

GÉOLOGIE. — *Données radiochronologiques K-Ar sur les granitoïdes de la Cordillère Orientale des Andes du Pérou central. Implications tectoniques.* Note de **Pierre Soler** et **Michel G. Bonhomme**, présentée par Jean Aubouin.

Dans la partie est de la Cordillère Orientale des Andes du Pérou central, des massifs de granitoïdes intrusifs recourent des plis synschisteux à épimétamorphisme associé, affectant des terrains pennsylvaniens et permien inférieurs. Ce plissement était jusqu'ici attribué à une phase dite « péruvienne » du Crétacé supérieur (± 80 M.a.). Des datations K-Ar de 245 ± 11 M.a. et 233 ± 10 M.a. sur biotite et de 253 ± 11 M.a. sur muscovite ont été obtenus pour trois de ces massifs. La déformation principale de cette zone date donc du Permien supérieur-Trias inférieur et doit être rattachée à la phase « tardi-hercynienne », connue ailleurs dans les Andes. Cette donnée nouvelle modifie sensiblement notre vision de l'orogène tardi-hercynien et du magmatisme associé, implique une ré-évaluation de l'importance de la « phase péruvienne » et permet de reposer le problème de sa chronologie et de son unicité.

GEOLOGY. — K-Ar radiochronological data on the granitoids of the Eastern Cordillera of Central Peruvian Andes. Tectonic implications.

In the eastern part of the Eastern Cordillera of Central Peruvian Andes, intrusive granitoid stocks cut synschistosity folds with associated epimetamorphism, affecting pennsylvanian and lower permian sedimentary rocks. This folding was previously attributed to a "Peruvian phase" of Upper Cretaceous age (± 80 M.a.). K-Ar ages of 245 ± 11 M.a. et 233 ± 10 M.a. on biotite and 253 ± 11 M.a. on muscovite were obtained from three of these stocks. The principal deformation of the area is therefore of Upper-Permian or Lower-Trias age and has to be connected with the "late-hercynian" phase, known in other parts of the Andes. This new data modifies greatly our vision of late-hercynian orogen and magmatism, implies a re-evaluation of the importance of the "Peruvian" tectonics, and permits to set the problem of its chronology and unicity.

I. LES DONNÉES DU PROBLÈME. — (1) Dans la partie ouest de la Cordillère Orientale du Pérou central (fig.), le Paléozoïque supérieur est affecté, vers le milieu du Permien, par une tectonique cassante, essentiellement à composante verticale, le long d'accidents NNW-SSE et par un soulèvement marqué par le passage d'une sédimentation marine détritique (formation Tarma du Pennsylvanien) puis carbonatée de plate-forme (formation Copacabana du Permien inférieur) à une sédimentation continentale détritique grossière (groupe Mitu du Permien supérieur) sans discordance généralisée [1]. Le groupe Mitu y est lui-même surmonté en concordance par les sédiments mésozoïques. Ce type de déformation « tardi-hercynienne » est également décrit plus au Sud dans la région de Cuzco mais diffère totalement de celui observé dans la Cordillère Orientale du Sud-Pérou [2] et de Bolivie [3] où la tectonique tardi-hercynienne est plicative avec développement de schistosité et métamorphisme. (2) Dans la partie est de la Cordillère Orientale, de l'autre côté de la bande de terrains précambriens du massif du Huaytapallana, les formations Tarma et Copacabana sont affectées par une importante phase de déformation plicative avec développement d'une schistosité de fracture, localement de flux, et d'un métamorphisme de bas degré, puis recoupées par des massifs de granitoïdes post-tectoniques et enfin recouvertes directement en discordance angulaire par des sédiments fins continentaux rouges, les « Couches Rouges », dont la base est datée du Crétacé supérieur [1]. Cette tectonique était jusqu'ici considérée d'âge Crétacé supérieur [1]. (3) Cette interprétation reposait sur plusieurs observations : (a) les styles de déformation affectant le Paléozoïque supérieur de part et d'autre du massif précambrien sont extrêmement différents, ce qui poussait à les attribuer à des épisodes tectoniques différents; (b) dans la Cordillère Occidentale et les Hauts plateaux des Andes du Pérou central, on note le passage, localement discordant, d'une sédimentation de plate-forme carbonatée d'âge Turonien-Santonien à une sédimentation continentale représentée par les Couches Rouges dont la base est souvent datée du Crétacé supérieur; (c) des déformations d'âge

Crétacé supérieur sont observées sur la côte et le versant Pacifique des Andes; elles avaient été attribuées depuis longtemps à un « plissement péruvien » [4] mais leur âge restait mal délimité.

Il était tentant de fondre l'ensemble de ces événements en un seul; le « plissement péruvien » localisé et mal calé dans le temps devenait la « phase péruvienne » bien calée dans le temps (± 80 M.a.) et active sur l'ensemble de la chaîne [1]. Accepté par tous, ce modèle n'en faisait pas moins de la Cordillère Orientale du Pérou central une zone bien particulière qu'il était difficile d'intégrer dans un schéma général d'évolution des Andes : dans aucun autre secteur de la Cordillère Orientale des Andes centrales cette « phase péruvienne » n'était observée et du point de vue de la tectonique d'ensemble de la chaîne, sa présence en Cordillère Orientale du Pérou central était une énigme. Par ailleurs, l'âge tardi-crétacé de la déformation impliquait un âge fini-Crétacé pour les massifs de granitoïdes post-tectoniques qui recoupent le Paléozoïque inférieur plissé et sont antérieurs aux Couches Rouges. Ces massifs devaient être par conséquent contemporains de ceux du batholite côtier ([5], [6]) ce qui, du point de vue de la genèse des magmas le long de la marge andine, posait de sérieux problèmes. Une manière simple de tester le modèle proposé était de dater ces intrusions post-tectoniques, ce qui, paradoxalement, n'avait jamais été fait jusqu'ici.

II. DONNÉES RADIOCHRONOLOGIQUES. AGE DU PLISSEMENT DANS LA PARTIE EST DE LA CORDILLÈRE ORIENTALE DU PÉROU CENTRAL. — Entre Comas et Satipo (*fig.*), deux types de massifs recoupent les terrains paléozoïques supérieurs plissés : d'une part de grands massifs à caractère batholitique présentant des faciès différenciés allant de diorite à granodiorite, comme ceux de Talhuis, Carrizal et Sacsacanča, d'autre part des corps de dimensions plus réduites de granites à muscovite comme celui de Equiscocha. Les datations de trois de ces intrusions ont été effectuées par la méthode K-Ar sur phases séparées et purifiées. Les résultats sont donnés dans le tableau. Pétrographiquement rien ne permet de supposer que des phénomènes de rééquilibrage tardif puissent avoir eu lieu. Les âges obtenus peuvent par conséquent être considérés, en première approximation, comme ceux de mise en place des intrusions. Ces massifs sont donc d'âge Permien supérieur-Trias basal et sont contemporains d'une partie du groupe Mitu. Ces datations permettent un calage très précis de la tectonique plicative observée dans la partie est de la Cordillère Orientale du Pérou central : elle est, sans équivoque possible, d'âge Permien supérieur-Trias inférieur et doit être, par conséquent, rattachée à la phase de déformation tardi-hercynienne.

III. CONSÉQUENCES POUR LA TECTONIQUE ET LE MAGMATISME TARDI-HERCYNIENS. — Ce calage chronologique montre que le plissement tardi-hercynien, reconnu initialement au Sud-Pérou [2] et au Nord de la Bolivie [3], puis vers 13°S dans la région de Lircay au Sud-Ouest du secteur étudié [8], a une extension septentrionale jusque vers 11°S. Il suggère que les parties est et ouest de la Cordillère Orientale du Pérou central ont été déformées simultanément lors de la phase tardi-hercynienne; la partie ouest correspondrait à une zone plus externe, la partie est à une zone plus interne de l'orogène. Il n'est pas illogique de penser que le rameau plissé tardi-hercynien se poursuit en fait depuis le Sud-Pérou jusque vers 11°S, et sans doute plus au Nord, de manière oblique par rapport à la chaîne andine, mais qu'il est en grande partie masqué par les terrains méso-cénozoïques. Par ailleurs, les conceptions actuelles sur le magmatisme permotriasique de la Cordillère Orientale du Pérou [9] doivent être en partie modifiées. En effet, au niveau du Pérou central, les seules intrusions qui étaient jusqu'ici attribuées au

Permo-Trias étaient des massifs de granite porphyroïde rose à biotite, souvent à caractère batholitique, tels ceux de San Ramon, daté à 246 M.a. (isochrone Rb-Sr) [10], de Llaupiu ou de Hualluniyoc [1], connus à l'Ouest et au Nord du secteur étudié. Au Nord de Comas (*fig.*), le massif de Talhuis apparaît intrusif dans la terminaison sud du massif de San Ramon. Les massifs de Talhuis et Carrizal seraient donc postérieurs aux granites de type San Ramon; ils apparaissent en outre comme moins évolués et nettement plus alcalins que ces derniers [11]. Ils constitueraient un type intermédiaire entre les granites calco-alcalins riches en potasse type San Ramon [10] et les massifs franchement alcalins (syénite néphélinique de Macusani) connus dans le Sud-Pérou ([2], [12]) mais non décrits au niveau du Pérou central. La chronologie relative de mise en place du petit massif de granite à muscovite de Equiscocha par rapport aux deux ensembles précédents ne peut pas être établie sur le terrain; l'âge K-Ar obtenu suggère que ce granite pourrait être le terme le plus ancien de l'ensemble des granitoïdes de la région.

IV. CONSÉQUENCES POUR LA TECTONIQUE DU CRÉTACÉ SUPÉRIEUR. — Les résultats présentés ici permettent de ré-évaluer l'importance de la phase péruvienne et de reposer le problème de son âge et de son unicité. Tout d'abord, il apparaît que, dans le Pérou central, la tectonique du Crétacé supérieur est presque exclusivement cantonnée dans la zone côtière. De ce point de vue, ce secteur des Andes perd l'originalité que lui conférerait l'interprétation admise auparavant [1]. De plus, c'est par extrapolation que la déformation affectant les terrains crétacés inférieurs de la côte et du versant Pacifique des Andes et l'émersion de l'ensemble andin étaient attribuées à cette phase péruvienne « datée » en Cordillère Orientale. Ce calage chronologique ne tenant plus, il faut trouver dans la zone côtière elle-même les éléments d'une chronologie. De fait, la tectonique du Crétacé supérieur de cette région est complexe et reste mal connue; elle s'exprime par : (a) des plis droits ouverts, isopaques situés en général au-dessus du front supérieur de la schistosité, affectant les terrains volcaniques et volcanosédimentaires du Crétacé. Au sein du groupe Casma, dont la base est datée de l'Albien moyen [6], deux discordances internes majeures ainsi que deux discordances d'érosion sont observées [13]. Les plis correspondant au premier épisode compressif sont recoupés par les termes les plus anciens du batholite côtier et sont attribués à la « phase Mochica » de l'Albien terminal (entre 105 et 102 M.a.) [6]. Le deuxième épisode est mal calé dans le temps; il apparaît simplement antérieur à la mise en place de l'unité San Jeronimo du batholite côtier, datée à 69 M.a. ([5], [6]); (b) une intense tectonique cassante affectant les terrains volcaniques et volcano-sédimentaires et le batholite côtier, où ses relations avec les unités magmatiques successives permettent de montrer au moins l'existence de deux périodes de décrochements dextres importants à composante verticale négligeable [14], l'une entre 100 et 85 M.a., l'autre entre 69 et 65 M.a. L'existence d'un régime compressif se manifeste aussi par des déformations planaires à chaud particulièrement développées dans l'unité Pampahuasi (± 94 M.a.) et dans une moindre mesure dans les unités Linga (± 100 M.a.), Tiabaya-Incahuasi (± 80 M.a.) du batholite côtier [6]; (c) une tectonique distensive, matérialisée par la présence d'un essaim de dykes d'âge 72-73 M.a. [6] recoupant le batholite côtier.

En ce qui concerne l'émersion, il convient de distinguer la zone côtière où le passage définitif entre le volcanisme sous-marin et le volcanisme aérien apparaît lié à la « phase Mochica » ([6], [13]) et la cordillère où la base des Couches Rouges semble se situer généralement dans le Santonien. En Cordillère Occidentale, dans la partie ouest des Hauts Plateaux et en zone sub-andine le passage entre la sédimentation de plate-forme et les Couches Rouges se fait de manière concordante et progressive. Dans la partie

centrale des Hauts Plateaux, une légère discordance cartographique apparaît, mais il ne s'agit vraisemblablement que d'un overlap des Couches Rouges sur le Santonien et le Turonien. Plus à l'Est, à la limite Hauts Plateaux-Cordillère Orientale, région marquée par des mouvements verticaux tout au long de l'histoire mésozoïque des Andes [1], les Couches Rouges débent localement par des brèches de pied de falaises ou des conglomérats torrentiels, indiquant la création de reliefs. Elles reposent alors directement sur le Jurassique ou le Trias. Dans cette zone la base des Couches Rouges est datée, sur la base de charophytes, du Paléocène terminal-base de l'Éocène [15]. En Cordillère Orientale, les Couches Rouges reposent directement sur le Paléozoïque supérieur. L'alimentation du bassin continental des Couches Rouges se fait surtout à partir de la zone côtière et très partiellement, à partir des quelques reliefs occupant la limite Hauts Plateaux-Cordillère Orientale [1]. Les niveaux conglomératiques qui s'intercalent dans les lutites rouges fines ne constituent jamais de conglomérats de base. Ils sont souvent légèrement discordants sur leur substrat et indiquent des saccades dans le soulèvement, sans doute liées à des climax de déformation compressive, dont il reste à préciser l'importance et la chronologie. Ce dispositif correspondrait à un soulèvement général, progressif et différentiel, avec création de reliefs essentiellement vers la côte et, dans une mesure bien moindre, à la limite Hauts Plateaux-Cordillère Orientale. Ce soulèvement peut être interprété comme un réajustement consécutif de l'épaississement crustal dû à la fois aux déformations (« Mochica » et « péruvienne ») et à la mise en place du batholite côtier. L'émersion elle-même ne constitue qu'un moment de cette évolution, situé dans le Santonien, mais ne semble pas correspondre à un événement tectonique ponctuel.

En conclusion, la « phase péruvienne » n'apparaît plus comme un événement tectonique unique bien calé dans le temps. Sous cette appellation, est regroupée une série d'événements compressifs, discrets ou formant un continuum, les données actuellement disponibles ne permettent pas de le dire, couvrant une période allant du Cénomanién au Santonien voire même au Campano-Maestrichien.

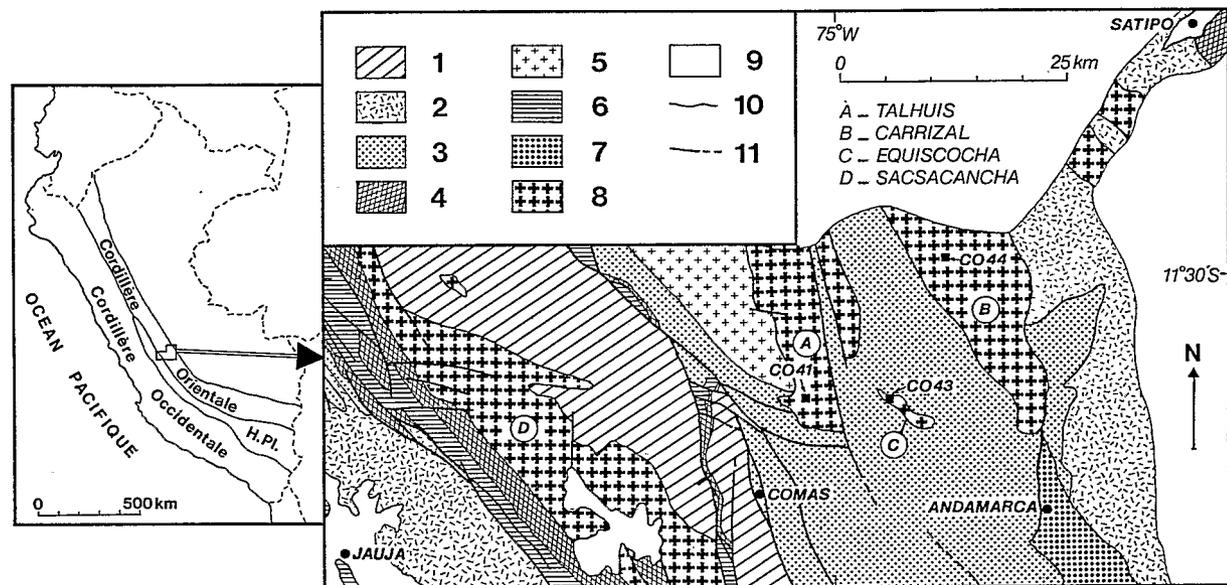
Reçue le 8 décembre 1986, acceptée le 16 février 1987.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] F. MEGARD, *Étude géologique des Andes du Pérou Central*, Mémoire O.R.S.T.O.M. n° 86, 1978, 310 p.
- [2] B. DALMAYRAC, G. LAUBACHER et R. MAROCCO, Caractères généraux de l'évolution géologique des Andes péruviennes, *Travaux et documents O.R.S.T.O.M.*, n° 122, 1980, 501 p.
- [3] C. MARTINEZ, Structure et évolution de la chaîne hercynienne et de la chaîne andine dans le Nord de la Cordillère des Andes de Bolivie, *Travaux et Documents O.R.S.T.O.M.* n° 119, 1980, 352 p.
- [4] G. STEINMAN, *Geologie von Peru*, Carl Winters Universitätsbuchandlung, Heidelberg, 1929, 448 p.
- [5] E. J. COBBING et coll., *The geology of the Western Cordillera of Northern Peru*. Overseas Memoir 5, Londres, 1981, 143 p.
- [6] W. S. FITCHER, M. P. ATHERTON, E. J. COBBING et R. D. BECKINSALE éd., *Magmatism at a plate edge; the Peruvian Andes*, Blackie, Glasgow, 1985, 323 p.
- [7] R. H. STEIGER et E. JAGER, *Earth and Planet. Sci. Let.*, 36, 1977, p. 359-362.
- [8] F. MEGARD et coll., *Comptes rendus*, 296, série II, 1983, p. 1267-1270.
- [9] G. CARLIER, G. GRANDIN, G. LAUBACHER, R. MAROCCO et F. MEGARD, *Earth-Science Rev.*, 18, 1982, p. 253-283.
- [10] R. CAPDEVILA et coll., *Geol. Rdschau*, 67, 1977, p. 434-446.
- [11] P. SOLER, En préparation.
- [12] D. J. KONTAK et coll., in *Andean magmatism: chemical and isotope constraints*, R. S. HARMON et B. A. BARREIRO, éd., Shiva Geology series, 1984, p. 204-220.
- [13] S. WEBB, The volcanic envelope of the Coastal Batholith in Lima and Ancash, Peru, *Thèse Ph. D.*, Univ. Liverpool, 1976, 220 p.
- [14] M. A. BUSSEL, *Earth and Planet. Sc. Let.*, 140, 1983, p. 279-286.
- [15] W. F. JENKS, *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 62, (2), 1951, p. 202-220.

P. S. : O.R.S.T.O.M., 213, rue Lafayette, 75010 Paris;

M. B. : Institut Dolomieu, 15, rue Maurice-Gignoux, 38031 Grenoble.



N° ech.	Minéral dosé	K ₂ O ^a (%)	⁴⁰ Ar (rad.) % ^b ⁴⁰ Ar (tot.)	⁴⁰ Ar (rad.) (μl/g)	AGE ^c (Ma ± 1σ)
CO41	Biotite	8,50	97,5	72,1	245 ± 11
CO43	Muscovite	10,05	97,9	88,1	253 ± 11
CO44	Biotite	7,97	97,7	64,0	233 ± 10

Dosages effectués à l'Institut Dolomieu (Grenoble)

a-spectrométrie de fluorescence X b-dilution isotopique (spectrométrie de masse)
c-les constantes utilisées sont celles de (7)

Esquisse géologique d'après F. Mégard (1)

1-Précambrien 2-Paléozoïque inférieur
3-Paléozoïque supérieur 4-groupe Mitu
5-Granite porphyroïde à biotite du Permien
6-Mésozoïque 7-Couches Rouges du Crétacé terminal
8-Granitoïdes jusqu'ici considérés comme du Crétacé terminal
9-Quaternaire
10-Contact normal 11-Contact anormal