

Localisation des zones de travail des géologues de la mission Pérou-Bolivie. (1) B. DALMAYRAC ; (2 a/b) F. MÉGARD ; (3) R. MAROCCO ; (4) G. LAUBACHER ; (5) Cl. MARTINEZ ; (6) P. TOMASI.

LA CHAÎNE HERCYNIENNE AU PÉROU ET EN BOLIVIE

PREMIERS RÉSULTATS

F. MÉGARD, B. DALMAYRAC
G. LAUBACHER, R. MAROCCO, C. MARTINEZ
J. PAREDES* ET P. TOMASI

Mission Géologique de l'ORSTOM au Pérou et en Bolivie
*R.C.P. 132 du CNRS et *Servicio de Geología y Minería*

RÉSUMÉ

La majeure partie du substratum des Andes du Pérou et de Bolivie est constituée par les restes d'une chaîne hercynienne intracratonique dans laquelle se trouvent remaniés des éléments du socle précambrien. Elle comporte un épais matériel sédimentaire détritique en partie flyscholite, mais où on ne connaît pas d'ophiolites, et dont l'âge est paléozoïque inférieur. Ce matériel a été fortement tectonisé au Dévonien supérieur (phase éohercynienne) et montre des plis à schistosité axiale, parfois polyphasés et accompagnés dans quelques secteurs d'un métamorphisme du faciès schistes verts. La chaîne dans son ensemble ne montre pas de déversement préférentiel. L'ensemble éohercynien et sa couverture discordante d'âge carbonifère et permien inférieur et moyen sont repris à la fin du Permien moyen par la phase tardihercynienne qui se traduit le plus souvent par une épirogenèse. Le magmatisme est surtout post-tectonique : des intrusifs granitiques se mettent en place et des brèches et coulées andésitiques à rhyolitiques s'intercalent dans les molasses du Carbonifère et du Permien supérieur.

La chronologie des déformations hercyniennes est difficile à établir en Bolivie, du fait de l'absence d'une couverture permo-carbonifère dans les zones les plus plissées et de la lacune presque générale du Permien supérieur, du Trias et du Jurassique. On la déduit de l'étude des régions voisines moins déformées où le Permo-Carbonifère est présent et de considérations sur le style des structures et leur continuité depuis le Pérou.

La chaîne hercynienne peruano-bolivienne s'étend sur plus de 2 500 km et par deux relais situés, l'un au niveau de Cochabamba, en Bolivie, l'autre dans la Puna de Atacama chilienne, elle se relie à un rameau hercynien chilo-argentin bien exposé dans la Cordillère Frontale et la Précordillère d'Argentine. Ce rameau s'intègre à son tour dans un vaste orogène hercynien dit « de Samfrau », qui bordait le Gondwana avant sa fragmentation et dont on retrouve les éléments en Afrique du Sud, en Antarctide et en Australie.

ABSTRACT

The main part of the basement of the Peruvian and Bolivian Andes is formed by the remnants of a Hercynian intracratonic range in which some elements of the Precambrian basement are reworked. The Hercynian sedimentary prism is made of thick detrital Lower Paleozoic sediments, which are partly flysch-like but seem to be never associated with ophiolites. Those sediments were strongly disturbed by

the Upper Devonian « Eohercynian » folding ; they display close folds with axial-plane cleavage which result of at least two subphases of deformation, in some areas a greenschist facies metamorphism is associated with the folds. On the whole the range does not show any preferential vergence. The Eohercynian folded complex and its unconformable cover of Carboniferous and Lower and Middle Permian sediments are reworked at the end of the Middle Permian by the Late Hercynian movements which in Peru are in most cases only epirogenetic. The magmatism is mostly post-tectonic, granitic rocks are intruded and andesitic to rhyolitic breccias and flows are interstratified in the Carboniferous and Upper Permian molasses.

The chronology of the Hercynian deformation is difficult to establish in Bolivia because i) of the lack of a Permo-Carboniferous cover in the intensely folded axial part of the chain and ii) of the quite complete hiatus of the Upper Permian, Trias and Jurassic. This chronology is inferred from the study of the less deformed adjoining regions where the Permo-Carboniferous is present and from considerations about the style and direction of the structures. The result is that in Bolivia the main folding is due to the Late-Hercynian phase.

The Peru-Bolivia Hercynian range runs over more than 2 500 km and is connected « en échelon » to the Chile-Argentina Hercynian branch wellknown in the Frontal Cordillera and the Precordillera of Argentina. This branch is a part of the great Hercynian « Samfrau orogene » which was bordering the Gondwana before its breaking up and the other elements of which are found in South Africa, in Antarctica and in Australia.

ZUSAMMENFASSUNG

Der grösste Teil der Grundgebirge der Anden von Peru und Bolivien ist aus den Resten einer herzynischen intrakratonischen Kette gebildet, in der sich veränderte Elemente des Präkambriumuntergrundes befinden. Sie enthält dichte Sedimente, die vor allem psammitisch-pelitisch und sandsteinig sind und teilweise Flyschcharakter haben, — wo aber keine Ophiolite bekannt sind, — und die aus dem Unterpaläozoikum stammen. Dieses Material ist im Oberdevon (eohercynische Faltung) stark tektonisiert worden und zeigt Falten mit Axialschieferung, die manchmal in mehreren Phasen entstanden sind. Sie sind in einigen Abschnitten von einer Metamorphose von Grünschiefer-Fazies begleitet. In der Gesamtheit zeigt die Kette keine Vorzugsvergenz. Der eohercynische Komplex und die diskordanten Deckschichten des Karbon und unteren und mittleren Perm sind am Ende des mittleren Perm wieder von der spätherzynischen Phase, die sich in Peru meistens als eine Epeirogenese ausdrückt, bearbeitet. Der Hauptmagmatismus ist posttektonisch und besteht aus granitischen Intrusiva und aus andesitischen bis rhyolitischen Breccias und Ergüssen, die sich zwischen die Karbon- und obere Permmolasse einlagern.

Es ist schwierig, die Chronologie der herzynischen Bewegungen in Bolivien festzulegen wegen des Fehlens eines Perm-Karbonmantels in den am stärksten gefalteten Zonen und wegen einer fast durchgehenden Schichtlücke von Oberperm, Trias und Jura. Auf Grund der Kenntnis der Nachbargebiete, die weniger verformt sind und wo die Perm-Karbonschicht vorhanden ist, und des Stiles der Strukturen und deren Fortbestandes seit Südperu schliesst man auf eine spätherzynische Hauptfaltung.

Die herzynische Kette von Peru und Bolivien erstreckt sich über mehr als 2 500 km und wird mit dem chilenisch-argentinisch herzynischen Zweig, der sich gut erkenntlich in den Frontalkordilleren und Vorkordilleren Argentiniens befindet, verbunden. Dieser Zweig schliesst sich wiederum einem ausgedehnten herzynischen Orogen, « Samfrau » genannt, an, das den Gondwana vor seiner Zertrümmerung umrahmte und dessen Elemente man in Südafrika, in der Antarktis und in Australien wiederfindet.

RESUMEN

La mayor parte del substrato de los Andes de Perú y Bolivia esta constituida por los restos de una cadena hercínica intracratónica en la cual se encuentran removilizadas partes del zócalo precámbrico. El material hercínico consiste en sedimentos detríticos en parte de tipo flysch, en los cuales no se conocen intercalaciones ofiolíticas ; su edad es paleozoica inferior. Dicho material ha sido intensamente tectonizado

en el curso del Devónico superior (fase eohercínica), formándose entonces pliegues con esquistosidad axial, a veces polifásicos y acompañados en algunos sectores por un metamorfismo regional del grado « esquistos verdes »; tomada en conjunto, la cadena no muestra vergencia preferencial. El conjunto plegado eohercínico y su cobertera sedimentaria discordante de edad carbónica y pérmica inferior a media están afectados a fines del Pérmico medio por la fase tardihercínica, tan solo epirogenética en la gran mayoría de las regiones estudiadas. El magmatismo es mayormente post-tectónico y se traduce por la intrusión de rocas graníticas y la intercalación de lavas y aglomerados andesíticos a riolíticos en las molasas del Carbonífero y del Pérmico superior.

La cronología de las fases de deformación es más difícil de establecer en Bolivia, por la ausencia de una cobertera permo-carbonífera en las áreas de mayor deformación y por la laguna casi general del Pérmico superior, Triásico y Jurásico. Por lo tanto la datación de las fases se tiene que deducir del estudio de sectores vecinos menos deformados y que cuentan con una cobertera permo-carbonífera, y de consideraciones sobre el estilo de la deformación o la continuidad de las estructuras desde el Perú.

La cadena hercínica peruano-boliviana tiene una longitud de más de 2 500 km y se relaciona « en échelon » con la cadena hercínica chileno-argentina bien conocida en la Cordillera Frontal y la Precordillera de la Argentina. Dicha cadena es parte de un inmenso orógeno hercínico llamado « de Samfrau », que bordeaba el supercontinente de Gondwana antes de su fragmentación y cuyos demás elementos se encuentran en África del Sur, Antártida y Australia.

РЕЗЮМЕ

Большая часть субстрата Андос в Перу и Боливии состоит из остатков герцинской, внутрифронтальной горной цепи, в которой находятся преобразованные элементы докембрийской основы. Она содержит мощный, осадочный, обломочный материал, частично флишевидный, в котором однако обфиолитов не наблюдается и возраст которого поздне-палеозойский. Материал этот был подвергнут сильным тектоническим движениям в поздне-девонский период (эогерцинская фаза) и являет складки с осевой слоистостью, иногда многофазные и, в некоторых участках, с метаморфизмом фации зеленых сланцев. В целом, эта цепь не представляет преимущественного водослива. Герцинский комплекс, с его несогласным покровом каменноугольного и ранне- и средне-пермского возраста, снова подвергается в конце средне-пермского периода поздне-герцинской фазе, чаще всего выражающейся в эпирогенезе. Магматизм является существенно после-тектоническим: размещаются интрузивные породы и в каменноугольных и поздне-пермских молассах появляются прослойки брекчий и андезитовых и риолитовых потоков.

Хронологию герцинских деформаций в Боливии установить трудно, по причине отсутствия пермско-каменноугольного покрова в самых складчатых зонах и почти полного пробела поздне-пермского, триасового и юрского периодов. Её можно вывести из изучения соседних, менее деформированных районов, где присутствует пермско-каменноугольный период, а также из соображений о стиле структур и об их непрерывном протяжении от Перу.

Перуанско-болливийская горная цепь простирается на более чем 2.500 км и в двух промежуточных пунктах, находящихся один на уровне Кошабамба, в Боливии, другой — в Пуна де Атакама, в Чили, соединяется с герцинской, Чилийско-аргентинской ветвью, хорошо экспозированной в фронтальных Кордильерах и в Пред-Кордильерах Аргентины. Эта ветвь в свою очередь включена в обширный герцинский орогенетический комплекс, так наз. « Самfrau », который окаймлял Гондвану перед расчленением последней и элементы которого ветвятся на юге Африки, в Антарктиде и в Австралии.

PLAN

INTRODUCTION

Historique

PRÉSENTATION GÉNÉRALE DE LA CHAÎNE

LE SUBSTRATUM PRÉCAMBRIEN

La discordance de base du Paléozoïque inférieur Caractéristiques et extension du socle précambrien

DESCRIPTION DE LA SÉRIE PALÉOZOÏQUE

Le Paléozoïque inférieur

Le Cambrien - l'Ordovicien - Le Siluro-Dévonien - Conclusion sur le Paléozoïque inférieur

Le Paléozoïque supérieur

Le Permo-Carbonifère au Pérou - (Le Mississipien, le Pennsylvanien, le Permien inférieur et moyen) -
Le Permo-Carbonifère en Bolivie - La Paléogéographie au Carbonifère et au Permien inférieur et moyen p.p.

La limite supérieure de l'ensemble hercynien

LES STRUCTURES HERCYNINIENNES

La tectonique hercynienne au Pérou

Les structures éohercyniennes - Les structures tardihercyniennes - (Le plissement tardihercynien au nord du lac Titicaca) - (L'épirogenèse et la tectonique cassante du Permien moyen)
Conclusion

La tectonique hercynienne en Bolivie

L'âge des plissements - (La discordance éohercynienne, la discordance post-Permien moyen et pré-Crétacé)
- Les structures hercyniennes
Conclusion

Le métamorphisme hercynien

Commentaire de quelques coupes de la chaîne hercynienne

Coupe rio Marañon-Ambo et Huánuco-Las Palmas par B. DALMAYRAC
Coupe San Cristóbal-Tarma-La Merced par F. MEGARD,
Coupe Cabanillas - rio Tambopata par G. LAUBACHER.
Coupe Colquencha-La-Paz Puerto Linares par Cl. MARTINEZ.
Coupe Oruro-Cochachamba-Villa Tunari (entre 17° et 18° S) par P. TOMASI.
Coupe dans le Sud Bolivien, entre 21° et 22° S, par Cl. MARTINEZ.

Les limites du domaine plissé hercynien

LE MAGMATISME HERCYNIEN

Les roches effusives - Les roches intrusives

CONCLUSION

BIBLIOGRAPHIE

I. — INTRODUCTION

L'objectif de cet article est la mise en évidence et la description des caractères généraux de la chaîne hercynienne qui forme le substratum d'une grande partie des Andes du Pérou et de Bolivie, où nous l'avons étudiée sur plus de 2 000 km. Vers le nord on peut la suivre jusqu'à la frontière de l'Equateur, où on cesse de l'identifier faute d'information. Vers le sud, elle s'amortit assez rapidement dans le NW argentin. La longueur totale de ce rameau hercynien dépasse donc 2 500 km.

Historique

La présence de séries paléozoïques est connue depuis longtemps au Pérou et en Bolivie où d'ORBIGNY (1842) fut l'un des premiers à la caractériser.

En 1929, STEINMANN synthétise les connaissances de son époque sur le Pérou et, s'aidant de travaux antérieurs, notamment de ceux de DOUGLAS (1914-1921) et de McLAUGHLIN (1924), il établit de grandes divisions structurales dans le bâti préandin, limitées par des orogénèses précambrienne, calédonienne et finidévonienne. Ultérieurement, les travaux régionaux de HARRISON dans le centre du Pérou (1943) lui font envisager l'existence d'un cycle de déformation calédonien se terminant par une phase paroxysmale après le Dévonien moyen. NEWELL *et al.*, dans leur étude du Paléozoïque supérieur péruvien (1953), considèrent par contre que la première grande orogénèse paléozoïque est d'âge permien moyen et tendent

à minimiser l'influence de l'orogénèse finidévonienne dont pourtant KATZ (1959) puis EGELER et de BOOY (1961) vérifient l'importance dans le SE du Pérou.

En Bolivie, les séries moins déformées et plus complètes du Paléozoïque inférieur ne font guère l'objet que de travaux stratigraphiques et paléontologiques (bibliographie dans AHLFELD et BRANISA, 1960) et on ne parle pas encore de chaîne hercynienne : seuls LJUNGGREN et RADELLI (1964) font allusion à des granites hercyniens liés à une « pulsation hercynienne » que LOHMAN (1970) ignore au profit d'une phase de déformation finidévonienne ou éocarbofère marquée par le dépôt de conglomérats à la base du Carbonifère Gondwana mais n'entraînant pratiquement jamais de *discordance angulaire*.

Les auteurs de cet article, MÉGARD depuis 1964, DALMAYRAC, LAUBACHER, MAROCCO, MARTINEZ, PAREDES et TOMASI depuis 1967, se sont attachés à caractériser les structures du substratum préandin entre Huanuco (9° S) et le sud de la Bolivie (22° S) (1) et concluent à l'existence d'une chaîne hercynienne très étendue et où le plissement a été vigoureux, reposant sur un substratum précambrien complexe. La carte hors-texte à 1/5 000 000 qui accompagne cet article situe les affleurements paléozoïques et précambriens.

II. — PRÉSENTATION GÉNÉRALE DE LA CHAÎNE

La chaîne hercynienne du Pérou et de Bolivie est large de 250 à 300 km au niveau de la frontière Pérou-Bolivie entre le massif précambrien côtier et la zone subandine dont les couvertures paléozoïques n'ont pas été déformées à l'Hercynien.

Au Pérou, elle recoupe obliquement les Andes, comme on le voit clairement dans le centre du pays où sa direction est 120 et celle des Andes 135. *En Bolivie*, elle présente *deux zones axiales* à forte déformation : l'une prolonge celle du Pérou jusqu'à la déflexion Arica-Santa Cruz, l'autre la relaie plus au sud et a une direction subméridienne proche de celle des Andes à ce niveau.

Au Pérou, l'Hercynien affleure largement dans la Cordillère Orientale appelée aussi Cordillère Centrale au nord de Cerro de Pasco (10°30' S) ; à la latitude de Lima, il forme le cœur de quelques anticlinaux des Hauts Plateaux du Pérou Central ; on le retrouve aussi près de la Côte Pacifique, à la hauteur d'Ica (14° S) et tout au nord du Pérou, dans le massif d'Olmos et les monts Amotape. En Bolivie, l'Hercynien forme l'essentiel des Andes Orientales et affleure dans quelques horsts de l'Altiplano méridional vers 21° S.

Par endroits, l'Hercynien laisse apparaître un *substratum précambrien métamorphique* sur lequel il repose en discordance angulaire marquée.

(1) Les observations nouvelles rapportées dans cet article proviennent des sources suivantes :

au PÉROU

— pour la *Cordillère Orientale*

entre 9° S et 10°30' S : B. DALMAYRAC

entre 10°30' S et 13° S et à l'ouest de 73°30' S : F. MÉGARD

sur la feuille de Jauja (11°30'-12° S et 75°-75°30' W) : J. PAREDES P.

entre 12°30'-14° S et 71°30'-73°30' W : R. MAROCCO

entre 13°-16° S et entre 71°30' W et la frontière bolivienne : G. LAUBACHER

— pour la *zone côtière* : J. PAREDES P.

en BOLIVIE

— pour la *Cordillère Royale* et la *Cordillère de Quimsa Cruz* : Cl. MARTINEZ et partiellement, P. TOMASI

— pour la *zone d'Oruro-Cochabamba* : P. TOMASI

— pour l'*extrême-Sud*, Cl. MARTINEZ.

Les géologues J. CALDAS, F. GARCIA Z., E. OLCHAUSKI, O. PALACIOS, V. VELASQUEZ, J. VERA, au Pérou et R. CORNEJO, J. LIZARAZU, R. SUAREZ, T. SUBIETA, en Bolivie, ont été de précieux collaborateurs sur le terrain et au laboratoire.

Dans le texte de cet article, toute référence aux auteurs se fera en utilisant leurs initiales (F.M. ; B.D. ; G.L. ; R.M. ; Cl.M. ; J.P. ; P.T.).

Le matériel sédimentaire hercynien est constitué par des séries surtout détritiques du Paléozoïque inférieur, qui sont parfois de véritables flyschs ; son épaisseur cumulée atteint près de 15 000 m en Bolivie, où la présence de séries très complètes a permis d'établir une stratigraphie détaillée, qui s'applique également au Paléozoïque inférieur du Sud péruvien. Du treizième parallèle sud en allant vers le nord, les affleurements sont plus réduits, souvent très fortement tectonisés, et les rares gisements fossilifères connus ne font que prouver la présence locale d'Ordovicien et de Dévonien. Une séquence néritique et continentale, en général plus mince encore qu'elle atteigne 8 000 m vers 13°30' S, et d'âge carbonifère inférieur à permien moyen, repose le plus souvent en discordance angulaire, au Pérou du moins, sur le Paléozoïque inférieur plissé. Elle est recouverte « transgressivement » et parfois en discordance angulaire par les molasses rouges à intercalations volcaniques du Permien supérieur.

En Bolivie on observe rarement une discordance angulaire marquée entre le Paléozoïque inférieur et la base des séries du Gondwana (Pal. Sup.) de plus le Permien supérieur est absent aussi est-ce le Crétacé continental transgressif qui recouvre angulairement le Gondwana et souvent le Paléozoïque inférieur.

Les discordances angulaires reconnues au Pérou permettent d'y différencier deux grandes étapes de déformation, l'une d'âge fini-dévonien ou éohercynienne, l'autre d'âge intrapermien ou tardihercynienne. En Bolivie, la datation précise de l'orogénèse hercynienne reste un problème.

Le style général de la chaîne est représenté très schématiquement dans la figure 1, qui est inspirée d'une coupe SW-NE (fig. 8, A) passant par l'extrémité NW du lac Titicaca. Elle montre certains caractères généraux de la chaîne : l'existence de plis éohercyniens vigoureux accompagnés de schistosité, l'amortissement progressif des plis éohercyniens et tardihercyniens tant en direction du bouclier brésilien que de l'axe précambrien côtier et l'amincissement corrélatif des séries très net pour le Paléozoïque supérieur, la discordance angulaire générale de séries d'âge permien supérieur à crétacé sur les structures hercyniennes. Par contre les grands plis déversés vers le SW qui caractérisent cette transversale n'ont pas été retrouvés jusqu'alors sur d'autres coupes. De même les déformations tardihercyniennes y sont particulièrement prononcées puisqu'elles sont même accompagnées de schistosité.

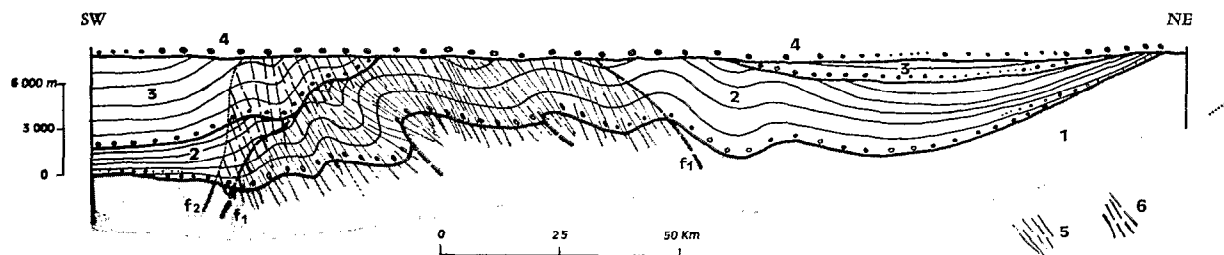


FIG. 1. — Schéma montrant l'allure de la chaîne hercynienne après la phase tardihercynienne.

1. Socle précambrien ; 2. Paléozoïque inférieur ; 3. Carbonifère et Permien inférieur et moyen ; 4. base des séries recouvrantes post-hercyniennes (Permien supérieur à Crétacé selon les secteurs) ; 5. schistosité éohercynienne ; 6. schistosité tardihercynienne. NOTA : ce schéma ne tient compte ni de la tectonique de distension ni de la mise en place des roches ignées hercyniennes.

Le métamorphisme général lié à cette chaîne est faible ; il est essentiellement fini-dévonien, sauf exceptions, et ne dépasse pas le stade des schistes verts à séricite et/ou chlorite.

Le magmatisme éohercynien semble faible, hors l'émission très tardive au tout début du Carbonifère, de laves andésitiques à dacitiques. Le magmatisme tardi-hercynien est plus marqué et lui aussi essentiellement post-tectonique : des masses granitiques assez importantes se sont mises en place ainsi que des laves et tufs andésitiques à rhyolitiques.

III. — LE SUBSTRATUM PRÉCAMBRIEN

Au Pérou, dès 1929, STEINMANN établissait par des arguments indirects l'existence d'un substratum métamorphique précambrien sur la Côte Sud et dans la Cordillère Orientale : ce substratum, affecté par une tectonique importante lors de la « *Marañonische Faltung* » aurait été recouvert, après une longue période d'érosion, par les séries ordoviciennes.

Néanmoins la discordance de base du Paléozoïque n'avait pas été clairement observée sur le terrain et ce n'est qu'en 1961 qu'EGELER et de BOOY la signalèrent au NW de Cuzco.

La discordance de base du Paléozoïque inférieur

Nombre d'observations récentes vérifient et permettent de généraliser les vues de STEINMANN.

WILSON et REYES (1964) décrivent à *Pataz* (7°45' S) une forte saute de métamorphisme équivalente à une discordance angulaire entre des micaschistes, qu'ils attribuent au Précambrien et au Cambrien, et des schistes à graptolites de l'Ordovicien inférieur.

A *Huacar* (10°7' S, 32 km au S de Huanuco), des séricitoschistes affectés de nombreux microplis sont recouverts en discordance angulaire nette (DALMAYRAC, 1970) par une série non schistosée comportant une trentaine de mètres de conglomérats et de quartzites suivis de pélites datés du Llanvirn inférieur par des graptolites. Par 11° S, 17 km à l'E-NE de *Junín*, une série rythmique schistosée du Paléozoïque inférieur, débutant par un conglomérat, repose en discordance angulaire sur des séricitoschistes à tectonique polyphasée (B.D. et F.M.).

Dans la *Cordillère de Vilcabamba* (13°15' S) au NW de Cuzco, EGELER et DE BOOY (1961) font état d'une discordance angulaire générale entre les schistes à graptolites de l'Arenig-Llanvirn et un complexe métamorphique qu'ils attribuent au Précambrien. Un peu plus au nord, la route Calca-Quelluno-Quillabamba recoupe un dôme d'orthogneiss surmonté d'amphibolites, de micaschistes et de quartzites, recouverts à leur tour par une série très peu métamorphique de schistes ampélitiques du Paléozoïque inférieur. Les mêmes relations se retrouvent dans la *vallée de Marcapata*, 100 km à l'est de Cuzco (OPPENHEIM, 1946 ; et AUDEBAUD et CAPDEVILA, com. orale). Enfin, à la *frontière de la Bolivie et de l'Argentine*, le Trémadoc bien daté recouvre une épaisse série détritique attribuée au Cambrien discordante sur un substratum métamorphique et cristallin (TURNER, 1964b).

Le substratum de la chaîne hercynienne est donc constitué par des terrains métamorphiques et cristallins recouverts, en *discordance angulaire*, par des terrains peu ou pas métamorphiques de l'Ordovicien inférieur où quelquefois, d'âge cambrien probable. Il semble donc logique d'attribuer à ce substratum un âge *précambrien*.

Caractéristiques et extension du socle précambrien (fig. 2)

Il comporte essentiellement une série détritique très épaisse avec de rares intercalations carbonatées et une série volcanosédimentaire. Cet ensemble a été affecté par une tectonique polyphasée (DALMAYRAC, 1970) et par un métamorphisme d'intensité variable dont les produits vont du faciès schiste vert au faciès amphibolite profond (AUDEBAUD et al., 1971).

Dans la plupart des massifs précambriens, on trouve un cortège de roches basiques et ultrabasiques préorogéniques, des granitoïdes anatectiques autochtones ou parautochtones syn = à tarditectogéniques et des granites allochtones post-tectoniques.

Les caractéristiques que nous venons de définir se retrouvent dans de nombreux affleurements limités par des failles : c'est le cas au Pérou pour les gneiss et micaschistes du rio Tarma, de Comas et du Huaitapallana, tous situés entre 11 et 12° S.

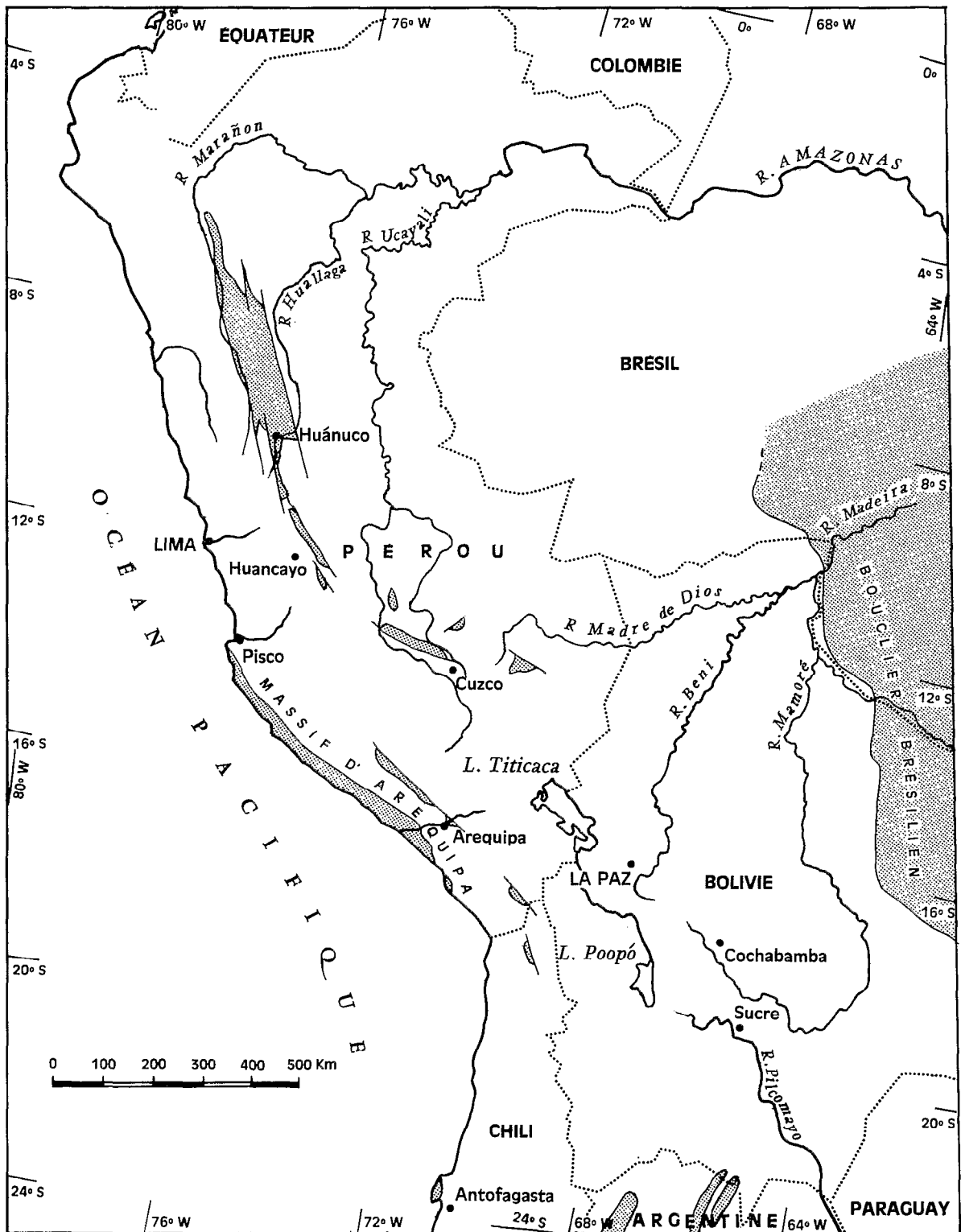


FIG. 2. — Carte schématique des affleurements précambriens (en grisé).

Un complexe métamorphique présentant les mêmes caractéristiques affleure à partir de 14° S sur la Côte et dans les vallées encaissées du versant pacifique des Andes Occidentales, tant au Pérou qu'au Chili ; il est recouvert en discordance par du Dévonien inférieur peu plissé dans la vallée du rio Majes (16°30' S, J.P.).

En première approximation, il semble qu'il y ait une grande similitude dans la composition lithologique, le comportement tectonique et l'intensité du métamorphisme des substratums précambriens de la Côte sud-péruvienne et des Andes Orientales du Pérou et de la Bolivie. Une même chaîne précambrienne aurait occupé ces domaines, remobilisant les restes d'un orogène plus ancien matérialisé par les dômes d'orthogneiss.

Une étude plus détaillée permettrait sans doute de vérifier cette hypothèse de travail et d'établir une comparaison avec le bouclier brésilien où ont été définis plusieurs cycles orogéniques, dont un cycle tardif à 500 - 600 MA.

IV. — DESCRIPTION DE LA SÉRIE PALÉOZOÏQUE

Le Paléozoïque a été découvert dès 1842 par d'ORBIGNY au Pérou et en Bolivie.

En Bolivie, sa partie inférieure est très épaisse, peu ou pas métamorphique et souvent très fossilifère : elle est déjà bien connue, notamment par les travaux de KOZLOWSKI (1923) et de BRANISA (1965) et son étude détaillée est actuellement en cours (Travaux de Yacimientos Petroleros Fiscales de Bolivia et de GEOBOL). Cette stratigraphie classique vaut également pour le SE du Pérou. Dans le reste du Pérou, le Paléozoïque inférieur encore mal connu est très tectonisé, aussi sa division en unités cartographiables n'est-elle pas réalisée.

Les séries permo-carbonifères sont par contre complètes au Pérou où elles sont en grande partie marines et ont été étudiées en détail par NEWELL, CHRONIC et ROBERTS (1953) ; en Bolivie, le Carbonifère se présente sous un faciès Gondwana continental suivi par le Permien inférieur marin ; le Permien supérieur n'est pas représenté.

Quelques séquences typiques du Paléozoïque sont représentées dans la figure 3.

A. *Le Paléozoïque inférieur*

Le Cambrien

La présence de Cambrien n'a été décelée que dans quelques zones peu étendues de la Bolivie :

— à la frontière Bolivie-Argentine, des grès et quartzites vraisemblablement cambriens sont surmontés par des séries fossilifères attribuées au Trémadoc (HARRINGTON et LEANZA, 1957). Ce Cambrien est plus complet dans le Nord Argentin où il mesure près de 3 000 m et repose en discordance sur du Précambrien (Turner, 1964b) ;

— dans le Centre de la Bolivie, région de Limbo (17°15' S), sous un puissant conglomérat attribué à l'Ordovicien (P.T.), FRAENKL (1959) décrit une série d'évaporites surmontées par des schistes, calcaires et dolomies et propose un âge cambrien pour cet ensemble épais de 500 à 800 m. Cette séquence, inconnue ailleurs dans les Andes, présente par contre de nombreuses analogies avec celle de la région de Corumba, ville-frontière brésilienne, attribuée également au Cambrien par BEURLEN et SOMMER (1957), à la suite de la découverte d'une algue, *Aulophycus*.

L'Ordovicien

Les sédiments d'âge ordovicien constituent la majeure partie des affleurements des Andes Orientales de Bolivie et du sud-est du Pérou jusqu'à la Cordillère de Vilcabamba (13° S). Plus au nord, ils ne sont connus qu'en des points isolés.

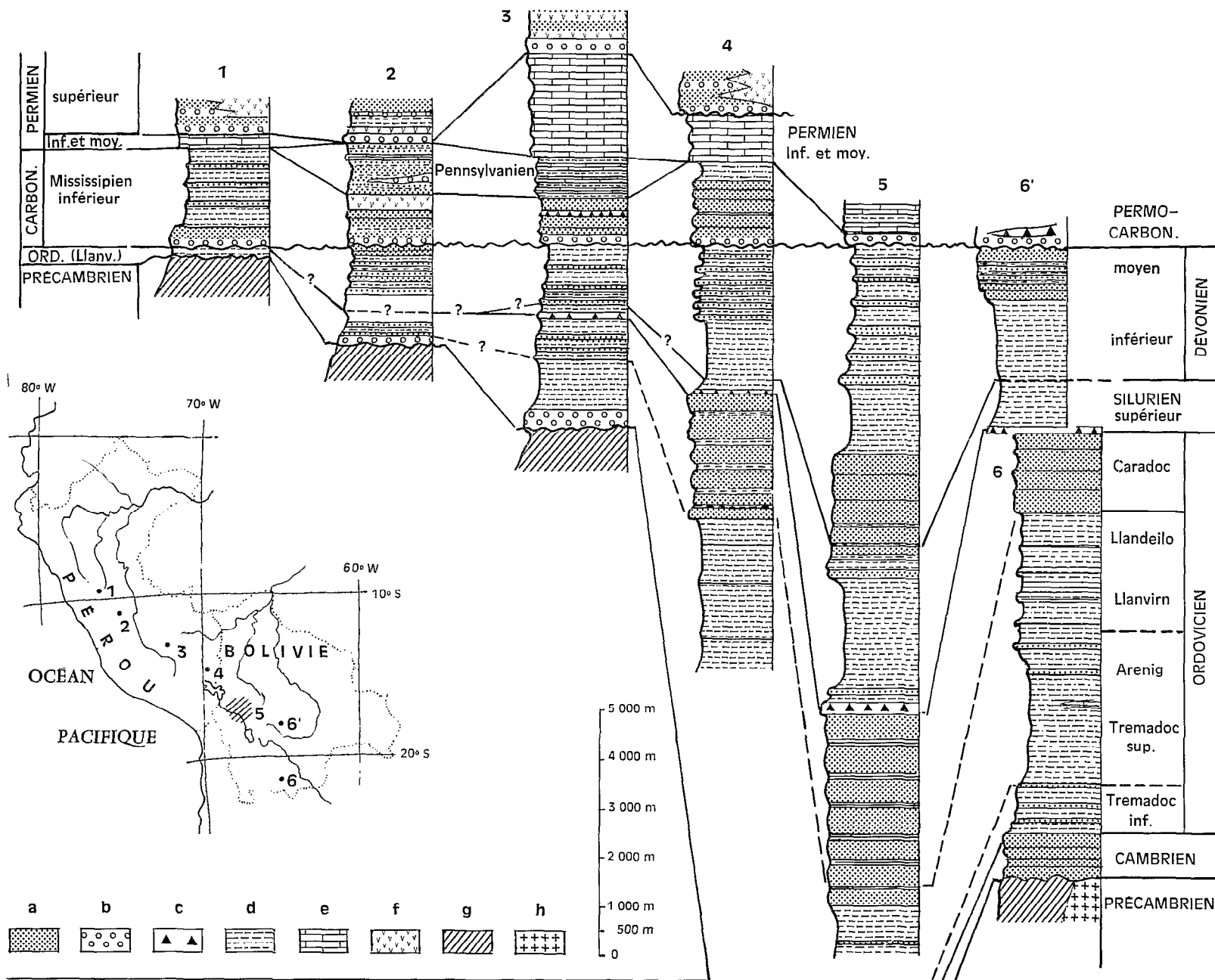


FIG. 3. — Les séries du Paléozoïque dans la chaîne hercynienne du Pérou et de Bolivie.

a. grès ; b. conglomérats ; c. tilloïdes ; d. shales ; e. calcaires ; f. volcanites ; g. schistes métamorphiques ; h. roches intrusives.

L'Ordovicien présente en général une grande monotonie de faciès et son épaisseur atteint 6 000 à 7 000 m en Bolivie.

Dans la *partie NW de l'Argentine* et dans la *région de Tarija*, dans le Sud bolivien, HARRINGTON et LEANZA (1943, 1957) apportent les bases d'une stratigraphie de l'Ordovicien (fig. 3, colonne 6) que complètent TURNER (1964b) pour l'Argentine, BRANISA (1960) et les travaux récents de GEOBOL pour la Bolivie. Le Trémadoc grésopélimitique, localement conglomératique et faiblement discordant, repose sur le Cambrien. Au-dessus, l'Arenig, le Llanvirn et le Llandeilo sont représentés par 6 000 m de grès et de schistes bien fossilifères où des zones paléontologiques ont pu être différenciées (fig. 4).

Au nord du parallèle 19° S, l'Ordovicien moyen et supérieur est seul connu dans les Andes Orientales peruano-boliviennes, à l'exception peut-être de la région de Limbo.

Dans la *Cordillère Royale*, près de La Paz, une étude récente (MARTINEZ, SUAREZ et SUBIETA, 1971) montre que l'Ordovicien moyen et supérieur fossilifère mesure approximativement 4 000 m. Il comprend un Llanvirn bien daté correspondant à 1 000 m de schistes noirs qui deviennent de plus en plus gréseux vers le sommet, cependant que l'ensemble Llandeilo (?) -Caradoc quartzitique et grésopélimitique atteint 3 000 m d'épaisseur (fig. 3, colonne 5). Cet Ordovicien supérieur devient plus argileux et très fossilifère (BULMAN, 1931) dans le NW de la Cordillère Orientale.

Cette séquence se reconnaît également au Pérou (colonnes 3 et 4) *jusque dans la Cordillère de Vilcabamba* : une série grésopélimitique non datée passant parfois à de véritables flyschs se superpose à des schistes souvent ampélimitiques à graptolites et trilobites de l'Arenig et du Llanvirn (EGELER et DE BOOY, 1961) ; ces mêmes auteurs signalent la présence d'un volcanisme d'âge paléozoïque inférieur qui commencerait dès l'Ordovicien par la mise en place de rhyolites, dacites et andésites au cours de la sédimentation, notamment sous forme de tufs. Les observations de R.M. n'ont pas permis de confirmer ce fait. Une partie au moins de ces volcanites, dont l'âge précis reste à déterminer, est recouverte en concordance par un conglomérat de plus de 300 m d'épaisseur surmonté par des schistes à Trilobites et Graptolites de l'Ordovicien au long de la route Ollantaytambo-Quelluno-Quillabamba ; une autre partie, qui affleure sur la rive gauche du rio Urubamba, appartient probablement au Permien supérieur (groupe Mitu).

Entre 13° S et 11°15' S on ne connaît pas d'Ordovicien daté, mais les grès et schistes en partie ampélimitiques qui affleurent dans la partie orientale de la feuille de Huanta (12°30' S, 74° W ; F.M.) lui appartiennent vraisemblablement. Cette série de Huanta contient par ailleurs une curieuse intercalation calcaire à restes d'encrines associée à des grès verts à éléments volcaniques, que l'on retrouve dans la série du dôme de Yauli, situé dans la Cordillère Occidentale par 11°45' S.

Par 10° S, on retrouve dans la région de Huanuco (colonne 1), des graptolites du Llanvirn inférieur (LEMON et CRANSWICK, 1956) dans des séries plus minces que celles du sud du Pérou ; rappelons qu'à Huacar elles reposent directement sur le Précambrien. Sur la feuille de Patay par 7°45' S, sur la rive gauche du Rio Marañon, WILSON et REYES (1964) signalent un Ordovicien inférieur et moyen à graptolites.

Enfin, dans l'*Amazonie péruvienne*, le cœur de l'anticlinal de Contaya (74°34' W, 7°9' S) montre des shales noires à graptolites du Llanvirn (NEWELL et TAFUR, 1943).

Le Siluro-Dévonien

De même que les autres subdivisions du Paléozoïque inférieur, le Siluro-Dévonien est plus complet et a été mieux étudié en Bolivie qu'au Pérou. Parmi les nombreux travaux s'y rapportant, citons celui de KOZLOWSKI (1923), classique pour le centre et le sud des Andes Boliviennes, et ceux de BRANISA (1965) et WOLFART et VOGES (1968) qui proposent des séries-type pour l'Altiplano et la Cordillère Orientale. Dans ces deux dernières régions, il y a accord sur la succession lithologique, mais la position de la limite entre le Silurien et le Dévonien est discutée (cf. RODRIGUEZ et DAVILA, 1968, et BRANISA, 1969), ainsi que la présence de Dévonien supérieur.

Partout en Bolivie le niveau de *tilloïde Zapla* ou Cancañiri, connu depuis le NW de l'Argentine, forme la base du Silurien. D'âge Wenlock, il repose directement sur le Caradoc ; la lacune de l'Ashgill et

de tout le Silurien qui en résulte est attribuée par TURNER (1964b, 1970), dans le NW argentin, à un plissement et un soulèvement d'âge taconique. Mais en Bolivie il y a toujours concordance parfaite à l'échelle de l'affleurement entre l'Ordovicien et le Wenlock ; aussi il est plus logique d'y justifier cette lacune par des mouvements *épirogénétiques*.

La colonne stratigraphique 6' établie d'après la coupe observée à Pojo, est typique de la *Cordillère Orientale sud-bolivienne* : le Siluro-Dévonien y mesure 3 700 m et le Silurien et le Dévonien inférieur y présentent un faciès euxinique. Plus à l'ouest vers Sucre, la série ne mesure que 2 000 m et se charge en éléments détritiques.

Sur l'*Altiplano nord-bolivien* le Dévonien atteint son épaisseur maximum (9 000 m) et se présente en partie sous un faciès flysch (colonne 5).

Dans le *sud du Pérou*, la série se réduit notablement : 3 000 m approximativement vers le lac Titicaca (colonne 4), 1 000 à 2 000 m dans la région du Cuzco (colonne 3). Jusqu'alors, on acceptait une lacune générale du Silurien en territoire péruvien que seul KATZ (1959) avait mise en doute. Depuis des fossiles siluriens ont été découverts un peu à l'ouest du Titicaca, entre Lampa et Calapuja (MÉGARD et BOUCOT, 1970) et DAVILA et PONCE DE LEON (1971), dans la basse vallée du rio Inambari, puis R.M. dans la Cordillère de Vilcabamba, ont observé un niveau de tilloïdes équivalent du Zapla : le Silurien s'étendrait donc vers le nord au moins jusqu'au parallèle 12°30' S.

Plus au nord le Dévonien moyen a été signalé par HARRISON (1943) dans la *région de Huancayo et Tarma* (11° à 13° S) où de nouveaux fossiles collectés par J.P. et F.M. confirment sa présence ainsi que celle du Dévonien inférieur (déterminations A. PARDO) ; dans cette région, c'est le faciès flysch à dominante gréseuse qui prédomine, la séquence dépasse sans doute 2 000 m et il n'est pas exclu que d'autres systèmes puissent y figurer. Quant au Dévonien décrit par STEINMANN dans la région de Huanuco (1929, p. 23), il est vraisemblable qu'il s'agit de Mississipien marin (B.D. et déterminations de J. MURPHY). La présence de Dévonien a enfin été signalée par 6° S dans la *région d'Olmos* (G. PETERSEN, p. 20, 1949) et dans les *monts Amotape* (4° S, MARTINEZ, 1970).

Conclusion sur le Paléozoïque inférieur

Les séries du Paléozoïque inférieur connues dans la chaîne hercynienne sont toutes franchement marines, en général épaisses (2 000 à plus de 15 000 m) et parfois de type flysh. Elles ne sont, que l'on sache, jamais associées à des ophiolites ; seuls quelques pillow-lavas y ont été signalés par HARRISON (p. 73, 1943) en un point du Pérou Central.

Dans l'ensemble les séquences ordoviciennes et dévoniennes décrites ici ne paraîtraient pas exotiques en Europe ou en Afrique du Nord.

Le bouclier brésilien limitait vers l'est la mer du Paléozoïque inférieur : son faible relief explique les fluctuations de la ligne de rivage au gré des transgressions. Elle était au moins à certaines époques, partiellement limitée vers l'ouest par un môle précambrien analogue au Massif Pampéen du Nord de l'Argentine et situé dans son prolongement NW ; ce « *Massif d'Arequipa* », qui aura une signification tectonique importante au cours de l'orogénèse hercynienne (fig. 9) est émergé au moins en partie au cours du Cambrien, de l'Ordovicien et du Silurien ; partiellement envahi par la mer au Dévonien inférieur il reste zone positive au cours du Dévonien, du moins au niveau de 19° S, si l'on en juge par la réduction des épaisseurs et les changements de faciès qu'on observe d'est en ouest sur ce parallèle.

B. Le Paléozoïque supérieur

Le Paléozoïque supérieur repose sur différents termes du Paléozoïque inférieur et du Précambrien par une discordance angulaire très nette dans les parties axiales de la chaîne hercynienne ; hors de ces zones, cette discordance décroît et peut même disparaître (fig. 1).

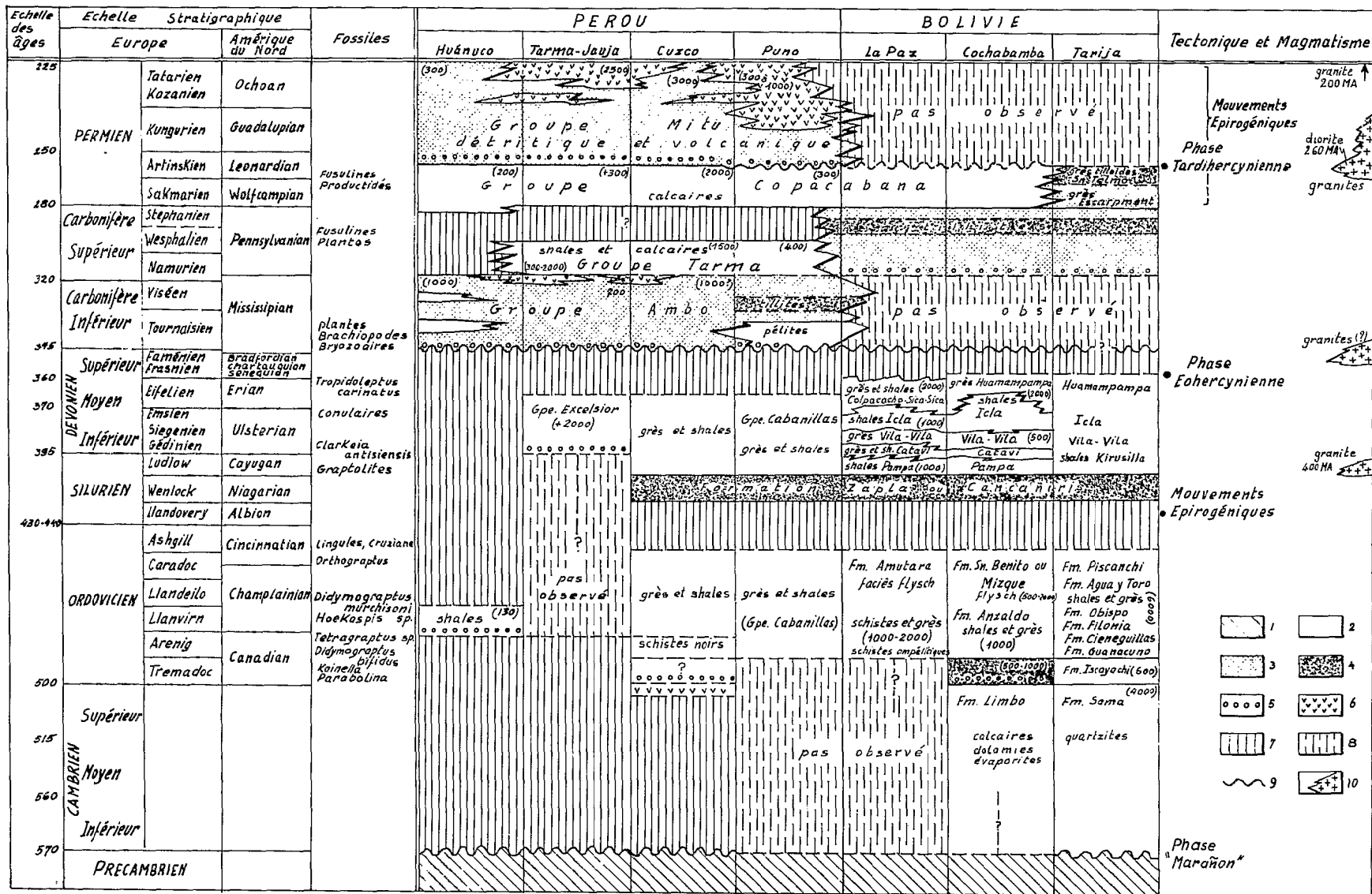


FIG. 4. — Tableau de corrélations stratigraphiques des formations paléozoïques du Pérou et de Bolivie.

1. Précambrien, terrains cristallophylliens et ignés; 2. sédiments marins; 3. sédiments continentaux; 4. tillites et tilloloïdes; 5. conglomérat de base; 6. volcanites; 7. lacunes de dépôt; 8. étages dont la présence est probable, mais non prouvée; 9. discordance angulaire; 10. mise en place de roches intrusives.

Au Pérou, ce Permo-Carbonifère est bien représenté tant dans la zone axiale qu'en bordure de la chaîne éohercynienne ; il a été étudié systématiquement par NEWELL *et al.* (1953). En Bolivie, on ne le connaît que hors des zones axiales.

Le Permocarbone au Pérou

Classiquement (NEWELL *et al.*, *op. cit.*), on y distingue de bas en haut :

- des molasses continentales mississippiennes (groupe Ambo) ;
- des sédiments marins de faciès variés d'âge pennsylvanien (groupe Tarma) et Permien inférieur à moyen (groupe Copacabana) ;
- des molasses rouges du Permien supérieur à fréquentes intercalations volcaniques (groupe Mitu) qui sont postérieures au cycle hercynien et dont nous parlerons à la page 20 de ce chapitre stratigraphique.

Le Mississipien

Ce sont des conglomérats, grès et pélites noires qui montrent souvent une sédimentation rythmique assez grossière, de type molassique. Essentiellement *continentaux* ils contiennent des intercalations charbonneuses et sont riches en restes de plantes étudiés dès le début du siècle (*cf.* STEINMANN 1929) et plus récemment par JONGMANS (1954), qui datent la série de la partie la plus inférieure du Mississipien. En plusieurs points du Pérou central et méridional, on y a récemment découvert des *intercalations marines* disposées le plus souvent vers la base de la séquence. Elles ont livré (2) des fossiles appartenant aux genres *Rhynchopora*, *Schellwienella*, *Syringothyris* et *Kitakamithyris* et proches d'espèces connues en Pennsylvanie (J. MURPHY, *com. écrite*) vers la base du Mississipien.

Vers le sommet de la séquence on trouve parfois d'importantes *intercalations volcaniques* : sur la feuille de Tarma (F.M. vers 11° S) 500 m de tufs pyroclastiques verts et de coulées dacitiques à rhyolitiques (3), couronnent la série ; à Huanta (F.M. vers 12°30' S) ce sont des andésites et des dacites violacées. Ce volcanisme a sans doute été explosif car nombre d'autres coupes montrent au sommet du Mississipien ou même à la base du Pennsylvanien des cinérites d'un vert parfois bleuté qui fournissent un excellent niveau repère dans la Cordillère orientale et la zone subandine du Centre et du Sud du Pérou.

L'épaisseur totale du groupe Ambo peut varier de zéro à plus de 1 000 m sur de courtes distances et atteint 2 000 m dans le secteur de Huanuco (B.D., 10° S).

Ce groupe est bien représenté dans la Cordillère orientale et la zone subandine depuis 7°30' S jusqu'au lac Titicaca ; il existe aussi sur la Côte Sud sous un faciès exclusivement continental, notamment à Paracas (*cf.* RÜEGG, 1957). Ses faciès et ses changements d'épaisseur témoignent de la destruction en cours des reliefs hercyniens, le volcanisme qui l'accompagne serait lié à la persistance de mouvements de distension.

Le Pennsylvanien

Le Pennsylvanien ou groupe Tarma repose en concordance sur le Mississipien ; il est *essentiellement marin* et ne comporte que rarement des intercalations de faciès continental. Il n'est bien représenté que dans le centre du pays, entre 10°30' et 13° S et ses faciès varient fortement d'ouest en est :

— dans la région de Tarma, localité-type, ce sont des grès et des pélites bruns ou noirs, fréquemment intercalés de calcaires sous forme de bancs, de lentilles ou de miches ; localement on y trouve des

(2) Cf. WILSON, REYES et GARAYAR (1967) et article en préparation de DALMAYRAC LAUBACHER, MÉGARD et MURPHY.

(3) Ce volcanisme a été décrit initialement par HARRISON (1956), qui le croyait anté-dévonien.

lentilles de grès ou même de conglomérats rouges. L'ensemble peut mesurer 500 m et contient de très nombreux fossiles, notamment des brachiopodes et des fusulines qui permettent de le dater du Pennsylvanien moyen ;

— plus à l'est (feuilles de Jauja, Andamarca, Pampas, Huanta) on passe à plus de 2 000 m de shales souvent associés à des grès en alternances centimétriques, dans lesquels s'intercalent des quartzites et des calcaires à goniatites ;

— plus à l'est encore, dans toute la zone subandine, le Pennsylvanien a été reconnu à la base d'un vaste ensemble carbonaté qui monte jusque dans le Permien : c'est la formation Muralla de certains géologues pétroliers, équivalent latéral des groupes Tarma et Copacabana. C'est sous ce faciès calcaire associé à des grès cinéritiques verts que le Pennsylvanien se retrouve dans une partie de la Cordillère Orientale du SE du Pérou.

Le Pennsylvanien est également présent sur la Côte Sud du Pérou sous forme d'une séquence de shales, grès et calcaires de plus de 500 m et dans les monts Amotape, à l'extrémité NW du pays, où 1 500 m de shales et de grès ont été mesurés par Chronic (*in* NEWELL *et al.*, *op. cit.*).

Le Permien inférieur et moyen

Au Carbonifère fait suite en concordance le Permien inférieur et moyen p.p., *marin* et très fossilifère, représenté par des calcaires avec quelques intercalations de shales (groupe Copacabana). Les travaux récents n'apportent pas de connaissances nouvelles sur ce groupe et le lecteur peut se référer intégralement à l'étude de NEWELL *et al.*, (*op. cit.*).

Le Permocarbonifère de Bolivie

Sur l'Altiplano et dans une partie de la Cordillère Orientale, les calcaires marins à fusulines du Permien inférieur et moyen p.p., précédés d'une série carbonifère mal datée dont l'épaisseur varie de quelques mètres à plus de 600 m, recouvrent le Paléozoïque inférieur. Le Carbonifère, de type *Gondwana*, débute souvent par un conglomérat avec de nombreux galets de quartz et de rares galets de granite ; il comporte des niveaux deltaïques et continentaux ainsi que des intercalations de tilloïdes. On le considère comme essentiellement pennsylvanien ; la présence de Mississipien, mentionnée notamment par LOHMAN (1970), n'a jamais été prouvée.

Le Gondwana typique affleure dans la région subandine où il surmonte toujours le Dévonien. Son épaisseur peut atteindre 2 000 m ; essentiellement continental, il est constitué de grès, de tilloïdes et de shales. Ces derniers, parfois marins, ont donné une faune qui serait carbonifère (*cf.* AHLFELD et BRANISA, 1960) ; les géologues pétroliers, s'appuyant sur des études de palinologie, mentionnent l'existence de Mississipien et de Pennsylvanien. L'âge de la partie supérieure de cette série est contesté : pour CHAMOT (1960), le Gondwana monte dans le Permien, pour LOHMAN (1970), il est exclusivement carbonifère.

La Paléogéographie au Carbonifère et au Permien inférieur et moyen p.p.

On n'en connaît que les grandes lignes : dans la chaîne éohercynienne les reliefs ne sont pas encore totalement détruits et des mouvements de distension continuent à se produire (*cf.* NEWELL *et al.*, 1953, p. 13 et KATZ, 1959) aussi la morphologie des bassins est-elle complexe.

Au Pérou, des terres émergées ne formant probablement pas une barrière continue subsistent vers la Cordillère Occidentale : par endroits les séries enregistrent la proximité d'une ligne de rivage, comme dans la région de Huancayo (MÉGARD, 1968). Un bassin étendu, persistant dans le temps et le plus souvent en communication avec la mer ouverte, s'est installé sur la zone subandine et une partie de la Cordillère Orientale, où il est remarquablement subsident entre les parallèles 11° S et 13° S.

En Bolivie, deux bassins subsidents où la sédimentation est essentiellement continentale occupent respectivement les parties nord et sud de la zone subandine, cependant qu'à l'ouest, sur la Cordillère

Orientale et l'Altiplano, la sédimentation s'effectue sur une plateforme. Ces trois aires de sédimentation sont épisodiquement en relation entre elles et avec le bassin péruvien (DUNBAR et NEWELL, 1946 ; AHLFELD et BRANISA, 1960). La tendance à l'émersion que l'on observe déjà en Bolivie à la fin du Paléozoïque se confirme durant le Mésozoïque en s'étendant au sud du Pérou ; la chaîne hercynienne devient alors une aire positive.

C. La limite supérieure de l'ensemble hercynien

C'est une discordance cartographique régionale très nette, parfois angulaire, qui fait reposer les séries post-hercyniennes sur des terrains paléozoïques d'âges variés ou même directement sur le Précambrien.

Au Pérou, le Permien supérieur, appelé groupe Mitu, fossilise le plus souvent la dernière tectonique hercynienne. Son faciès est remarquablement constant et le rend facilement cartographiable ; ce sont des molasses rouges à violacées : conglomérats, grès et pélites alternant en rythmes irréguliers et associés à des volcanites andésitiques à rhyolitiques : brèches, tufs et coulées, ou même à des intrusifs hypoabissaux ; cet ensemble mesure quelques centaines de mètres à 4 000 m. Connue dans les Andes et sur la Côte sud-péruvienne, il disparaît vers le nord du pays et vers le NE dans la zone subandine ; il est daté par son insertion entre le Léonardien moyen et le Norien, tous deux marins et fossilifères. Vers le SE ses derniers affleurements se trouvent au nord du lac Titicaca (KATZ, 1959).

En Bolivie, la présence du Permien supérieur n'a jamais été établie et les séries mésozoïques ou plus récentes reposent directement sur le Paléozoïque ; ces séries mésozoïques (4) sont continentales à la base et on n'y connaît aucun fossile, du moins dans le domaine de la chaîne hercynienne : on sait seulement qu'elles sont antérieures aux calcaires cénomaniens « Miraflores » (BRANISA, HOFFSTETTER et coll., 1966). Il sera donc difficile de dater les structures hercyniennes, en particulier en l'absence du Paléozoïque supérieur (cf. p. 23 et 24).

V. — LES STRUCTURES HERCINIENNES

Au Pérou, la chaîne hercynienne montre les effets de deux phases de déformation :

— la première a lieu au cours du *Dévonien supérieur*, c'est la *phase principale*, dite *éohercynienne* : elle se traduit par la discordance générale du Mississippien qui tronque les plis bien marqués du Paléozoïque inférieur ;

— la seconde a lieu au *Permien moyen* ; c'est la *phase tardihercynienne* dont les effets sont moins intenses : la discordance de base du Permien supérieur n'est en général qu'une discordance d'érosion (disconformity) accompagnée d'une transgression (overlap) sur des terrains allant du Permien inférieur au Précambrien.

La superposition de ces deux phases et leur rôle respectif n'ont été mis en évidence qu'en 1961 par EGELER et de BOOY dans la région de Cuzco. Nous sommes maintenant en mesure de préciser, dans une grande partie de la chaîne hercynienne du Pérou, le rôle de chacune de ces phases et nous avons entrepris l'étude systématique des structures correspondantes.

En Bolivie, l'âge des déformations et les relations entre les divers segments de la chaîne hercynienne sont des problèmes qui ne sont pas encore résolus, un certain nombre d'hypothèses pouvant être envisagées (cf. p. 25).

(4) Par la suite nous traiterons de ces séries continentales sous le vocable de « Crétacé », suivant un usage courant en Bolivie. Notons cependant que LOHMAN (1970) met en doute cette attribution d'âge et considère que la partie inférieure de ces séries est localement triasique.

A. La tectonique hercynienne au Pérou

Les structures éohercyniennes

Dans de nombreux secteurs, l'ensemble Carbonifère-Permien inférieur et moyen recouvre avec une forte discordance les structures éohercyniennes, en général caractérisées par de nombreux plis mineurs et une ou deux schistosités prononcées. Une discordance de ce type a été observée à proximité de la frontière bolivienne au nord du lac Titicaca (G.L.), entre le Mississippien et le Paléozoïque inférieur. Von BRAUN (1967) la décrit dans la Cordillère de Vilcabamba entre les calcaires du Permien inférieur et les séries précambriennes. On la retrouve à l'est de Huanta (13° S, F.M.) puis sur les feuilles de Huancayo (MÉGARD, 1968), Jauja (J.P.), La Oroya et Tarma (F.M.) comprises entre 11° S et 12°30' S et enfin dans la région de Huanuco (10° S, B.D.). On la connaît également à l'extrémité NW du pays dans les monts Amotape (PAREDES, 1967).

Dans toutes ces régions, les structures éohercyniennes sont bien caractérisées et ont un style très différent de celui des plis andins, qui le plus souvent sont les seuls à affecter le Paléozoïque supérieur. Par extension, on attribue un âge éohercynien aux structures de même style observées dans des séries précambriennes recouvertes directement en discordance par des terrains d'âge permien supérieur ou plus récents ; c'est notamment le cas dans l'anticlinal de Malpaso et le dôme de Yauli par 11°30' S et près de la côte dans le massif d'Olmos (6° S) ou au NW d'Ica (14° S, RÜEGG, 1957).

Les structures éohercyniennes appartiennent aux niveaux structuraux moyen et inférieur. Le niveau structural inférieur affleure dans la majeure partie de la Cordillère Orientale et permet de définir une zone axiale délimitée par le front supérieur de schistosité, dont on ne peut d'ailleurs préciser la position que dans le sud-est du pays.

Dans cette zone axiale, les plis sont souples et accompagnés de *schistosité* au moins dans les niveaux péliques ; leurs axes sont proches de l'horizontale ; ce sont en général des plis décimétriques à hectométriques et les grandes structures ont rarement été observées jusqu'à présent.

Ces plis sont anisopaques dans les niveaux péliques où on observe une schistosité de fracture très fine qui passe souvent à une schistosité de flux. Les bancs gréseux montrent en général des plis isopaques, dans les charnières desquels on observe des cisaillements obliques par rapport à la schistosité des pélites ; on y rencontre plus rarement des plis à flancs épaissis.

La schistosité est plan axial des plis, elle dessine des éventails assez fermés et son pendage est presque toujours proche de la verticale, les plis sont donc *droits* ou *légèrement déversés* et la chaîne dans son ensemble ne montre *pas de déversement préférentiel*.

Seul le secteur de la vallée de Sandia, au NNE du lac Titicaca, est une exception notable à cette règle ; on y observe en effet un grand pli souple couché vers l'WSW avec un flanc inverse d'une dizaine de kilomètres (fig. 8, A).

La plupart des structures ont une direction 130 à 150, qui peut aller exceptionnellement jusqu'à 170, mais la très grande majorité des mesures d'axes de plis et microplis, de directions de schistosité, de linéations d'intersection stratification-schistosité, se groupe autour de 130.

Des *structures polyphasées* sont connues dans de vastes secteurs. Dans le cœur du vaste anticlinal andin de Tarma-Huancayo (F.M.) au centre du Pérou, l'examen des plis décimétriques à faible plongement axial, à schistosité axiale proche de la verticale et de direction 130 montre qu'ils replissent des plis décimétriques de direction presque orthogonale et dont la direction primaire varie entre 45 et 60 : ce sont des plis fermés presque isoclinaux. Dans la Cordillère de Vilcabamba (R.M.), on observe les deux mêmes types de plis, mais là les plis de première phase sont proches de 130 et les plis de seconde phase proches de 60.

Enfin on peut prouver, notamment aux environs de Tarma (F.M.), l'existence de *failles normales* à fort rejet d'âge éohercynien, postérieures à la tectonique souple ; en effet, le Carbonifère inférieur repose sur du Dévonien dans un compartiment et directement sur du Précambrien dans l'autre ; la direction de ces failles est également proche de 130.

Hors des zones à forte déformation, la chaîne affleure peu ; seule la coupe A de la figure 8 (G.L.) montre des structures passant dans le niveau structural moyen de part et d'autre de la zone axiale : c'est le cas vers Juliaca, où on voit de vastes plis très ouverts, de direction 140, avec seulement une schistosité de fracture très grossière près des charnières.

Les structures tardihercyniennes

L'un des mérites du travail de NEWELL *et al.* a été de mettre en évidence la grande coupure tardihercynienne ; mais, contrairement à l'opinion de ces auteurs, cette coupure est plus frappante sur le plan stratigraphique que sur le plan tectogénétique. En effet, la discordance angulaire qui souvent met directement en contact les molasses rouges du Permien supérieur et les terrains éopaléozoïques ou même précambriens est en fait héritée soit de l'orogénèse éohercynienne, soit d'une orogénèse précambrienne.

Le dépôt de ces molasses a été précédé par une épirogenèse générale souvent accompagnée de magmatisme. Un plissement tardihercynien a également été reconnu dans un secteur de la Cordillère Orientale situé au nord du lac Titicaca ; il semble qu'il s'étende à la plus grande partie de la Bolivie (cf. p. 24 et 25).

Le plissement tardihercynien au nord du lac Titicaca

Entre Nuñoa et Macusani (fig. 5), le Carbonifère et le Permien inférieur plissés sont en effet recouverts en discordance angulaire par des conglomérats et des andésites très vraisemblablement d'âge permien supérieur (groupe Mitu, cf. KATZ, 1959 ; AUDEBAUD et LAUBACHER, 1969), suivies en concordance par des gypses et des calcaires d'âge crétacé inférieur probable. Un plissement se serait donc produit au Permien moyen dans cette région.

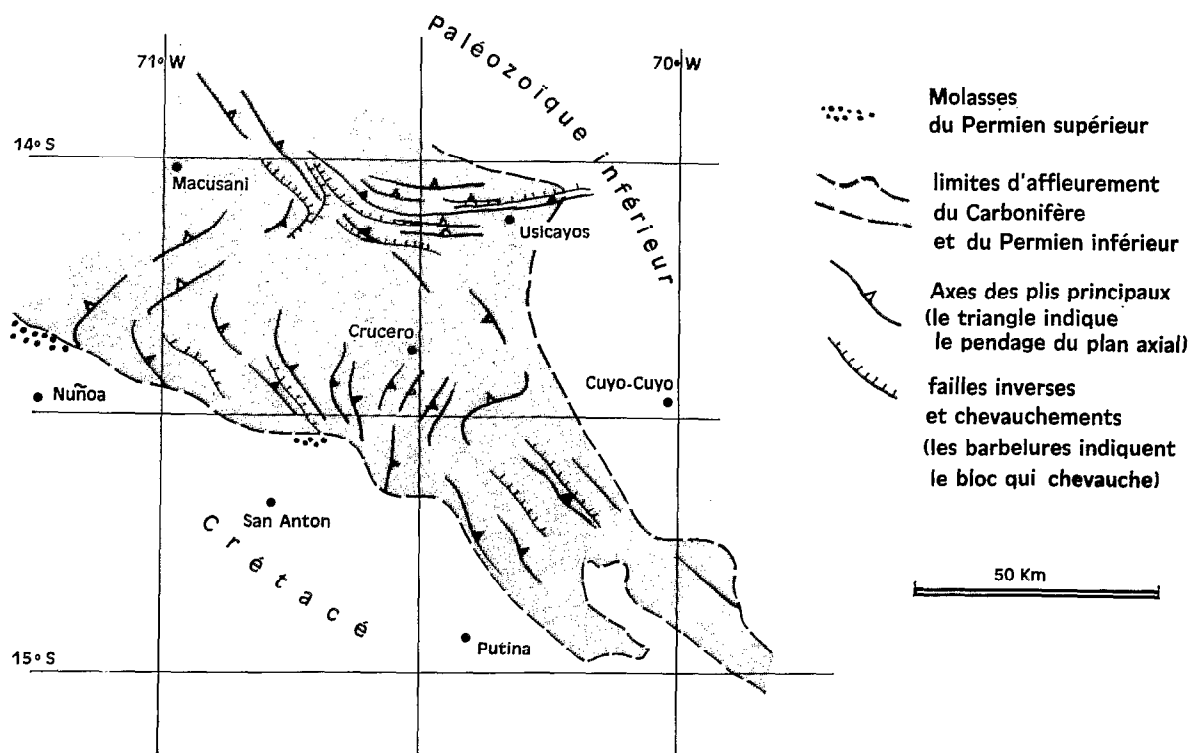


FIG. 5. — Les structures tardihercyniennes au nord du Lac Titicaca (une partie des chevauchements et failles inverses sont andins).

Les terrains du Carbonifère et du Permien inférieur forment de *grands plis* dont on peut souvent suivre les axes sur plus de 10 km ; ils sont *fortement dissymétriques*, souvent même couchés vers l'ouest, et leurs flancs inverses peuvent alors atteindre 1 km. Ils sont accompagnés de plis mineurs décamétriques à hectométriques de même direction. Ces structures se situent à proximité du front supérieur de schistosité : une schistosité de fracture ou de « strain-slip » apparaît au cœur de certains anticlinaux.

Ces plis dessinent une grande virgation qui n'affecte pas les molasses discordantes du Permien supérieur (fig. 4) et qui peut être interprétée comme une réaction de la couverture à un décrochement NW-SE dans le socle.

Il est vraisemblable que la discordance angulaire du Crétacé inférieur sur le Permien moyen signalée par RIVAS (1968) en Bolivie sur la rive NE du lac Titicaca est due à cette tectonique tardihercynienne.

L'épirogenèse et la tectonique cassante du Permien moyen

A une époque non précisée du Permien mais postérieure au Léonardien inférieur (NEWELL *et al.*, 1953, p. 18), un soulèvement général affecte la plus grande partie du territoire péruvien et aux niveaux marins du Permien moyen succèdent les molasses rouges volcanogènes du Permien supérieur (groupe Mitu). Elles ravinent des formations très variées mais, exception faite du secteur situé au nord du lac Titicaca, ne recouvrent jamais le Carbonifère-Permien inférieur avec une discordance de plus de quelques degrés.

La surrection se traduit donc vraisemblablement par un vaste bombement et le jeu de nombreuses failles longitudinales.

De fait, la cartographie que nous avons entreprise met en évidence, notamment dans le Pérou Central, de nombreuses *failles tardihercyniennes*. Par exemple, sur la feuille de Tarma, au sud de Tapo, (F.M.) une faille verticale qui met en contact des séricitoschistes précambriens et des pélites du Pennsylvanien est fossilisée par les conglomérats permien. C'est un cas rare car la plupart de ces failles ont rejoué au Crétacé et au Tertiaire, encore que l'on puisse en général calculer le rejet tardihercynien, souvent important. Très souvent, les molasses rouges recouvrent des substratums très différents dans des blocs faillés voisins : ainsi, à l'est de Junin (11° S) on les voit reposer en légère discordance d'érosion sur 1 500 m de Carbonifère dans un compartiment et, 2 km plus au NE, recouvrir directement le Précambrien dans un autre. Des observations semblables ont été faites dans de nombreux autres secteurs.

Ces failles ont joué en distension pendant un temps assez long avant et pendant le dépôt des molasses et ont probablement permis la montée des produits volcaniques du Permien supérieur.

Conclusion

Dans la chaîne hercynienne du Pérou, seule intervient la tectogenèse éohercynienne, d'âge dévonien supérieur, sauf dans le secteur situé au nord du lac Titicaca où un plissement tardihercynien, d'âge permien moyen probable, s'y superpose. Dans le reste du pays, le Paléozoïque supérieur ne montre que des mouvements verticaux qui deviennent particulièrement intenses à partir du Permien moyen et se traduisent notamment par la mise en place de molasses rouges grossières et de volcanites.

Le niveau structural inférieur affleure au long de la chaîne éohercynienne en une ceinture de direction 120 dont la largeur ne semble pas dépasser la centaine de kilomètres (fig. 9), flanquée par les affleurements du niveau structural moyen, qui sont beaucoup plus larges vers le SW que vers le NE.

A la latitude de Cuzco (13°30' S), les structures éohercyniennes s'infléchissent brusquement et prennent sur plus de 100 km une direction qui varie entre E-W et 60. Dans la même région, les structures andines principales passent également de leur direction habituelle, 130 à 160, à une direction proche de 90. Ces changements de direction définissent la « déflexion d'Abancay », que R. MAROCCO étudie plus en détail dans ce même Cahier. Le problème de l'âge de cette mégastucture n'est pas réglé. Reprenant brièvement les conclusions de R.M., nous noterons que deux solutions extrêmes sont possibles :

— ou la double virgation de l'Hercynien est originelle et les directions hercyniennes ont induit les directions andines dans ce secteur,

— ou la déflexion d'Abancay est une structure tardive qui modifie à la fois les directions hercyniennes et les directions andines...

On peut également envisager diverses solutions mixtes.

B. La tectonique hercynienne en Bolivie

En Bolivie, le Paléozoïque inférieur est intensément plissé et schistosé dans deux domaines (fig. 9) : l'un, dans le prolongement de la chaîne hercynienne du Pérou, a une direction constante 130 et on le suit jusqu'au « coude » de Santa Cruz ; l'autre, de direction subméridienne, occupe la majeure partie des Andes méridionales boliviennes et, vers le nord, s'infléchit vers l'ouest. A l'intérieur de ces zones on ne connaît pas de Paléozoïque supérieur, et le Crétacé repose directement sur la série précambrienne ; en dehors, le Paléozoïque inférieur est moins plissé et ne présente pas de schistosité, une séquence permocarbonifère complète la colonne stratigraphique.

L'âge des plissements

Si les observations permettent de dater une phase de plissement éohercynienne, il est par contre difficile d'établir l'âge de la phase de plissement tardi-hercynienne en raison de l'absence de Permien supérieur et d'une grande partie du Mésozoïque.

La discordance éohercynienne

Nous attribuons à la tectonique éohercynienne la discordance de base du Permo-Carbonifère. Ce Permo-Carbonifère n'est connu que dans les parties les plus externes de la chaîne :

— au nord du lac Titicaca et dans le nord de l'Altiplano, il repose sur divers niveaux du Dévonien inférieur et moyen avec une discordance angulaire ;

— dans le triangle Oruro-Cochabamba-Sucre, cette discordance est nette et à Morochata, 30 km au nord de Cochabamba, un conglomérat surmonté de calcaires à fusulines du Permien inférieur à moyen recouvre des plis qui affectent l'Ordovicien supérieur (AHLFELD et BRANISA, 1960, p. 93, revu par P.T.).

La discordance post-Permien moyen et pré-Crétacé

Les premiers terrains datés discordants sur le Paléozoïque plissé sont le plus souvent d'âge crétacé supérieur (Cénomaniens). La transgression crétacée s'est effectuée après une longue période d'émersion et de pénéplanisation d'une chaîne plissée dont les termes les plus récents sont d'âge permien moyen. La discordance s'observe aussi bien sur les terrains de la zone axiale avec schistosité que sur les structures du Paléozoïque inférieur et supérieur des zones externes, à l'exception de la zone subandine où toutes les structures sont dues à une orogénèse du Tertiaire supérieur.

Dans les zones axiales, deux exemples peuvent être cités :

— dans la région de Palca (Cl.M.), 20 km au SE de La Paz, une discordance de près de 90° s'observe entre des couches rouges crétacées et du Dévonien, cœur d'un synclinal renversé accompagné de plis mineurs et de schistosité ;

— dans le Sud bolivien, le Crétacé non schistosé du synclinal de Camargo (65°20' W) recouvre directement l'Ordovicien inférieur plissé et schistosé (Cl.M.).

En dehors des zones axiales, le Crétacé repose souvent avec une forte discordance angulaire sur le Paléozoïque inférieur et sur le Paléozoïque supérieur :

— à Sayari, sur la route Oruro-Cochabamba (17°45' S), cette discordance s'observe sur du Dévonien plissé et renversé (P.T.) ;

— à Luribay, 100 km au sud de La Paz, le Permo-Carbonifère est surmonté en discordance par un synclinal crétacé.

La discordance du Crétacé sur le Paléozoïque a été expliquée par des mouvements jurassiques — phase névadienne d' AHLFELD (5) — mais la nature et l'extension de cette phase tectonique n'ont jamais été mises en évidence. Il nous semble donc plus logique de rattacher les structures d'âge post-permien moyen à pré-crétacé au *plissement tardihercynien* tel qu'il a été défini dans le sud du Pérou (AUDEBAUD et LAUBACHER, 1969 ; LAUBACHER, 1970).

Les structures hercyniennes

En Bolivie, les structures hercyniennes se groupent en deux segments : l'un, septentrional, prolonge les structures péruviennes, l'autre, méridional et de direction N-S, se poursuit dans le Nord Argentin. Les structures hercyniennes de Bolivie ont de nombreuses caractéristiques en commun avec les structures hercyniennes du Pérou, et ont l'avantage d'être beaucoup mieux exposées.

Dans la zone axiale septentrionale de direction 120 (Cl.M. et P.T.), la disposition en éventail de la schistosité et des plis est particulièrement nette et la position du front supérieur de schistosité bien connue (fig. 8, B et C) ; il s'établit presque toujours à proximité de la base du Silurien, où la charge lithostatique devait déjà être considérable, puisque le Siluro-Dévonien dépasse souvent 7 000 m. Par ailleurs le facteur lithologique intervient très nettement dans l'apparition et l'extension de la schistosité : ainsi dans la Cordillère Royale, les grés massifs très épais de l'Ordovicien supérieur sont presque tabulaires et ne présentent pas de clivage schisteux, quoique situés sous le front de schistosité.

A l'extrémité SE de ce segment, une tectonique polyphasée a été reconnue dans le Paléozoïque inférieur (P.T.) : des plis N-S métriques à décamétriques à fort plongement axial semblent replissés par des plis dont la direction varie entre E-W et 130.

Dans le segment méridional de direction N-S (Cl.M. et T. SUBIETA), une schistosité subverticale affecte la majeure partie des terrains de la Cordillère Orientale essentiellement constitués d'Ordovicien, le niveau structural moyen ne s'observant que dans les terrains siluro-dévonien à la limite de la zone subandine (fig. 8, D). A l'est de la faille de Camargo, les plis sont amples et la schistosité semble surtout liée à une forte charge. A l'ouest de cette faille, les plis sont beaucoup plus serrés et la compression intervient plus nettement dans le développement de la schistosité. Par ailleurs, il semble que l'on puisse définir une première phase qui se manifeste par des ondulations EW de grande amplitude, dont l'interférence avec les plis NS de la phase principale provoque la formation de plis coniques dont le plongement axial peut atteindre 45°.

Hors de ces domaines à déformation forte ou moyenne, et notamment dans la région Oruro-Cochabamba-Sucre (P.T.) on reste dans le niveau structural moyen caractérisé par des plis cylindriques sans schistosité. Il en est en général de même sur l'Altiplano.

Conclusion

L'étude des discordances et la différence entre les styles de plissement hercynien et andin permettent de caractériser une chaîne hercynienne constituée par deux zones axiales très déformées séparées par une zone à déformation plus faible.

Les relations entre ces zones sont encore mal connues, et plusieurs hypothèses peuvent être proposées pour expliquer l'aspect particulier de la chaîne hercynienne en Bolivie (Cl.M. et P.T., 1970) :

— l'une suppose la présence d'une virgation au niveau du « coude de Santa Cruz », par 18° S ; cette virgation aurait pu être préfigurée par la disposition du bassin paléozoïque ;

(5) AHLFELD (1970) est en faveur de mouvements névadiens et n'admet pas la possibilité de mouvements tardihercyniens. Par ailleurs, il est opposé à l'existence d'une chaîne éohercynienne, écrivant simplement : « In Paläozoikum herrscht Konkordanz », ce qui semble contredire ses propres observations (par exemple, dans AHLFELD et BRANISA, 1960, pp. 83 et 93).

— une autre suppose l'existence de deux phases de déformation successives avec des orientations différentes et des zones d'intensité maxima distinctes ;

— une dernière, enfin, serait qu'un grand accident E-W du socle (ROD, 1960 ; AHLFELD, 1970) dans la région du « coude » affecte la chaîne de telle manière que les niveaux structuraux profonds viennent au contact des niveaux supérieurs.

L'âge de la déformation principale n'est pas connu et on ne sait pas à quelle phase, éohercynienne ou tardihercynienne, sont dus la schistosité et le métamorphisme général observés dans les zones axiales.

En dehors de la zone axiale septentrionale, dans le nord de l'Altiplano, les déformations post-permiennes-précrétacées sont très intenses, alors que la tectonique éohercynienne ne se manifeste que par une faible discordance. Cela permet de supposer que, localement au moins, la phase tardihercynienne est plus importante que la phase éohercynienne.

Dans la région Oruro-Cochabamba-Sucre, deux directions de plissement orthogonales peuvent être observées ; il est prématuré d'établir des relations précises entre les deux phénomènes.

Peut-être avons-nous en Bolivie *deux chaînes distinctes*, l'une éohercynienne, l'autre tardihercynienne, avec des caractéristiques structurales et des zones d'extension différentes. Toujours est-il que le Crétacé discordant s'est déposé sur une pénéplaine qui est le résultat du démantèlement de la chaîne hercynienne, devenue zone positive dès le Permien moyen en Bolivie.

C. Le métamorphisme hercynien

L'existence d'un métamorphisme régional faible dans les séries du Paléozoïque inférieur plissées avant le cycle andin est notée dès 1924 par McLAUGHLIN dans le Centre du Pérou. STEINMANN (1929, p. 17), puis HARRISON (1943) admettent également qu'une partie des séries faiblement métamorphiques de la Cordillère Orientale peuvent être ordoviciennes ou siluriennes, les autres étant précambriennes.

Les observations que nous avons faites sur le métamorphisme des séries du Paléozoïque inférieur au Pérou et en Bolivie vont dans le même sens que celles de nos prédécesseurs. Il s'agit d'un métamorphisme d'âge hercynien qui ne dépasse pas les conditions du faciès schistes verts s.l. Ses minéraux sont toujours disposés dans les plans d'une schistosité souvent plan axial des plis isoclinaux d'une première phase : c'est le cas, par exemple, dans le dôme de Yauli et l'anticlinal de Malpaso (centre du Pérou) où cette schistosité primaire est reprise par une schistosité de crénulation due à une phase tardive.

Cependant, dans quelques secteurs comme les vallées de San Gaban dans le sud du Pérou ou de Zongo dans le nord de la Bolivie, des intrusions syntectoniques élèvent la température et le gradient géothermique, engendrant un métamorphisme de type intermédiaire de basse pression caractérisé par les associations andalousite + cordiérite + staurotide, andalousite + staurotide + grenat,... (J.P. BARD et R. CAPDEVILA, *com. orale*).

La mise en évidence de remaniements hercyniens dans les formations métamorphiques du socle précambrien reste encore problématique, notamment sur le plan de la reconnaissance de paragenèses d'âge hercynien au sein de ces formations.

D. Commentaire de quelques coupes de la chaîne hercynienne

Coupe rio Marañon-Ambo et Huanuco-Las Palmas (fig. 6), par B. DALMAYRAC

Cette coupe se situe dans la Cordillère Orientale péruvienne, aux environs de 10° S. Sa partie occidentale, de direction E-W, part de la vallée du rio Marañon et rejoint le village d'Ambo dans la vallée du rio Huallaga. Sa partie orientale, de direction SW-NE, joint Huanuco, ville située 30 km au NNW d'Ambo, à Las Palmas, dans la zone subandine ; elle suit la route Huanuco-Tingo Maria, qui recoupe diagonalement le coude que fait à ce niveau le rio Huallaga.

Un peu à l'ouest d'Ambo, le Llanvirn fossilifère repose en discordance angulaire nette sur un complexe précambrien métamorphique affecté par de nombreux replis mineurs.

Ce Précambrien forme le soubassement de toute la région ; il n'est visible qu'en quelques points de la vallée du Marañon puis affleure largement à l'ouest d'Ambo dans la Quebrada de Chaupihuaranga (DALMAYRAC, 1970) ; il forme enfin tout le massif situé au NE de Huanuco et entre en contact avec la zone subandine par une faille inverse à fort rejet. La partie occidentale de ce complexe précambrien est constituée par des schistes épimétamorphiques polystructuraux dont le degré de métamorphisme augmente vers l'est jusqu'à atteindre le faciès amphibolite au niveau de Huanuco. Plus à l'est encore, on retrouve le faciès épimétamorphique suivis de roches du faciès amphibolite dans la partie la plus orientale de la coupe.

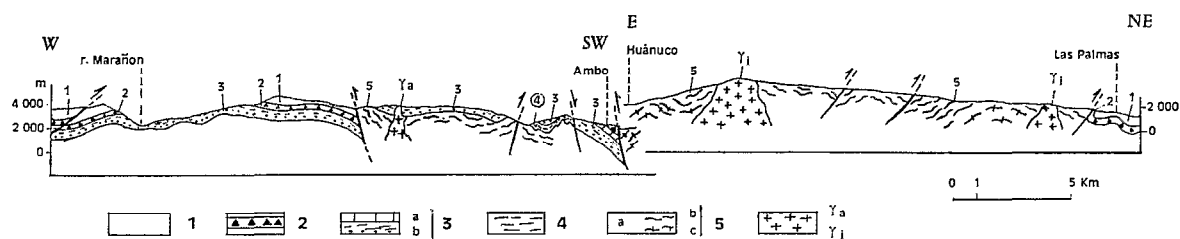


FIG. 6. — Coupe rio Marañon-Ambo (W-E) et Huanuco-Las Palmas (SW-NE).

1. Mésozoïque ; 2. Permien supérieur ; 3. a Permien inférieur, b Mississipien ; 4. Ordovicien ; 5. Précambrien, a indifférencié, b faciès schistes verts, c faciès amphibolite ; γ_a . Granites andins ; γ_b . Granites d'âge indéterminé.

Le Paléozoïque inférieur n'est représenté que par un Ordovicien pélitique peu épais assez faiblement tectonisé par la phase éohercynienne : il forme des plis assez ouverts avec une légère schistosité. Des failles postérieures à ces plis ont permis l'individualisation de compartiments dans lesquels le Carbonifère discordant s'est déposé soit sur l'Ordovicien, soit directement sur le socle précambrien.

Le Paléozoïque supérieur commence par le Mississipien continental à intercalations marines, dont Ambo est la localité-type au Pérou (NEWELL *et al.*, *op. cit.*), suivi en concordance par les calcaires marins du Permien inférieur puis par le Permien supérieur molassique rouge. La phase tardihercynienne ne correspond qu'au rejeu de quelques failles.

Cette coupe semble se situer près du bord NE de la chaîne hercynienne.

Coupe San Cristóbal-Tarma-La Merced (fig. 7) par F. MÉGARD

Cette coupe, approximativement SW-NE et située entre 11° et 12° S, part de la mine de San Cristóbal, sur le bord est de la Cordillère occidentale, traverse le dôme de Yauli, les Hauts Plateaux centraux, puis la Cordillère orientale et se termine dans la zone subandine. Elle suit à peu près le tracé de la route Lima-La Merced.

C'est à la faveur des structures anticlinales andines que le substratum hercynien et précambrien apparaît successivement du SW vers le NE, dans le dôme de Yauli, l'anticlinal de Malpaso (15 km au NW de notre coupe, au niveau de La Oroya) et enfin le vaste anticlinorium de la Cordillère orientale composé de l'anticlinal de Tarma, du complexe synclinal de Ricran et de l'anticlinal de Huacapistana.

Les événements tardihercyniens

Sur cette coupe les événements tardihercyniens se traduisent par :

— la mise en place du grand stock granitique de La Merced, (cf. p. 35) ;

- une tectonique cassante d'âge permien moyen très nette dans la région de Tarma ;
- un volcanisme particulièrement bien développé au niveau du dôme de Yauli où les neuf dixièmes de la séquence du Permien supérieur, épaisse d'au moins 1 000 m, sont des brèches et des coulées andésitiques à dacitiques ;
- une tectonique très tardive qui affecte les molasses vulcanogènes du Permien supérieur, donnant quelques plis ouverts dans le dôme de Yauli et des failles dans la région de Tarma, et qui est fossilisée par le Norien marin transgressif. A ma connaissance aucune tectonique de cet âge n'avait été signalée jusqu'alors au Pérou ou en Bolivie.

Néanmoins, il n'y a de discordance régionale significative ni entre le Mésozoïque et le Permien supérieur, ni entre le Permien supérieur et le Carbonifère.

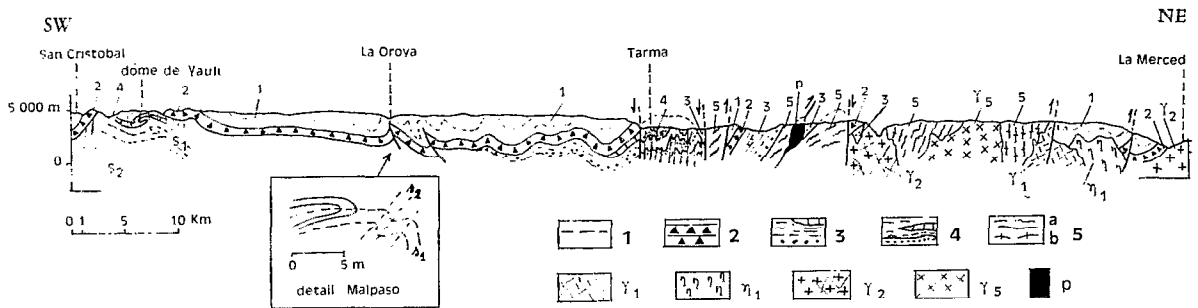


FIG. 7. — Coupe San Cristobal-Tarma-La Merced.

1. Mésozoïque et Cénozoïque ; 2. Permien supérieur ; 3. Mississipien et Pennsylvanien ; 4. Paléozoïque inférieur ; 5. Précambrien, a schistes à chlorite et séricite, micaschistes, b gneiss ; γ_1 . Granites andins ; η_1 . Diorites andines ; γ_2 . Granites tardihercyniens ; γ_5 . Granites d'anatexie précambriens ; p. roches ultrabasiqes précambriennes.

Le plissement éohercynien

La seule discordance hercynienne est *éohercynienne* : on l'observe clairement vers Tarma entre le Mississipien ou le Pennsylvanien et le Dévonien moyen plissé ; la discordance du Permien supérieur sur le Paléozoïque inférieur plissé et épimétamorphique qu'on relève à Yauli ou Malpaso est vraisemblablement hercynienne elle aussi.

Les séries peut-être ordoviciennes de Yauli et Malpaso sont des schistes et quartzites épimétamorphiques du faciès schiste vert à tectonique polyphasée : dans le dôme de Yauli, vers Andaychagua, des plis à fort pendage axial vers 60 et déversés au NE replissent une schistosité plus ancienne parallèle à la stratification ; dans l'anticlinal de Malpaso la phase I donne des plis couchés isoclinaux d'axe 60 horizontal dont la schistosité axiale est replissée au cours d'une deuxième phase par des plis en genou de direction 130, métriques à décamétriques.

Dans les flyschs dévoniens de Tarma, les structures les plus fréquentes sont des plis décamétriques à hectométriques, droits ou légèrement déversés vers le SE et de direction 120 à 150 avec des pendages axiaux qui atteignent 30° ; ces plis sont concentriques dans les niveaux quartzitiques, et tendent à devenir semblables dans les niveaux pélitiques, où leur schistosité de plan axial est nette. Une vingtaine de kilomètres plus au sud, nous avons observé des plis isoclinaux appartenant à une phase antérieure, de direction à peu près perpendiculaire aux plis à 130 et replissés par ces derniers.

Tant par leur dimension que par leur style, ces structures éohercyniennes se différencient des structures andines, même lorsqu'elles ont les mêmes directions (120 à 150).

Le Précambrien

20 km au NE de Tarma, le socle précambrien est bien exposé dans les gorges du rio Chanchamayo qu'emprunte la route Lima-La Merced mais il n'est pas en relation directe avec le Paléozoïque inférieur. Il est composé de micaschistes qui passent vers le NE à des gneiss à sillimanite ; cet ensemble est recoupé par des granites d'anatexie à cordiérite. Entre Tarma et ce massif, on trouve également deux horsts précambriens avec des roches du faciès schiste vert, recouverts directement par le Carbonifère.

Coupe Cabanillas - rio Tambopata (fig. 8, A) par G. LAUBACHER

De direction SW-NE, cette coupe de près de 300 km de long se situe entre les parallèles 13°30' et 16° S. Elle passe de l'Altiplano du lac Titicaca, à l'ouest, à la zone subandine du bassin du rio Madre de Dios, à l'est et emprunte la route qui va de Juliaca à San Juan del Oro.

Les terrains qui affleurent au long de cette coupe peuvent être groupés en trois ensembles séparés par deux étapes de plissements :

- un ensemble éohercynien très épais constitué par les terrains Paléozoïque inférieur (cf. colonne 5, fig. 3), plissés au Dévonien supérieur ;
- en discordance sur ces structures, un ensemble tardihercynien correspondant au Permocarbo-nifère et plissé au Permien moyen ;
- un ensemble post-hercynien discordant sur l'ensemble de la chaîne hercynienne et débutant par le Permien supérieur.

Le socle précambrien n'affleure pas sur cette transversale.

D'ouest en est, on note une grande variation dans le style du plissement éohercynien :

— de Maravillas à Huancané la phase éohercynienne se manifeste par des plis ouverts ne montrant qu'une schistosité de fracture à proximité des charnières. A Juliaca on note la discordance du Mississipi-rien continental à faible pendage ouest sur le Dévonien vertical ;

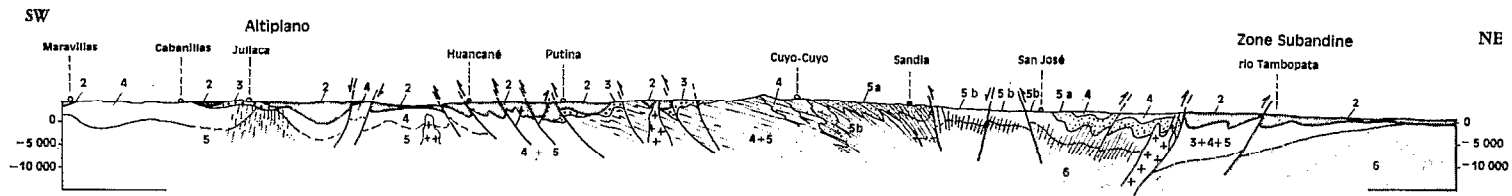
— de Putina à Sandia le Paléozoïque inférieur est intensément plissé. On se trouve dans la zone axiale de la chaîne. Peu après Putina, on observe une schistosité de flux replissée qui montre en moyenne un faible pendage NNE mais les grandes structures ne sont pas connues. Vers le faite de la Cordillère orientale, on entre dans le grand pli couché de Cuyo-Cuyo (10 km) de direction 160-170 et déversé vers le SSW dont la schistosité axiale, de flux est proche de l'horizontale. Il faut aussi noter, vers Cuyo-Cuyo, une schistosité de fracture tardive, de direction 120-140, très redressée et limitée à des couloirs de 100 à 200 m de large. Entre Cuyo-Cuyo et Sandia les structures s'ouvrent à nouveau et la schistosité se redresse progressivement ;

— En aval de Sandia, la schistosité reste verticale puis devient de moins en moins nette ou même disparaît. Vers l'est une grande faille met en contact le Paléozoïque inférieur et les séries rouges plissées du Crétacé et du Tertiaire de la zone subandine.

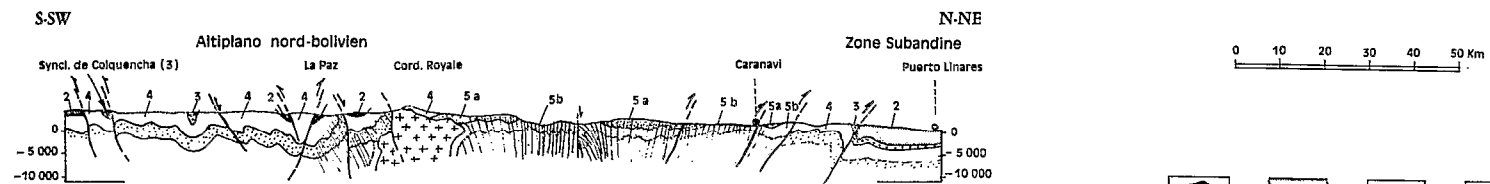
Coupe Colquencha-La Paz - Puerto Linares (6), par Cl. MARTINEZ (fig. 8, B)

De La Paz à Puerto Linares, cette coupe suit la route qui rejoint la haute vallée du rio Beni. De direction SSW-NNE, elle traverse la partie NE de l'Altiplano nord-bolivien, puis la Cordillère Royale et atteint la zone subandine. La stratigraphie de la région qu'elle traverse est résumée dans la colonne 5 de la figure 3.

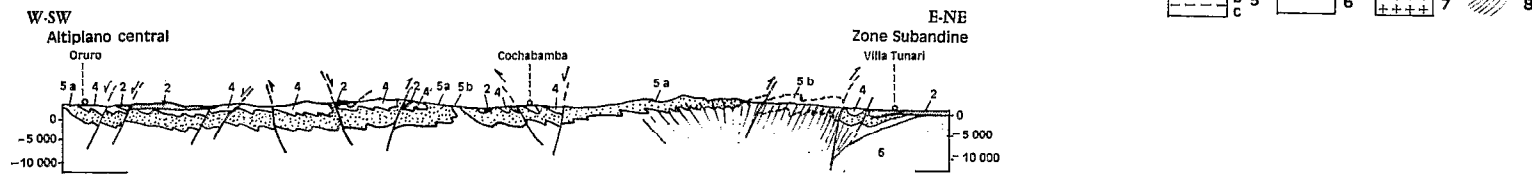
(6) Cette coupe fait l'objet d'un article détaillé de Cl. MARTINEZ, R. SUAREZ et T. SUBIETA, publié dans le bulletin n° 15 du Service Géologique Bolivien (GEOBOL) sous le titre « *La cadena hercínica de la parte septentrional de la Cordillera de los Andes Bolivianos (Perfil La Paz-Alto Beni)* ».



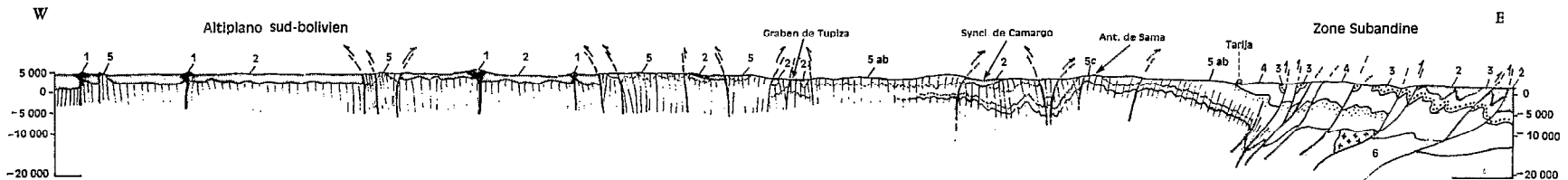
A. Coupe Cabanillas - rio Tambopata (SE du Pérou), par G. LAUBACHER



B. Coupe Colquencha - Puerto Linares (NW de la Bolivie), par Cl. MARTINEZ, R. SUAREZ, T. SÚBIETA



C. Coupe Oruro - Villa Tunari (Centre de la Bolivie), par P. TOMASI



D. Coupe entre 21° et 22° S (Sud de la Bolivie), par Cl. MARTINEZ, J. MEAVE, T. SÚBIETA

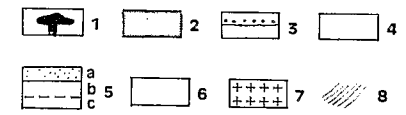


FIG. 8. — Coupes à travers la chaîne hercynienne dans le sud du Pérou et en Bolivie.

1. appareils volcaniques cénozoïques; 2. Mésozoïque et Cénozoïque (sédiments); 3. Permo-Carbonifère; 4. Siluro-Dévonien; 5. Cambro-Ordovicien a) Ordovicien supérieur (grès), b) Ordovicien moyen et inférieur, c) Cambrien; 6. Précambrien; 7. granites; 8. schistosité.

Le Permo-Carbonifère et le Crétacé n'affleurent qu'aux deux extrémités de cette coupe :

— à son extrémité NNE, toute la série, du Paléozoïque inférieur au Tertiaire, est concordante (zone sub-andine) ;

— à son extrémité SSW, sur l'Altiplano, le Crétacé, plissé à l'andin selon des axes en gros parallèles à ceux de l'Hercynien, est franchement discordant sur les plis du Paléozoïque inférieur, cependant que le Permocarbonifère ne recoupe le Dévonien qu'avec une très légère obliquité : on en déduit que, dans l'Altiplano NE du moins, la phase principale est postérieure au Permien inférieur et antérieure au Crétacé ; des raisons de continuité avec la région traversée par la coupe A (fig. 8) nous font considérer cette phase comme tardihercynienne.

L'absence du Permocarbonifère dans la zone axiale de la Cordillère Royale et son versant oriental connu sous le nom de Yungas ne permet pas de décider de l'âge du plissement, plutôt tardihercynien si on étend les conclusions relatives à l'Altiplano, plutôt éohercynien si on considère que les axes prolongent ceux des plis éohercyniens de la coupe A.

La disposition générale en éventail des plis et de la schistosité, que nous avons déjà soulignée, apparaît clairement dans la zone axiale où affleure le niveau structural inférieur, qui monte rarement au-dessus de l'Ordovicien supérieur ; les plis, souples mais encore isopaques dans les quartzites, sont accompagnés d'une schistosité axiale, habituellement de fracture ou de « strain-slip », qui vers Coroico passe même à une schistosité de flux avec néoformation de minéraux phylliteux et recristallisation des quartz.

Sur le bord SW de la zone axiale, on note dans le Paléozoïque inférieur des plis fortement déversés vers l'Altiplano, mais l'étude des plis qui affectent le Crétacé montre que ce déversement a été fortement accentué par le plissement andin. Au NE le passage de la chaîne hercynienne à la zone subandine se fait par des failles inverses d'âge andin (ici, probablement du tertiaire supérieur).

Si on élimine l'influence de la tectonique andine, on voit que *sur cette transversale la chaîne hercynienne est un vaste anticlinorium* à plis cylindriques droits ou légèrement déversés vers l'extérieur.

Nous avons également porté sur cette coupe des données concernant le massif granitique de Taquesi, qui affleure quelques kilomètres plus au sud ; son âge n'est pas connu (7), on sait seulement qu'il est postérieur aux plis hercyniens et recoupé par des failles andines.

Coupe Oruro - Cochabamba - Villa Tunari (entre 17° et 18° S), par P. TOMASI (fig. 8, C)

Le tracé de cette coupe suit également une des grandes voies qui relie l'Altiplano du Centre de la Bolivie à la zone subandine.

La partie supérieure de la colonne 6 et la colonne 6' (fig. 3) résument la stratigraphie de la région traversée ; on notera la forte réduction d'épaisseur du Caradoc et du Siluro-Dévonien.

Cette coupe est surtout caractérisée par la plus grande extension des affleurements du niveau structural moyen. Les caractères de la zone axiale sont les mêmes que sur la coupe B : disposition en éventail des structures de tout type, schistosité de fracture passant localement à une schistosité de flux, influence des structures andines sur le déversement des plis hercyniens.

L'analyse des données recueillies au long de cette transversale et dans les secteurs voisins où affleure le Permo-Carbonifère permet par contre de mettre en évidence un plissement éohercynien ainsi qu'une tectonique polyphasée, avec superposition de plis N-S et E-W (*cf.* p. 25).

(7) EVERNDEN (1961), dans une note adressée à la société Géologique Bolivienne et restée inédite, donne des âges K/Ar de 180 à 190 MA (Trias supérieur) pour les granites de la Cordillère Royale. Mais des mesures en cours donneraient des âges miocènes. La question reste posée.

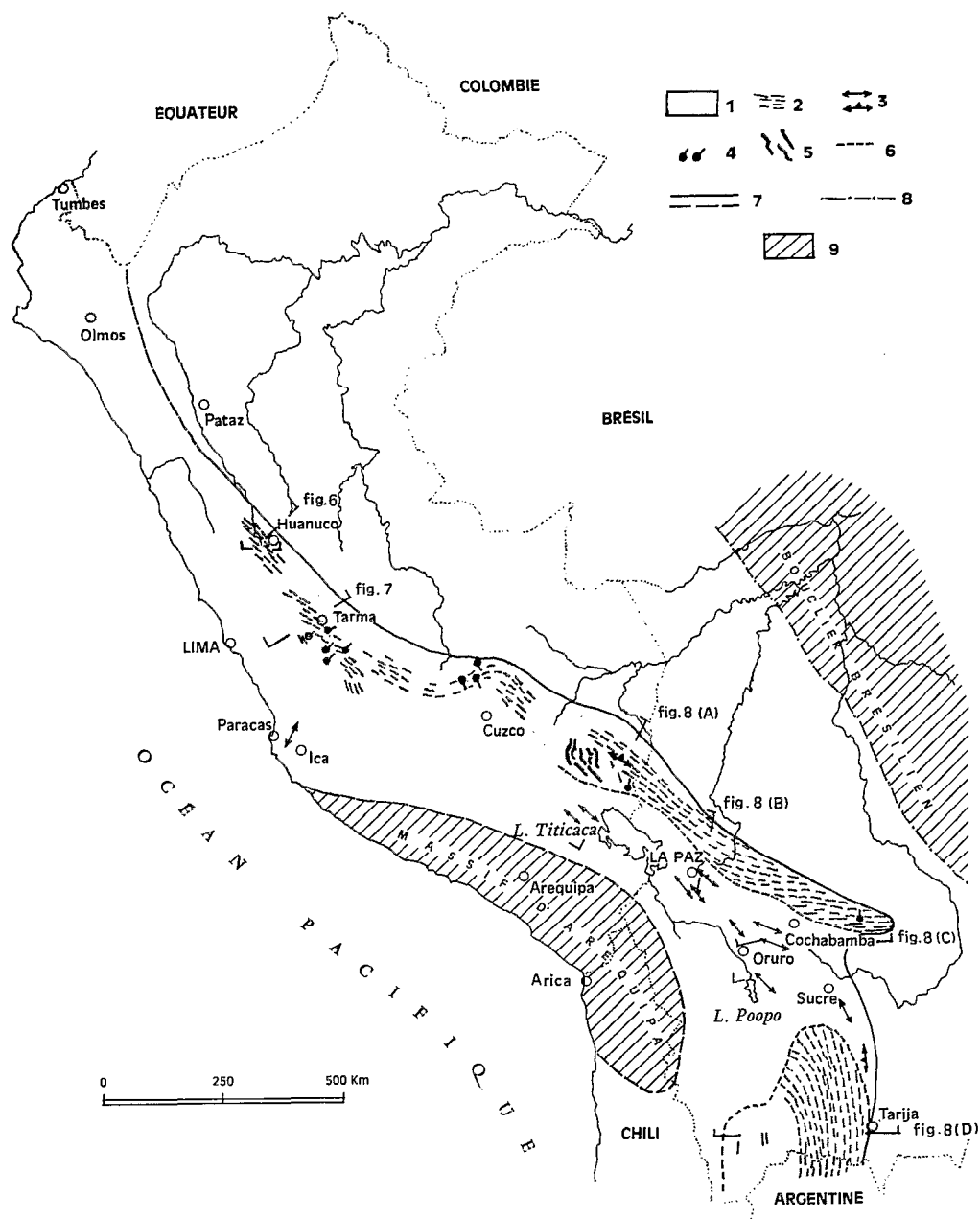


FIG. 9. — Carte structurale schématique de la chaîne hercynienne peruano-bolivienne.

1. secteurs où une schistosité hercynienne est présente (zones axiales); 2. directions de la schistosité; 3. axes des plis hercyniens (éohercyniens au Pérou, éo = et tardihercyniens en Bolivie), le triangle indique le pendage du plan axial; 4. axes des plis éohercyniens de première phase, là où la tectonique éohercynienne est biphasée; 5. axes des plis tardihercyniens (au Pérou); 6. front supérieur de schistosité; 7. limites de l'extension des plissements hercyniens (trait plein: limite observée; tireté: limite approximative); 8. limite SW du Bouclier Brésilien; 9. massifs précambriens non repris par la tectonique hercynienne. NOTE: les coupes des figures 6, 7 et 8 sont positionnées sur la figure 9.

Coupe dans le Sud Bolivien, entre 21° et 22° S (fig. 8, D), par Cl. MARTINEZ (8)

Cette coupe est la seule que nous ayons pratiquée à travers le segment hercynien subméridien du sud de la Bolivie, aussi avons-nous utilisé son analyse, que nous ne reprendrons pas ici, pour caractériser tectoniquement ce segment (*cf.* p. 25).

La colonne 6 (fig. 3) donne la stratigraphie de la région traversée en ce qui concerne le Paléozoïque ; on remarquera que le Cambrien y affleure largement dans l'anticlinal de Sama. Ici encore, l'absence de Permo-Carbonifère dans la chaîne empêche une datation précise du plissement.

Du point de vue structural, on voit que la zone à schistosité a une largeur jamais atteinte dans les autres coupes de la chaîne hercynienne : dans la moitié ouest de cette coupe, on vérifie sa présence dans quelques petits horsts paléozoïques qui font saillie au sein des vastes affleurements cénozoïques. Les structures semblent particulièrement simples et il n'y a pas de déversement préférentiel.

E. Les limites du domaine plissé hercynien

On peut définir sans trop de difficultés la *limite NE* approximative du domaine plissé hercynien.

En Bolivie, il se confond à peu près avec le bord interne des reliefs de la zone subandine où le Paléozoïque inférieur et supérieur et le Méso-Cénozoïque sont en général parallèles.

Dans le Pérou méridional, l'amortissement des structures hercyniennes vers le N-NE est également rapide comme en témoigne la coupe A (fig. 8) et on peut situer la limite à proximité du contact du Paléozoïque avec le Mésozoïque subandin.

Dans le bombement de Sira et dans la partie septentrionale du vaste anticlinal de Vilcabamba, qui occupent la majeure partie de la zone subandine entre les parallèles 9° et 12° S, aucune discordance angulaire nette ne marque la base ni le sommet du Paléozoïque supérieur, au dire des géologues pétroliers, aussi la limite orientale de l'Hercynien dans la figure 9 recoupe l'anticlinal de Vilcabamba vers 12° S et se confond plus au nord avec la bordure est des Andes orientales.

Enfin, nous savons que les plis éohercyniens, encore très prononcés à Huanuco, sont absents à Pataz, où WILSON et REYES (1964) décrivent le contact Ordovicien-Mississipien comme très légèrement angulaire à sub-parallèle, ce qui nous permet de placer la bordure NE de notre chaîne hercynienne vers Pataz, la localité la plus septentrionale où nous ayons des données sur cette limite. On sait que la chaîne se prolonge plus au nord (Olmos, monts Amotape) et même en Equateur où une discordance éohercynienne est connue à Macuma (*cf.* f. Macuma, dans HOFFSTETTER, 1956). Mais ses bordures ne peuvent actuellement être localisées.

La *limite SW* de la chaîne est beaucoup moins bien définie. Vers Ica, RÜEGG (1956) a rencontré du Paléozoïque inférieur très plissé et schistosé à proximité du Mississipien de Paracas qui n'est affecté que par quelques ondulations. La limite passe donc entre Ica et la basse vallée de Majes où le Dévonien n'est pas plus déformé que les séries jurassiques et crétacées du voisinage.

Par ailleurs, la coupe A (fig. 8) montre clairement l'amortissement de la tectonique hercynienne entre Sandia et la région de Juliaca. La limite SW des plissements hercyniens serait donc une ligne approximativement W-NW - E-SE qui se situerait entre la basse vallée de Majes et Juliaca et probablement assez près de cette dernière ville. Le prolongement de cette limite en Bolivie est assez arbitraire car on ne sait rien sur le substratum paléozoïque de l'Altiplano septentrional à l'ouest de la faille de Coniri.

(8) La description de cette transversale sera reprise plus en détail par Cl. MARTINEZ et T. SUBIETA dans les publications de GEOBOL.

VI. — LE MAGMATISME HERCYNIEN

Dans le magmatisme hercynien on peut parfois distinguer celui qui est lié à la phase éohercynienne de celui qui est lié à la phase tardihercynienne. De très rares granites anatectiques allochtones indiquent par endroits l'existence d'un métamorphisme important en profondeur, mais comme nous l'avons vu, le métamorphisme régional est en général très faible. Aussi le magmatisme est essentiellement post-tectonique et se traduit le plus souvent par la mise en place de roches effusives et de roches intrusives franchement allochtones.

Les roches effusives

Les roches volcaniques liées aux phases éohercynienne et tardihercynienne n'existent qu'au Pérou où elles sont datées par leur intercalation dans les « molasses » post-tectoniques du Mississipien et du Permien supérieur (cf. p. 17 et 18).

Ce sont dans les deux cas des rhyolites, des dacites et des andésites ; les coulées sont moins fréquentes que les tufs et les brèches. Si le volcanisme mississipien n'est connu jusqu'alors que dans trois secteurs de dimensions réduites (à Ambo, vers Tarma et vers Huanta), exception faite de ses produits remaniés sous forme de cinérites, le volcanisme permien supérieur est beaucoup plus important par son volume et son extension ; il est présent dans la majeure partie de la Cordillère orientale péruvienne et autour du dôme de Yauli.

Aucune étude systématique du volcanisme hercynien n'a été entreprise jusqu'à présent.

Les roches intrusives

Le principal problème posé par les intrusifs hercyniens est celui de leur identification en tant que tels. En effet, dans la Cordillère orientale des roches granitiques d'âges variés : précambriennes, hercyniennes et andines coexistent et seulement dans quelques cas on a pu déterminer leur âge par leurs relations avec les formations avoisinantes. Une étude de terrain plus poussée, comprenant la recherche et la détermination systématique des galets de roches ignées des conglomérats inclus dans les formations du Mississipien, du Permien supérieur, du Crétacé et du Tertiaire serait nécessaire, allée à la cartographie classique, à l'examen pétrographique et à la détermination d'âge radiométriques (9), pour résoudre ce problème.

Pour le moment, nous sommes seulement en mesure d'examiner quelques cas particuliers qui prouvent l'existence d'un magmatisme hercynien.

L'adamellite de Pacococha (Pérou Central). C'est une adamellite à biotite, porphyroïde à grands cristaux de feldspath potassique zoné (5 cm et plus), de couleur grise.

Elle forme un massif elliptique allongé dans le sens E-W dont la plus grande dimension est approximativement 12 km ; il est situé à une vingtaine de kilomètres à l'ENE de Junin, par 75°45' W et 11°8' S, et bien exposé au long de la piste (en construction) de Yanec.

HARRISON mentionne ce massif en 1956 ; il note qu'il recoupe des schistes métamorphiques et qu'il est recouvert en discordance par des conglomérats qui le remanient, associés à des shales à restes de plantes. Les levés de la feuille de Tarma (F.M.) prouvent que la formation métamorphique est précambrienne et que les shales sont mississipiens. Etant donné par ailleurs que les plissements éohercyniens sont intenses et accompagnés de schistosité dans les flyschs du Paléozoïque inférieur situés à quelques kilomètres et que l'adamellite présente seulement un réseau de diaclases espacées de 5 à 10 m et aucun

(9) Des déterminations sont en cours, tant au « Centró de Pesquisas Geochronologicas » de l'Université de São Paulo (Brésil) qu'en France.

indice de déformation pénétrative, il nous semble logique d'en faire une adamellite *éohercynienne post-tectonique*.

Le granite de La Merced (Pérou central). Décrit initialement par DOUGLAS (1921), il est situé sur le bord ouest de la zone subandine et forme un massif allongé dans le sens NNW-SSE sur une cinquantaine de kilomètres qui affleure bien dans la vallée de Chanchamayo, où est construite La Merced ; l'extrémité NE de la coupe de la figure 7 le traverse. C'est un granite à gros grain, à structure rapakivi s.l., qui contient habituellement un peu de biotite et plus rarement de la hornblende ; il n'est jamais déformé.

Sur la feuille de Jauja (J.P.), il recoupe et métamorphose le Carbonifère et le Permien marin. Sur la feuille de La Merced, au long de la route qui mène à la mine de San Vicente, il figure parmi les éléments d'une brèche volcanique rouge qu'il semble logique d'attribuer au Permien supérieur, bien exposé 3 km plus au SW vers San Vicente et recouvert en concordance par les calcaires liasiques datés. Nous en faisons donc un *granite tardihercynien*.

L'adamellite de Hualluniyoc (F.M.). Dans la même région, les adamellites leucocrates à rares biotites chloritisées de Hualluniyoc, situés à mi-chemin entre Tarma et La Merced sur la coupe de la figure 3, sont des roches fortement déformées : des surfaces de discontinuité tapissées de chlorite se succèdent tous les 10 à 50 cm et, en lame mince, on observe souvent de fines fissures remplies de quartz ou même des quartz brisés et recristallisés. Ces adamellites recoupent des shales noirs qui ne peuvent être que paléozoïques et sont recouvertes par des brèches et des laves du Permien supérieur. Elles sont donc également *hercyniennes* mais très différentes par leur degré de déformation du granite de la Merced ou de l'adamellite de Pacococha.

On retrouve des roches granitiques semblables à celles de Hualluniyoc et de La Merced dans le grand batholite complexe qui constitue l'essentiel de la Cordillère orientale entre la route Huanuco Tingo Maria (fig. 6) et la vallée du rio Tarma que suit la coupe de la figure 7 ; mais l'étude d'autres parties de ce même massif prouve que tous les granites de la Cordillère orientale ne sont pas précambriens ou paléozoïques, puisque ceux de Rumichaca, que traverse la route Tambo del Sol - Huachon, sont intrusifs dans des calcaires jurassiques.

Plus au sud, EGELER et de BOOY (1961) considèrent que le batholite de Vilcabamba, composé d'adamellite et de granodiorite, est éohercynien, mais des âges isotopiques obtenus par la méthode U/Pb le dateraient de la limite Crétacé-Eocène (LENZ et WENDT, 1969).

Quant à la syénite néphélinique de Macusani (14° S, 70°30' W), précambrienne selon FRANCIS (1956), elle recoupe les séries volcaniques du Permien supérieur (G.L., F.M.) et s'est donc mise en place après le dépôt de ces séries et antérieurement aux plissements andins s.l. qui lui imposent une foliation tardive sur son bord nord. Une syénite ayant les mêmes caractéristiques pétrographiques est connue en Bolivie (Cerro Sapo, AHLFELD et SCHNEIDER-SCHERBINA, 1964).

Les granites déformés de la vallée de Zongo, 40 km au nord de La Paz, sont des granites syntectoniques hercyniens qui, d'après ce que l'on sait de ceux de la chaîne hercynienne d'Europe, seraient des granites anatectiques allochtones (J.P. BARD et R. CAPDEVILA, com. orale).

Enfin le problème de l'âge des autres granites de la Cordillère Royale et de la Cordillère de Quimsa Cruz, en Bolivie, reste posé, les âges radiométriques étant, les uns liasiques, les autres tertiaires pour des massifs fort semblables par ailleurs. Notons que l'on ne connaît pas de grands massifs intrusifs au Sud du parallèle 17°30' S.

Dans l'ensemble, les granites de Zongo mis à part, les intrusifs hercyniens sont des *granites calcoalcalins d'origine profonde*.

Si on considère maintenant la répartition des intrusifs hercyniens dans la partie de la chaîne hercynienne connue à l'affleurement, c'est-à-dire la Cordillère orientale, même en tenant compte des réserves légitimes à faire quant à l'attribution à l'Hercynien de tel ou tel massif, on voit que ces intrusifs sont plus nombreux et de plus grandes dimensions entre 9° et 14° S, c'est-à-dire dans la zone où la tectonique éohercynienne est la plus intense et la plus complexe et où la tectonique de distension tardive, tant éohercynienne que tardihercynienne, est bien caractérisée : cette coïncidence n'est sans doute pas fortuite.

VII. — CONCLUSION

Nous venons de mettre en évidence une chaîne hercynienne peruano-bolivienne de plus de 2 500 km de long.

— Elle comporte deux zones axiales caractérisées par l'intensité de la déformation qui atteint le niveau structural inférieur : la première, péruvienne et nord-bolivienne, de direction moyenne 120-130, se suit sur plus de 1 500 km ; la seconde, sud-bolivienne et nord-argentine, de direction subméridienne, n'affleure que sur 500 km.

— Le matériel fortement plissé est essentiellement *détritique*, en partie à caractère flysch mais *sans ophiolites* ; il a été tectonisé au cours du Dévonien supérieur (phase éohercynienne). Une phase tardive permienne, essentiellement cassante au Pérou, mais qui pourrait être la phase de plissement principale dans certains secteurs de la Bolivie, marque la fin du cycle de déformation hercynien.

— Le métamorphisme régional est faible (faciès schistes verts).

— Le magmatisme a une importance relativement réduite, il semble lié essentiellement à la phase permienne (intrusion de roches granitiques, effusion de rhyolites, dacites et andésites) et s'est développé préférentiellement dans certaines régions.

L'énergie mise en jeu à l'Hercynien dans ce rameau, tant sous forme mécanique que sous forme thermique a été moindre que dans d'autres chaînes du même âge et en particulier la chaîne hercynienne d'Europe. Cela est vraisemblablement dû au caractère franchement intra-cratonique du rameau hercynien peruano-bolivien que prouve la présence, au cœur des structures hercyniennes, de nombreux noyaux précambriens, et le fait que ce rameau est encadré par des blocs précambriens pas ou peu repris à l'Hercynien, le Bouclier Brésilien d'une part, les massifs d'Arequipa et Pampéen de l'autre.

La formation, au sein du craton précambrien (ici vraisemblablement en partie baïkalien), du sillon subsident où s'est déposé le matériel hercynien ne semble pas avoir été accompagnée de ruptures suffisamment importantes pour permettre la montée de matériel simique.

Ces constatations faites, nous essaierons maintenant de situer ce rameau peruano-bolivien dans les orogènes hercyniens d'Amérique du Sud et de l'hémisphère austral.

L'hercynien au nord de l'équateur en Amérique du Sud

Au nord de l'équateur, les renseignements sur la chaîne hercynienne sont très fragmentaires. On sait que des mouvements hercyniens ont eu lieu en *Colombie* et au *Venezuela* et que la phase éohercynienne y est en général peu marquée. L'âge des déformations, dans le Carbonifère et le Permien, est mal connu et semble souvent ne pas très bien coïncider d'un massif à un autre : aussi bien les grands traits de l'architecture hercynienne se dégagent-ils mal. Nous ne tenterons donc pas de prolonger l'Hercynien peruano-bolivien vers ces régions septentrionales.

L'hercynien au Chili et en Argentine

Vers le Sud, par contre, on connaît maintenant assez bien l'édifice hercynien au Chili et en Argentine.

— Dans les provinces de Salta et Jujuy du *Nord Argentin*, le bassin paléozoïque bolivien se prolonge et vient butter contre le bloc précambrien du massif pampéen (10) : vers l'est il le contourne et se raccorde au bassin du Chaco argentino-paraguayen (TURNER, 1970) ; vers l'ouest il le traverse franchement au moins à l'Ordovicien comme le prouvent les affleurements du sud de la Bolivie, de la région de San Antonio de los Cobres en Argentine (TURNER, *id.* ; SCHWAB, 1970) et de la Puna de Atacama au Chili (GARCIA *et al.*, 1962).

— Les structures les plus orientales de l'axe hercynien méridional de la Bolivie s'amortissent rapidement vers le sud : en Argentine, 100 km au sud de la frontière, vers Humahuaca, tout est concordant du Cambrien au Miocène malgré d'énormes lacunes (cf. AUBOUIN et BORRELLO, 1970).

(10) Appelé Dorsale Calchaqui dans l'article d'AUBOUIN et BORRELLO (1970).

Par contre, les plus occidentaux de ces plis antécédents se prolongent vers le sud dans la *Puna argentine* (TURNER, id. ; SCHWAB, id.). Au *Chili*, dans la *Puna de Atacama* voisine, l'Ordovicien montre des plis de direction 140 à 160 alors que les plis andins ont une direction 20. Seule la continuité avec les structures de l'extrême-sud bolivien nous fait considérer ces plis comme hercyniens s.l.

Par ce « *relais d'Atacama* » (22°30' S), peu connu car mal exposé, mais néanmoins assez comparable, semble-t-il, à celui d'Oruro Cochabamba-Sucre, nous passons à un nouveau rameau de la chaîne hercynienne. Il est assez bien connu dans le nord du Chili et se prolonge en Argentine par la Cordillère Frontale et la Précordillère, où le massif pampéen le limite à l'est.

— Au *Chili*, MILLER (1970 a) a examiné en détail les affleurements préandins : entre 21° S et 33° S, il reconnaît un ensemble hercynien sans contacts connus avec un socle fortement métamorphique probablement d'âge précambrien ; des séries flysch, au moins en partie dévoniennes, sont plissées puis recouvertes par des conglomérats du Carbonifère supérieur ; ailleurs, on voit le Trias moyen reposer en discordance sur des grès et schistes mississippiens plissés, mais moins intensément que le Dévonien. Dans le Paléozoïque inférieur, les plis sont souvent polyphasés et ont des directions principalement NNE, la schistosité est générale et on observe par endroits un léger métamorphisme régional. Enfin des granites hercyniens post-tectoniques affleurent sur de plus grandes surfaces qu'au Pérou, en particulier au sud de 33° S ; des rhyolites permo-carbonifères ont été décrites dans le nord du pays (cf. RUIZ FULLER, 1965).

— Ces faits un peu fragmentaires se complètent en *Argentine*, en particulier dans la *Précordillère* entre 27° S et 33° S et dans la *Cordillère Frontale* entre 28° S et 35° S (11). La chaîne hercynienne y est bien représentée et on y distingue plusieurs ensembles sédimentaires plus ou moins intensément plissés et séparés par des discordances principales situées : à la fin du Dévonien, entre le Carbonifère inférieur et supérieur, à la base du Permo-Trias. Le Paléozoïque inférieur est complet, épais de près de 10 000 m, en grande partie de faciès flysch et comporte des niveaux de roches vertes (BORRELLO, 1969) ; le Carbonifère est molassique le plus souvent. Comme au Pérou, le plissement principal est d'âge dévonien supérieur. D'après les coupes de divers auteurs, et en particulier de Arnold HEIM (1952), cette phase principale se traduit par une tectonique souple, avec des axes essentiellement N-S, une schistosité de plan axial parfois couchée à plus de 45° et de nombreux plis mineurs ; le sens de déversement des structures n'apparaît pas clairement dans les articles cités, il serait plutôt vers l'est ; enfin par endroits un métamorphisme hercynien du faciès schistes verts a été observé. Les phases tardives reprennent ces structures dans des plis ouverts sur lesquels le Permo-Trias, souvent sous un faciès de molasses rouges à intercalations volcaniques, rhyolitiques à andésitiques, repose en discordance. Le magmatisme se traduit également par la mise en place de granodiorites et de granites, d'âge carbonifère inférieur, permien inférieur à moyen ou trias moyen selon les massifs considérés (POLANSKI, 1966 ; DESSANTI et CAMINOS, 1967).

Nous venons de décrire très brièvement les grands traits d'un *rameau hercynien chilo-argentin*, qui apparaissent proches de ceux de la chaîne hercynienne peruano-bolivienne, notamment sur le plan de la *succession des événements*, du *style tectonique* et du *magmatisme*. Notons cependant le plus grand développement des flyschs et la présence de roches vertes dans le premier.

Le massif Pampéen et les chaînons de la Précordillère et de la Cordillère Frontale s'annoient sous le Quaternaire de la Pampa argentine au niveau de 35° S. Plus au sud, l'extension et l'organisation du système hercynien semblait encore tout récemment problématique du fait de la présence des massifs Patagonien et de Deseado (cf. HARRINGTON, 1962) considérés comme des affleurements du socle précambrien et dont le comportement lors de l'orogénèse hercynienne restait inconnu. Cette hypothèque vient d'être levée par HALPERN (1968) qui démontre qu'une partie au moins des granites de ce « socle » est d'âge permien supérieur (12) ; voilà donc le massif patagonien intégré à la chaîne hercynienne.

(11) Nous avons consulté, entre autres : KEIDEL, 1921 ; ZÖLLNER, 1950 ; HARRINGTON, 1956 ; FURQUE, 1963 ; POLANSKI, 1964 ; HERRERO-DUCLoux, 1963 ; TURNER, 1964 a ; AUBOUIN et BORRELLO, 1966 et 1970.

(12) L'âge 232 ± 4 MA donné par HALPERN correspond à une isochrone RB/Sr établie à l'aide de neuf mesures sur roches totales ou sur biotites. Il corrobore un âge K/Ar et des observations de terrain de STIPANICIC *et al.* (in HALPERN, 1968).

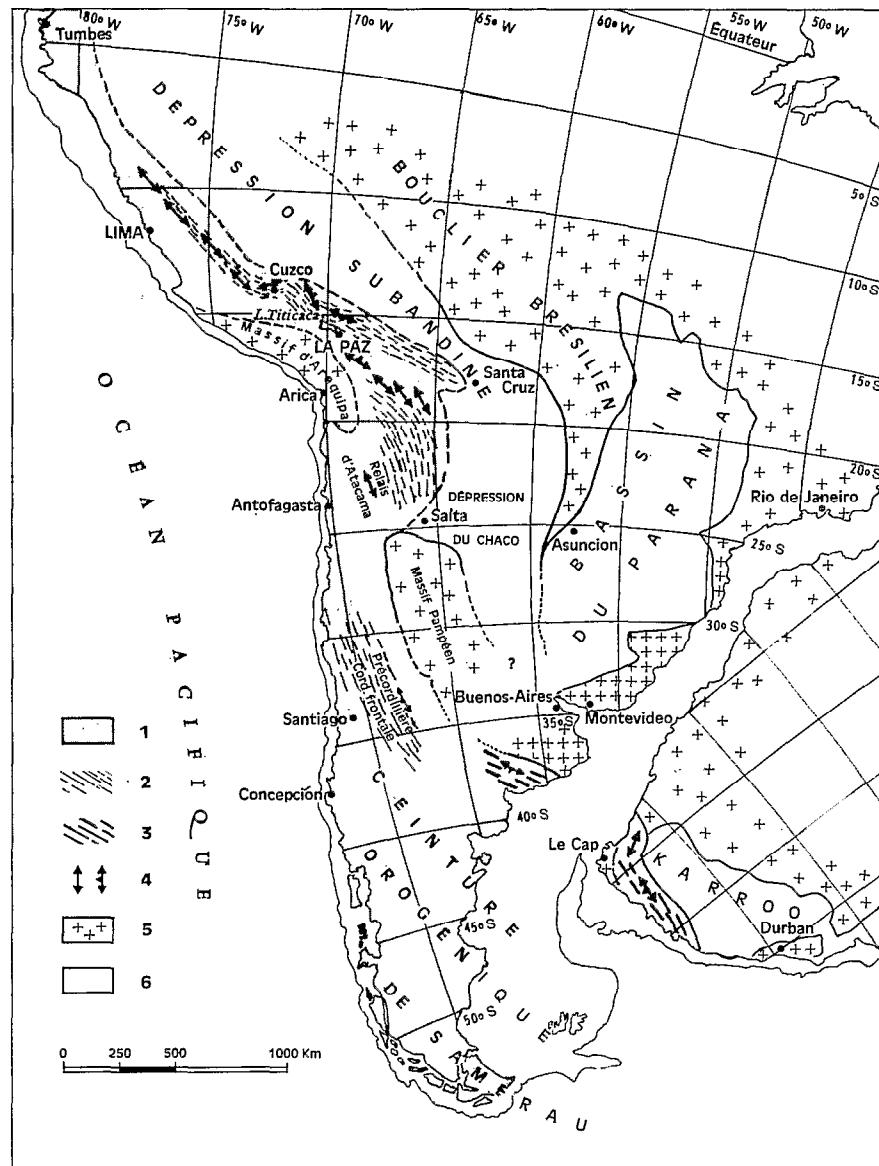


FIG. 10. — La chaîne hercynienne dans les parties méridionales de l'Amérique du Sud et de l'Afrique avant l'ouverture de l'Atlantique

1. domaine affecté par les plissements hercyniens ; 2. direction de la schistosité hercynienne s.s. (finidévonienne, intra-carbonifère ou permienne) ; 3. direction de la schistosité tardive (triasique ?) ; 4. axes de plis hercyniens, le triangle indique le pendage des plans axiaux ; 5. socle précambrien peu ou pas affecté par l'orogénèse hercynienne ; 6. couverture sédimentaire sur socle précambrien non affectée par l'orogénèse hercynienne.

NOTA : (a) cette figure utilise l'assemblage Amérique du Sud - Afrique de BULLARD *et al.* (1965), (b) les schistosités principales (5 et 6) n'ont été reportées que là où leurs directions sont connues.

— Si on tient compte par ailleurs des manifestations de l'orogénèse hercynienne connues dans le sud du Chili et en particulier en Terre de Feu (cf. MILLER, 1970 *a*), on voit que toute l'extrémité

méridionale de l'Amérique du Sud, une fois gommées les structures andines, est occupée par un vaste édifice hercynien qui remanie peut-être quelques noyaux précambriens (HALPERN, 1967), et dont le rameau hercynien chilo-argentin, tel que nous l'avons délimité plus haut, ne serait qu'un élément bordier.

HALPERN (1968) intègre cet édifice hercynien méridional dans une vaste « *ceinture orogénique de Samfrau* » qui englobe l'extrémité méridionale de l'Afrique, une partie de l'Antarctide et de l'Australie, et fait revivre ainsi le concept de du TOIT du géosynclinal de Samfrau (1927, 1937). Dans cette optique, la chaîne du Cap (du TOIT, 1964) et la Sierra de la Ventana argentine (62° W, 38° S) ne sont qu'un autre élément bordier de cette ceinture, plus jeune, puisque d'âge permien supérieur ou triasique, que la Précordillère et la Cordillère Frontale essentiellement éohercyniennes, et le problème du raccord de ces dernières avec la Sierra de la Ventana n'a plus qu'une importance secondaire (fig. 8).

Reléguée à l'une des extrémités de cette immense ceinture orogénique de Samfrau, la chaîne hercynienne peruano-bolivienne semble n'être qu'une chaîne bordière à caractère intracratonique. Il reste à savoir si cette chaîne qui se termine progressivement vers le sud, en Bolivie, par diminution dans l'intensité des serrages et du magmatisme, se termine de la même manière vers le nord, ou si au contraire, après augmentation progressive de l'intensité de la tectonique et des phénomènes magmatiques, elle se raccorde aux chaînes hercyniennes de l'hémisphère nord (Amérique du nord et Afrique septentrionale), dont elle n'était pas très éloignée avant l'ouverture de l'Atlantique.

Un dernier problème mérite enfin d'être évoqué : la Côte Pacifique coupe actuellement en oblique, tant au Chili qu'au Pérou, les directions structurales hercyniennes. La présence, parallèlement à la côte et à faible distance, de fosses marines à partir desquelles on passe à la lithosphère océanique, interdit de prolonger les structures hercyniennes en mer sur plus de quelques dizaines de kilomètres. On peut proposer deux solutions à ce problème (cf. MILLER, 1970 *b*) :

— la première est la dérive, dans un modèle de type atlantique, d'un « Continent Pacifique » où se prolongeait l'orogène hercynien ;

— la seconde est la disparition de ce continent hypothétique par assimilation dans l'asthénosphère, sur place ou sous le continent sud-américain.

Remarquons d'ailleurs que la première solution se rapproche de la seconde en ce sens qu'on ne retrouve apparemment nulle part ce continent pacifique en dérive, et qu'il faut alors supposer qu'il a été assimilé dans l'asthénosphère ailleurs que sur la bordure continentale sud-américaine.

Ainsi la reconstitution de la chaîne hercynienne que nous avons entreprise débouche-t-elle sur le problème de la dérive des continents et de la genèse des fonds océaniques.

REMERCIEMENTS

Nous remercions en premier lieu les différents organismes dont le soutien financier et matériel a permis la réalisation de ce travail commun :

— Direction de la Coopération Technique du Ministère des Affaires Etrangères, ORSTOM et R.C.P. 132 du CNRS.

— « Servicio de Geología y Minería » du Pérou.

— « Facultad de Ciencias Geológicas » de l'Université de La Paz, et GEOBOL (Service Géologique de Bolivie).

Nous sommes reconnaissants à M. le Professeur M. MATTAUER d'avoir assuré la direction et la critique de ce travail, à E. AUDEBAUD, pour les renseignements inédits qu'il nous a communiqués sur sa

zone de travail et en particulier sur la coupe Ocongate-Marcapata, à R. CAPDEVILA et J.-P. BARD, qui nous ont amené à une plus juste appréciation des processus magmatiques et métamorphiques. Nous devons enfin à l'amabilité de MM. les Professeurs BORRELLO et FURQUE divers documents et renseignements sur la chaîne hercynienne d'Argentine.

BIBLIOGRAPHIE (13)

- AHLFELD (F.), 1970. — Zur Tektonik des andinen Bolivien. *Geol. Rdschau.*, 59(3), pp. 1124-1140.
- AHLFELD (F.) et BRANISA (L.), 1960. — Geologia de Bolivia, 245 p., 1 carte h.-t., Inst. Bol. Petrol., La Paz.
- AHLFELD (F.) et SCHNEIDER-SCHERBINA (A.), 1964. — Los yacimientos minerales y de hidrocarburos de Bolivia. *GEOBOL*, Bol. 5, 388 p., 1 carte h.-t., La Paz.
- ASCARRUNZ (R.) et RADELLI (L.), 1964. — Geologia della penisola di Copabana e delle isola del settore Sur del lago Titikaka. *Att. Soc. Ital. Sci. Nat. e Mus. civico Stor. Natur. Milano*, CIII (III), pp. 273-284.
- AUBOUIN (J.) et BORRELLO (A.), 1966. — Chaînes andines et chaînes alpines : regard sur la géologie de la Cordillère des Andes au parallèle de l'Argentine moyenne. *Bull. Soc., géol. Fr.*, (7), VIII, pp. 1050-1070.
1970. — Regard sur la géologie de la Cordillère des Andes : relais tectoniques et cycles orogéniques superposés ; le Nord Argentin. *Ibid.*, (7), XII, pp. 246-260.
- AUDEBAUD (E.), 1967. — Etude géologique de la région de Sicuani et Ocongate (Cordillère Orientale du Sud Péruvien). Thèse 3^e cycle, Fac. Sc., U. de Grenoble, 59 p., inédit.
- AUDEBAUD (E.), BARD (J.-P.), CAPDEVILA (R.), DALMAYRAC (B.), MAROCCO (R.), MÉGARD (F.), PAREDES (J.), 1971. — Le métamorphisme précambrien de basse pression des Andes Orientales du Pérou. *C.R. Ac. Sc.*, 273, pp. 450-453.
- AUDEBAUD (E.) et LAUBACHER (G.), 1969. — Sur une discordance tardihercynienne dans la Cordillère Orientale du Sud du Pérou. *C.R. Ac. Sc.*, 269, pp. 2163-2166.
- BEURLEN (K.) et SOMMER (F.W.), 1957. — Observações estratigráficas e paleontológicas sobre o calcário de Corumbá. *Dep. Nac. da Produção Mineral, Div. Geol. Miner.*, Bol. 168, 35 p.
- BORRELLO (A.), 1965. — Los geosinclinales de la Argentina. *Dir. Nac. Geol. Minería, An. XIV*, 188 p., 15 pl. h.-t., Buenos Aires.
- BRANISA (L.), 1960. — Nuevas correlaciones en el Devonico Boliviano. *Bol. Tec. Yac. Petrol. Fiscales Boliv.*, 2, 8.
1965. — Los fosiles guías de Bolivia, I. Paleozoico. *Serv. Geol. Boliv.*, Bol. 6, 282 p.
1969. — El sistema silúrico en Bolivia. Estratigrafía, faunas y límites. *Soc. Geol. Boliv.*, Bol. 12, pp. 22-70.
- BRANISA (L.), HOFFSTETTER (R.), FRENEIX (S.), ROMAN (J.) et SORNAY (J.), 1966. — Nouvelle contribution à l'étude de la paléontologie et de l'âge du groupe Puca (Crétacé de Bolivie). *Bull. Mus. Nat. His. Natur.*, 2^e série, 38 (3), pp. 301-310.
- BRAUN (E. von), 1967. — Geologie und Lagerstätten im Gebiet von Vilcabamba (Süd Peru). *Geol. Jahrb.*, 84, pp. 215-260, 1 carte h.-t.
- BULLARD (Sir E.), EVERETT (J.E.) et GILBERT SMITH (A.), 1965. — The fit of the Continents around the Atlantic. In *Symp. on continental drift. The Roy. Soc., Phil. Trans.*, 1088, pp. 41-51, London.
- BULMAN (O.M.B.), 1931. — South american graptolites with special reference of the Nordenskjöld collection. *Arkiv for Zool. Kon. Svenska Vetenskapakad.*, 22 A, n° 3.
- CHAMOT (G.A.), 1960. — Fossiles marins dans le Gondwana de Bolivie. *Ecl. Géol. Helv.*, 53, pp. 205-209.
- CORNEJO (R.), LIZARAZU (J.), MARTINEZ (Cl.) et TOMASI (P.), 1971. — Interpretación del corte geológico Rio La Paz Sapa-haqui, ejemplo de un estudio estructural utilizando la microtectónica. UMSA, Fac. Cienc. Geol., serie Geol. Estruct. n° 1, 7 p., 1 pl. et 1 carte h.-t., La Paz.
- DALMAYRAC (B.), 1970. — Mise en évidence d'une chaîne anté-ordovicienne et probablement précambrienne dans la Cordillère Orientale du Pérou Central (région de Huanuco). *C.R. Ac. Sc.*, 270, pp. 1088-1091.
1970. — Precisiones sobre una sección típica del Paleozoico de los Andes Centrales Peruanos (Quebrada de Chau-pihuaranga). Comunicación, 1^{er} Cong. Latinoamer. Geol., Lima.

(13) Outre les ouvrages cités, nous avons consulté nombre de rapports et cartes inédites, en particulier auprès des organismes suivants :

— au Pérou : Servicio de Geología y Minería.
Petroleos del Perú.

— en Bolivie : GEOBOL (notamment rapports de la mission allemande), Yacimientos Petroleros Fiscales de Bolivia.
Faculté de Géologie, U. de La Paz.

- DAVILA (J.) et PONCE de LEON (V.), 1971. — La sección del río Inambari en la faja sub-andina del Perú y la presencia de sedimentitas de la formación Cancañiri (Zapla) del Silúrico. *Rev. Tec. Yac. Petrol. Fisc. Boliv.*, I (1), pp. 67-85.
- DAVILA (J.) et RODRIGUEZ (E.), 1968. — The Devonian system in Bolivia and the problem of its base. In *Int. Symp. Devonian system*, Calgary. *Alberta Soc. Petrol. Geol.*, 2, pp. 921-935.
- DESSANTI (R.) et CAMINOS (R.), 1967. — Edades Potasio-Argon y posición estratigráfica de algunas rocas ígneas y metamórficas de la Precordillera, Cordillera Frontal y Sierras de San Rafael, Provincia de Mendoza. *Rev. Asoc. Geol. Argent.*, 22 (2), pp. 135-162.
- DIAZ (H.), 1959. — Comunicación acerca de las condiciones geológicas presentes en el curso superior del río Beni. *Bol. Tec. Yac. Petrol. Fisc. Boliv.*, (2), pp. 21-31.
- DOBROVOLNY (E.), 1962. — Geología del valle de La Paz. *GEOBOL*, Bol. 3.
- DOUGLAS (J.A.), 1914-1921. — Geological sections through the Andes of Peru and Bolivia.
I., 1914. — From the coast at Arica in the north of Chile to La Paz and the Bolivian Yungas. *Quart. Jour. Geol. Soc. London*, 70, pp. 1-53.
II, 1920. — From the port of Mollendo to the Inambari river. *Ibid.*, 76, pp. 1-61.
III, 1921. — From the port of Callao to the river Perené. *Ibid.*, 77, pp. 246-284.
- DUNBAR (C.O.) et NEWELL (N.D.), 1946. — Marine early Permian of the Central Andes and its fusuline faunas. *Amer. Jour. Sci.*, 244, pp. 377-402 et pp. 457-491.
- EGELER (C.G.) et de BOOY (T.), 1961. — Preliminary note on the geology of the Cordillera Vilcabamba (SE Peru), with emphasis on the essentially pre-andean origin of the structure. *Geol. en Mijnb.*, 40, pp. 319-326.
- FRAENCKEL (E.J.), 1959. — La formación Limbo. *Bol. Tec. Yac. Petrol. Fisc. Boliv.*, (5), pp. 29-38.
- FRANCIS (G.H.), 1956. — La Geología de la zona entre Macusani y Ollaachea, departamento de Puno. *Inst. Nac. Invest. y Fomento Minero*, Bol. 21, pp. 5-10, Lima.
- FRICKE (W.), SAMTLEBEN (Ch.), SCHMIDT-KALER (H.), URIBE (H.) et VOGES (A.), 1964. — Geologische Untersuchungen im zentralen Teil des bolivianischen Hochlandes nordwestlich Oruro. *Geol. Jahrb.*, 83, pp. 1-30, Hannover.
- FRICKE (W.) et VOGES (A.), 1968. — Beitrag zur Kenntniss der andinen Sedimentationsraume in Bolivien, Süd-Peru und Nord-Chile. *Geol. Jahrb.*, 85, pp. 941-972, Hannover.
- FURQUE (G.), 1963. — Descripción geológica de la hoja 17 b, Guandacol. *Dir. Nac. Geol. Minería*, Bol. 92, 104 p., 1 carte h.-t., 1 pl. h.-t., Buenos Aires.
- GARCIA (F.), PEREZ d'ANGELO (E.) et CEBALLOS (E.), 1962. — El Ordovícico de Aguada de la Perdiz, Puna de Atacama, Prov. de Antofagasta. *Minerales*, 77, pp. 52-61, Santiago de Chile.
- HALPERN (M.), 1967. — Reconnaissance Rb/Sr dating of crystalline rocks from Tierra del Fuego, Chile. Abstracts of the UNESCO Symp. on continental drift, Montevideo.
1968. — Ages of Antarctic and Argentine rocks bearing on continental drift. *Earth and Planet. Sci. Lett.*, 5, pp. 159-167. Amsterdam.
- HARRINGTON (H.J.), 1956. — Argentina. In *Handbook of South American Geology*, ed. Jenks (W.F.). *Geol. Soc. Amer.*, *Memoir* 65, pp. 129-165.
1962. — Paleogeographic development of South America. *Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol.*, 46 (10), pp. 1773-1814.
- HARRINGTON (H.J.) et LEANZA (A.), 1943. — La faúna del Tremadociano inferior de Salitre, Bolivia. *Rev. Museo La Plata*, *nueva Ser.* 2, pp. 343-356, Argentine.
1957. — Ordovician trilobites of Argentine. *Univ. Kansas, Dpt. Geol. Spec. Publ.* 1.
- HARRISON (J.V.), 1943. — Geología de los Andes Centrales en parte del departamento de Junín (Perú). *Bol. Soc. Geol. Peru*, 16, 97 p.
1951. — Geología de los Andes Orientales del Perú Central. *Ibid.*, 21, 97 p.
1956. — La geología de la región entre Hacienda Casca y el pueblo de Junín. *Inst. Nac. Invest. y Fomento Minero*, Bol. 15, pp. 7-12, 1 carte h.-t., Lima.
- HEIM (Arnold), 1952. — Estudios tectónicos en la Precordillera de San Juan. *Rev. Asoc. Geol. Argent.*, 7 (1), pp. 11-70, 6 pl. h.-t.
- HERRERO-DUCLOUX (A.), 1963. — The Andes of western Argentina. In *Backbone of the Americas*, ed. Childs (O.E.) et Warren Beebe (B.). *Amer. Assoc. Petrol. Geol.*, *Memoir* 2, pp. 16-28.
- HOFFSTETTER (R.), 1956. — Lexique stratigraphique international, vol. V (Amérique Latine), Fasc. 5 a - ECUADOR, 191 p., 2 cartes, CNRS, Paris.
- JONGMANS (W.J.), 1954. — The Carboniferous flora of Peru. *Bull. Brit. Mus. (Natur. His.)*, *Geol.*, 2 (5), pp. 191-223.
- KATZ (H.R.), 1959. — Zur Geologie des Paläozoikums in den Südöstlichen Anden von Peru. *Ecl. Geol. Helv.*, 52 (2), pp. 721-734.

- KEIDEL (J.), 1921. — Observaciones geológicas en la Precordillera de San Juan y Mendoza. *An. Minist. Agri., secc. Geol., Mineral., Minería*, XV (2), 103 p., 9 pl. h.-t., Buenos Aires.
1943. — Paleozoic glaciations in South America. Proc. 8th Amer. Sci. Congr., 4, pp. 89-108, Washington.
- KOZLOWSKI (R.), 1923. — Faune dévonienne de Bolivie. *Ann. Paléont.*, 12, 109 p., Paris.
- LAUBACHER (G.), 1970. — La tectónica tardi-hercínica en la Cordillera Oriental de los Andes del Sur del Perú. Comunicación 1^{er} Cong. Latino amer. Geol., Lima.
- LEMON (R.R.M.) et CRANSWICK (J.S.), 1956. — Graptolites from Huacar, Peru. *Publ. Mus. His. Natur. Javier Prado*, n° 5, 30 p., Lima.
- LENZ (H.) et WENDT (J.), 1969. — Pb/U Altersbestimmungen an peruanischen Uranerzen aus dem Gebiet von Vilcabamba, Provinz Convencion, Peru. *Zeitschr. deutsch. Geol. Gesell.*, 118, pp. 368-376. Hannover.
- LJUNGGREN (P.) et RADELLI (L.), 1964. — The origin of the granitic batholiths of Cordillera Real, Bolivia. *Att. Soc. Ital. Sci. Natur. e Mus. civico Stor. Natur. Milano*, CIII (11), pp. 101-114.
- LOHMAN (H.H.), 1970. — Outline of tectonic history of Bolivian Andes. *Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol.*, 54 (5), pp. 735-757.
- MACLAUGHLIN (D.H.), 1924. — Geology and physiography of the Peruvian Cordillera, Departments of Junin and Lima. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 35, pp. 591-632, 1 pl.
- MARTINEZ (Cl.), SUAREZ (R.) et SUBIETA (T.), 1971. — La cadena hercínica en la parte septentrional de la Cordillera Oriental de los Andes Bolivianos (Perfil La Paz - Alto Beni). *GEOBOL. Bol.* 15, pp. 26-35, 3 pl. h.-t., La Paz.
- MARTINEZ (Cl.) et TOMASI (P.), 1970. — Primeros datos sobre la cadena hercínica en los Andes Bolivianos. Comunicación 1^{er} Cong. Latinoamer. Geol., Lima.
- MARTINEZ (Max.), 1970. — Geología del basamento paleozoico en las montañas de Amotape y posible origen del petróleo en rocas paleozoicas del Noreste del Perú. Comunicación 1^{er} Cong. Latinoamer. Geol., Lima.
- MÉGARD (F.), 1967. — Commentaire d'une coupe schématique à travers les Andes Centrales du Pérou. *Rev. Géog. phys. et Géol. dyn.*, IX (4), pp. 335-346.
1968. — Geología del cuadrángulo de Huancayo. *Serv. Geol. y Minería, Bol.* 18, 123 p., carte et pl. h.-t., Lima.
- MÉGARD (F.) et BOUCOT (A.J.). — Sobre el primer descubrimiento de Silurico en el Perú (Lampa, Dto. de Puno). Primer Cong. latinoamer. Geol., Lima (résumé).
- MILLER (H.), 1970a. — Vergleichende Studien an prämesozoischen Gesteinen Chiles unter besonderer Berücksichtigung ihrer Kleintektonik. *Geotekt. Forsch.*, 36, 64 p., 10 pl. h.-t., Stuttgart.
1970b. — Das Problem des hypothetischen «Pazifischen Kontinentes» gesehen von der chilenischen Pazifikküste. *Geol. Rdschau.*, 59 (3), pp. 927-937.
- NARVAEZ (S.), 1968. — Mapa geológico a escala 1/100 000 del cuadrángulo de Huancavelica. *Serv. Geol. y Minería*, Lima.
- NEWELL (N.D.), CHRONIC (J.) et ROBERTS (T.), 1953. — Upper Paleozoic of Peru. *Geol. Soc. Amer., Memoir* 58, 276 p., 44 pl.
- NEWELL (N.D.) et TAFUR (I.), 1943. — Ordovícico fosilífero en la Selva oriental del Perú. *Bol. Soc. Geol. Perú*, 14, pp. 5-16.
- OPPENHEIM (V.), 1946. — Geological reconnaissance in Southern Peru. *Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol.*, 30, pp. 254-264.
- D'ORBIGNY (A.), 1842. — Voyage dans l'Amérique méridionale. 3, Géologie, 289 p., 10 pl., 4, Paléontologie, 188 p., 22 pl., Paris et Strasbourg.
- PADULA (E.L.), 1959. — Valoración de las discordancias en las sierras subandinas. *Bol. Tec. Yac. Petrol. Fisc. Boliv.*, 1 (5), pp. 7-28.
- PAREDES (J.), 1967. — Estudio de las rocas paleozoicas del basamento de la cuenca del Terciario del Noroeste del Perú. Tesis Ing., Esc. de Geol., Univ. Arequipa, inédit.
- PETERSEN (G.), 1949. — Condiciones geográficas y geológicas de la cuenca del rio Zarumilla. *Soc. Geol. Perú*, vol. jubil., 25. Anniv., Part. 2, fasc. 7, 39 p., 1 carte h.-t.
- POLANSKI (J.), 1964. — Descripción geológica de la hoja 26 c. La Tosca (Provincia de Mendoza). *Dir. Nac. Geol. Minería., Bol.*, 101, 86 p., 1 carte h.-t., Buenos Aires.
1966. — Edades de cruptivas suprapalcozoicas asociadas con el diastrafismo variscico. *Rev. Asoc. Geol. Argent.*, 21 (1), pp. 5-19.
- RADELLI (L.), 1966. — New data on Tectonics of Bolivian Andes from a photograph by Geminis 5, and field knowledges. *Trav. Lab. Geol. Fac. Sc. Grenoble*, 42, pp. 237-261.
- RIVAS (S.), 1968. — Geología de la región norte del Lago Titicaca. *GEOBOL, Bol.*, 2, 88 p., 1 carte et 1 pl. h.-t., La Paz.
- RIVAS (S.), FERNANDEZ (A.) et ALBAREZ (R.), 1969. — Estratigrafía de los sistemas ordovícico-cámbrico y precámbrico en Tarija, Sur de Bolivia. *Soc. Geol. Boliv. Bol.* 9.
- ROCHIA CAMPOS (A.C.) et AMARAL (G.), 1970. — K/Ar Ages of rocks of the andean region of Peru and Argentina. Comunicación 1^{er} Cong. Latinoamer. Geol., Lima.

- ROD (E.), 1960. — Strike-slip fault of continental importance in Bolivia. *Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol.*, 44 (1), pp. 107-110.
- RÜEGG (W.), 1956. — Geología y Petróleo en la faja subandina peruana. in XX Cong. Geol. Int., Simp. Yacimientos Petrol. y Gas, IV (America Sur y Antillas), pp. 89-139, Mexico.
1957. — Geologie zwischen Cañete-San Juan 13°00' - 15°24' Südperu. *Geol. Rdschau.*, 45 (3), pp. 775-856.
- RUIZ FULLER (C.), 1965. — Desarrollo geosinclinal durante el Paleozoico. in Geología de Chile, ed. Ruiz Fuller, Inst. Invest. Geol., pp. 19-33, Santiago de Chile.
- SCHLATTER (L.E.) et NEDERLOFF (M.H.), 1966. — Bosquejo de la geología y paleogeografía de Bolivia. *GEOBOL Bol.* 8, 49 p., 1 pl. et 1 carte h.-t., La Paz.
- SCHWAB (K.), 1970. — Ein Beitrag zur jungen Bruchtektonik der argentinischen Puna und ihr Verhältnis zu den angrenzenden Andenabschnitten. *Geol. Rdschau.*, 59 (3), pp. 1064-1087.
- STEINMANN (G.), 1929. — Geologie von Peru. 448 p., 9 pl. et 1 carte h.-t., Karl Winter, Heidelberg.
- SUAREZ (R.), 1971. — Contribución al conocimiento de las faunas del Ordovícico inferior de Bolivia (1 - Quebrada de Taraya). La Paz (inédit).
- DU TOIT (A.L.), 1927. — A geological comparison of South America with South Africa. *Carnegie Inst. Washington, Publ.* 381, 157 p., 16 pl. h.-t.
1937. — Our wandering continents. 366 p., Oliver and Boyd, Edinburgh.
1954. — The Geology of South Africa. 3d ed., 511 p., 1 carte h.-t., Oliver and Boyd, Edinburgh.
- TURNER (J.C.M.), 1964a. — Descripción geológica de la hoja 15 c, Vinchina (Provincia de La Rioja). *Dir. Nac. Geol. Minería, Bol.* 100, 6 pl. et 1 carte h.-t., Buenos Aires.
- 1964b. — Descripción geológica de la hoja 2 c, Santa Victoria (Provincias de Salta y Jujuy). *Ibid.*, *Bol.* 104, 83 p., 1 carte h.-t., 1 pl. h.-t.
1970. — The Andes of Northwestern Argentina. *Geol. Rdschau.*, 59 (3), pp. 1028-1063, 1 carte h.-t.
- WILSON (J.J.) et REYES (L.), 1964. — Geología del cuadrángulo de Pataz. *Com. Carta Geol. Nac.*, *Bol.* 9, 91 p., 1 carte et 1 pl. h.-t., Lima.
- WILSON (J.J.), REYES (L.) et GARAYAR (J.), 1967. — Geología de los cuadrángulos de Mollebamba, Tayabamba, Pomabamba y Huari. *Serv. Geol. Minería, Bol.* 16, 95 p., 1 carte et 1 pl. h.-t., Lima.
- WOLFART (R.) et VOGES (A.), 1968. — Beitrage zur Kenntniss des Devons von Bolivien. *Beih. Geol. Jahrb.*, 74, 214 p., 30 pl., Hannover.
- ZÖLLNER (W.), 1950. — Observaciones tectónicas en la Precordillera de San Juan (zona de Barreal). *Rev. Asoc. Geol. Argent.*, 5 (3), pp. 111-126.

Parmi les documents consultés lors de la préparation de la carte à 1/5 000 000 des terrains paléozoïques et précambriens qui accompagne ce texte nous citerons en particulier :

pour le Pérou :

- la maquette de la carte géologique du Pérou à 1/1 000 000, ouvrage collectif inédit des géologues du Servicio de Geología y Minería et des missions anglaise de l'IGS et française de l'ORSTOM coopérant avec ce service ;
- la carte géologique du Pérou à 1/4 000 000, publiée en 1969 par le SGM avec un texte explicatif de E. BELLIDO (Bol. 22) ;
- les cartes géologiques publiées entre 1960 et 1971 dans les bulletins de la Comisión Carta Geológica puis du SGM.

pour la Bolivie :

- la carte géologique de Bolivie à 1/2 500 000, publiée en 1968 par GEOBOL ;
- les cartes géologiques à 1/100 000, publiées entre 1960 et 1971 par le Departamento Nacional de Geología puis par GEOBOL ;
- la carte géologique à 1/1 500 000, de la partie andine de la Bolivie d'Ahlfeld et Branisa (en hors texte dans Geología de Bolivia, 1960).