

**TECTONIQUE POLYPHASÉE ET MORPHOTECTONIQUE
DES TERRAINS CRÉTACÉS DANS LA CORDILLÈRE ORIENTALE
DU SUD PÉRUVIEN
ÉTUDE D'UNE STRUCTURE CARACTÉRISTIQUE**

E. AUDEBAUD ET J. DEBELMAS

*Institut Dolomieu, rue Maurice-Gignoux, 38-Grenoble.
(R.C.P. 132 du CNRS « Chaîne des Andes »)*

RÉSUMÉ

Les auteurs décrivent dans le Crétacé de la Cordillère Orientale du Sud péruvien à l'Est de Sicuani un exemple de structure polyphasée, contrôlée par la morphotectonique.

Une première phase tectonique replie la couverture en un pli couché, coupé par un décrochement. Une phase d'érosion affecte l'ensemble et les deux lèvres, ainsi disséquées, s'interpénètrent de façon complexe au cours des phases ultérieures, uniquement en fonction de l'altitude et de la compétence respectives des éléments opposés.

RESUMEN

Los autores describen en el Cretaceo de la Cordillera Oriental del sur peruano, al Este de Sicuani, un tipo de estructura con tectónica polifásica controlada por morfotectónica. Una primera fase tectónica pliega la cobertura mesozoica en un pliegue echado cortado por una falla de desgarre. Una fase de erosión interviene y los dos lados de la falla, irregularmente recortados, se interpenetran de manera compleja durante las fases siguientes. Solo intervienen en este proceso la altura y la competencia respectivas de los elementos adyacentes.

ABSTRACT

An example of multiphase structure observed in the cretaceous of the Eastern cordillera of Southern Peru is described. This structure is morphotectonically controlled. In a first tectonic phase the cretaceous cover is folded into a recumbent fold cut by a strike-slip fault. The structure is then eroded and the two dissected edges penetrate each other in a complicated way during the later phases. The only factors governing this interpenetration are the altitude and the competency of the opposed elements.

ZUSAMMENFASSUNG

Es wird ein Beispiel von Vielphasenstruktur, die in der Kreide der Ostkordillere von Südamerika beobachtet wurde, beschrieben. Diese Struktur ist von der Morphotektonik nachgeprüft worden. In einer ersten Phase wird die Schichtendecke in eine liegende, durch eine Blattverschiebung geschnittene Falte

umgeformt. Nach einer Erosionsphase, durchdringen sich die zwei so zerschnittenen Flügel gegenseitig auf komplizierte Weise während späterer Phasen. Die einzigen Faktoren, die diese Durchdringung beherrschen, sind die Höhe und die Kompetenz der gegenüberliegenden Elemente.

РЕЗЮМЕ

Авторы описывают, в меловых формациях восточных Кордильер южного Перу, на востоке от Сиксуани, пример многофазной структуры, контролируемой морфотектоникой.

Первая, тектоническая, фаза смяла кору, образуя лежащую складку, срезанную сдвигом. Эрозионная фаза распространяется на весь комплекс, и оба рассечённые края взаимно проникают друг в друга, сложным образом, в течение последующих фаз, в зависимости, исключительно, от высоты и от соответствующей компетентности каждого из противоположных элементов.

Parmi les différents sujets abordés par les géologues français au Pérou se trouve le déchiffrement et la cartographie de la Cordillère Orientale au NE du Lac Titicaca qui nous ont été demandés par le Service Géologique du Pérou.

Cette Cordillère Orientale comprend d'immenses surfaces de terrains primaires et, localement, une couverture secondaire et parfois tertiaire (AUDEBAUD et LAUBACHER, 1969) fortement plissée, dont l'interprétation s'est révélée délicate.

Les difficultés ont plusieurs causes. Outre celles évidemment liées à l'éloignement et au manque de fonds topographiques, il faut souligner des difficultés plus proprement géologiques. La première est l'absence de fossiles dans les séries, le plus souvent continentales, pratiquement réduites au Crétacé par lacune probable du Jurassique. La reconnaissance des terrains se fait surtout au faciès. Or ceux-ci étant fort voisins d'un niveau à un autre (grès et pélites rouges) leur distinction ne peut se faire que d'après le contexte. Les stratifications entrecroisées permettent dans quelques cas de savoir si une série est à l'endroit ou à l'envers. Mais bien souvent on reste hésitant devant plusieurs solutions possibles.

Lorsque, néanmoins, les différents termes peuvent être repérés et qu'il devient dès lors possible d'interpréter l'architecture, on se heurte à une nouvelle difficulté, l'aspect chaotique et irrégulier des structures. Il est malaisé de saisir un style, une direction de déversement, bref un fil directeur quelconque.

C'est après plusieurs campagnes effectuées par l'un de nous (1) qu'un début d'explication fut apporté avec la découverte de *plusieurs phases tectoniques superposées d'orientations différentes*. Un style tectonique assez voisin, biphasé, était mis en évidence près du Lac Titicaca par CHANOVE, MATTAUER et MÉGARD (1969).

On peut distinguer successivement :

— des mouvements d'âge probablement céno-manien (AUDEBAUD, 1971) induisant des glissements de couverture d'amplitude mal définie ;

— des premiers mouvements paroxysmaux de la tectonique tangentielle andine, donnant des plis NW-SE antérieurs au dépôt (AUDEBAUD et LAUBACHER, 1969) de la série détritique connue au Pérou sous le nom de Groupe Puno, d'âge Oligocène au Lac Titicaca (CHANOVE, MATTAUER et MÉGARD, 1969). Ces mouvements peuvent s'étendre de la fin du Crétacé à la fin de l'Eocène et sont probablement fini-éocènes ;

— après cette phase viennent deux autres séries de mouvements que l'on distingue par leurs orientations. Toutes deux sont postérieures au dépôt du groupe Puno. Les axes des plis de l'une sont orientés NW-SE, ceux de l'autre, plus locale, sont NE-SW à NS.

(1) E. AUDEBAUD (1967, 1970, 1971).

L'examen des structures permet difficilement de dire laquelle est la plus ancienne mais des considérations générales faisant intervenir le contexte de la Cordillère occidentale et de l'Altiplano nous font aboutir à la chronologie suivante :

— phase andine paroxysmale post-Puno donnant des plis d'axes NW-SE très amples, à grand rayon de courbure ;

— phase beaucoup plus locale donnant des plis d'axes NE-SW à NS ainsi que des décrochements NW-SE dans la couverture. Elle semble correspondre dans le socle à des failles transverses NE-SW et à des décrochements NW-SE ;

— quelques failles NS et ondulations à très grand rayon de courbure accompagnent le soulèvement andin (plioquaternaire ?).

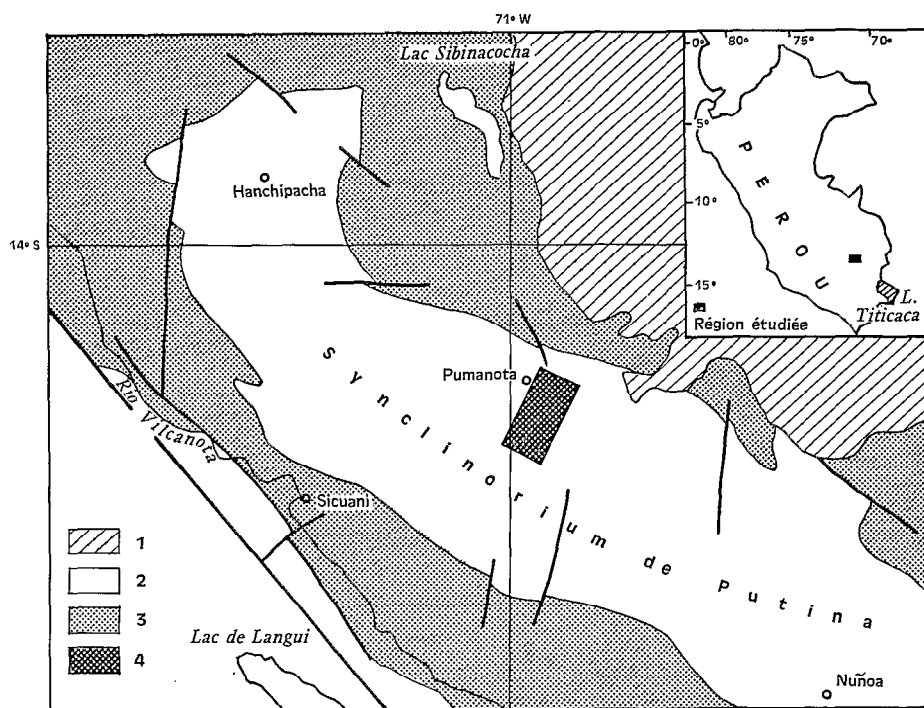


FIG. 1. — Localisation de la zone étudiée.

1. Plio-Quaternaire volcanique.
2. Cénozoïque et Mésozoïque.
3. Paléozoïque.
4. Secteur pris en exemple.

Après la découverte de cette tectonique polyphasée, une mission effectuée en commun nous a permis de reconnaître que la complexité de la Cordillère Orientale pouvait également s'expliquer par des *processus morphotectoniques* rappelant tout à fait ceux décrits en Provence depuis G. LUTAUD (1).

(1) Cf. l'article de J. AUBOUIN et G. MENNESSIER. *Essai sur la structure de la Provence*. Mémoire hors série de la Société Géologique de France. 1960-1963 : Évolution paléogéographique et structurale des domaines méditerranéens d'Europe. Tome II.

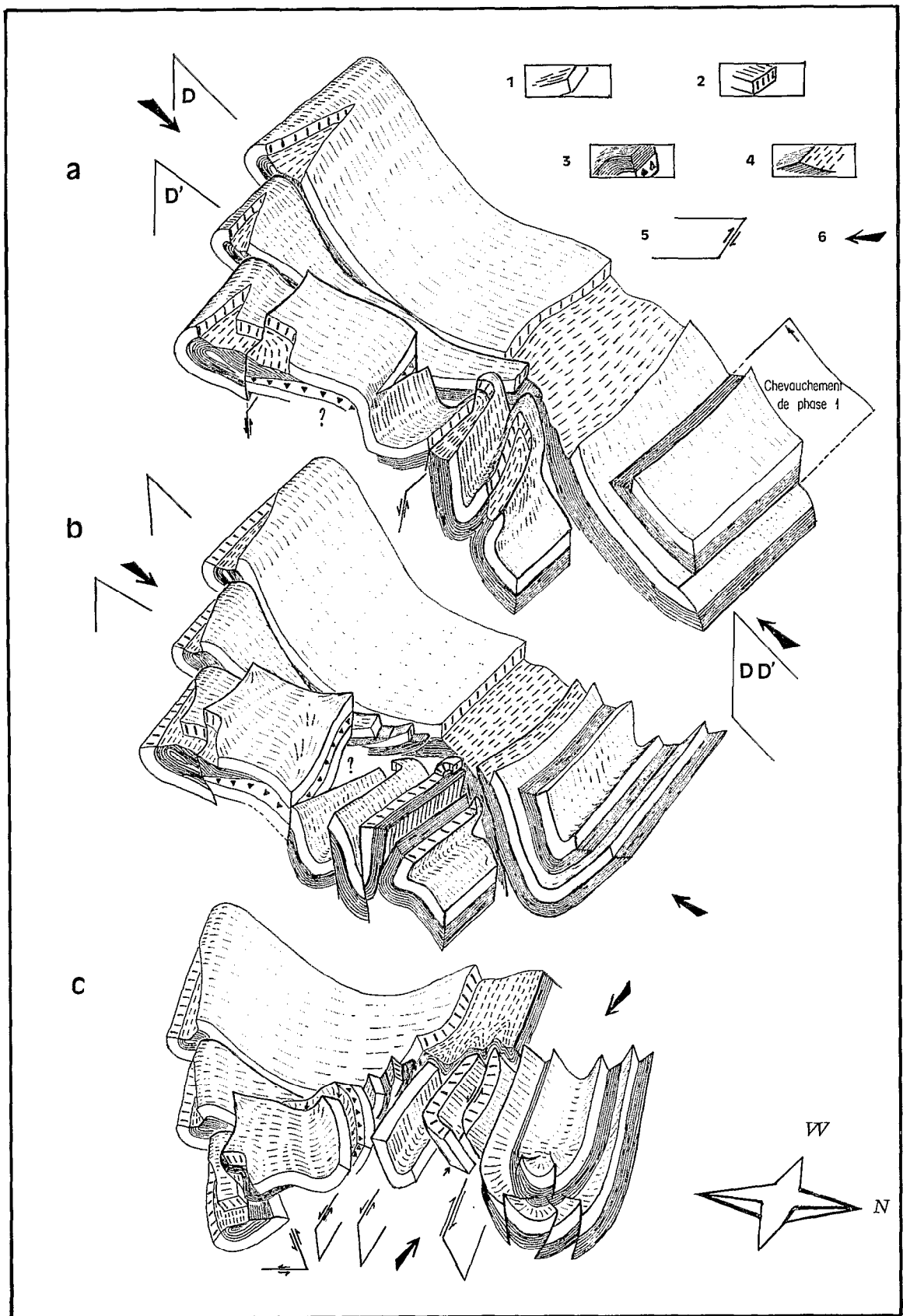


FIG. 2. — Tectonogramme du Crétacé inférieur dans le secteur de Pumanota.

1. Crétacé inférieur; Formation Huancane. — 2. Surface d'érosion entaillée dans Huancane. — 3. Crétacé inférieur (à Jurassique ?) Formation Muni et Permien (groupe Mitu). — 4. Surface d'érosion entaillée dans Muni. — 5. Failles et sens de mouvement. — 6. Direction des contraintes tectoniques.

Rappelons que la morphotectonique désigne les déformations subies par une structure déjà déformée et érodée. En raison de cette érosion, le matériel impliqué dans le plissement considéré se trouve dissocié en éléments discontinus dont les réactions peuvent dès lors devenir anarchiques et imprévisibles.

Cette interprétation par la morphotectonique de certaines structures a permis de réduire le nombre de unités chevauchantes et surtout de donner une explication de l'incohérence de certaines dispositions.

ÉTUDE D'UNE STRUCTURE CARACTÉRISTIQUE : LE SECTEUR DE PUMANOTA

A titre d'exemple nous allons décrire une structure particulièrement démonstrative située à l'E de Sicuani vers l'hacienda Pumanota (fig. 1), et faisant partie d'un faisceau de plis qui se suit depuis le lac Titicaca sur plus de 250 km de long (faisceau du synclinorium de Putina défini par NEWELL en 1949).

Cette structure complexe se montre faite d'un empilement de plis couchés vers le SW, au cours de la phase éocène, puis plus ou moins écaillés par les mouvements plus tardifs évoqués plus haut.

Ces plis sont déversés vers le SW ; leurs racines ou leur zone d'origine sont à rechercher vers le NE. On pourrait être tenté de les considérer comme la couverture décollée, glissée et repliée sur elle-même des grandes surfaces de Paléozoïque qui bordent au NE le faisceau de Putina, mais nous n'en n'avons aucune preuve. Aussi est-il plus prudent, provisoirement, de les faire venir de la bordure nord-orientale de ce faisceau où l'on trouve les mêmes termes stratigraphiques d'une part, et d'autre part des structures qui permettent leur enracinement en avant du massif paléozoïque.

La figure 2 est un tectonogramme de la structure étudiée ici, dans laquelle la dalle des grès « néocomiens » dits grès Huancané a été choisie comme niveau repère. Cette complexité difficile sinon impossible à interpréter dans le cadre d'une seule phase tectonique s'avère plus facile à comprendre si l'on fait intervenir la succession des phénomènes suivants.

1^{er} temps : Il y a formation de plis couchés suivant des axes *actuellement* sensiblement EW, avec décollement de la couverture au-dessus du socle paléozoïque, car ce dernier, à l'état d'écaillés, ne jaillit que rarement au cœur des anticlinaux crétacés du synclinorium de Putina, et, dans ce dernier cas ces écaillés n'apparaissent que près des bordures du synclinorium de Putina. L'amplitude de ces mouvements horizontaux reste toujours difficile à préciser à cause des tectoniques ultérieures.

Quoi qu'il en soit, des décrochements se produisent dans la masse en mouvement vers le SW, telles les failles D et D' de la figure 2 a qui limitent trois compartiments à styles tectoniques assez différents.

Rappelons que ces failles ont pu se former bien avant, au cours des mouvements cénomaniens évoqués plus haut, car le Crétacé inférieur (grès Huancané) a souvent l'aspect de blocs isolés, limités par les surfaces planes, flottant dans le Cénomaniens.

Cette phase de plissement tertiaire inférieur, en tout cas anté-Puno donc anté-oligocène au lac Titicaca, fut suivie par une période de puissante érosion (1) entaillant les reliefs, ouvrant les anticlinaux au moins jusqu'au grès Huancané, en même temps que du volcanisme se manifestait.

La figure 2 a représente l'état supposé de la structure après cette première série d'événements.

2^e temps : Une phase de compression à plis d'axes andins (NW-SE) a repris ces structures en les exagérant et en les basculant. La figure 2 b donne la position des différentes unités après ce mouvement.

(1) Cette érosion est attestée par un affleurement visible au NW du village d'Hanchipacha (4) (AUDEBAUD et LAUBACHER, 1969) où le Tertiaire contenant des galets de Crétacé inférieur, de Cénomaniens et des débris volcaniques tertiaires, repose en discordance angulaire sur les couches rouges de la formation Chilca d'âge probablement Crétacé supérieur.

3^e temps: Il y a eu ensuite contraction dans le sens EW si bien que la lèvre orientale du décrochement ramifié D vient emboutir la lèvre occidentale, passant soit au dessus, soit au-dessous, suivant l'altitude respective des points en contact, donnant ainsi l'apparence des contours sinueux d'une nappe ou de structures charriées d'origine lointaine. De plus l'ensemble tourne autour d'un axe vertical en restant solidaire du faisceau de pli de Putina.

La figure 2 c donne l'allure de la structure après ce troisième temps ; n'interviendront plus par la suite que des failles NS accompagnant le soulèvement andin et qui n'ont pas été représentés sur ce schéma.

Ces phénomènes ne sont possibles qu'à faible profondeur dans la mesure où ils s'appliquent à des fragments de dalles rendus indépendants les uns des autres par érosion. De plus ce sont uniquement des questions de cotes topographiques qui font que les éléments les plus élevés d'une lèvre chevauchent les plus bas de la lèvre opposée.

CONCLUSION

Plusieurs problèmes se posent alors, notamment celui de l'âge de la morphotectonique et celui de l'amplitude des différents mouvements.

Age de la morphotectonique

Notons immédiatement que celle-ci a pu être préparée par des fissurations d'origine ancienne ayant déjà contribué à la dissociation des dalles rigides.

En effet, au Cénomaniens, l'un d'entre nous (AUDEBAUD, 1971) a mis en évidence de légers mouvements accompagnés de karstification. Il y a là un début d'érosion aérienne que confirme le remplissage de ce karst par des produits continentaux rouges mais nous ignorons jusqu'où cette érosion a pu aller.

Par ailleurs, au cours du Crétacé supérieur, après le dépôt de la formation Hanchipacha on voit se déposer brusquement au NE du lac Titicaca (NEWEL, 1949), avec une discordance cartographique, l'épaisse série rouge détritique de la formation Cotacucho. Elle témoigne de la forte érosion d'un domaine encore mal connu, peut-être les grandes masses paléozoïques qui bordent au NE le synclinorium de Putina. Mais nous ne savons pas jusqu'où cette érosion s'est étendue vers l'W et quel a été son effet dans notre région. Cette érosion s'est vraisemblablement poursuivie jusqu'à la fin du Crétacé Supérieur et l'Eocène.

L'action de ces érosions a peut-être été suffisante pour que dès la première grande phase (d'axe NWSE) le style de plissement des différents compartiments accuse déjà des différences.

Mais c'est surtout entre la première et les deux phases ultérieures, c'est-à-dire au cours du dépôt de Puno (Oligocène inférieur du lac Titicaca) que s'est faite l'érosion des premières structures tangentielles préparant la morphotectonique décrite sur l'exemple précédent.

Amplitude des différents mouvements

Cette question a déjà été abordée par l'un d'entre nous (AUDEBAUD, 1970) qui concluait à la difficulté de se prononcer avec certitude sur ce point, mais qui admettait que la première phase seule s'accompagnait de mouvements très importants, la deuxième consistant surtout en mouvements à grand rayon de courbure.

L'introduction de la morphotectonique permettrait éventuellement de réduire l'amplitude des premiers chevauchements au profit des mouvements ultérieurs. Et localement, c'est bien ce qui peut s'être réalisé.

Néanmoins des observations récentes effectuées à 50 km au Sud de la structure étudiée dans cette note, et qui feront l'objet d'une publication ultérieure, confirment le point de vue de la note de 1969. Ce serait bien la première phase andine qui serait ici responsable du décollement et du plissement de la couverture mésozoïque.

Une question mal résolue reste celle de l'origine de certains éléments flottants à matériel crétacé du synclitorium de Putina. Proviennent-ils des bordures de ce synclitorium ou de plus loin ? Il n'est pas possible pour l'instant de répondre nettement. Cependant l'interprétation morphotectonique, en permettant de réduire le nombre des unités empilées les unes sur les autres, réduit d'autant le raccourcissement de la couverture par rapport au socle et, par là même, la probabilité d'un charriage d'origine lointaine.

BIBLIOGRAPHIE

- AUDEBAUD (E.), 1967. — Etude géologique de la région Sicuani Ocongate. Thèse 3^e cycle Grenoble.
- AUDEBAUD (E.), 1970. — Premières observations sur la tectonique tangentielle polyphasée des terrains secondaires de la Cordillère Orientale du SE péruvien. *C. R. Acad. Sci. Paris*, série D, t. 270, p. 3190.
- AUDEBAUD (E.), 1971. — Mise au point sur la stratigraphie et la tectonique des calcaires cénomaniens du Sud Est Péruvien (formation Ayavacas), *C. R. Acad. Sci. Paris*, série D, t. 271.
- AUDEBAUD (E.) et LAUBACHER (G.), 1969. — Présence de Tertiaire plissé (groupe Puno) dans la Cordillère Orientale du Sud du Pérou. *C. R. Acad. Sci. Paris*, série D, t. 269, p. 2301.
- CHANOVE (G.), MATTAUER (M.) et MÉGARD (F.), 1969. — Précisions sur la tectonique tangentielle des terrains secondaires du Massif de Pirin (NW du lac Titicaca Pérou). *C. R. Acad. Sci. Paris*, série D, t. 268, p. 1698.
- NEWELL (N.D.), 1949. — Geology of the lake Titicaca - Region Peru and Bolivia - *Geol. Soc. Amer.* Mémoire 36.