

## Mantos et amas sulfo-arsénié à or : la Rinconada, premier indice de minéralisation de type exhalatif-sédimentaire dans la Cordillère orientale du Pérou.

Michel FORNARI \*, Michel BONNEMAISON \*\*

---

*Mantos and the gold-arsenic massive sulphides of la Rinconada : first exhalative sedimentary mineral occurrence in the Eastern Peruvian Cordillera*

---

Mots clés : Amas minéralisé, Or substance, Mispickel, Pyrrhotite, Micaschiste, Grès, Silurien, Dévonien, Rift, Guide, Pérou.

### Abstract

The gold-bearing quartz of the Rinconada sector, 150 km North of Puno, on the NW flank of the Apolobamba cordillera, have been mined since pre-Colombian times. This activity has concerned rather flat structures known locally by the generic term of « mantos », this term implying non typological definition.

An ORSTOM-INGEMMET joint venture has investigated the nature of these mineralisations. The « mantos » are not very thick (10 to 20 cm) but very extensive. They are mainly composed of bluish grey quartz with chlorite, pyrite, pyrrhotite, arsenopyrite and gold. The gold is either in millimeter-sized particles located in the quartz microfissures, or in fine specks (0.3 to 3  $\mu$ ) scattered through the quartz. The grades are in the 10 to 25 g/t range.

During this work, a new type of deposit for Peru was discovered : the gold bearing sulphide exhalative sedimentary deposit of Rinconada. The mineralisation comprises a

massive layer of arsenopyrite and pyrrhotite interbedded in the Siluro-Devonian quartzites and sandy shales of the Ananea formation and affected by the Eohercynian tectonics (Upper Devonian - Lower Carboniferous). The sulphide layer is exposed over a distance of 300 m, with a width of some 2 m. It comprises a « massive » arsenopyrite facies sandwiched between pyrrhotite - (pyrite) facies and chlorite schists (chloritites). These various facies are arranged parallel to the bedding.

The footwall of the sulphide mineralisation is made up of quartzite locally invaded by a quartz stockwork linking the « mantos » to the sulphide body. The « mantos » have been generated by the percolation of hydrothermal fluids ascending the sedimentary column during the compaction, certain layer limits having formed preferential paths.

The discovery of this new type of deposit in Peru has awakened fresh mining interest in the Lower Paleozoic of the Eastern Cordillera.

### Résumé

Des minéralisations aurifères, décrites classiquement comme filons de quartz interstratifiés (mantos), sont connues depuis la période précolombienne dans la Cordillère orientale du sud-est du Pérou.

L'étude entreprise a permis de préciser la nature de ces minéralisations et a conduit à la découverte d'un type de gîte nouveau au Pérou : l'indice exhalatif-sédimentaire sulfo-arsénié aurifère de la Rinconada.

Cet indice se présente sous la forme d'une couche massive de mispickel et de pyrrhotite, interstratifiée dans les schistes gréseux et les quartzites siluro-dévonieniens de la formation Ananea. Les mantos s'interprètent alors comme des manifestations de circulations hydrothermales associées au griffon.

Un nouveau métalotecte pour la prospection de l'or au Pérou est proposé.

\* ORSTOM, 24, rue Bayard, 75008 Paris, France et Laboratoire de minéralogie et cristallographie, LA 607, Université Paul-Sabatier, 39, allées Jules-Guesde, 31400 Toulouse, France.

\*\* BRGM, Département Gîtes minéraux, BP 6009, 45060 Orléans Cedex, France.

## Introduction

Au Pérou, l'or a été exploité durant la période incaïque, puis à l'époque coloniale ; la production totale a été d'environ 1 000 kg en 1900, 3 000 kg pendant les années 1920-1930 ; 6 500 à 8 000 kg entre 1950 et 1960 et environ 3 000 kg pour les années 70. 4 937 kg ont été produits en 1982, ce qui place le Pérou approximativement au 20<sup>e</sup> rang des producteurs mondiaux. La production des placers, collectée par le Banco Minero, a été de 2 689 kg en 1982 (environ 55 % de l'or total), dont la majeure partie provient de la zone sub-andine et de la plaine amazonienne, surtout de la région du Madre de Dios (2 000 kg) qui contient un

potentiel de plusieurs milliers de km<sup>3</sup>. Le Nord de la plaine amazonienne et haut rio Marañon en ont fourni 82 kg, le rio Huallaga, 24 kg et la zone du rio Santa (Cordillère occidentale), 38,7 kg.

Les gîtes d'or primaires du pays se situent dans cinq domaines morpho-structuraux (fig. 1) :

1) Un domaine Pacifique à porphyres cuprifères, lié au batholite de la côte, qui se poursuit au Chili. Trois gisements y sont actuellement exploités : Cerro Verde, Cujajone et Toquepala ; l'or est récupéré comme sous-produit de raffinage du cuivre électrolytique et

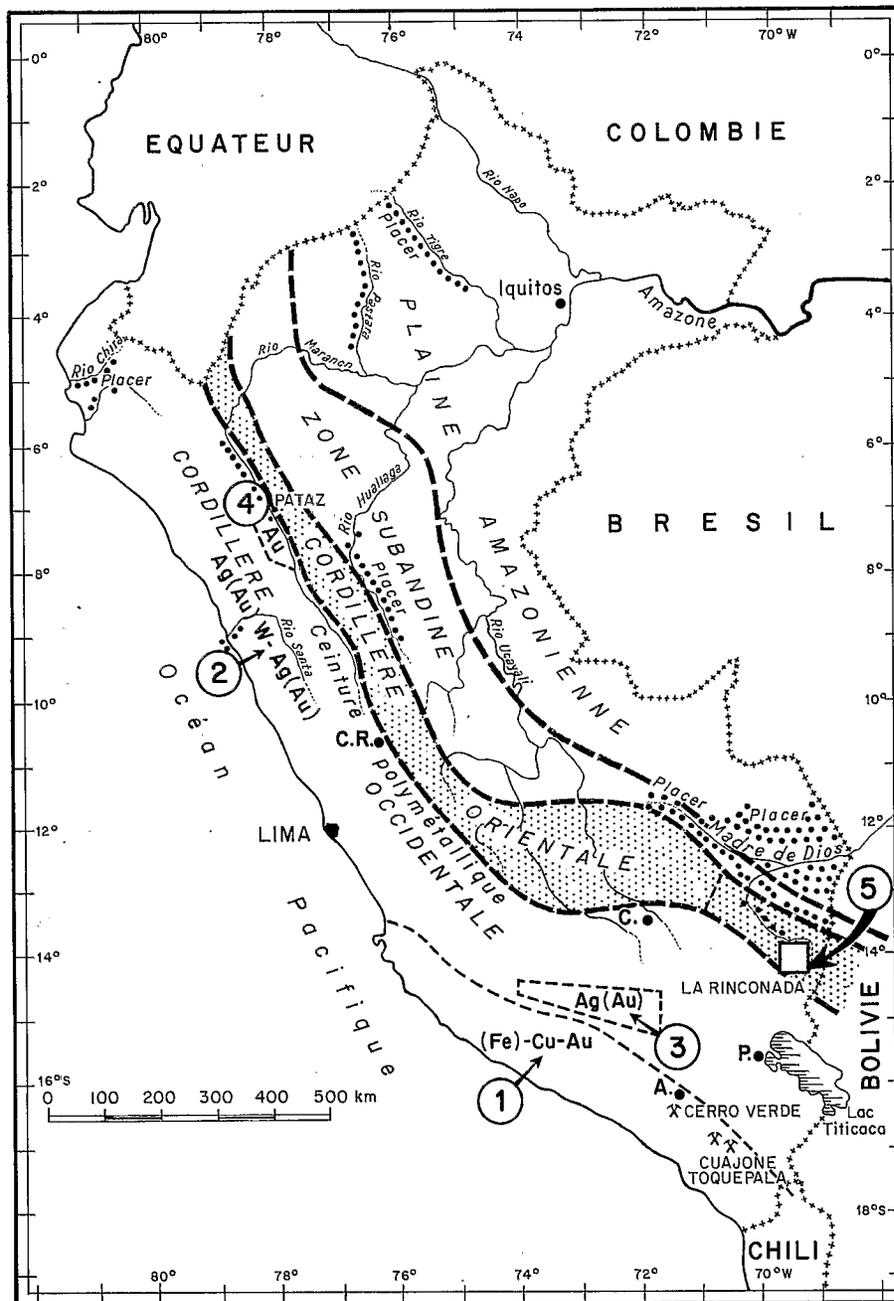


Fig. 1. — Principaux domaines morpho-structuraux et zones aurifères.

1. Domaine Pacifique à porphyres cuprifères.
  2. Domaine à minéralisations filoniennes à W ou Ag et Au subordonné associées aux intrusifs acides.
  3. Domaine à minéralisations filoniennes à Ag(Au) associées au volcanisme andésitique tertiaire.
  4. Domaine oriental de Pataz-Buldibayo à filons de quartz aurifère.
  5. Domaine sud-oriental de la Rinconada à mantos et amas stratiformes.
- ∴ Placers : terrasses fluviales actuelles et anciennes (principalement du piémont et de la plaine amazonienne) ; moraines et fluvioglaciales des bassins intramontagneux en zone haute de la Cordillère orientale.

A : Arequipa ; C : Cuzco ; CP : Cerro de Pasco ; P : Puno.

représenterait plus du tiers (400 à 500 kg) des 1 320 kg (1) d'or produits par l'usine de traitement de CENTROMIN à la Oroya en 1982. Ce domaine présente une zonation fer → cuivre → or parallèle à la côte, classiquement considérée en relation avec l'enfouissement de la plaque Pacifique sous la Cordillère. Il semble cependant qu'il y ait aussi superposition d'une zone à minéralisation aurifère plus jeune (miocène ?) que la minéralisation de type porphyre cuprifère qui est datée entre 80 (L. Le Bel, 1979) et 60 MA (R. Estrada, 1969). Cette dernière minéralisation aurifère est associée à de la pyrite et se présente en auréoles intra ou péri-granitiques dans les parties apicales d'intrusifs dioritiques (zone de Caravelli). Il existe également des filons à gangue principalement quartzreuse et contenant de petites quantités de chalcopryrite, sphalérite, galène et calcite, où l'or est essentiellement sous forme de grains d'électrum et, moins fréquemment, en inclusion dans la pyrite et les microfissures du mispickel (L. de Montreuil, 1979). La production des mines d'or de ce domaine a été d'environ 768 kg en 1982.

2) Un domaine à minéralisations filoniennes à wolfram ou argent et or subordonné associées à des stocks intrusifs acides et au volcanisme tertiaires ; ce domaine, centré sur la Cordillère occidentale, montre des minéralisations complexes à sulfosels d'antimoine et arsenic abondants ; l'or est rare, sauf dans certaines parties de filons enrichies par les phénomènes d'oxydation supergène. Dans ce domaine, la production est faible.

3) Un domaine argentifère, associé au volcanisme andésitique miocène et pliocène. Il s'agit de filons hectométriques à kilométriques, encaissés dans des volcanites ; la minéralisation comprend surtout des sulfosels d'argent avec des sulfures de Pb, Zn et Cu subordonnés, dont la proportion augmente dans les parties profondes. La gangue est formée essentiellement de quartz et de carbonates (rhodochrosite ; M. Fornari et N. Vilca, 1978).

Dans ce domaine, l'or est un sous-produit de l'exploitation de l'argent. Les teneurs en argent varient de 150 à plus de 1 000 g/t ; elles sont très élevées dans certaines zones d'oxydation superficielles ; le rapport Au/Ag est compris entre 0,015 et 0,002. Les mines ont été l'objet d'une exploitation très ancienne et on ne dispose que de données fragmentaires sur leur production : la mine de Suckuytambo, actuellement fermée, a produit, entre 1940 et 1955, 1 860 kg d'or et 127 t d'argent, celle de San Juan de Lucanas, 926 kg d'or et 100 t d'argent entre 1950 et 1955 ; les mines de Cailloma auraient produit, depuis la conquête espagnole, 2 300 t d'argent et, d'après les estimations des teneurs, de l'ordre de 5 t d'or.

Actuellement, l'or des domaines 2 et 3 n'est plus qu'un sous-produit des concentrés traités à la raffinerie de La Oroya.

4) Un domaine oriental de Pataz-Buldiboyo : la zone minéralisée s'allonge sur 160 km du nord-est au sud-ouest, avec une largeur de 5 à 20 km, sur le flanc ouest de la Cordillère orientale. Les terrains affleurants

(1) Ce chiffre correspond à l'or effectivement raffiné au Pérou et exclut l'or des concentrés non traités vendu à l'exportation.

sont formés de schistes épimétamorphiques d'âge probablement précambrien (B. Dalmayrac, 1978) et paléozoïque inférieur, ainsi que de grès et lutites attribués au Carbonifère. Des roches intrusives (granites, granodiorites et diorites) forment des stocks ou des batholites plurikilométriques d'âge paléozoïque, d'après leur relation avec les roches encaissantes. De petits stocks granodioritiques sont également rapportés au Tertiaire (B.E. Bellido, L. de Montreuil, 1972).

La minéralisation forme le remplissage de fractures encaissées principalement dans les roches intrusives et dans les sédiments paléozoïques adjacents. La majorité des filons est de faible extension (200-300 m), mais certains peuvent atteindre 3 km. La puissance est de l'ordre de 30 cm à 1 m, la profondeur atteint 100 m. Ils sont essentiellement quartzeux avec or, électrum, pyrite, mispickel, sphalérite, galène et chalcopryrite. L'or est surtout associé à la pyrite et au quartz et, dans les zones d'oxydation, il forme des inclusions dans la limonite. La production de ces filons a été de 160 kg d'or en 1982. Elle devrait passer à 900 kg en 1983.

5) Un domaine sud-oriental : il s'allonge depuis la frontière bolivienne jusqu'à la longitude de Cuzco ; il est classiquement caractérisé par l'abondance mais aussi l'irrégularité des filons de quartz aurifère (B.E. Bellido, L. de Montreuil, 1972). La seule mine importante a été celle de Santo Domingo qui a fourni de 500 à 1 000 kg d'or par an entre 1896 et 1930 et dont le filon plurikilométrique présenterait des parties riches (bonanzas) de 120 à 150 g/t.

Une action conjointe de l'Office de la recherche scientifique des Territoires d'Outre-Mer (ORSTOM) et de l'Instituto geologico minero y metalogico del Perú (INGEMMET) a été effectuée dans ce dernier domaine, dans la région de la Rinconada, où les travaux antérieurs (L. de Montreuil, 1980) décrivaient des « mantos » de quartz à or visible.

Le terme « manto », dans cette partie du Pérou, est utilisé pour désigner toute structure minéralisée relativement continue et peu pentée, quelles que soient ses relations géométriques avec l'encaissant. L'étude de ces mantos et de leur contexte géologique nous a permis de mettre en évidence une couche sulfarsénifiée de type exhalatif-sédimentaire et nous a conduit ainsi à reconsidérer la nature des gîtes aurifères de cette région.

La région de la Rinconada se situe sur le flanc sud-ouest de la cordillère d'Apolobamba, au pied du massif d'Ananea qui culmine à 5 830 m ; elle est facilement accessible par une piste d'environ 250 km à partir de la ville de Puno, au bord du lac Titicaca (fig. 1).

Les exploitations traditionnelles, qui existaient déjà avant l'arrivée des Espagnols (mine des Incas), sont implantées dans des filonnets de quartz aurifère peu pentés (mantos) et s'étagent entre 4 900 m et 5 200 m, jusqu'à la limite inférieure du glacier ; la teneur moyenne du minerai varie de 10 à 25 g/t et la production est d'environ 1 kg d'or par mois. Ces mantos intéressent de faibles volumes : celui d'Esperanza, par exemple, a été exploité sur environ 400 m en direction et 100 m en aval pendage ; sa puissance moyenne est évaluée à 10 cm, avec une teneur à 15 g/t, ce qui représente environ 100 kg d'or.

L'exploitation des mantos est très peu mécanisée : à cause de leur faible épaisseur et en profitant de leur pendage relativement faible (15 à 25°), ils sont exploités par sous-cavage puis triage manuel. Parfois, un second tri, qui ne conserve que les morceaux de quartz à or visible, est effectué. Le quartz est ensuite broyé et l'or libéré est collecté par amalgamation.

Il existe aussi dans la région des placers aurifères situés dans les dépôts glaciaires et fluvio-glaciaires accumulés sur les versants et dans les bassins intramontagneux. Ces placers sont de volumes très

importants, de plusieurs km<sup>2</sup> pour une puissance variant de 10 à 30 m. Les teneurs moyennes y sont de l'ordre de 150 à 300 mg/m<sup>3</sup> (M. Fornari *et al*, 1981 ; T. Saenz Chavez, 1964).

Ces placers sont exploités artisanalement par abattage hydraulique (1 à 2 kg d'or produits, surtout en saison des pluies). Entre 1960 et 1972, la société Natomas of Peru a produit 4 t d'or avec une drague flottante. Plus récemment, la société Minero Perú a installé une unité de lavage de 1 000 t/j de capacité.

## 1. Cadre géologique de la minéralisation de la Rinconada

### 1.1. Lithologie de l'encaissant

La zone minéralisée est encaissée dans la formation Ananea (G. Laubacher, 1978). Il s'agit d'un ensemble schisto-gréseux d'âge siluro-dévonien de plusieurs milliers de mètres d'épaisseur, correspondant à une partie du remplissage du bassin marin établi sur le substratum précambrien, entre le massif d'Arequipa à l'ouest et le bouclier brésilien à l'est.

La série montre une répétition monotone de couches de grande extension de grès fins siliceux alternant avec des schistes sombres, suivant une organisation séquentielle prograde. Les couches sont lenticulaires. Leur puissance varie de quelques centimètres à plusieurs mètres. Les niveaux gréseux et quartzitiques, de granulométrie fine (200 à 400  $\mu$ ), sont formés de quartz détritiques, de rares plagioclases (< à 5 %) et de quelques muscovites héritées, souvent flexurées ; on note la présence systématique de zircons fortement émousés (40 à 50  $\mu$ ) et parfois de tourmalines vertes ou brunes. La matrice est constituée de quartz et de séricite de 5 à 10  $\mu$  intimement mêlés. Lorsque la proportion de grains de quartz détritiques, est très élevée, la roche acquiert une texture engrenée de quartzite. Les niveaux schisteux proviennent d'un matériel pélitique sombre ; généralement peu puissants, ils sont essentiellement composés de muscovite (de 40 à 50  $\mu$ ) parfois chloritisée, incluse dans une matrice de séricite et quartz (2 à 10  $\mu$ ) finement cristallisée. On observe également des schistes gréseux, qui correspondent à des faciès intermédiaires entre les grès quartzitiques et les schistes sombres ; ces roches montrent une proportion variable de grains de quartz et de plagioclases (de 50 à 150  $\mu$ ) dans une matrice de schistes et présentent généralement une rythmicité irrégulière due à un litage millimétrique à centimétrique.

Des niveaux volcaniques, de couleur blanchâtre à gris clair et de granulométrie très fine, correspondant probablement à des cinérites, ont été identifiés dans la formation Ananea, dans l'unité minéralisée. L'épaisseur de ces niveaux varie de quelques centimètres à un mètre ; ils montrent fréquemment des microfissures envahies de plages de chlorite.

### 1.2. Structure géologique locale

La structuration majeure de la région, due à la tectonique éohercynienne (G. Laubacher, 1978), s'est produite au cours du Dévonien terminal ou du

Carbonifère basal. A la Rinconada, cette tectonique se manifeste par l'existence de plis couchés de plusieurs centaines de mètres d'amplitude, accompagnés d'une schistosité de flux. Nous avons pu mettre en évidence (fig. 2), une unité de « flanc normal » et une unité « d'écaillés » (flanc inverse).

La première unité constitue un ensemble de couches de pendage moyen 15 à 25° vers le sud, qui présente des replis mineurs et des ondulations décimétriques. La puissance des couches atteint 1 000 m ; dans la partie sud-est (zone du lac Comeni), on observe une augmentation du pendage correspondant à l'amorce d'une charnière anticlinale. La schistosité de flux est bien développée : elle présente une direction moyenne E-W et un pendage de 10 à 30° vers le nord. Les relations schistosité-stratification et la polarité des couches indiquent un déversement des structures vers le sud.

Cette unité est limitée à sa base par une faille inverse, à pendage faible dans la partie ouest, plus fort dans la partie est ; le contact est jalonné par une bande de brèches tectoniques de plusieurs mètres de puissance.

Dans la seconde unité, les écaillés correspondent à des empilements d'ensembles de bancs en position normale ou inverse, séparés par des contacts cisailants de faible pendage. Ces écaillés forment une semelle sous l'unité de flanc normal et reposent sur des couches en position inverse qui montrent quelques charnières de replis mineurs. Ces couches se raccordent probablement au flanc inverse du grand anticlinal couché qui affleure au sud-ouest, en rive droite du lac de la Rinconada.

L'amplitude du déplacement de l'unité de flanc normal et la zone d'enracinement n'ont pas pu être déterminées, car les contacts sont masqués par le glacier.

Une deuxième phase de déformation, postérieure au plissement principal a été distinguée. Elle s'accompagne localement d'une schistosité de crénulation, peu intense dans la zone étudiée. On observe également des fractures tardives, à pendage généralement fort, induisant des déplacements d'importance limitée ; les directions proches de N-S et de NW-SE sont les plus fréquentes.

### 1.3. Roches intrusives

Les seuls affleurements rencontrés au voisinage de la région de la Rinconada correspondent à une roche porphyrique, de nature tonalitique, à grain fin, fortement altérée, formant des sills ou des lames grossièrement parallèles à la stratification ; l'altération se marque par le développement d'agrégats de séricite.

A moins d'une dizaine de kilomètres au nord de la région (San Francisco) et au nord-ouest (Cerro Condoquiña), affleure un leucogranite qui a développé un métamorphisme thermique dans son encaissant (formation Ananea) avec, en particulier, croissance de grands cristaux d'andalousite, de cordiérite et de biotite. Tous ces minéraux de métamorphisme sont

affectés par la schistosité S<sub>1</sub>, ce qui indique une mise en place du granite précoce par rapport à la phase tectonique éohercynienne. Le granite lui-même est d'ailleurs déformé et ses faciès de bordure montrent une foliation.

Des filons aplitiques et pegmatitiques accompagnent le granite, ainsi que des filons à quartz et tourmaline, auxquels serait associé de l'étain (G. Petersen, 1962). Neuf analyses en roche de ce granite donnent une teneur moyenne de 43 ppm Sn (minimum 11, maximum 92) ; un échantillon des faciès à quartz et tourmaline renferme 1 700 ppm Sn et de la cassitérite a été trouvée par batée associée à la tourmaline. L'or n'a pas été décelé ni dans le granite, ni dans les schistes de l'auréole de contact.

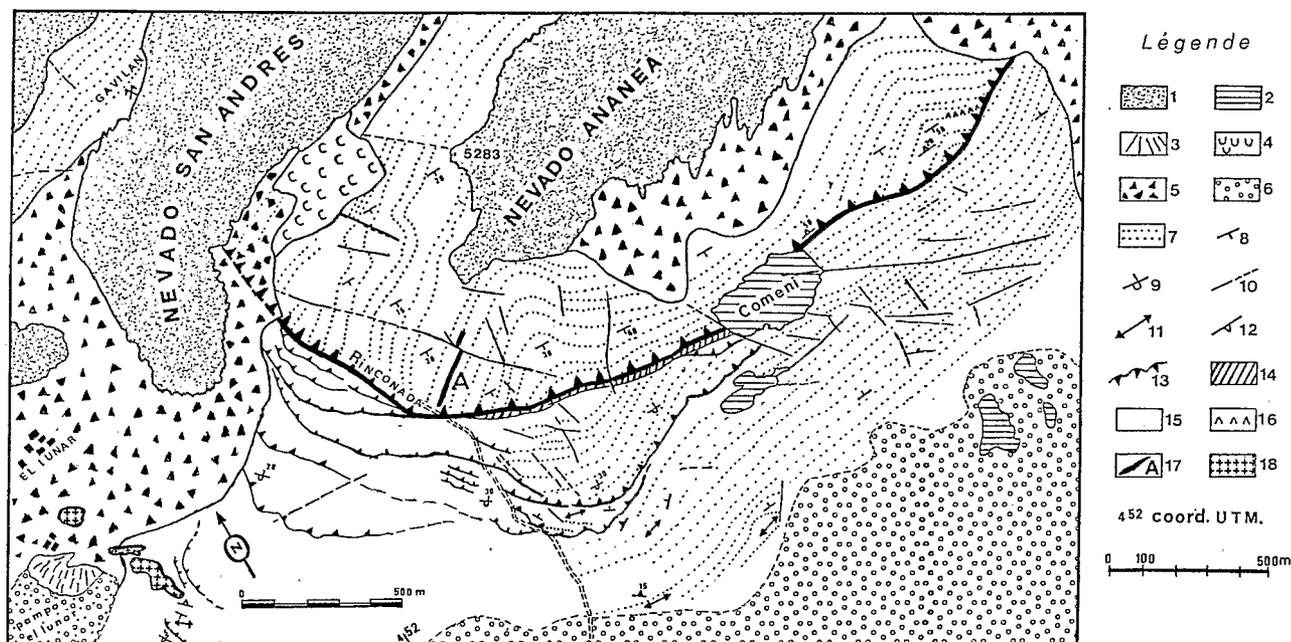


Fig. 2. — Plan structural de la zone de la Rinconada.

1 : glacier ; 2 : lac ; 3 : cône de déjection ; 4 : éboulis ; 5 : moraine récente ; 6 : moraine ancienne ; 7 : trace de banc ; 8 : pendage, couche en position normale ; 9 : pendage, couche renversée ; 10 : faille ; 11 : micro-pli ; 12 : schistosité S<sub>1</sub> ; 13 : faille inverse, base d'unité ou d'écaïlle tectonique ; 14 : zone de brèche tectonique ; 15 : unité de flanc normal ; 16 : cinérites ; 17 : amas sulfuré ; 18 : roche intrusive.

## 2. Les minéralisations

### 2.1. Les mantos

Il s'agit, en fait, de niveaux de quartz concordants avec la stratification ; leur puissance varie de quelques centimètres à 20 cm au maximum et leur extension peut atteindre plusieurs centaines de mètres (mantos « continus »). Actuellement, on connaît dans l'unité de flanc normal, 19 mantos principaux de ce type.

La position des mantos dans la colonne lithologique ne semble pas liée à un faciès particulier, ni à une limite de séquence ; ils auraient tendance à se disposer dans la partie moyenne des séquences, au-dessous des faciès les plus gréseux, mais ceci n'est pas systématique.

Les mantos suivent les joints de stratification et peuvent englober des reliques des roches immédiatement encaissantes dont l'orientation n'est pas perturbée. On observe parfois des stries de glissement banc sur banc, mais, en général, le passage au toit et au mur s'effectue par l'intermédiaire d'un liséré millimétrique à quartz et chlorite.

Il existe aussi des mantos « discontinus », d'extension limitée à quelques dizaines de mètres et des filonnets de quartz, chlorite et mispickel sécants, par rapport à la stratification ; ces filonnets sont connectés aux mantos des deux types.

Les mantos sont impliqués dans les plissements ; à l'échelle de la lame mince, la schistosité de flux de la roche encaissante s'y observe également ; leur mise en place est donc antérieure à la tectonique éohercynienne.

Le quartz des mantos se caractérise par sa couleur gris bleuté ou gris-noir et surtout par son éclat gras ; il contient des chlorites, de la pyrite, de la pyrrhotite, du mispickel et de l'or. L'or se présente en placages millimétriques dans des fissures ou dans les interstices des cristaux de quartz. Il forme parfois une pellicule le long du contact avec les roches encaissantes, en association avec la chlorite. Occasionnellement, ont été observés quelques grains d'or de moins de 0,5 mm, isolés dans les schistes encaissants, à quelques centimètres du manto.

L'or contient de 10 à 13 % d'argent, un peu de bismuth, d'arsenic et très peu de tellure ; le fer et le cuivre sont en proportion infime et distribués de façon aléatoire. Associé à cet or « grossier » en plages millimétriques relativement dispersées, on observe au MEB de l'or fin, de 3 à 0,3  $\mu$ , dont la répartition au sein du quartz paraît plus homogène.

La teneur moyenne en or des mantos varie de 10 à 25 g/t. Cependant la répartition de l'or est très erratique car les mineurs disent avoir parfois rencontré des pépites de la taille du poing (comm. pers. T. Cenzano, 1981).

## 2.2. L'amas sulfo-arsénié

Cet amas a été découvert lors du levé de coupes géologiques détaillées. Il a été reconnu sur environ 300 m de long, immédiatement à l'est du village de la Rinconada (fig. 2) et se marque à l'affleurement par des zones oxydées (hydroxydes de fer et scorodite) peu développées, du fait de l'altitude et de l'érosion glaciaire. Les sulfures sont sub-affleurants.

Il présente une direction N 100° E et un pendage moyen de 25 à 30° vers le sud ; la puissance minéralisée varie de 1 à 2 m. Après un décalage par une faille transversale, la minéralisation se poursuit vers l'est, mais son épaisseur semble se réduire. Son aval-pendage n'est pas connu.

### 2.2.1. Les différents faciès et leur organisation

Macroscopiquement, on distingue un faciès central « massif » à mispickel, encadré, vers le mur et le toit, par des faciès à pyrrhotite - (pyrite) et schistes noirs.

Ces différents faciès s'organisent en lentilles aplaties de grande extension, parallèles à la stratification (fig. 3).

**Le faciès « massif ».** Le mispickel en est le constituant principal. Il se présente en cristaux automorphes de taille millimétrique, parfois fragmentés et cimentés par de la chlorite. Il y a également une faible proportion (moins de 15 %) de matériel d'origine

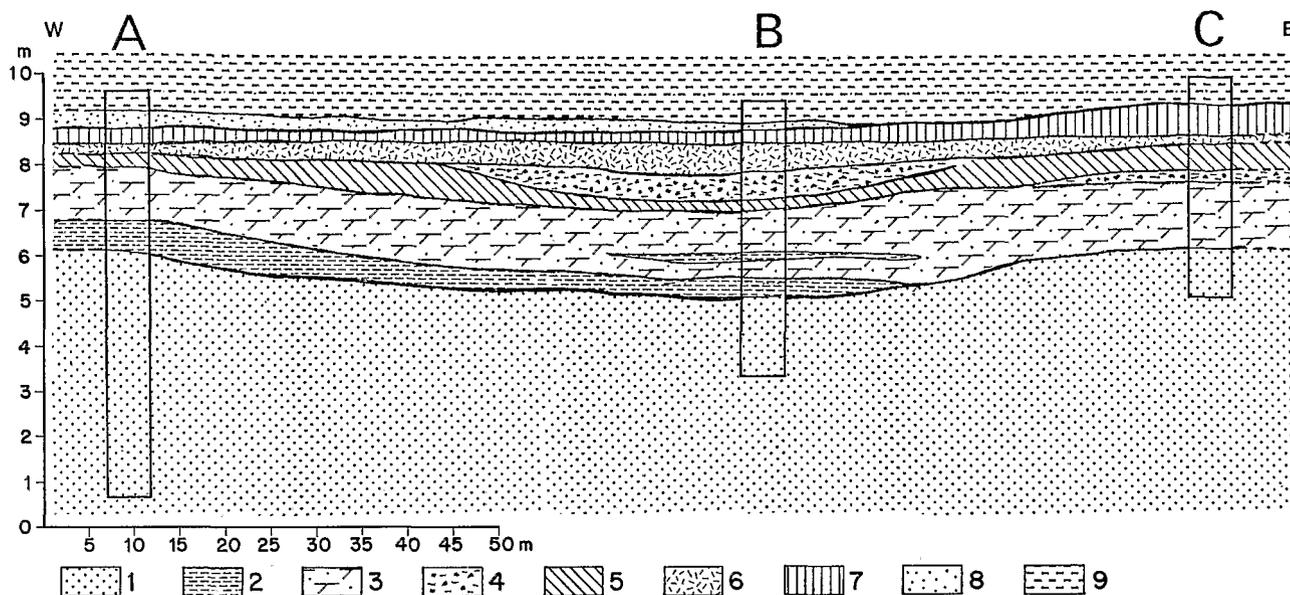


Fig. 3. — Disposition verticale des différents faciès de l'amas sulfo-arsénié.

1 : barre de quartzites du mur ; 2 : schistes noirs ; 3 : grès fins à pyrite ou pyrrhotite ; 4 : schistes chloriteux et sulfurés ; 5 : faciès « mur » ; 6 : faciès massif ; 7 : faciès « toit » ; 8 : grès quartzitiques ; 9 : schistes gréseux ; A, B, C : tranchées d'échantillonnage (la zone de griffon se situe à 30 m à l'est de la tranchée C).

détritique (quartz et muscovite), correspondant à une « dilution » par les apports terrigènes. Ce faciès revêt trois aspects :

— à la base, on observe de nombreuses lentilles centimétriques de couleur sombre (schistes chloriteux), dans lesquelles les cristaux sub-millimétriques de mispickel se disposent en lits montrant des figures de sédimentation ;

— à la partie médiane, on note des « yeux » ovoïdes de mispickel très finement cristallisé, noyés dans un mélange de cristaux plus grossiers ;

— à la partie supérieure, sur quelques centimètres d'épaisseur, le mispickel se présente en aiguilles non orientées ; on y trouve aussi du quartz recristallisé, ce qui indique un degré de cristallisation plus élevé dans cette partie.

**Le faciès « mur ».** Il s'agit d'un ensemble complexe, débutant par des schistes noirs plus ou moins gréseux, riches en pyrrhotite disséminée, et passant à des schistes chloriteux, puis à des faciès à pyrrhotite dominante, avec quelques reliques schisteuses. L'aspect est souvent bréchié : les schistes apparaissent fragmentés en lambeaux de forme ovoïde et flexueuse, de quelques centimètres de longueur, séparés par des « lits » millimétriques à centimétriques de pyrrhotite ; la pyrrhotite est très finement cristallisée alors que le mispickel, peu abondant, forme des cristaux millimétriques qui semblent se développer peu après la pyrrhotite.

**Le faciès « toit ».** Il présente les mêmes caractéristiques, et le même aspect de brèche sédimentaire que le faciès « mur » ; le mispickel y semble cependant plus abondant que dans ce dernier faciès.

Le passage aux formations encaissantes du toit est relativement rapide. Il se fait par l'intermédiaire d'un niveau lenticulaire de faible puissance de grès quartzitiques à pyrite finement disséminée autour des grains de quartz, surmonté par des schistes gréseux relativement pauvres en sulfures.

## 2.2.2. Le mur de l'amas et la zone de stockwerk

Le mur de la minéralisation est constitué par une barre de quartzites de 15 m d'épaisseur, semblable aux quartzites déjà décrits dans la formation Ananea ; à son sommet, on observe une passée de schistes fins composés de phyllites (muscovites d'environ 50  $\mu$ ) incluses dans une matrice de séricite et de quartz fin (2 à 10  $\mu$ ). Ces quartzites sont recoupés par un réseau de petites veinules à quartz et pyrite de 1 à 5 mm de puissance.

Sur environ 30 m de longueur, cette barre de quartzites est totalement modifiée : des veinules de quartz de plus en plus nombreuses vers le centre forment un réseau anastomosé (stockwerk) et parfois des « poches » de quartz gris bleuté, avec chlorite et sulfures ; le quartzite lui-même a subi une altération hydrothermale qui se marque par la corrosion des grains de quartz détritiques et le développement de chlorite et sulfures ; localement, la roche est complètement imprégnée de chlorite, pyrrhotite et mispickel ;

seuls y subsistent quelques grains isolés de quartz corrodés. Par sa localisation par rapport à l'ensemble des faciès minéralisés, cette zone transformée peut être interprétée comme un griffon.

## 2.2.3. Données analytiques partielles

La partie affleurante de l'amas sulfuré présente des teneurs en or variant entre 0 et 50 g/t, mais généralement comprises entre 0 et 2 g/t, ainsi que des teneurs en Ag qui, bien que pouvant atteindre 36 g/t, sont le plus souvent de l'ordre de 2 à 8 g/t. Quelques analyses ponctuelles semblent montrer que, même dans les faciès à sulfures massifs, l'or serait associé aux plages à silice et chlorite ; jusqu'à présent, il n'a pas été détecté dans la pyrrhotite ou le mispickel.

La teneur en fer et en soufre s'accroît régulièrement de la base au sommet de l'amas, alors que l'arsenic se cantonne dans sa partie centrale, comme le montre l'évolution des teneurs moyennes en ces éléments dans les trois faciès qui le constitue :

	Fe (%)	S (%)	As (%)
Faciès « toit »	31	16,3	2,5
Faciès massif	26	13	25,7
Faciès « mur »	18,5	7,4	1,5

Cet amas renferme des traces de Pb, Zn (100 ppm), de Cu (< 100 ppm) et de Sn (40 ppm).

## 2.3. Interprétation génétique (fig. 4)

Les observations réalisées suggèrent que l'amas sulfo-arsénié de la Rinconada correspond au dépôt et à la concentration de boues sulfurées dans des dépressions pendant la sédimentation de la formation Ananea ; ces boues furent émises par des sources hydrothermales sous-marines dont l'activité était peut-être liée à des phénomènes distensifs du fond du bassin accompagnés d'une activité volcanique et correspondant à un phénomène de rifting avorté.

Ces sources ne correspondent pas à un événement bien individualisé mais plutôt à une multitude de fissures émissives réparties sur une grande superficie. Les fluides émis auraient percolé à travers la colonne sédimentaire en voie de compaction. Certaines limites de strates auraient servi de drain aux fluides, permettant ainsi la formation de « mantos » de grande extension par rapport à leur puissance réduite ainsi que l'imprégnation en sulfures de certains niveaux sédimentaires.

Une même origine hydrothermale pourrait donc être attribuée à tous les phénomènes d'aspects différents observés : filonnets de quartz sécants, « mantos » continus ou discontinus, transformation locale de la barre de quartzite au mur de l'amas et amas sulfo-arsénié de la Rinconada.

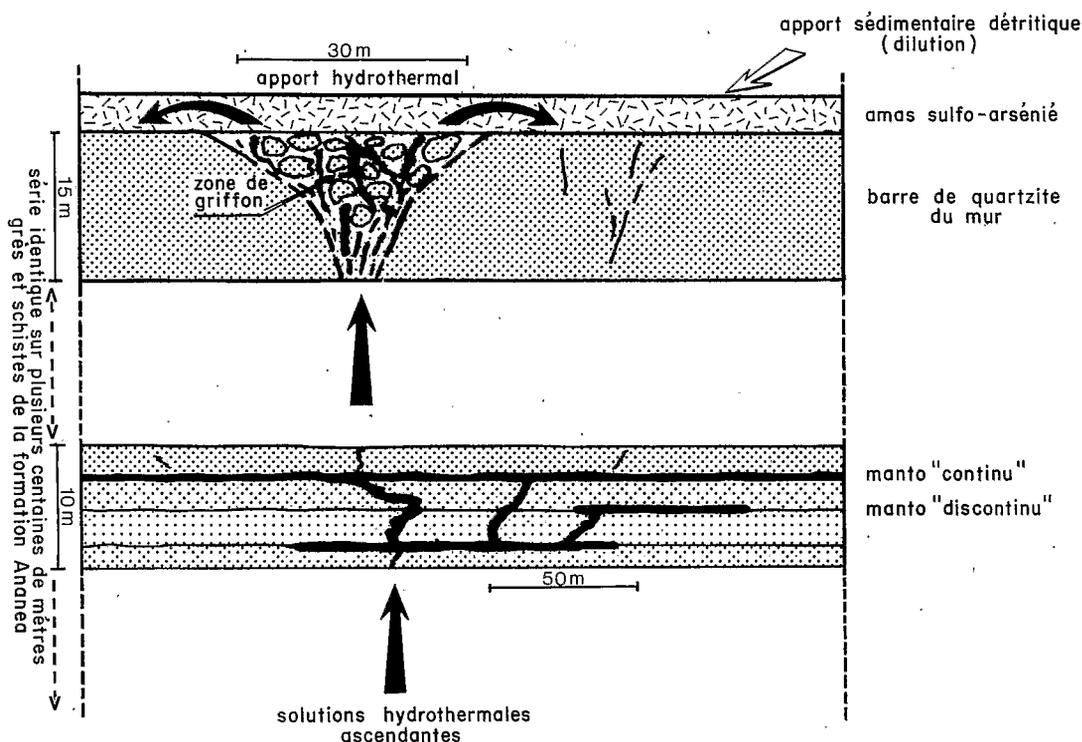


Fig. 4. — Modèle interprétatif des minéralisations : position des mantos et de l'amas (les échelles sont illustratives et ne respectent pas les épaisseurs réelles décrites dans le texte).

## Conclusion

La mise en évidence dans la Cordillère orientale du Pérou d'un gîte aurifère de type exhalatif-sédimentaire constitue un fait métallogénique nouveau. Au niveau régional, on doit souligner l'existence du métalotect « Paléozoïque inférieur » dont on peut, par ailleurs, envisager l'extension à la Cordillère orientale où des niveaux à sulfures ont été identifiés : zone de Monzon (flanc est de la Cordillère dans le Nord du Pérou) et zone de Pataz. Au niveau local, on peut définir de nouveaux guides de prospection de l'or, tels que la présence de mispickel ou autres sulfures dans les sédiments et de zones d'altération hydrothermale. On peut, enfin, rappeler que le caractère répétitif de l'activité des sources hydrothermales sous-marines permet d'espérer l'existence, dans la série, d'autres amas sulfo-arséniés aurifères.

## Remerciements

Nous remercions l'Ingénieur H. Benvente Revilla, Chef du Département Promotion aurifère du Banco minero del Perú, de nous avoir fourni les données économiques relatives à la production d'or du Pérou publiées dans cet article.

## Références bibliographiques

- BELLIDO B.E., MONTREUIL L. (de) (1972). — Aspectos generales de la metalogenia del Perú. Servicio de Geología y Minería, bol. n° 1, *Geología Economica*, 149 p.
- DALMAYRAC B. (1978). — Géologie de la Cordillère orientale de la région de Huanuco : sa place dans une transversale des Andes du Pérou central (9° S à 10°30' S). *Trav. Doc. ORSTOM*, 93, 181 p.
- ESTRADA R. (1969). — Edades radiométricas en la cercanía de Cerro Verde. Universidad Arequipa, Perú.

FURNARI M., VILCA N. (1978). — Mineralización argentífera asociada al volcanismo cenozoico en la faga Puquio-Cailloma. IV Congreso Peruano de Geología. *Bol. Soc. Geol. Perú*, t. 60, p. 101-128.

FURNARI M., GRANDIN G., HÉRAIL G., JUNGBLUTH R., LAUBACHER G., RODRIGUEZ W., VERGARA J., ZEGARRA J. (1981). — Las mineralizaciones auríferas en la Cordillera sur oriental del Perú. Action conjointe ORSTOM-INGEMMET 1977-1981, rapport final, 74 p.

FURNARI M., HÉRAIL G., LAUBACHER G. (1982). — El oro en la Cordillera sur oriental del Perú : el placer fluvio-glacial de San Antonio de Poto y sus relaciones con la mineralización primaria de la Rinconada. Quinto Congreso Latino americano de geología, Argentina, Actas IV, p. 369-386, Buenos Aires.

LAUBACHER G. (1978). — Géologie de la Cordillère orientale et de l'Altiplano au nord et au nord-ouest du lac Titicaca (Pérou). *Trav. Doc. ORSTOM*, 95, 191 p.

LE BEL L. (1979). — Étude des conditions de formation du porphyre cuprifère de Cerro Verde-Santa Rosa (Pérou méridional) pris dans son contexte plutonique. Thèse, Univ. Lausanne, 160 p., BRGM éd., Orléans.

MONTREUIL L. (de) (1979). — Ocurrencia del oro y sus asociaciones mineralógicas en la faga aurífera de Nazca-Ocana. Folleto de conferencia, Banco Minero del Perú.

MONTREUIL L. (de) (1980). — Algunos aspectos mineralógicos de la Cordillera oriental del Perú. Folleto de conferencia, Banco Minero del Perú.

PETERSEN G. (1962). — Sobre condoriquina y otros depositos de estano en el Perú. *Bol. Soc. Nac. Min. y Petrol.*, vol. 72.

PETERSEN G. (1970). — Metallogenic provinces in South-America. *Geol. Rdsch.*, vol. 59, n° 3, p. 834-897.

PONZONI S.E. (1980). — Metalogenia del Perú. In : metalogenesis in Latino America. Publ. IVGS n° 5, Mexico.

SAENZ CHAVEZ T. (1964). — Explotacion en depositos aluviales mediante el sistema de draga (distrito de Poto, Provincia de Sandia, Dpto de Puno). Thèse, Univ. Arequipa, Perú.