

LE VOLCANISME EFFUSIF TERTIAIRE DE LA MESETA DE MOROCOCALA (Cordillère orientale bolivienne, département d'Oruro) (1)

Philippe De PACHTERE
Institut Dolomieu (Géologie), rue M. Gignoux, 38031 Grenoble
Cedex France

RÉSUMÉ

Le volcanisme de la région de Morococala s'est développé au Tertiaire, essentiellement durant le Miocène. Il s'étend sur 50 km du nord au sud et sur 30 km d'est en ouest. Le volcanisme a débuté par une émission de tufs acides créant la Meseta proprement dite, et s'est poursuivi par une phase de coulées ayant donné naissance aux édifices volcaniques qui culminent sur la Meseta (Cerros Tankha-Tankha 4 850 m). Cette dernière phase se manifeste par des coulées accompagnées de dômes endogènes. Les roches émises sont de nature dacitique à rhyodacitique. Cette zone malgré son altitude élevée (4 400-4 800 m), semble correspondre à une zone affaissée du socle paléozoïque et sa position structurale serait en rapport avec des accidents parallèles à l'axe de la chaîne.

MOTS-CLÉS : Tufs — Rhyodacite — Géodynamisme — Miocène — Pliocène — Andes — Cordillère Orientale — Bolivie.

RESUMEN

El volcanismo en la región de Morococala se ha desarrollado al Terciario y esencialmente durante el Mioceno. Se extiende en 50 km del Norte al Sur y en 30 km del Este al Oeste. El volcanismo ha empezado por una emisión de tufos acidos estableciendo la Meseta y se ha perseguido por una fase de coladas que han dado los volcanes que culminan sobre la Meseta (Cerros Tankha-Tankha 4 850 m). Esta última fase se manifiesta por coladas acompañadas de domos volcanicos.

Las rocas producidas son de composición dacítica a rhyodacítica. Esta zona a pesar de su altura elevada (4 400-4 800 m) parece corresponder a un hundimiento del paleozoico y su posición estructural estaría en relaciones con accidentes paralelos al eje de la cordillera.

ABSTRACT

The dacitic and rhyodacitic volcanism of the Morococala area has been active during the Tertiary with a climax in the Miocene. The volcanic rocks cover an area measuring 50 km N-S and 30 km W-E. The activity initiated with an emission of acid tuff that forms the Meseta. In the following lava flows have built up the volcanic peaks (Cerros Tankha Tankha 4 850 m). These have been entruded by endogeneous domes. In spite of its elevation (4 400-4 800 m), the area seems to be underlain by a depression in the surface of the paleozoic basement. The tectonic position appears related to faults parallel to the axis of the cordillera.

РЕЗЮМЕ

ТРЕТИЧНЫЙ ЭФФУЗИВНЫЙ ВУЛКАНИЗМ НА МЕСЕТА МОРОКОКАЛА (Восточная боливийская кордильера, округ Оруро)

Вулканизм области Морококала развился в третичный период, особенно в течение миоцена. Он занимает область на расстоянии 50 км с севера на юг и 30 км с востока на запад. Вулканизм

(1) Étude réalisée dans le cadre de la Mission U.M.S.A.-O.R.S.T.O.M., La Paz, Bolivie.

начался с извержения кислых туфов построивших Месета собственно говоря, и продолжался периодом лавовых потоков развившихся в вулканические массивы, кульминирующие на Месета (Серрос Танха-Танха, 4 850 м). Последняя фаза характеризуется потоками, сопровождаемыми эндогенными куполами. Изверженные горные породы — от дацитов до риодацитов по составу. Несмотря на его большую высоту, кажется, что этот район соответствует впадине палеозойского фундамента, и его структурное положение могло бы соотноситься параллельным к главному направлению цепи нарушений.

INTRODUCTION

Durant tout le Cénozoïque, la Cordillère orientale est une zone positive au sein de laquelle s'individualisent quelques bassins (SEBRIER *et al.*, à paraître). L'activité magmatique tertiaire, intrusive et effusive y est importante (fig. 1).

Dans la présente étude, sont décrites les caractéristiques géodynamiques, pétrographiques et géochimiques des formations volcaniques à caractère effusif d'âge miocène supérieur comme le confirment les datations donnant des âges compris entre 5,5 et 8,0 Ma. (BERNAT 1981, EVERNDEN 1977). La séquence stratigraphique globale de ce secteur est composée de formations paléozoïques plissées (formations Cancaniri, Huanuni, Llallagua, Uncia et Catavi), surmontées par une séquence effusive tertiaire. Localement, dans la partie orientale de la Meseta, vers la localité de Bolivar, une séquence grés-conglomératique crétacée à oligocène (?), en discordance sur le Paléozoïque, s'intercale entre ce dernier et la série volcanique miocène et pourrait traduire localement l'existence d'une phase tectonique incaïque dans la Cordillère orientale (SEBRIER *et al.*, à paraître; MARTINEZ, 1978).

Dans la partie occidentale, des corps intrusifs du Miocène inférieur (20 Ma) guident à leur contact la minéralisation de la série paléozoïque.

DESCRIPTION GÉNÉRALE DE LA MESETA

La Meseta apparaît à l'échelle régionale, comme un édifice complexe quant à sa genèse et sa répartition dans le temps et dans l'espace. Une analyse géomorphologique a permis de montrer deux domaines bien distincts qui définissent une zone orientale (altitude 4 200 m), avec une paléosurface peu accidentée où se développe la Meseta *sensus stricto*, et une zone occidentale (altitude moyenne 4 600 m), avec des paléoreliefs très prononcés, où des coulées viennent combler les vallées. Une telle morphologie conduit à envisager l'existence d'un bassin d'effondrement au sein de la Cordillère orientale, du même type que le bassin de Puchuni au nord de la ville d'Oruro.

Localement des centres d'émission conduisent à des épanchements de table comme on peut l'observer dans le secteur de Japo (fig. 2).

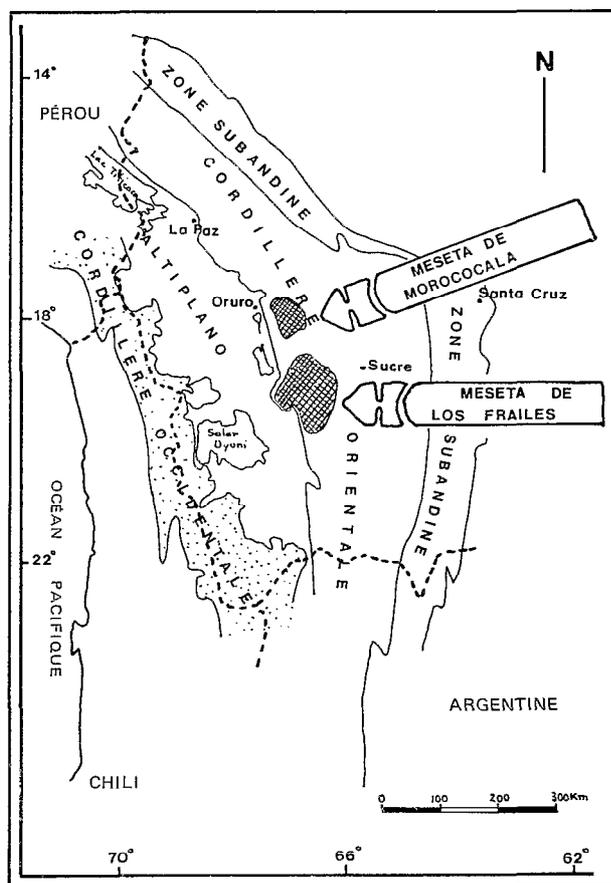


FIG. 1. — Localisation de la Meseta de Morococala.

Les tufs affleurent sur une épaisseur de 30 à 50 m dans la partie orientale de la Meseta. Dans la partie occidentale, où ils sont piégés dans les vallées, ils peuvent atteindre une puissance de 100 à 200 m. La Meseta s'étend sur environ 1 500 km² et correspond à un volume de laves émises voisin de 80 km³. L'étude photoaérienne confirme l'emplacement des Cerros Tankha-Tankha comme pouvant être un centre d'émission. D'autres centres s'observent à Japo (fig. 3) ainsi qu'au sud vers la mine de Llallagua. On peut effectivement envisager plusieurs appareils éruptifs ayant pu donner naissance à la Meseta, et

la superposition locale de plusieurs coulées pourrait être le résultat de leur fonctionnement simultané.

CADRE STRUCTURAL

Les observations de terrain, complétées par une étude de photos de satellites et aériennes, ont permis d'établir le schéma structural suivant, localisant la Meseta par rapport au bassin d'effondrement supposé (oligocène inférieur?), et situant le Cerro Tankha-Thankha en bordure de ce dernier.

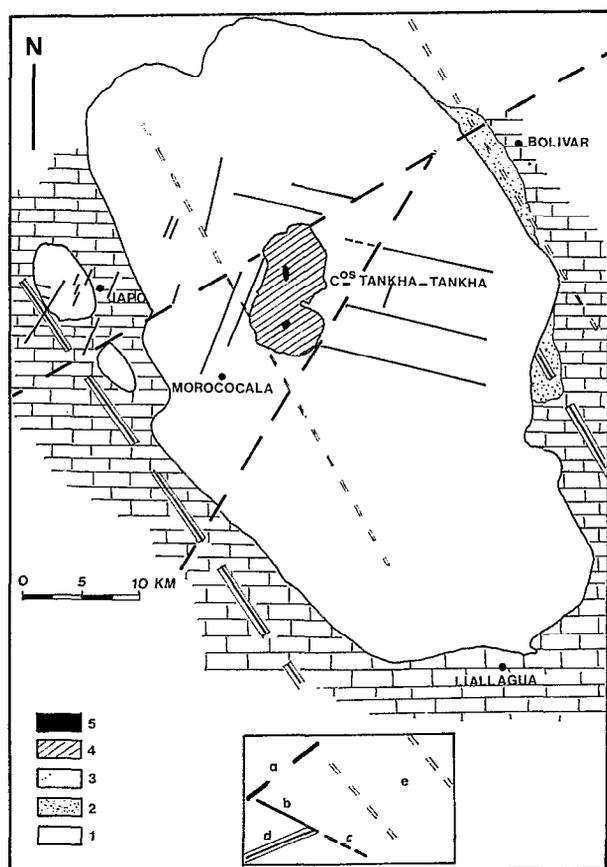


FIG. 2. — Schéma structural de la Meseta de Morococala : 1. Paléozoïque. — 2. Crétacé-Oligocène (?). — 3. Meseta miocène. — 4. Volcans Cerros Tankha-Tankha. — 5. Dômes. — a. Linéaments. — b. Accidents majeurs observés. — c. Accidents supposés. — d. Direction axiale de la chaîne. — e. Limite du bassin d'effondrement.

Deux grands linéaments transverses par rapport à la cordillère (N 55°-N 27°) recoupent une direction de fracturation parallèle à la chaîne (N 120°-N 130°).

(1) Stratigraphique.

Une fracturation N 100° (miocène inférieur?) semble avoir engendré les vallées antérieures à la Meseta.

Après la mise en place du volcanisme, ces accidents ont continué à jouer mais un nouveau réseau de fractures N 30° affecte le volcanisme et pourrait correspondre aux mouvements tectoniques intrapliocènes tels qu'ils ont été décrits par MARTINEZ en 1978.

Le magmatisme semble lié à de grands accidents NW-SE parallèles à la cordillère, comme en témoigne la position des centres d'émission. La position (1) et l'âge de ce volcanisme présentent un schéma cohérent avec les différentes phases tectoniques (MARTINEZ, 1978).

DESCRIPTION DU SECTEUR DE JAPO-MESA REDONDA

Dans ce secteur on distingue schématiquement deux phases volcaniques distinctes :

(1) Une première phase a conduit à l'édification de la Meseta de Japo (Mesa Redonda). Elle apparaît constituée de trois coulées superposées. La dernière coulée, c'est-à-dire celle en position topographique la plus élevée, présente en surface des figures de fluages divergents à partir d'un centre d'émission situé au NE du Cerro Pabellon (fig. 3). Cette dernière venue aurait aussi alimenté la coulée de fond de vallée que l'on observe vers le sud.

(2) Une seconde phase a conduit, à l'emplacement même du centre d'émission de la Mesa Redonda, situé à l'intersection de plusieurs accidents, à l'édification d'un édifice volcanique constitué par quelques coulées. Ces dernières montrent des directions de fluage divergentes et correspondent à la phase ultime du volcanisme de ce secteur.

DESCRIPTION DU SECTEUR DES GERROS TANKHA-TANKHA

Les appareils volcaniques

Il s'agit d'un secteur particulier de la Meseta constitué par trois appareils volcaniques (fig. 4) :

le Macho Tankha-Tankha 4 856 m correspond à un cône de coulées dont le cratère est partiellement rempli par la montée de dômes-lames endogènes ;

le Huayna Tankha-Tankha 4 850 m montre quelques coulées et un dôme-lame ;

le Cerro Copajira au sud (4 516 m) est constitué d'un dôme ayant évolué en coulée visqueuse.

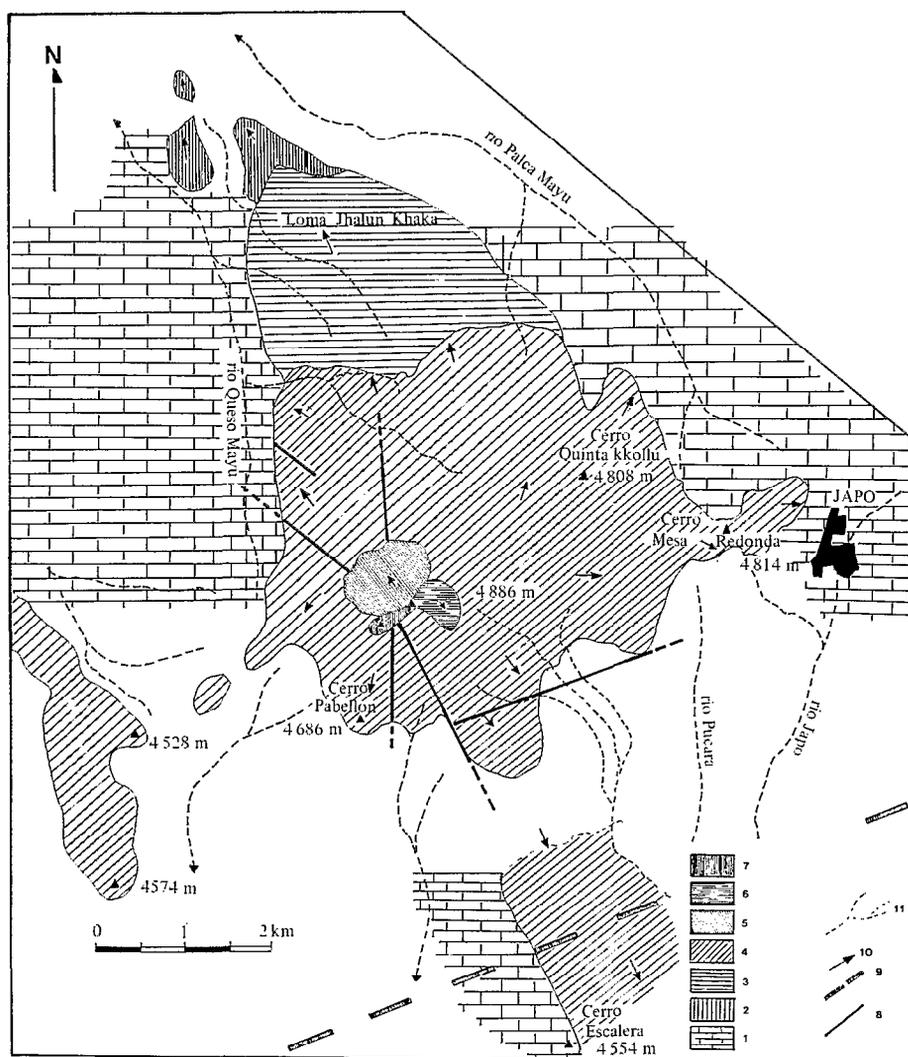


FIG. 3. — Schéma géologique du secteur de Japo-Mesa Redonda :

1. Paléozoïque. — 2, 3, 4. Coulées de la Mesa Redonda. — 5, 6, 7. Coulées supérieures. — 8. Accidents majeurs observés. — 9. Linéaments. — 10. Sens d'épanchement des coulées. — 11. Réseau hydrographique.

Ces appareils ont été recouverts ultérieurement par des formations glaciaires importantes masquant la partie basale des édifices. Ces volcans dominent la Meseta d'environ 500 m.

Les cycles volcaniques

Ce secteur a été affecté par deux cycles volcaniques.

(1) Le premier a conduit à l'édification de la Meseta ss. str., avec le dépôt de la formation de type « ash-flow » contenant de nombreux fragments de roches du socle sous-jacent (fig. 4).

(2) Un second épisode a conduit à l'édification des volcans Tankha-Tankha avec une phase de coulées et de dômes-lames (fig. 4).

Toutefois la chronologie des événements éruptifs de ces derniers montre dans le détail des évolutions différentes.

Dans le Macho Tankha-Tankha, la phase de dôme-lame est réellement postérieure puisque ces intrusions recoupent très nettement les coulées antérieures.

Le dôme du Huayna Tankha-Tankha (fig. 5) est en fait un dôme-lame affaissé sur le versant nord. Cet affaissement se traduit par une structure en pelure d'oignon. Un décrochement au sommet du

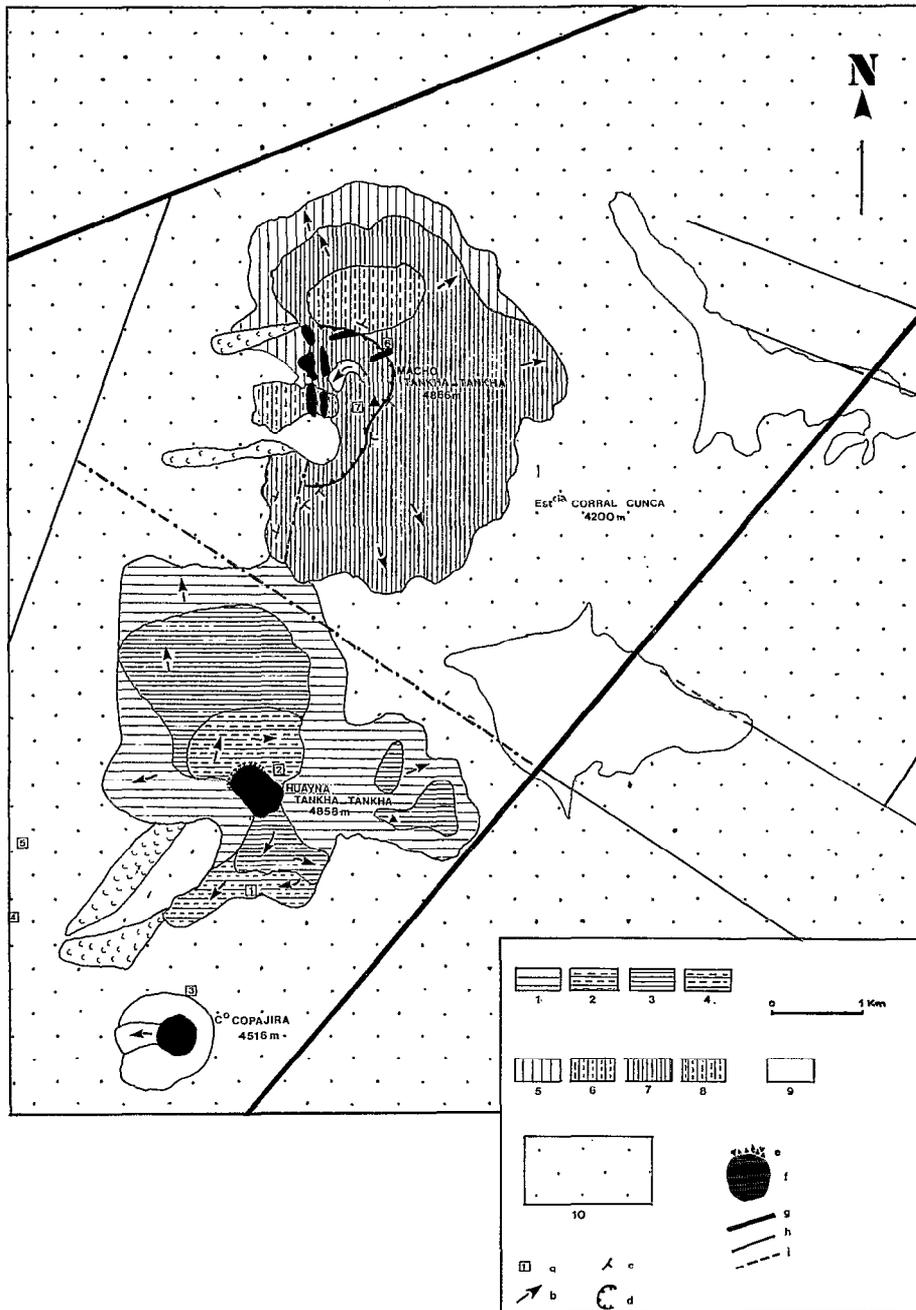


FIG. 4. — Schéma géologique du secteur des Cerros Tankha-Tankha :

1, 2, 3, 4. Différentes coulées du Huyna Yankha-Tankha. — 5, 6, 7, 8. Du Macho Tankha-Tankha. — 9. Dépression quaternaire. — 10. Meseta ss. str. — a. Localisation des échantillons. — b. Sens d'épanchement des coulées. — c. Pendage apparent des coulées. — d. Bord de cratère. — e. Brèches. — f. Dôme. — g. Linéaments. — h. Accidents majeurs observés. — i. Accidents supposés.

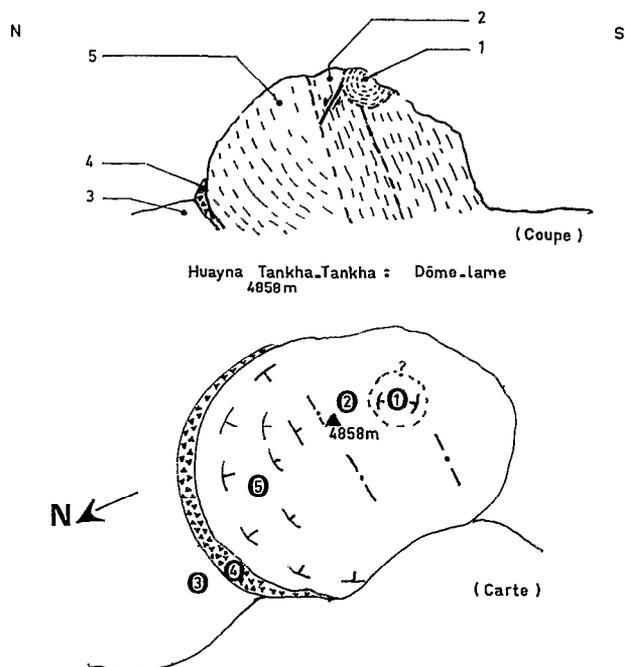


FIG. 5. — Dôme-lame du Cerro Huayna Tankha-Tankha : 1. Dôme supérieur en « pelure d'oignon ». — 2. Lame. — 3. Coulée. — 4. Brèche. — 5. Grand dôme en « pelure d'oignon ».

dôme correspond certainement à une fracturation survenue lors du refroidissement de ce dernier, et témoigne de son tassement.

Ce dôme est entouré d'une brèche, mise en place au cours de sa croissance, et provenant de son auto-destruction lors de sa montée.

Contrairement à ce que l'on observe sur le Macho Tankha-Tankha, la venue du dôme accompagnerait l'émission des coulées et correspondrait à la phase ultime du volcanisme de cet édifice. Le Cerro Copajira n'est en fait qu'un dôme avorté, ayant évolué en coulée visqueuse.

La relation de ces édifices avec la Meseta sous-jacente n'est pas toujours très évidente et il semble que l'on puisse apporter diverses interprétations pour le versant oriental du Macho Tankha-Tankha. Les tufs passent en moins de 1 km d'une altitude de 4 600 m, sous le volcan, à une attitude de 4 200 m, sur la Meseta ss. str., en particulier vers l'Estancia Corral Cunca.

Plusieurs hypothèses s'offrent alors (fig. 6) :

(1) L'existence d'un accident affaissant un compartiment, après la mise en place du volcanisme, semble peu probable.

(2) L'existence d'un paléorelief dans le Paléozoïque, dû à une érosion ou à un abrupt de faille est possible, compte tenu du contexte environnant.

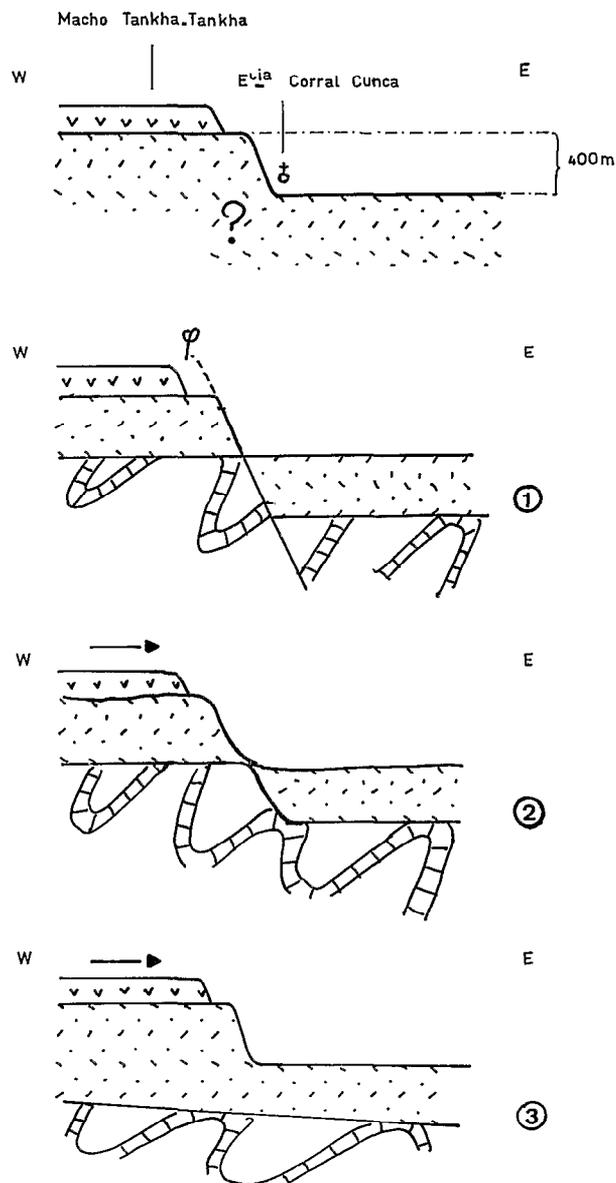


FIG. 6. — Essai d'interprétation du flanc oriental du Macho Tankha-Tankha :

0. État actuel. — 1. Accident affaissant un compartiment après le dépôt du volcanisme. — 2. Paléorelief dans le Paléozoïque (érosion ou abrupt de faille). — 3. Dépôt des tufs localement plus épais ou érosion différentielle.

(3) Le dépôt de tufs, localement plus épais, est aussi possible mais je pense qu'il faut aussi envisager un phénomène d'érosion différentielle, qui aurait été plus marquée là où les tufs n'étaient pas recouverts par des coulées plus résistantes aux phénomènes d'érosion.

COMPARAISON ENTRE LES DEUX SECTEURS DE JAPO ET DES CERROS TANKHA-TANKHA

La chronologie et le type d'activité volcanique confèrent à ces deux secteurs un certain nombre de similitudes et ceci malgré des positions topographiques et structurales différentes. Tous ces caractères confirment la présence systématique de deux phases volcaniques à l'échelle de la Meseta.

On doit envisager l'existence d'une phase volcanique ayant conduit à l'édification de nappes de tufs avec une mise en place contemporaine pour les deux secteurs. Il n'est pas interdit de penser, compte tenu du dynamisme de ce volcanisme, qu'une partie du matériel volcanique issu du centre d'émission de Japo ait pu déborder vers l'est. Ceci pourrait constituer un élément dans l'explication d'une épaisseur de tuf plus importante sous les Cerros Tankha-Tankha (fig. 6). L'existence d'une phase de coulées constitue le seul témoin actuel de la localisation de centres d'émission, qui ont probablement fonctionné antérieurement pour former la Meseta.

De telles observations semblent confirmer ce schéma au Sud, vers Llallagua.

ÉTUDE PÉTROGRAPHIQUE

Aux deux phases volcaniques précédemment décrites s'associent deux types de faciès.

Il s'agit tout d'abord d'un faciès tuffacé très riche

en fragment de socle (paléozoïque) sous-jacent. La nature de ces xénolithes (diamètre de l'ordre du cm) permet d'émettre quelques hypothèses sur leur point de sortie et de leur transport. En particulier des tufs contenant des blocs de quartzite ont été rencontrés sur des sédiments paléozoïques essentiellement lutitiques et témoignent ainsi de leur allochtonie relative.

Les faciès de base sont souvent de nature plus compacte et sont plus riches en silice. Le quartz est souvent bien exprimé dans les tufs sous forme de cristaux trapus aux formes émoussées. Des figures de fluage caractérisent le dynamisme de mise en place et s'observe aussi bien à l'échelle de l'affleurement que de l'échantillon, où les biotites semblent présenter une sorte de litage.

Les échantillons prélevés sur les Cerros Tankha-Tankha (localisation fig. 4) montrent des faciès très laviques où des phénocristaux (mm) de plagioclases (An 35-65) et de biotites baignent dans une matrice hyaline ou cryptocristalline. Certains faciès présentent un début de phénomène de dévitrification.

GÉOCHIMIE DES ÉLÉMENTS MAJEURS

L'ensemble des roches étudiées se rapporte à des termes acides puisque, selon la classification de TAYLOR (1969), elles se classent par leur pourcentage en SiO_2 dans les dacites et les rhyolites. Le chimisme de ces roches montre une très grande homogénéité (tabl. I).

TABLEAU I

Tableau des analyses chimiques des laves de Morococala. Les échantillons 8, 9, 10, 11, ont été prélevés sur la Meseta ss. str. à l'Est des Cerros Tankha-Tankha. Localisation des échantillons 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, sur la fig. 4.

oxyde %wt	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
SiO ₂	67.74	70.35	69.79	69.77	70.35	65.07	68.11	65.83	68.47	64.54	66.06
Al ₂ O ₃	15.38	15.82	15.93	15.39	15.57	16.11	16.56	18.63	15.46	18.05	16.91
Fe ₂ O ₃	3.61	2.50	2.40	2.43	2.45	3.82	1.73	2.06	2.57	3.06	2.84
FeO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MnO	0.05	0.04	0.04	0.03	0.04	0.06	0.02	0.06	0.03	0.05	0.00
MgO	1.23	0.48	0.75	0.44	0.38	1.44	0.47	0.47	1.09	1.11	0.91
CaO	1.99	2.07	1.81	1.84	1.48	2.57	2.15	0.87	1.96	2.12	2.00
Na ₂ O	2.79	3.37	3.48	3.41	2.82	3.19	3.19	3.00	3.33	3.04	3.22
K ₂ O	4.72	4.37	3.98	3.89	4.39	4.27	4.73	4.73	4.25	4.46	4.14
TiO ₂	0.60	0.47	0.42	0.42	0.46	0.66	0.66	0.26	0.48	0.52	0.48
P ₂ O ₅	0.25	0.23	0.14	0.19	0.24	0.25	0.32	0.23	0.22	0.24	0.22
H ₂ O+	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
H ₂ O-	1.95	1.28	1.08	1.52	1.83	2.35	1.94	3.32	1.31	3.24	2.08
Total:	100.33	100.98	99.82	99.44	100.01	99.80	99.87	99.45	99.17	100.43	98.86

On observe une constance des termes P_2O_5 , TiO_2 , MgO mais aussi de Al_2O_3 qui est systématiquement élevé.

Les teneurs en K_2O , Na_2O , CaO sont variables, mais celles de K_2O restent toujours fortes. La teneur moyenne de K_2O est de 3,86 pour $\text{SiO}_2 = 60\%$ à Morococala, c'est-à-dire à une distance de 450 km

de la fosse. Cette donnée semble cohérente avec les données établies par LE FÈVRE (1976) qui propose une valeur de 3,80 pour K_2O à Puno (Pérou) situé à 370 km de la fosse.

Le positionnement des laves de Morococala dans un diagramme $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}/\text{SiO}_2$ de Kuno montre qu'elles se situent bien dans la série calco-alcaline et

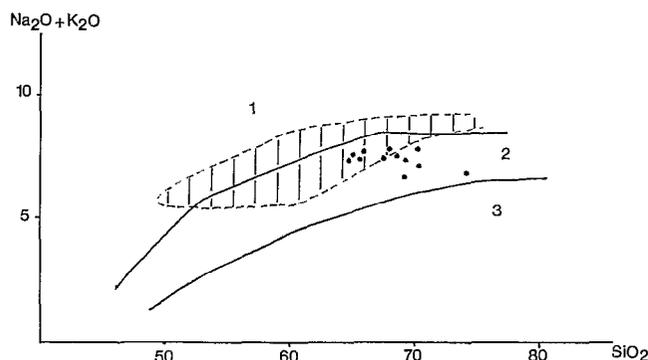


FIG. 7. — Diagramme $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}/\text{SiO}_2$ de Kuno : Laves de Morococala ; 1 : Série alcaline ; 2 : Série à hyperstène ; 3 : Série à pigeonite de KUNO (1959). Zone hachurée : domaine de dispersion du volcanisme calco-alcalin des Andes de ROUTHIER (1978).

qu'elles se trouvent très proches du domaine de dispersion du volcanisme calco-alcalin des Andes défini par ROUTHIER (1978) (fig. 7).

CONCLUSION

Le volcanisme de Morococala, malgré sa position très orientale, présente de grandes analogies géodynamiques, pétrographiques et géochimiques avec le volcanisme miopliocène de l'Altiplano et de la Cordillère occidentale.

Sa position structurale, son isolement et sa faible

extension dans l'espace ont permis d'aborder une explication de sa mise en place, favorisée par la présence de centres d'émission.

Des datations et analyses chimiques, en cours de réalisation, permettront d'apporter des précisions supplémentaires sur ce volcanisme et de le recaler plus précisément par rapport à des épisodes volcaniques connus sur l'Altiplano et dans la Cordillère occidentale.

*Manuscrit reçu au Service des Éditions de l'O.R.S.T.O.M.
le 14 octobre 1982*

BIBLIOGRAPHIE

- BERNAT, 1981. — Nice, Communication orale.
- EVERDEN (J. F.), 1977. — Potassium Argon ages of some bolivian rocks. *Econ. Geol.*, vol. 72 : 1042-1061.
- KUNO (H.), 1968. — Differentiation of basaltic magma. In Hess H. H. et Poldervaart A. edit. *Basalts*, 2 : 623-688, Interscience Publ. New York.
- LEFÈVRE (C.), 1976. — Caractères chimiques et géochimiques du volcanisme andin cénozoïque au Pérou entre 12° 30 S. et 18° S. ; un exemple de modèle de relation volcanisme-zone de subduction de type marge continentale active. 3^e Congrès Latino-Amér. Géol., Acapulco.
- MARTINEZ (C.), 1978. — Structure et évolution de la chaîne hercynienne et de la chaîne andine dans le nord de la Cordillère des Andes de Bolivie. Thèse, U.S.T.L., Montpellier.
- ROUTHIER (P.) *et al.*, 1978. — La ceinture sud ibérique à amas sulfurés dans sa partie espagnole médiane. *Mém. B.R.G.M.*, n° 94.
- SEBRIER (M.), LAVENU (A.), FORNARI (M.), SOULAS (J. P.), à paraître. — Tectonics and uplift in the Andes of Southern Peru and Central Bolivia from Oligocene to present.
- TAYLOR (S. R.), 1969. — Trace element chemistry of andesites and associated calc-alkaline rocks. *Proc. Andesite Conf. Bull. Oregon, Dept. Geol. Min. Industries* 65 : 43-63.