelques éléments de rhyolite, de quartzite aussi. L'épaisseur des bancs de grès conglomératique varie de 0,4 à 3 m. La couleur reste dans les tons gris à gris-rose, parfois gris-sombre.

L'excellent calibrage des grains, le degré de «propreté» parfois très élevé des grès moyens et des microgrès, leur stratification bien nette, la présence de ripple-marks et de stratification entrecroisée, suggèrent des dépôts sublittoraux à néritiques. Le massif cristallin qui aidait à nourrir de ses granites porphyroïdes la formation Salinas, ne devait pas être éloigné, ou bien le transport se faisait-il par «glace»? Il est possible que les grains de quartz à faces relativement saines proviennent d'un quartzite (on trouve quelques galets d'orthoquartzite). Cela impliquerait une source double, roches ignées et série sédimentaire.

La formation Salinas a un très net aspect gondwanien, et s'apparente, par sa lithologie et sa minéralogie, aux grès inférieurs de la Série de Machareti (formation Tupambi) de la Zone Subandine (cf. fig. 5). Donc, leur âge est mississippien selon les données dont nous disposons.

La formation Salinas repose régionalement en légère discordance sur un Dévo-nien partiellement érodé. Cette formation ne se retrouve pas dans le flanc nord du synclinal de Roboré; tout indique qu'elle se biseaute sous la formation Porton.

2° *La formation Porton*

Quoique cette formation ne soit également pas représentée en surface dans la région qui nous occupe, on ne peut s'en passer pour comprendre l'histoire géologique de cette partie de la plateforme du Bouclier Brésilien.

Sa localité type se trouve être El Porton, station de chemin de fer située entre les Monts Chochis et Turuguapa, là où la ligne franchit un portique d'escarpements rougeâtres d'un effet impressionnant, qui rappellent le Cañon du Colorado. C'est un grès massif, friable, avec des passées conglomératiques; la stratification entrecroisée à grande échelle abonde. Sous le binoculaire, les grains sont de dimension moyenne à grande, mal triés, arrondis à subangulaires. La matrice argileuse rouge constitue le 20 à 35% de la roche. Souvent les surfaces des grains de quartz sont recouvertes d'une pellicule d'oxyde de fer rouge. L'assemblage est plutôt lâche. Les feldspaths sont altérés en petits amas blanchâtres. Les galets des conglomérats sont plus ou moins arrondis; il s'agit surtout de quartz de remplissage, de quartzite rarement de granite porphyroïde rouge, un seul galet d'amphibolite.

La roche a une couleur rose-rouge à gris-rouge. Ce sont des sédiments d'origine deltaïque paralique, dans lesquels on peut distinguer plusieurs niveaux lithologiques. Aux alentours de la localité type, les grès sont subhorizontaux et fortement hâchés par des diaclases verticales.

Ce sont les grès du Porton qui remplissent le synclinal asymétrique et peu profond de Roboré. La route vers le Sud et la frontière avec le Paraguay, traverse une série de cuestas de grès Porton, dont la crête est généralement protégée par une bande conglomératique.

L'épaisseur de la formation Porton atteint 500 à 800 m. Son âge n'est pas parfaitement déterminé; le grès Porton ressemble étonnamment au Gondwanien de la Zone Subandine, et nous le corrélons normalement avec les grès pennsylvaniens de la Série de Mandiyuti (cf. fig. 5).

Les grès du Porton reposent en discordance sur le Dévonien moyen ou formation Limoncito dans la région du Porton, et sur le biseau de la formation Salinas plus au Sud.

G. *La formation Xaraies*

Cette formation fut ainsi nommée par ALMEIDA en 1945 qui reconnut d'une façon claire et nette qu'une formation très jeune, et en position subhorizontale, recouvre en discordance angulaire les «folhelhos de Corumbá», partie intégrante de la formation Tamengo (cf. fig. 6). Auparavant, le tout était appelé «calcaires de Corumbá». La ville de Corumbá est bâtie en partie sur cette pellicule de calcaires pisolitiques roses, qui débutent en général par un conglomérat de base grossier, constitué de blocs de calcaire dolomitique bleu, de quartzite arkosique conglomératique, de granite par places. Près de Motacucito, sur la voie ferrée, on voit les bancs de calcaire dolomitique appartenant à la Série de Bodoquena, inclinée de 30°, compénétrer le conglomérat de base de Xaraies; quelques mètres plus loin, ce même conglomérat contient des blocs roulés du pseudo-granite de San Miquicho (Fm. Urucum); il fut considéré, à tort, comme le conglomérat de base soit de la Série Jacadigo ou de la Série Bodoquena (cf. AHLFELD, 1946; 1960). Son épaisseur varie de 1 à 8 m. Les galets sont plus petits et bien roulés dans la partie supérieure,

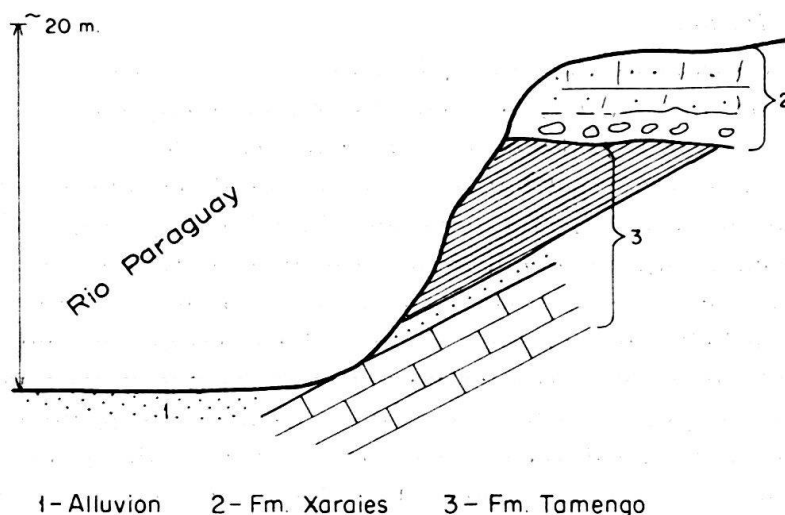


Fig. 6. La Terrasse de Corumbá (selon ALMEIDA): La Fm. Xaraies repose en discordance sur la Fm. Tamengo (Algonkien)

comme on peut le voir dans le petit escarpement du port de Puerto Suárez. Ce conglomérat («conglomérat de la gare Suárez-Arana») passe à un calcaire jaune, finement lité, gréseux, de quelques mètres d'épaisseur, qui, à son tour passe à un calcaire pisolitique rose et à gros grains de quartz arrondis, d'origine détritique ou de néoformation. Ce calcaire pisolitique rose est bourré de coquilles blanches de gastropodes d'eau douce. Les gastropodes récoltés par ALMEIDA furent déterminés par MENDEZ comme: *Stenogyra (Opeas) onisera* d'Orb., *Zonitoides* sp., *Bilumulus* sp., (ALMEIDA, 1945). Nos fossiles de Motacucito, en général très brisés, n'ont pas encore été déterminés. ALMEIDA a également découvert des plantes appartenant aux familles des *Myrtacées*, *Lauracées*, et *Mélastomacées*. Tous ces fossiles montrent un âge très récent, et la formation Xaraies date très certainement du Plio-Pleistocène.

La formation Xaraies repose en discordance angulaire très forte sur la Série de Bodoquena. Dans la région de Puerto Suárez, l'épaisseur peut être estimée à 20 ou 30 m. Mais on la rencontre aussi sur les pentes des collines coniques au Sud de la voie ferrée, entre Corumbá et Puerto Suárez. Selon notre point de vue, il existe deux explications possibles: a) l'épaisseur de la formation Xaraies pourrait atteindre 80 à 100 m; b) ou bien l'épaisseur est bien de 20 à 30 m, ou même 40, et alors il y aurait un mouvement tectonique post-Pleistocène, le long d'anciennes fractures qui auraient rejoué; ce mouvement serait concomitant des mouvements post-Pleistocènes qui ont terminé l'édification des Andes, et correspondrait à la Phase Pasadénane.

L'origine lacustre de la formation Xaraies ne fait aucun doute.

H. Le Quaternaire

Les alluvions sableux du Rio Paraguay recouvrent les plaines. ALMEIDA (1945) estime leur épaisseur à quelque 83 m dans la région de Corumbá.

Les pentes des collines sont tapissées d'un manteau d'épaisseur variable d'éboulis constitués de fragments d'hématite, de jaspe ou de conglomérat. Quand les fragments sont consolidés par un ciment limonitique, les Brésiliens parlent de «canga».

I. *Résumé Stratigraphique*

Age	Groupe	Formation	Epaisseur
Plio-Pleistocène		Xaraies	30-40 m
	discordance angulaire		
Carbonifère	sup.	Porton	500-800 m
	inf.	Salinas	env. 400 m
	discordance ?		
Dévonien		Limoncito	100 m
		Roboré	250 m
		San José-El Carmen	
	discordance angulaire		
Ordovicien	moy.	Banda Alta	300-400 m
	inf.	Corrego das Pedras	100 m
		Urucum	400-500 m
	discordance angulaire		
Algonkien	Bodoquena		1500 m

3° **Tectonique**A. *Les Cassures*

Dans une région aussi peu connue que celle que nous traitons, seules quelques failles principales apparaissent clairement, telle la faille de Fortín Mutún. C'est une faille inverse, qui remonte les calcaires de Bodoquena contre la partie supérieure de la Série de Jacadigo, sur le côté NW du Cerro Mutún. Les calcaires qui plongent de 60° vers le SE, et deviennent verticaux près de la cassure, butent, selon un angle horizontal de 10 à 15° avec celle-là, contre une écaille de Banda Alta, dont la direction est sensiblement la même que celle de la faille du Mutún. Le plongement de la faille inverse n'est pas mesurable, mais semble très fort et dirigé vers le NW (cf. fig. 8).

Cette faille dont l'extrémité méridionale disparaît sous le Tertiaire - Quaternaire, devient bifide à la hauteur de Fortín Mutún, où une branche secondaire et de caractère inverse aussi, se sépare et limite la protubérance NE de la montagne, avant d'aller se perdre dans un massif de calcaires à géodes qui sont fortement fracturés, où l'on note l'amorce du synclinal de San Pedrito.

La lèvre élevée ou côté NNW de la faille secondaire de Fortín Mutún, supporte une colline, où le calcaire de Bodoquena redressé à la verticale, est coupé horizontalement par une surface d'érosion, sur laquelle repose une pellicule de grès arkosiques appartenant à la formation Urucum.

Les rejets de ces deux failles ne sont pas directement mesurables. Si on adopte comme valeur moyenne l'épaisseur de la formation Urucum (environ 450 m) au Morro do Urucum, alors on peut estimer à 300 m le rejet stratigraphique de la branche secondaire et à plus de 100 m celui de la faille principale de Fortín Mutún. Cette faille se prolonge quelque peu vers le NE.

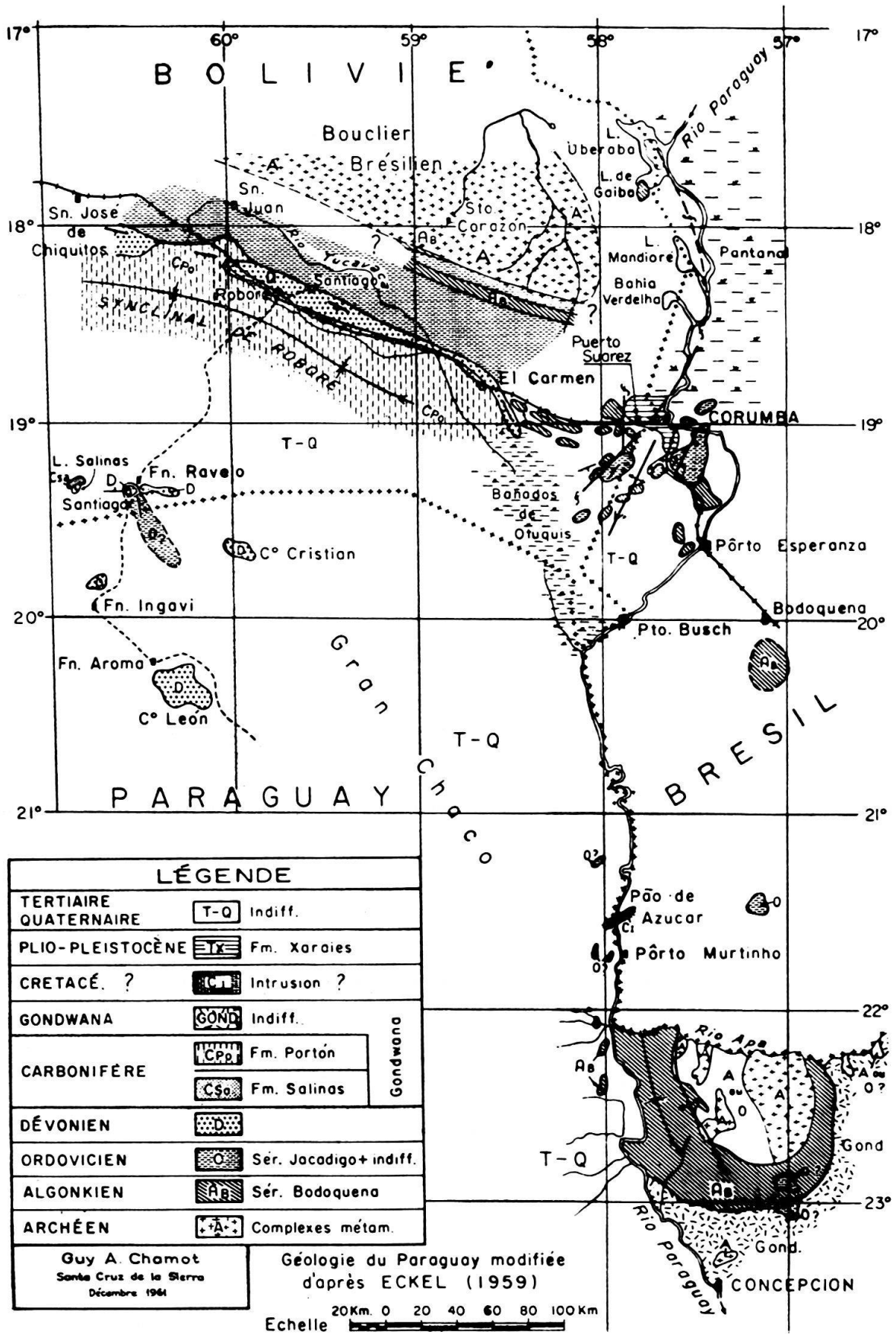


Fig. 7. Esquisse géologique

La faille inverse de San Salvador plus au Nord, presque verticale elle-aussi, met en contact des schistes gréseux de la Série Bodoquena et l'arkose conglomératique qui forme les collines de San Miquicho (formation Urucum). On en estime le rejet à plus de 500 m. Cette faille se prolonge vers le Nord et semble passer juste à l'Ouest de Puerto Suárez sous le manteau de calcaire plio-pleistocène de la formation Xaraies. Au-delà, elle longe les escarpements contre lesquels bute, vers l'Ouest, le cours du Rio Paraguay, entre les Bahias Gaiba et Verdelha. Il y a là une limite morphologique des plus frappantes: à l'Ouest, une zone de collines escarpées avec des baies, qui rappellent la baie de Guanabara à Rio, et vers l'Est, les énormes étendues plates et couvertes d'eau, le Pantanal, règne des plantes flottantes et des arbres d'eau, où les innombrables petites îles de sable semblent correspondre à d'anciens atterrissements.

L'âge de la faille de Fortín Mutún est clairement post-Jacadigo et certainement anté-Tertiaire par analogie avec la région des Izozog, plus à l'Ouest dans le Gran Chaco, où la morphologie actuelle date d'une époque pré-Tertiaire, puisque le Tertiaire remplit les vallées entre les collines de Gondwana (cf. TRUITT, sous presse). On ne voit pas les grès dévoniens de El Carmen reposer sur l'Ordovicien, comme c'en est le cas plus à l'Ouest, dans la partie centrale des Chiquitos; au contraire, la carte géologique, entre El Carmen et Palmito, suggère fortement que les grès de El Carmen reposent directement sur la Série de Bodoquena encore bien présente dans le sondage d'eau de Palmito (km 88). Nous en concluons que l'érosion silurienne a dû enlever toute trace ou presque de la Série Jacadigo dans la région située à l'Occident de la faille de Fortín Mutún. Le fait que l'Ordovicien du côté oriental de la faille ait été épargné, indique, à notre avis, que la faille de Fortín Mutún date d'avant la sédimentation de la formation basale du Dévonien, c'est-à-dire du Silurien s.s. supérieur ou Gothlandien supérieur. L'hématite érodée pourrait s'être en partie redéposée plus au SW, dans la région de Jujuy-Salta en Argentine du Nord, où existent les gisements de fer sédimentaire de Zapla. On sait que cette formation ferrugineuse repose sur l'horizon tillitique de Zapla, (SCHLAGINTWEIT, 1943), que nous nommons formation Sacta en Bolivie, où elle est datée avec précision du Silurien supérieur ou Wenlockien (Gothlandien moyen).

Il est certain qu'il y a bien d'autres failles, telles les failles signalées par DORR (1945) entre les montagnes de Urucum et de Santa Cruz, qui font de Urucum la lèvre abaissée d'une faille normale. Il ne fait pas de doute que l'Anticlinorium de Jacadigo ne soit cassé lui-aussi; un jeu de fractures permet d'expliquer l'inversion de relief si caractéristique dans cette région, où les replis synclinaux (Mutún, Tromba dos Macacos, Urucum, Santa Cruz) ont été épargnés par l'érosion, alors que les zones anticlinales, sans doute beaucoup plus brisées, ne résistaient pas à ses effets. Il est bien possible aussi que les replis synclinaux constitués de Banda Alta aient subi, de ce fait, un enrichissement en silice et hématite, et que la jaspation de la formation Corrego das Pedras puisse s'expliquer de cette façon.

B. *Les Plissements* (cf. fig. 7 et 9)

Voyons le schéma tectonique ci-contre qui synthétise quelques faits structuraux apparemment juxtaposés, et que l'on peut aisément distinguer d'après leurs âges respectifs.

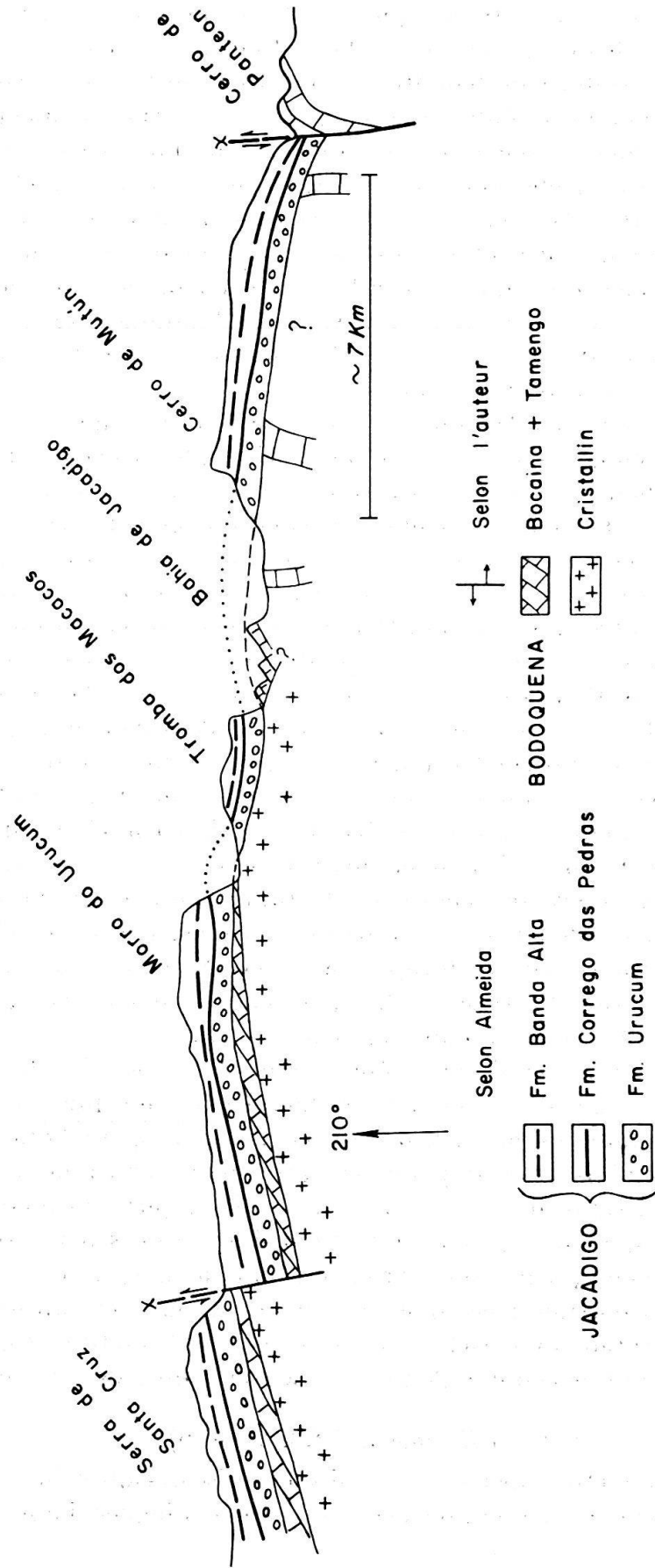


Fig. 8. Croquis aérien de l'Anticlinorium de Jacadigo; interprétation, a l'E d'après Almeida-Barbosa, et à l'W d'après l'auteur. Cette différence démontre que des leviers détaillés sont nécessaires.

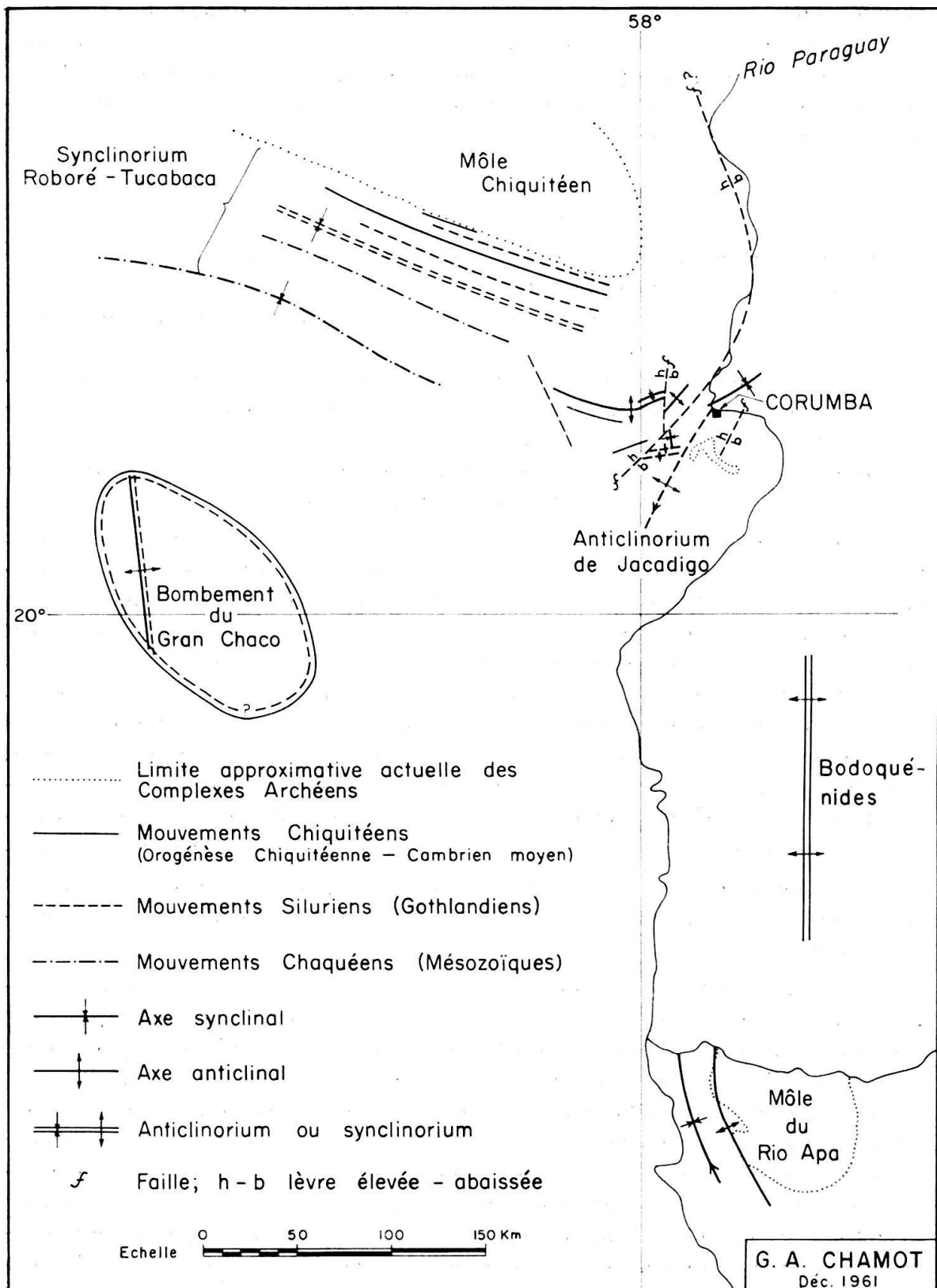


Fig. 9. Schéma tectonique (lignes directrices) de la Plateforme du Bouclier Brésilien

Il n'est pas possible de dire quoi que ce soit des structures de l'Archéen; l'étude de ces terrains n'est même pas commencée dans l'Orient des Chiquitos, la zone de Corumbá ou le Paraguay septentrional. Seul leur contour provisoire en est connu. Dans la partie stratigraphique, nous avons donné quelques raisons qui militent en faveur d'un âge timiskamien pour le Complexe Corumbéen, ce qui ferait que les granites seraient algonmaniens.

L'Orogenèse Chiquitéenne

Nous disposons de quelques observations sur la tectonique de la Série de Bodoquena, qui laissent entrevoir que l'Orogenèse Chiquitéenne sans doute fut compliquée; il existe en gros deux directions principales de plissement, qui correspondent l'une au «Système Chiquitéen» de D'ORBIGNY, à direction sensiblement WNW-ESE, et l'autre au «Système Andin» (?) avec des orientations oscillant autour d'une direction N-S. Ces deux systèmes se rejoignent dans la région Puerto Suárez - Corumbá, où leur relation pourra être élucidée par des levés de détail, avant tout de l'Algonkien et de l'Archéen, puisque la région étudiée n'a pas subi de plissement prononcé depuis l'Orogenèse Chiquitéenne qui est pré-Jacadigo.

Il est intéressant de remarquer ici combien archaïques sont ces deux directions, que l'on croyait typiquement andine et tardé-andine (hypothèse de l'emboutissement tardif du Bouclier Brésilien ou aussi hypothèse sans preuve valable de la fracture transcontinentale, pour expliquer le fameux coude des Andes entre Santa Cruz et Arica); déjà avant le dépôt des sédiments ordoviciens, la plateforme et le Bouclier Brésilien présentaient les principales directions structurales parallèlement auxquelles les plissements andins à venir se sont effectués. Nous ignorons si cela est pure coïncidence ou au contraire s'il y a relation de cause à effet, et dans un tel cas, quelles seraient les conclusions à tirer dans le cadre, par exemple, de l'hypothèse de WEGENER. Cependant il ne fait guère de doute que ces directions privilégiées sont contrôlées par le «regmatic shear pattern» selon MOODY et HILL (1956).

Il est probable que l'Orogenèse Chiquitéenne, responsable des plis suivant les deux directions, s'est manifestée en deux temps, sans qu'il soit possible de déterminer lequel a précédé l'autre.

Les plis à direction prédominante N-S comprennent d'abord la chaîne des Bodoquénides au Sud de Bodoquena, puis les axes d'anticlinal et de synclinal repérés sur le pourtour occidental du «Môle du Rio Apa» au Paraguay, enfin le petit synclinal de San Pedrito au N du Mutún et les structures verticales enfouies sous le Cerro Mutún. Dans la région de Puerto Suárez-Corumbá, on voit les axes d'anticlinaux et de synclinaux s'incurver vers l'Ouest comme pour s'ajuster au pourtour du «Môle Chiquitéen». La seconde direction correspondant à la «Direction Chiquitéenne» déjà notée par D'ORBIGNY, pratiquement ESE-WNW, que l'on trouve dans les Serranias de Sansas et de Huajojo (situées au N de la voie ferrée, entre cette dernière et le Môle Chiquitéen), et aussi dans le prolongement de l'anticlinal de Puerto Suárez vers Yacuces et Palmito (km 88 du chemin de fer.)

La Série Bodoquena fut donc plissée durant l'Orogenèse Chiquitéenne, très vraisemblablement au Cambrien moyen (Albertan).

Il est possible, mais pour l'instant on ne peut l'affirmer, que le premier «Bombement du Gran Chaco» ou de l'Izozog résulte également de l'Orogenèse Chiquitéenne, si la formation Fortín Ravelo fait partie de la Série Bodoquena, car après reconstruction (méthode décrite par RIGASSI, 1960), cette formation devait avoir un pendage de 23° vers l'Est, lors du dépôt du Dévonien inférieur, dans la région du Cerro San Miguel.

Mouvements Siluriens (Gothlandiens) ou Taconiques

Dans les Andes de Bolivie, le Silurien supérieur (ou Gothlandien moyen) repose en paraconformité sur un Ordovicien incomplet, et la lacune rend compte vraisemblablement d'un mouvement épirogénique datant du Silurien inférieur; reposant en continuité stratigraphique sur les schistes argileux du Silurien supérieur, les grès du Dévonien inférieur (formation Santa Rosa) sont donc parallèles aux strates ordoviciennes. De l'autre côté du «bassin», dans les Chiquitos où le Silurien s.s. (Gothlandien) est absent, les grès de la formation San José-El Carmen (Dévonien inférieur) reposent en discordance angulaire sur un Ordovicien fortement arasé. Ce dernier est même complètement érodé en certains endroits. Cela indique que cette région correspondait à une partie émergée et sujette aux phénomènes de glyptogenèse durant le Silurien supérieur. Les mouvements siluriens ont produit un gondolement des sédiments ordoviciens, tel par exemple l'Anticlinorium de Jacadigo, dont on ne voit plus que les restes, quelques replis synclinaux épars, comme le Morro do Urucum, la Tromba dos Macacos au Brésil, le Mutún, le Cerro San Salvador et les collines de Vitienes en Bolivie.

Ce gondolement fut accompagné de fractures inverses et subverticales, qui, en somme, paraissent bien être la manifestation la plus caractéristique de ces mouvements siluriens; on peut donc parler d'une tectonique de blocs silurienne (taconique).

Mouvements Chaquéens (Mésozoïques)

Nous avons figuré les traits tectoniques principaux de la Phase Chaquéenne de l'Orogenèse Andine; le synclinal de Roboré en est le plus frappant. C'est un pli asymétrique, faiblement marqué et peu profond, avec peut-être une touche de Tertiaire non plissé en son centre, au Sud de Roboré. Il est compris entre le Bombement du Gran Chaco, qui fut alors réactivé, et le Synclinal de Tucavaca au NNE. Le Synclinal de Roboré s'ouvre vers l'Ouest où il se subdivise, une branche contournant le Bombement du Gran Chaco et l'autre longeant le Môle Chiquitéen. Il se peut que le flanc nord du synclinal repose par contact mécanique sur son substratum ordovicien.

L'âge de la Phase Chaquéenne demande à être précisé. On sait qu'il est mésozoïque, puisque le Gondwana supérieur constitue la plus jeune formation plissée, le Tertiaire s'étant déposé dans une vallée synclinale, d'après les observations faites dans l'Izozog, à l'Ouest du Bombement du Gran Chaco (cf. TRUIT, sous presse). Seule une synthèse plus poussée de la stratigraphie de la Zone Sub-Andine permettra de déterminer avec plus d'exactitude l'âge de la Phase Chaquéenne, qui pour le moment nous semble être antérieure à la Phase Névadienne.

Mouvements Quaternaires ou Phase Pasadénane

Dans le paragraphe traitant de la formation Xaraies, nous avons énoncé la possibilité d'une réactivation des failles siluriennes au cours du Quaternaire. Du fait que certaines collines coniques de la région Puerto Suárez-Corumbá ont leurs pentes tapissées de calcaires tuffacés d'âge Pleistocène, on peut se demander si cette formation atteint bien la puissance de 80 à 100 m que cette disposition confère, ou bien si l'estimation restreinte de 20 ou 30 m ou même 40 au plus, n'est pas exacte; cela impliquerait alors un soulèvement des dites collines d'une cinquantaine de mètres par rapport aux affleurements qui se trouvent à leur pied. Ces mouvements verticaux ici en extrême orient de Chiquitos, pourraient correspondre aux mouvements fin-Pleistocènes ou post-Pleistocènes qui ont produit l'écaillage intense de la Zone Sub-Andine; ils en seraient les contrecoups sur la plateforme.

C. Conclusions

L'activité orogénique qui a affecté l'ouest de Chiquitos à plusieurs reprises, peut-être déchiffrée relativement facilement et résolue sans trop de peine en ses éléments, car les tectoniques ou orogénèses successives vont en diminuant d'intensité; l'orogénèse la plus douce est aussi la plus jeune, et l'orogénèse la plus accomplie (plissement, métamorphisme, intrusions) fut la première à se manifester. Afin d'illustrer cet énoncé, voici en abrégé la suite des événements et leur principale manifestation en Orient Chiquitéen:

Orogenèse fin ou post-Pleistocène (?)	: réactivation de fractures anciennes (?)
(Phase Pasadénane)	anciennes (?)
Orogenèse Chaqueenne (Mésozoïque (probablement anténévadienne)	: gondolement, failles chevauchantes érosion
Orogenèse Silurienne (Silurien sup. s.s.) (Taconienne)	: gondolement, fractures pénéplaination
Orogenèse Chiquitéenne (Cambrien moyen?):	plissement pénéplaination
Orogenèse Algomanienne (?)	: plissement, métamorphisme, intrusions

Cette constatation permet de penser que les structures anciennes à tectonique superposée ne sont point trop oblitérées par les tectoniques qui ont suivi, et qu'il sera possible de faire la part de chacune.

Comme on pouvait facilement l'imaginer, on a vu que les relations, au point de vue tectonique également, entre le «Géosynclinal Andin» et le «bassin» des Chiquitos sont interdépendantes et même complémentaires. La gradation d'intensité des effets des orogénèses, sur la plateforme du Bouclier Brésilien, correspond peut-être à une gradation inverse des effets des mêmes orogénèses dans la Zone Andine s.l., comme si l'orogène s'était déplacé vers l'Ouest, des Chiquitos et Mato Grosso vers le géosynclinal andin, au cours des temps géologiques.

Nous avons laissé le lecteur libre d'expliquer selon ses propres idées, les différentes relations structurales sommairement présentées sur notre schéma tectonique. Nous pourrions bien trouver une explication plausible parmi beaucoup d'autres, mais nous n'y avons consacré que peu de réflexion, car trop d'éléments essentiels manquent encore pour qu'il vaille la peine de s'essayer à des spéculations sur les modes de plissements et leur cause. Notre connaissance des parties centrale et occidentale des Chiquitos est par trop fragmentaire, et en outre nous ignorons tout du flanc oriental du Môle Chiquitéen.

4° Paléogéographie

Vers la fin de l'Algonkien, une mer peu profonde recouvrait la plateforme continentale du centre de l'Amérique du Sud. Là, se déposaient les sédiments plutôt calcaires de la Série de Bodoquena. Les contours de cette mer ne sont pas encore connus. Le bassin était affecté d'une subsidence lente, et une épaisseur probable de quelques milliers de mètres de roche, s'est empilée avant d'être plissée par les Mouvements Chiquitéens, vers le Cambrien moyen selon notre estimation.

La Chaîne des Bodoquénides, en voie d'érection, était aussitôt attaquée par l'érosion, et sera, en quelques 60 millions d'années, transformée en pénéplaine parfaite.

On peut voir dans les Andes, près de Cochabamba, une tillite datant vraisemblablement du Croixien supérieur (Cambrien supérieur), que nous appelons «la formation tillitique Las Juntas», précéder en concordance stratigraphique le Grand Conglomérat Chaparé. Durant cette période de glaciation, il semble que l'Orient des Chiquitos et le pays limitrophe correspondaient à une énorme terre émergée et recouverte d'un inlandsis, qui a dû parfaire la surface de la pénéplaine, avant la transgression de la mer, à l'Ordovicien inférieur. Il semble que ces glaciers, soulevés par les eaux, formèrent ainsi des sortes de banquises émanant d'une terre émergée plus au Nord; cette glaciation était en voie de disparition de par le réchauffement lent du climat, quoique les récurrences glaciaires ne soient point exclues. Le très mauvais calibrage des sédiments, les formes à facettes des constituants du conglomérat, la présence d'énormes blocs de granite, l'excellent état de préservation des feldspaths, témoignent en faveur d'un climat très froid, d'un moyen de transport puissant et par conséquent court ou alors «préservé dans des glaces», et d'un enfouissement rapide dans un bassin en voie de subsidence. En même temps que la mer s'approfondissait, le rivage de la terre nourricière se retirait vers le Nord; les éléments constituant l'arkose conglomératique de Urucum montrent que cette terre, partie du Bouclier Brésilien, était formée de terrains à granite porphyroïde rose, de schistes cristallins, que ALMEIDA (1945) rapporte à la Série métamorphique de Cuiaba, de calcaires silicifiés (ceux-là relativement bien arrondis) provenant de la Série Bodoquena (cf. schéma paléogéographique de l'Ordovicien, fig. 10).

Peu à peu le climat se réchauffait avec cependant des retours en arrière; vers la fin de la sédimentation de la formation Corrego das Pedras, des calcaires bien lités se déposaient, dans lesquels on croit voir parfois comme des traces d'algues mal préservées et presque complètement oblitérées par une jaspisation plus tardive. Après une «récurrence glaciaire» marquée par un banc de conglomérat arkosique,

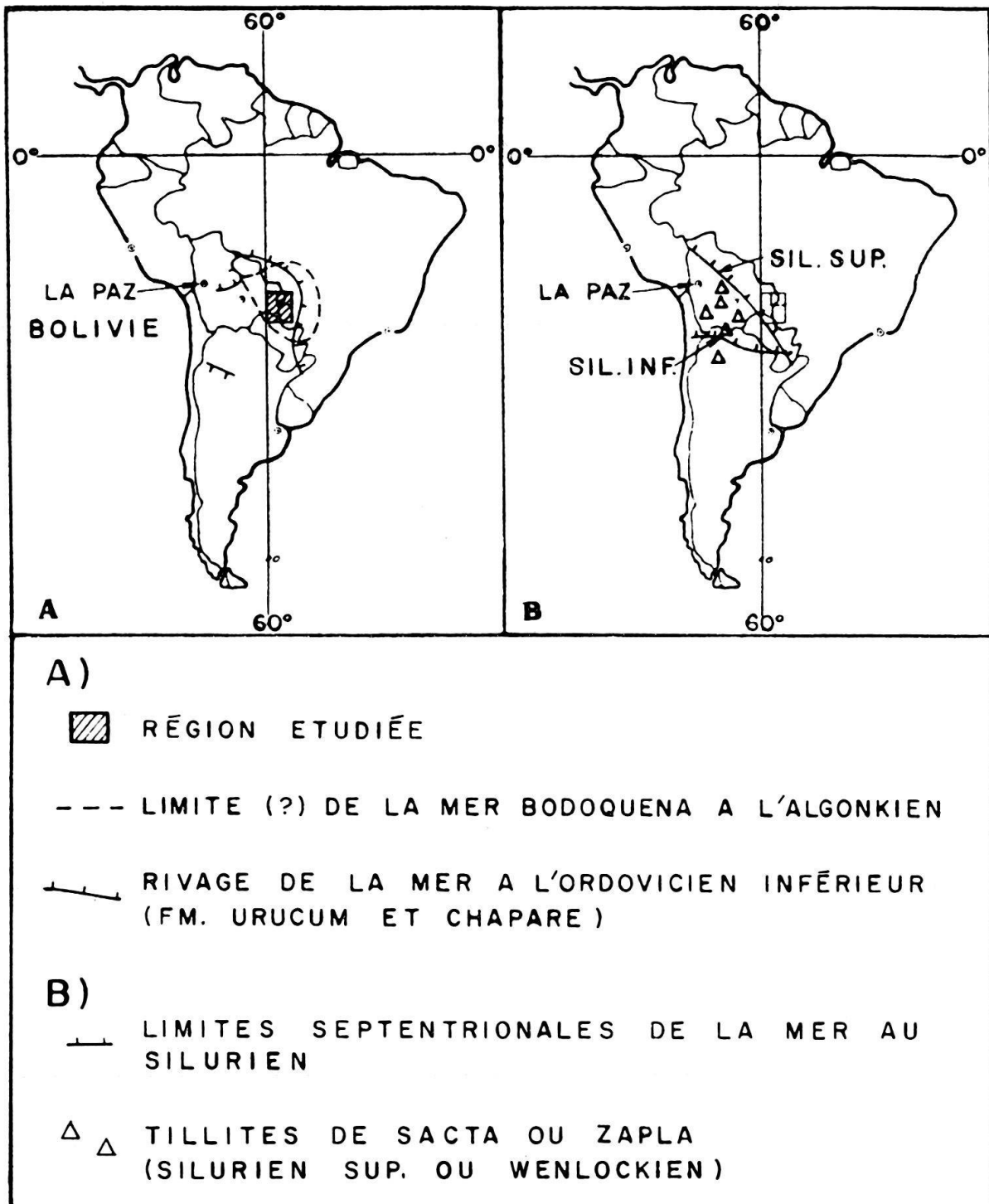


Fig. 10. Esquisses paléogéographiques: A) Algonkien, Ordovicien inférieur; B) Silurien inférieur et supérieur

qui constitue le sommet de la formation Corrego das Pedras, s'établit un régime de sédimentation fine, très fine même. Elle correspond vraisemblablement à un éloignement du rivage, ou peut-être à une modification des conditions climatiques, accompagnée certainement d'un changement de la source des sédiments de la mer de l'Ordovicien inférieur et moyen. Sur une vaste région (Chiquitos et pays limi-

trophe), la mer où la vie était florissante (algues, Scolithus, brachiopodes, pélécy-podes, etc.) devait servir de dépotoir à des fleuves charriant des eaux boueuses rouges, chargées d'hématite en suspension mécanique. Ce serait-là l'origine des fabuleux gisements d'hématite rubanée de la région que nous avons étudiée. Cette mer, qui s'étendait sur tout le Gran Chaco et recouvrait aussi le domaine du Géosynclinal Andin de Bolivie, déposait également des schistes argileux rouge-violacé, moins riches en fer, près de la base de la formation Banda Alta au Cerro Mutún, les schistes violacés de Pesenema, et aussi ceux du Chaparé (entre autres les intercalations au sommet du Grand Conglomérat Chaparé).

Il est probable que l'Ordovicien complet s'est déposé en Chiquitos, où l'on ne connaît pas de faciès bordiers. Les seuls faciès que l'on puisse éventuellement interpréter comme bordiers, sont ceux de la formation Piribebuy de la Série Caacupé au Paraguay central (cf. ECKEL, 1959).

On a déjà vu que, dans les Andes de Bolivie, le Silurien supérieur ou Gothlandien supérieur repose en paraconformité sur un Ordovicien supérieur incomplet et légèrement érodé, ce que nous interprétons comme dû à une double mouvement épirogénique au cours du Silurien inférieur, mouvement qui a soulevé, puis rabaissé le fond de la mer. Dans le domaine du Géosynclinal Andin, la transgression du Silurien supérieur débute par une phase glaciaire, au cours de laquelle fut déposée la tillite de la formation Sacta qui est l'équivalent de l'horizon glaciaire de Zapla en Argentine du Nord-Ouest (SCHLAGINTWEIT, 1943). Dans la province géologique des Chiquitos – Gran Chaco, non seulement le Silurien s.s. est totalement absent, mais l'Ordovicien lui-même a été complètement érodé en certains endroits avant la transgression de la mer dévonienne. Si l'Orogenèse Silurienne (Phase Taconique) s'est manifestée par un double mouvement épirogénique dans le domaine des Andes de Bolivie, elle s'est montrée plus active dans la région de la plateforme du Bouclier Brésilien, où les importantes cassures subverticales de Fortín Mutún et San Salvador sont également son œuvre. Rappelons que ces fractures séparent une zone à l'Ouest, dépourvue de sédiments ordoviciens qui furent érodés, d'une zone vers l'Est où subsistent des témoins épars de cette époque. Donc durant le Silurien supérieur s.s., la région de la plateforme était émergée et la ligne de rivage passait vraisemblablement à l'Ouest du Bombement du Gran Chaco (cf. carte paléogéographique du Silurien, fig. 10).

La transgression de la mer dévonienne se faisait de l'Ouest et du Sud-Ouest vers l'Est et le Nord-Est, et un conglomérat grossier souligne cette progression sur une surface constituée de roches ordoviciennes légèrement plissées et arasées. La mer dévonienne était une mer peu profonde et s'étendait, entre autre, de la région du Géosynclinal Andin jusqu'à la province des Chiquitos – Mato Grosso, qui montre les mêmes types de sédiments néritiques, dans la même succession lithologique et avec des fossiles semblables, quoique pas aussi variés et abondants.

Il est probable qu'une émergence passagère avec formation de sidérolithique, eut lieu à un moment donné du Dévonien inférieur. La constance de l'épaisseur de la formation gréseuse San José–El Carmen indique clairement que la mer s'étendait bien au-delà vers le NE et l'Est; de même on peut extrapoler l'air d'extension de la Série de la Chapada (Mato Grosso central) qui était beaucoup plus grande; la même mer recouvrait donc toute la partie méridionale du Bouclier

Brésilien central: Chiquitos, Chapada, bassin du Parana. Au Sud, le massif d'Ascension, du Paraguay central, était directement relié au Dévonien des Chiquitos et du Géosynclinal Andin. Le Dévonien apparaît comme la plus thalassocratique des époques, même sans vouloir trop s'éloigner des limites de notre région d'étude et passer jusque sur le «continent de Gondwana».

Après le dépôt de sédiments paraliques, à un moment donné du Dévonien supérieur, la mer se retira partiellement peut-être de son domaine; un léger gauchissement affectait la plateforme du Bouclier Brésilien et la région du Bombement du Gran Chaco. Le soulèvement fut accompagné sur la fin du Dévonien d'un changement de climat important; cette terre émergée se recouvrait de glaciers atteignant la mer, où ils déposaient les séries tilloïdes de la formation Salinas, durant le Mississippien. La ligne de côte passait quelque part dans la région de l'actuel synclinal de Roboré.

Après une courte régression marine au Mississippien supérieur (?), la mer envahit à nouveau la région et déposa les grès à faciès deltaïque du Porton. Cette fois la mer s'étend plus au Nord sans que l'on puisse en fixer le rivage pour le moment. Il est bien possible qu'elle ait recouvert toute la partie nord-orientale du Môle Chiquitéen, jusque dans la zone du haut Rio Paraguay. Le climat s'était passablement réchauffé; la formation Porton contient quelques restes de végétaux fossiles en partie silicifiés. On ignore tout de l'époque à laquelle la mer du Gondwana se retira de la région Chiquitos-Mato Grosso. Nous inclinons à croire, d'après notre interprétation de la région du Bombement du Gran Chaco, que toute la région s'exonda probablement vers la fin du Permien.

On sait que les Mouvements Chaquéens (Mésozoïques) ont plissé le synclinal de Roboré, et fortement réactivé le Bombement du Gran Chaco, et que cette disposition ne fut guère modifiée par la suite. Seule l'érosion, de type désertique peut-être, a façonné cette partie du pays, entamant le Bombement du Gran Chaco et aussi l'Anticlinorium de Jacadigo, région où des collines éparses en forme de «mesa se détachaient dans un paysage sévère».

Puis au Tertiaire, des sédiments molassiques comblaient les vallées creusées entre les escarpements du Gran Chaco; ces collines escarpées dominant encore un pays désertique. La région plus à l'Est, c'est-à-dire celle de Puerto Suárez-Corumbá semble avoir été continuellement en proie à une dénudation lente jusque vers la fin de l'Ère Tertiaire. Probablement tard dans le Pliocène, un grand lac s'établit, les eaux de l'antique Rio Paraguay étant barrées par les calcaires de l'arrière-pays de Corumbá légèrement soulevé. C'est alors que se sont déposés les conglomérats grossiers et les calcaires pisolithiques et tuffacés de la formation Xaraies. Ce lac de Xaraies s'est vidé une fois que le Rio Paraguay eut abaissé son lit, en se frayant un nouveau cours au travers de massifs calcaires, profitant sans doute de zones affaiblies par des cassures. Les vastes étendues du Pantanal sont un vestige de ce lac disparu.

RÉFÉRENCES

- AHLFELD, F. (1946): *Geología de Bolivia*. La Plata.
 AHLFELD, F., & BRANIŠA, L. (1960): *Geología de Bolivia*. La Paz.
 ALMEIDA, F. F. M. DE, (1945): *Geologia do Sudoeste Matogrossense*. Bol. 116. Minis. Agr. Dpto. Nac. Prod. Min. Div. Geol. & Min. Rio de Janeiro.

- BARBOSA, O. (1949): *Contribuição a Geologia da Regiao Brasil-Bolivia*. Min. e Metal XII, 77, 271-278.
- (1950): *Esclaracimientto sobre a Estratigrafia da Serie Jacadigo*. Min. e Metal. 151.
- BEURLIN, L. (1959): *Geologia da Zona de Barra do Garças a Chavantina, Est. do Mato Grosso*. Minis. Agr. Dpto. Nac. Prod. Min. Div. Geol. 193. Rio de Janeiro.
- BEURLIN, K., & SOMMER, F. (1957): *Observações estratigraficas e paleontologicas sobre o calcario Corumbá*. Minis. Agr. Dpto. Nac. Prod. Min. Div. Geol. 168. e Min. Rio de Janeiro.
- CASTELNAU, FRANCIS DE (1850): *Expédition dans les parties centrales de l'Amérique du Sud, etc.* Paris.
- DORR, J. W. VAN (1945): *Manganese and Iron deposits of Morro do Urucum, Mato Grosso, Brazil*. U. S. Geol. Surv. 946-A.
- DUBOIS, G. C., & DUMONT, P. (1959): *Aperçu Général de la géologie du Katanga*. XX^e Cong. Géol. Intern. Mexico. Assoc. Serv. Géol. Afr.
- ECKEL, E. B. (1959): *Geology and Mineral Resources of Paraguay. A reconnaissance*. U. S. Geol. Surv. Prof. Pap. 327.
- EVANS, J. W. (1894): *The Geology of Mato Grosso (particularly the region drained by Upper Paraguai)*. Quat. Jour Geol. Soc. London 50.
- FRÄNKL, J. (1959): *La Formación Limbo*. Bol. Tec. Y. P. F. B. 1, n° V, 29-38.
- HARRINGTON, H. J. (1956): *Paraguay*. «Handbook of South American Geology». Mem. 65, Geol. Soc. Amer.
- (1962): *Paleogeographic Development of South America*. A. A. P. G. Bul. Oct.
- LAMEGO, A. R. (1960): *Mapa Geológico do Brasil*. 1/5000000. Minist. Agr. Dpt. Nac. Prod. Min. Div. Geol. E Miner.
- LANGE, F. W. (1955): *Nota preliminar sobre a faunula do Arenito El Carmen, Bolivia*. Bol. Soc. Bras. Geol. 4, Maio, n° 1, 3-25.
- MORAN, W. R. (1956): *Geology of Cerro León, Chaco Boreal, Paraguay*. Resumen Trab. pres. XX Cong. Geol. Intern. México, 288.
- MOODY, J. D., & HILL, M. J. (1956): *Wrench-Fault Tectonics*. Geol. Soc. Bull. 67, 1207-1246.
- MOORE, R. C. (1933): *Historical Geology*. Mc Graw Hill.
- OLIVEIRA, A. J. DE (1956): *Brazil*. «Handbook of South American Geology». 65, Geol. Soc. Amer.
- OLIVEIRA, A. J., DE, & LEONARDOS, O. H. (1940): *Geologia do Brazil*. Rio de Janeiro.
- PUTZER, H. (1958): *Die Kryptomelan – und Jaspilitt-Lagerstätten von Corumbá im Staate Mato Grosso, Brasilien*. Zeitsch. für Erzbergbau u. Metallhüttenwesen XI. Hft. 11. Stuttgart.
- (1961): *Die Geologie von Paraguay*. Gebr. Bornträger, Berlin.
- RIGASSI, D. (1960): *Quelques Problèmes de Géologie géométrique*. Bull. Schweizer Petrol. Geol. u. Ing. 26, n° 71, 75-82.
- SANDFORD, R. N., & LANGE, F. W. (1960): *Basin – Study approach to Oil Evaluation of Parana Miogeosyncline, South Brazil*. A. A. P. G. Bul. 44, n° 8.
- SCHLAGINTWEIT, O. (1943): *La posición estratigráfica del yacimiento de hierro de Zapla y la difusión del Horizonte glacial de Zapla en la Argentina y en Bolivia*. Rev. Minera, XIII, n° 4; Buenos Aires.
- SHIMER, H. W., & SHROCK, R. R. (1955): *Index Fossils of North America*. Wiley & Sons. New York.
- STOSE, G. W. (1950): *Geologic Map of South America*. 1/5000000. Pub. by the Geol. Soc. of Amer.
- STRAKHOW, N. M. (1958): *Sur les formes du fer dans les sédiments de la Mer Noire*. V^e Cong. Inter. Sédiment. Genève – Lausanne. Eclogae geol. Helv. 51, n° 3.
- TANTON, T. L. (1952): *Iron Ores of Canada*. Symposium sur les Gisements de Fer I. XIX^e Cong. Géol. Inter. Alger.
- TRUITT, P. B. (sous presse): *Geology of the Parapeti Area of the Bolivian Chaco*. Talk to the A. A. P. G. 1960 session. Manuscript submitted to the A. A. P. G.
- WATERLOT, G. (1945): *Les Graptolites du Maroc*. Notes et Mém. Prot. Rép. Fr. Maroc, Service Géol. 63.
- WOLFART, R. (1961): *Stratigraphie und Fauna des älteren Paläozoikums (Silur, Devon) in Paraguay*. Geol. Jb. 78, 29-102.

