

GÉOLOGIE. — *Mise en évidence d'une déformation paléocène en Bolivie du Sud. Sa place dans l'évolution géodynamique des Andes Centrales.* Note de René Marocco, Thierry Sempéré, Miguel Cirbian et Jaime Oller, présentée par Jean Aubouin.

L'événement tectonique paléocène, découvert dans le Sud de la Bolivie, et les premiers résultats des études sur les bassins intramontagneux andins remettent en question la conception classique d'une évolution andine crétacée-tertiaire comportant des phases compressives de courte durée, séparées par de longues périodes de calme tectonique pendant lesquelles se produisait la sédimentation.

GEOLOGY. — Evidence of a Paleocene deformation in Southern Bolivia. Importance for geodynamic evolution of central Andes.

An angular unconformity, due to a Paleocene tectonic event, has been evidenced in the Altiplano of Southern Bolivia (Rio Honda, between Atocha and Mina San Vicente) and new results in the study of Andean intermountain basins, are incompatible with classical ideas about Andean geodynamic evolution. According these ideas, the Andean evolution is characterized by short periods of strong compressive tectonic activity, separated by long periods of volcanism and sedimentation. We suggest in this paper, an other model of evolution.

INTRODUCTION. — L'histoire géologique méso-cénozoïque des Andes Centrales (Pérou-Bolivie) est marquée par des déformations qu'ont enregistrées les successions sédimentaires et/ou volcaniques. Les principales déformations se situent au Crétacé supérieur (phase péruvienne), à l'Éocène terminal (phase incaïque) et à l'Oligo-Miocène (phases quechuas) ([1] à [7]). L'existence d'une déformation paléocène a été évoquée à plusieurs reprises au Pérou ([8] à [11]), mais aucune preuve irréfutable n'a été apportée jusqu'à présent. Cependant, la compagnie PETROPERU présente pour l'extrême NW péruvien des colonnes stratigraphiques où existe toujours une discordance entre le Maestrichtien-Paléocène et l'Éocène inférieur, sans préciser si elle est angulaire. En Bolivie la compagnie pétrolière d'état Y.P.F.B. et l'ORSTOM ont récemment mis en évidence une discontinuité sédimentaire fondamentale, approximativement à la limite Paléocène-Éocène [12].

LA SUCCESSION STRATIGRAPHIQUE DANS LE SUD DES ANDES BOLIVIENNES. — Les terrains concernés par nos observations en Bolivie du Sud (*fig. 1*) appartiennent au sous-groupe Camargo (Maestrichtien à Oligocène [13]), du classique groupe Puca. Plusieurs unités stratigraphiques peuvent être distinguées dans cette région (*fig. 2*) :

1. La formation El Molino, littorale, d'âge Maestrichtien ([14] à [18]).
2. La formation Santa Lucia (s.s.), continentale, datée du Riochiquien (Paléocène) par Mammifères [19].
3. La formation Maiz Gordo, continentale, du Paléocène supérieur [20]. Elle n'existe que dans le synclinal de Camargo.
4. La formation Cayara, continentale, d'âge paléocène probable [21]. D'une manière générale, sa base représente une discontinuité sédimentaire importante [12].
5. La partie inférieure de la formation Potoco, d'âge Éocène inférieur [22] ou Éocène moyen et supérieur [15], continentale, contenant des évaporites à sa base.

MISE EN ÉVIDENCE D'UNE DÉFORMATION PALÉOCÈNE. — Bien que certains auteurs ([15], [23]) regroupent les unités 2 à 5 sous la dénomination « formation Santa Lucia », nous avons pu observer lors de travaux effectués en octobre 1985 dans la région des Lipez (SW bolivien), que la formation Cayara repose, localement, en forte discordance angulaire sur la formation El Molino.

1. *La discordance angulaire du Rio Honda.* — Ses meilleurs affleurements se situent dans la vallée du Rio Honda, que coupe la route reliant Atocha à la mine San Vincente

(fig. 3). La formation Cayara y repose sur la formation El Molino avec une angularité d'environ 70°. Les données biostratigraphiques livrées par ces formations indiquent que la déformation responsable de cette angularité est postérieure au Paléocène basal et antérieure au Paléocène terminal.

Au Nord d'Atocha, dans le prolongement structural de ces affleurements, la formation Cayara repose directement sur l'Ordovicien et passe à la formation Potoco. Plus à l'Ouest (Porco, Ollerias, Rio Angosto), elle repose en nette discontinuité érosive, mais sans angularité apparente, sur la formation El Molino dont, de toute évidence, manquent les termes supérieurs.

La discordance angulaire du Rio Honda s'accompagne donc régionalement d'une importante discontinuité érosive. Par ailleurs, ni la formation Santa Lucia (s. s.), ni la formation Maiz Gordo, ne sont connues dans la région d'Atocha.

2. *Relations séquentielles dans le synclinal de Camargo.* — La succession stratigraphique semble, en revanche, complète dans le synclinal de Camargo, qui se trouve en position aval par rapport à la région d'Atocha, d'après les sens de transports relevés dans les deux régions, pour l'intervalle Santa Lucia-Maiz Gordo. Il est donc tentant d'y chercher les dépôts corrélatifs de la déformation observée plus à l'Ouest.

La formation Santa Lucia y constitue une séquence strato et granocroissante, dont les termes extrêmes se composent d'argilites rouges, d'une part, et de grès moyens blancs ou rubéfiés, d'autre part. De nombreux paléosols s'observent dans la moitié sud du synclinal, et le plus spectaculaire d'entre eux y constitue la discontinuité sommitale de la formation, sur laquelle repose la formation Maiz Gordo. L'essentiel de la formation Santa Lucia y correspond à des faciès tidaux gréseux, tendant à l'émersion. Quant à la formation Cayara, elle se compose de chenaux gréseux, localement conglomératiques (des éléments altérés de calcaires sont présents), et d'intercalations plurimétriques d'argilites rouge sombre.

3. *Interprétation géodynamique et âge de la déformation.* — La formation Santa Lucia (rouge) s'est donc déposée en contexte régressif, avec migration du plan d'eau dans une direction possédant une composante Nord. Les conglomérats de base de la formation Maiz Gordo (violacée à verte) témoignent, en outre, de l'érosion contemporaine des terrains paléozoïques dans une région probablement située au SW. Il est, par conséquent, logique de rapporter ces derniers dépôts, à la destruction de reliefs nés peut-être pendant le dépôt de tout ou partie de la formation Santa Lucia et, surtout, de la partie inférieure de la formation Maiz Gordo. Un âge paléocène moyen à supérieur peut ainsi être proposé pour la déformation observée (fig. 4).

4. *Les déformations paléocènes dans les Andes Centrales.* — La mise en évidence d'une discordance angulaire paléocène dans le Sud bolivien rend plus vraisemblable l'attribution à cette période, d'événements tectoniques décelés en différents points du Pérou. Sur le flanc pacifique des Andes Sud péruviennes, une phase paléocène a été envisagée par certains auteurs ([10],[11]), pour rendre compte de la discordance angulaire de la formation Moquegua inférieur (d'âge peut-être éocène), sur les volcanites Toquepala datées du Paléocène [24].

Dans la même région, Vicente et coll. [8] attribuent à une tectonique paléocène la discordance angulaire entre deux séries rouges, d'âge supposé maestrichtien-danien pour l'une et éocène pour l'autre.

Des études récentes sur les Couches Rouges du Bassin de Cuzco-Sicuani (SE du Pérou), montrent que ce bassin a fonctionné, du Crétacé terminal à l'Éocène, en régime compressif

constant [30]. L'événement tectonique paléocène ne serait, à Cuzco-Sicuani, qu'une des pulsations de la tectonique synsédimentaire.

Enfin, dans la Cordillère Occidentale du Nord du Pérou, des volcanites, dont la base est datée de l'Éocène inférieur [25], reposent en discordance angulaire sur les Couches Rouges de la formation Chota, attribuées au Maestrichtien-Paléocène [9].

CONSÉQUENCES ET CONCLUSIONS. — Les conséquences géodynamiques de la tectonique paléocène s'étendent à un domaine bien plus vaste que celui où ses structures ont été repérées. Dans les bassins intramontagneux des Andes Centrales, on note fréquemment une brusque arrivée de sédiments grossiers, qui témoignent d'une reprise d'érosion dans les zones d'apport. Du fait de la forte subsidence, il est difficile d'attribuer ce phénomène au seul climat : une remontée tectonique des zones d'alimentation est ainsi à envisager.

L'événement tectonique paléocène mis en évidence augmente le nombre des phases tectoniques andines. Par ailleurs, les études sur les bassins intramontagneux crétacés-tertiaires des Andes Centrales montrent qu'ils ont souvent fonctionné en compression ([26] à [30]). C'est le cas, au Pérou, du bassin maestrichtien-éocène de Cuzco-Sicuani, du bassin miocène de Rumichaca, du bassin mio-pliocène d'Ayacucho-Huanta. En Bolivie, du Sud, le bassin Potoco (Éocène) a aussi fonctionné en compression et tout porte à penser qu'il en va de même pour le bassin de Couches Rouges Éocène-Oligocène de l'Altiplano Nord.

Ces données nouvelles remettent en question les idées classiquement admises sur l'évolution géodynamique des Andes Centrales. Jusqu'à ces dernières années, on considérait que l'histoire géologique andine était rythmée, à partir du Crétacé supérieur, par des phases tectoniques compressives de courte durée, séparant de longues périodes de calme (ou de distension) pendant lesquelles se produisaient sédimentation continentale et magmatisme effusif ([2] à [7]). L'analyse du fonctionnement des bassins intramontagneux de différents âges et en différents points des Andes Centrales indique, au contraire, que la chaîne andine a été, depuis le Crétacé supérieur, en état compressif quasi permanent. Il est dès lors possible de diviser l'histoire tectonique des Andes Centrales en deux grandes périodes : la première, du Trias supérieur au Crétacé supérieur, se serait déroulée dans un contexte essentiellement distensif; la seconde, du Crétacé terminal à l'Actuel, dans un contexte surtout compressif.

Dans un tel régime, l'observation de discordances angulaires indique simplement que des déformations, locales ou régionales, ont été scellées par des dépôts postérieurs à elles. De toute évidence, les détails de l'histoire géodynamique des Andes Centrales du Crétacé terminal à l'Actuel restent à préciser. Cependant, il semble désormais nécessaire d'envisager la possibilité d'une déformation andine continue. Dans ce cas, les « paroxysmes » que marquent les discordances angulaires ne sont peut-être que les effets apparents de phénomènes tecto-sédimentaires particuliers, mais essentiellement continus dans le temps et l'espace. L'étude plus poussée du fonctionnement géodynamique des bassins intramontagneux andins devrait permettre d'éclairer ces problèmes de manière décisive.

Ce travail a été réalisé dans le cadre d'un accord de coopération entre l'ORSTOM et la Compagnie pétrolière bolivienne d'état Y.P.F.B.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] G. STEINMANN, *Geologie von Peru*, 1929, 418 p., Heidelberg.
 [2] F. MEGARD, *Rev. Géogr. Phys. Géol. Dyn.*, 9, (4), 1967, p. 335-346.
 [3] E. AUDEBAUD, R. CAPDEVILA, B. DALMAYRAC, J. DEBELMAS, G. LAUBACHER, C. LEFÈVRE, R. MAROCCO, C. MARTINEZ, M. MATTAUER, F. MEGARD, J. PARADES et P. TOMASI, *Rev. Géogr. Phys. Géol. Dyn.*, 15, (1-2), 1973, p. 73-114.
 [4] F. MEGARD, *Mémoires O.R.S.T.O.M.*, n° 86, 1978, Paris.
 [5] M. SEBRIER, R. MAROCCO, J. J. GROSS, S. MACEDO et M. MONTOYA, 2^e Congrès Géol. Chili, 3, 1979, p. 171-188.
 [6] B. DALMAYRAC, G. LAUBACHER et R. MAROCCO, *Travaux et Documents*, O.R.S.T.O.M., n° 122, 1980, Paris.
 [7] C. MARTINEZ, *Travaux et Documents*, O.R.S.T.O.M., n° 119, 1980, Paris.
 [8] J. C. VICENTE, F. SEQUEIRO, M. A. VALDIVIA et J. ZAVALA, *Bull. Soc. Géol. Pérou*, 61, 1979, p. 171-188.
 [9] E. J. COBBING, W. S. PITCHER, J. J. WILSON, J. W. BALDOCK, W. P. TAYLOR, W. MCCOURT et N. J. SNELLING, *Overseas Memoir*, n° 5, 1981, 143 p., Londres.
 [10] R. MAROCCO, *Cahiers O.R.S.T.O.M.*, sér. Géol., 14, (2), 1984, p. 117-140.
 [11] D. C. NOBLE, M. SEBRIER, F. MEGARD et E. MCKEE, *Earth Plan. Sci. Lett.*, 73, 1985, p. 345-349.
 [12] M. CIRBIAN, R. MAROCCO, J. OLLER et Th. SEMPÈRE, résumé, 8^e Congrès Géol. Bolivie, La Paz, 1986, p. 45.
 [13] Th. SEMPÈRE, *Public. Mission O.R.S.T.O.M. La Paz*, n° 1, La Paz, 1986.
 [14] L. BRANISA, R. HOFFSTETTER et J. SIGNEUX, *Bull. Mus. Nat. Hist. Natur.*, 2^e sér., 36, (2), 1964, p. 279-297.
 [15] L. BRANISA, L. GRAMBAST et R. HOFFSTETTER, *Comptes rendus*, 268, série D, 1969, p. 321-322.
 [16] H. CAPPETTA, *Géobios*, 8, (1), 1975, p. 5-24.
 [17] C. DE MUIZON, M. GAYET, A. LAVENU, L. G. MARSHALL, B. SIGE et C. VILLAROEEL, *Géobios*, 16, (6), 1983, p. 747-753.
 [18] M. PEREZ, *Thèse*, U.M.S.A., La Paz, 1986 (sous presse).
 [19] R. PASCUAL, M. G. VUCETICH et J. FERNANDEZ, *Ameghiniana*, 16, (1-2), Buenos Aires, 1978, p. 191-204.
 [20] W. WOLKHEIMER, M. QUATTROCCHIO et J. SALFITY, 9^e Congrès Géol. Argentine, 4, 1984, p. 523-538.
 [21] B. SIGE, C. DE MUIZON, L. G. MARSHALL, M. GAYET et A. LAVENU, *Comptes rendus*, 299, série II, 1984, p. 1425-1428.
 [22] E. CARBAJAL, R. PASCUAL, J. SALFITY et M. G. VUCETICH, *Publ. Mus. Ci. Natur. Mar del Plata*, 2, (7), 1977, p. 148-163.
 [23] A. RUSSO et L. A. RODRIGO, *Bull. Inst. Bol. Petr.*, 5, (3-4), La Paz, 1965, p. 5-51.
 [24] A. W. LAUGHLIN, P. E. DAMON et B. N. WATSON, *Econ. Geol.*, 63, (2), 1968, p. 166-168.
 [25] M. A. BUSSEL, *J. Geol. Soc. London*, 140, 1983, p. 279-286.
 [26] F. MEGARD, D. C. NOBLE, E. MACKEE et H. BELLON, *Bull. Geol. Soc. Amer.*, 95, 1984, p. 1108-1117.
 [27] E. CORDOVA, J. DELFAUD et R. MAROCCO, 11^e R.S.T., R.S.T., Clermont-Ferrand, 1986.
 [28] Th. SEMPÈRE, R. MAROCCO et M. CIRBIAN, résumé, 8^e Congrès Géol. Bol., La Paz, 1986, p. 50.
 [29] Th. SEMPÈRE, H. CHAVEZ et M. PEREZ, résumé, 8^e Congrès Géol. Bol., La Paz, 1986, p. 45.
 [30] E. CORDOVA, *Thèse 3^e cycle*, Univ. Pau, 1986.

ORSTOM, 213, rue Lafayette, 75010 Paris;
 Yacimientos Petroliferos Fiscales Bolivianos (Y.P.F.B.),
 G x G, CC 1659, Santa Cruz, Bolivie.

EXPLICATIONS DE LA PLANCHE

Fig. 1. — Carte de situation de la région étudiée, dans le Sud de la Bolivie. 1. Base des affleurements paléocènes. 2. Base de la formation Maiz Gordo dans le synclinal de Camargo (a : faciès grossiers au Nord; b : faciès fins au Sud). 3. Paléocourants dans la formation Cayara.

Fig. 1. — Location of the studied area in Southern Bolivia. 1. Bottom of the Paleocene outcrops. 2. Bottom of the Maiz Gordo formation, in the Camargo syncline (a: northern coarse grained facies; b: southern fine grained facies). 3. Paleocurrents in the Cayara formation.

Fig. 2. — Colonnes stratigraphiques du Crétacé terminal-Éocène de la région étudiée. Les chiffres de 1 à 7 renvoient aux différentes localités de la figure 1.

Fig. 2. — Stratigraphic logs of the Uppermost Cretaceous-Eocene of the studied area. Numbers 1 to 7 correspond to the localities indicated in Figure 1.

Fig. 3. — Discordance angulaire du Rio Honda.

Fig. 3. — Angular unconformity of Rio Honda.

Fig. 4. — Interprétation géodynamique pour expliquer la répartition des faciès du SW au NE.

Fig. 4. — Geodynamic interpretation of the SW to NE facies repartition.

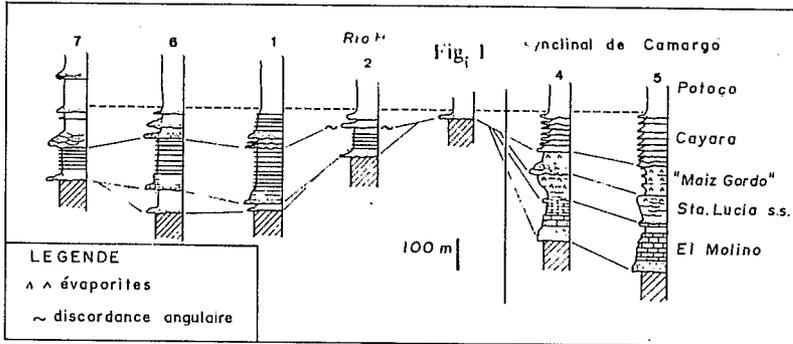
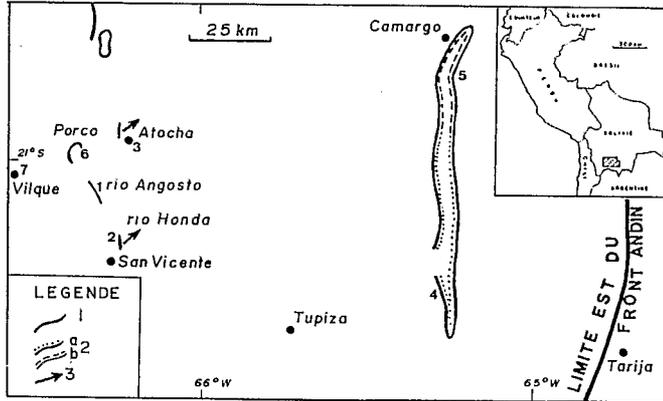


Fig. 2

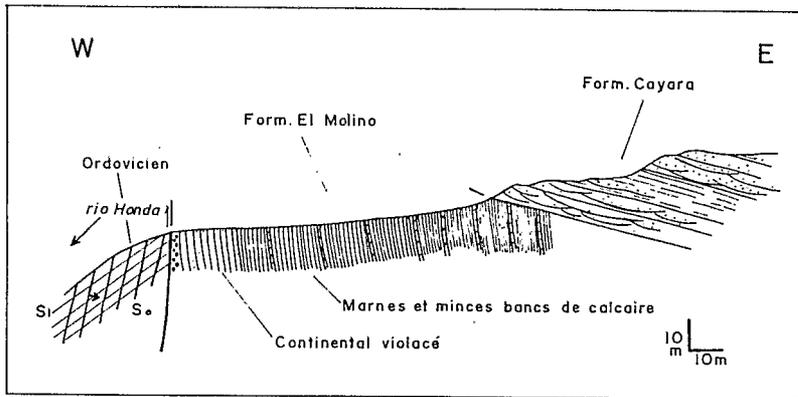


Fig. 3

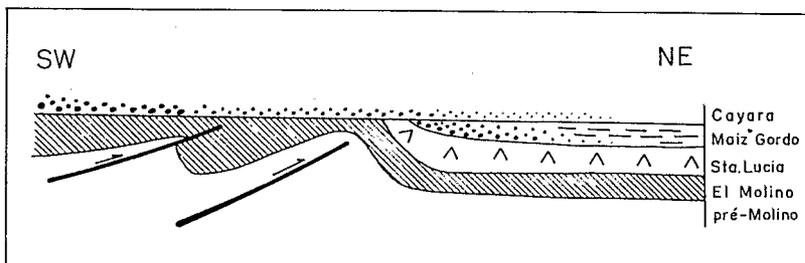


Fig. 4