

Découverte de nouvelles minéralisations primaires d'or dans la Cordillère Royale de Bolivie à partir de l'analyse morphoscopique de paillettes d'or prélevées en alluvion

Gérard HERAIL, Michel FORNARI, Viteliano MIRANDA et Giovanni VISCARRA

Résumé — Dans les alluvions du lit des cours d'eau du versant oriental de la Cordillera Real (Bolivie), comme dans toutes les rivières, la morphologie des particules d'or évolue pendant le transport : accroissement de l'émoussé et de l'indice d'aplatissement, apparition de stries et de marques de déformations mécaniques, ... L'étude morphoscopique des particules d'or recueillies le long du versant de la Cordillère montre l'existence locale de paillettes très peu évoluées mécaniquement, ce qui a conduit à la découverte de nouvelles minéralisations primaires contenues dans les schistes noirs du Llanvirnien. Ces minéralisations sont situées à une quarantaine de kilomètres à l'Est de celles qui étaient déjà connues et qui, elles, sont encaissées dans les grès du Caradoc.

Discovery of additional primary gold mineralizations in the Cordillera Real (Bolivian Andes) by morphologic analysis of alluvial gold particles

Abstract — As in any river, in the alluvium of the rivers of the NE slope of the Cordillera Real, the morphology of gold grains changes during their downward transport. The changes are: an increase in the flatness index and in the bluntness, the appearance of striation marks and other mechanical deformations, ... The morphologic characteristics of gold grains in samples collected along the rivers showed that in some places slightly transformed grains occur; this fact led to the discovery of new gold veins, located in the Llanvirnian black shales about 40 km downstream than those already known in the Caradocian sandy formations.

Abridged English Version — I. INTRODUCTION. — In the Cordillera Real of the Bolivian Andes (Fig. 1), the gold is mined mainly from Tertiary and Quaternary placers of the Amazonian slope with also a minor production from quartz veins of the Yani region ([1] to [7]); these latter which are the only primary gold deposits found up to now in this region, are considered to be the source of the detrital gold. The morphologic characteristics of the gold grains sampled in the alluvium of the valleys draining the NE slope of the Cordillera and the Tipuani basin allowed to discover some gold primary mineralizations occurring about 40 km farther NE than those already known.

II. PRIMARY GOLD MINERALIZATION. — All the gold-bearing quartz veins are located near the line of crest of the Cordillera and are hosted in the Upper Ordovician shales with the exception of a mine near Sorata (Fig. 1) which is located in schists and sandstones of Silurian age. No gold occurrences are known in the high-grade metamorphic zone associated with syntectonic granites. Free gold in quartz veins occurs with chlorite, albite, pyrite, arsenopyrite, chalcopyrite and pyrrhotite; galena, sphalerite and scheelite are also present but less abundant. Gold appears also included in sulfides [4]. Sills of spilitized lavas interbedded with pyrite-rich black pelitic beds indicate some sub-marine volcanic activity during the Lower Paleozoic [4]; so, the gold mineralizations may have developed in the same environment as those described in Southern Peru [8].

III. MORPHOSCOPIC CHARACTERS OF THE GOLD GRAINS. — Only gold grains sampled in stream beds have been studied and analyzed by a method developed in previous works [9]. This method consists in describing the morphologic transformations suffered by gold grains in the transport: e. g. the evolution of general outline, of topographic and surface aspects, the

Note présentée par Georges MILLOT.

71
M
N° : 25252 ex 1
Cote : B
Date : 880725

disappearance of primary crystalline outlines, the appearance of neoformed crystalline outlines, rounded edges and structures such as striation marks, impacts, superimposed metal plates..., due to mechanical deformations resulting from transport. Many of these characteristics are observed only when the grain has been flattened enough by the impacts suffered in the transport so that it could be easily folded up. Flattening, measured over a large number of gold grains from the same sample, is characterized through a flatness index ($F.I. = L + l/2e$), where L is the length, l the width and e the thickness of the grains of the sample.

In the upstream part of the rivers eroding the primary mineralizations of the Cordillera Real, the gold grains contained in alluvium show a flatness index of about 2 to 3 and display primary crystalline outlines (*Fig. 2*) which disappear gradually downstream. During transport, the flattening increases: after a distance of about 30 km, the mean F.I. is 9 and reaches 14 near Guanay, and 17 near Mapiri. The same evolution is noted also along smaller rivers such as rio Mariapo [10].

The change from globulous to more and more flattened gold grains is accompanied by morphoscopic transformations such as smoothing, striation marks, impacts (*Figs. 3 and 4*); and after a distance of about 30 km, gold grains are very rounded with a regular topography and often show a "sandwich" structure (*Fig. 5*).

However, locally, these "mature" gold grains are mixed with gold grains with $F.I. \leq 4$, whose morphologic characteristics (*Fig. 6*) reveal a transport over very short distances. These grains result from the erosion of primary mineralizations located near the sampling site. Their presence in the alluvium of the rio Mariapo and rio Chimate and in some of their tributaries led us to look for and find primary and up to now unknown mineralizations (*Fig. 1*). They consist of free gold grains (*Fig. 7*) in quartz veins contained in the Llanvirnian black shales. This gold is a little richer in silver (8% Ag on an average) than that from the Yani region (6% Ag) but it does not differ significantly.

IV. CONCLUSION. — The morphologic analysis of grains of detrital gold is therefore an effective prospection tool even in the regions covered by the tropical rain forest.

I. INTRODUCTION. — Dans la Cordillère Royale (*fig. 1*) qui constitue la partie nord de la Cordillère Orientale des Andes de Bolivie, l'or est connu et exploité au moins depuis l'époque incaïque aussi bien dans les gisements filoniens de la région de Yani ([1] à [4]) que dans les placers tertiaires et quaternaires du versant amazonien de ce massif ([5] à [7]). S'il y a des différences dans l'interprétation de la genèse des gisements primaires de la région de Yani, tous les auteurs s'accordent pour les considérer comme la source de l'or contenu dans les sédiments cénozoïques du bassin de Tipuani-Mapiri. Cependant l'étude morphoscopique des paillettes d'or prélevées dans les alluvions des cours d'eau drainant le versant NE de la Cordillère Royale et le bassin de Tipuani-Mapiri, couverts par la forêt dense, nous a conduits à envisager la présence de minéralisations primaires d'or en aval de celles qui étaient connues jusque là.

II. LES MINÉRALISATIONS D'OR PRIMAIRE DE LA CORDILLÈRE ROYALE DE BOLIVIE. — Les minéralisations primaires connues dans ce massif sont localisées sur le flanc NE de la Cordillère (*fig. 1*) et contenues dans les séries gréseuses à intercalations pélitiques de l'Ordovicien supérieur, à l'exception de l'une d'elles (près de Sorata) qui est située dans des sédiments gréséo-pélitiques du Silurien. Aucun des indices reconnus n'est compris dans la zone métamorphique de haut grade liée aux granitoïdes syntectoniques. L'or a été détecté en micro-inclusions dans les sulfures, mais c'est sous forme de particules libres

dans des filons de quartz qu'il est actuellement extrait. Outre le quartz qui est largement dominant, la paragégnèse est constituée de chlorite, albite, pyrite, arsénopyrite, chalcopryrite et pyrrhotite; la sphalérite, la galène et la scheelite sont présentes mais rares [4]. L'or, caractérisé par sa grande pureté, contient environ 6% d'argent, des traces de cuivre, d'arsenic et de fer; la proportion d'argent s'accroît vers Ananea (*fig. 1*). La formation contenant les filons de quartz aurifère renferme aussi des sills de quelques mètres d'épaisseur de roches volcaniques spilitisées généralement associés à des faciès de pélites noires riches en pyrite; ces roches sont interprétées comme le produit d'un magmatisme sous-marin synsédimentaire [4]. Les minéralisations à or de la Cordillère Royale se sont donc développées dans un environnement comparable à celui qui a été décrit dans le sud du Pérou [8].

III. MORPHOSCOPIE DES PAILLETES D'OR PRÉLEVÉES EN ALLUVION. — Seules les paillettes d'or provenant d'un échantillonnage systématique du lit actuel des cours d'eau drainant le versant oriental de la Cordillère sont considérées ici. Leur évolution morphoscopique est analysée selon une méthode mise au point dans des travaux antérieurs [9]. On s'attache à caractériser les transformations subies au cours du transport, telles que l'apparition d'un émoussé, la formation de stries dues au contact entre les particules et la charge alluviale, la présence de lames de métal repliées sur elles-mêmes. Ces dernières formes n'apparaissent que lorsque la particule d'or a été suffisamment aplatie consécutivement aux chocs subis au cours du transport. L'indice d'aplatissement, défini par la relation $L + l/2e$ (où L est la longueur, l la largeur et e l'épaisseur) et calculé pour chaque particule d'or, permet de quantifier l'évolution générale de l'aplatissement au cours du transport.

Dans la partie amont du rio Tipuani ou du rio Consata, les paillettes d'or issues de l'érosion des minéralisations primaires ont un indice d'aplatissement de l'ordre de 2 à 3. Il s'accroît progressivement vers l'aval pour atteindre une valeur moyenne de 14 près de Guanay sur le rio Tipuani et de 17 près de Mapiri sur le rio Mapiri. On observe une évolution semblable depuis l'amont vers l'aval le long des cours d'eau moins importants comme le rio Mariapo [10]. La transformation de paillettes globulaires en paillettes de plus en plus aplaties va de pair avec une modification de leur morphologie. Les formes cristallines que l'on reconnaît encore sur les paillettes prélevées à l'amont (*fig. 2*) sont progressivement effacées au cours du transport, au fur et à mesure que les paillettes sont émoussées et qu'apparaissent des stries et des marques d'impacts (*fig. 3* et *4*). Au-delà d'une distance de transport d'une trentaine de kilomètres, l'aplatissement est déjà marqué (valeurs moyennes de l'ordre de 9) et les paillettes sont émoussées, leur contour régularisé et les formes de redoublement deviennent de plus en plus fréquentes (*fig. 5*).

Cette évolution progressive de la morphologie des paillettes d'or le long des cours d'eau est un phénomène général. Cependant, en plusieurs points du lit des rivières drainant la zone étudiée, ont été observées des populations hétérogènes où se mêlent à des paillettes d'or évoluées ayant déjà subi un transport relativement long, des paillettes d'or dont la morphologie n'a été que peu modifiée. Celles-ci ont un indice d'aplatissement généralement inférieur à 4. Elles sont peu émoussées et leur topographie est très irrégulière. Si les parties en relief montrent des stries et marques de déformation mécanique dues au transport dans le lit des cours d'eau, les zones en creux à l'abri des chocs ont conservé des formes cristallines originelles (*fig. 6*). Ceci indique que ces paillettes n'ont été transportées que sur des distances très courtes et donc qu'elles dérivent de l'érosion de minéralisations primaires très proches du point où elles ont été recueillies.

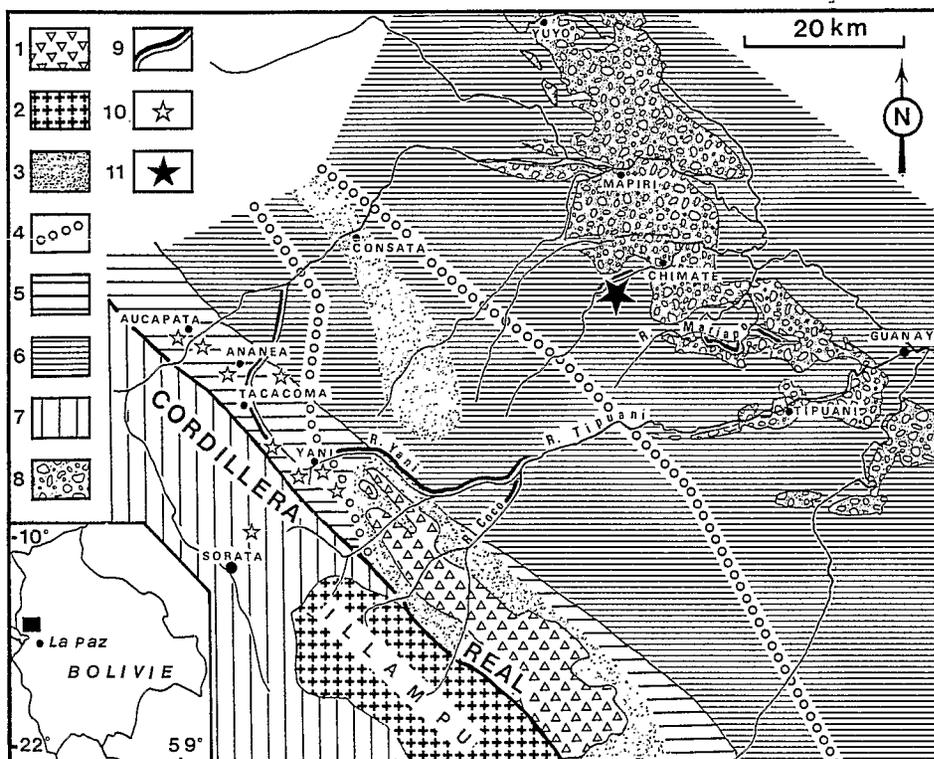


Fig. 1. — Géologie et gisements d'or de la Cordillère Royale de Bolivie. 1, granite gneissifié de Zongo-Yani (eo-hercynien); 2, granodiorite de l'Illampu (triasique); 3, zone de métamorphisme thermique de moyen et haut degré; 4, limite de la biotite; 5, grès et quartzites de l'Ordovicien supérieur (p.p. Caradoc); 6, schistes noirs de l'Ordovicien moyen (p.p. Llanvirnian); 7, série schisto-gréseuse (Siluro-Dévonien); 8, conglomérats néogènes de la formation Cangalli; 9, secteurs des cours d'eau étudiés et dans lesquels les paillettes d'or peu évoluées sont fréquentes; 10, minéralisations d'or primaires connues; 11, nouvel indice d'or primaire. En blanc terrains non cartographiés.

Fig. 1. — *Geology and gold occurrences in the Cordillera Real.* 1, syntectonic granite of Zongo-Yani (eo-Hercynian); 2, Illampu granodiorite (Triassic); 3, medium to high-grade thermal metamorphism; 4, biotite boundary; 5, shales and sandstone (Late Ordovician, p.p. Caradocian); 6, black shales (Middle Ordovician, p.p. Llanvirnian); 7, schists (Silurian-Devonian); 8, Cangalli Formation (Neogene conglomerates); 9, studied-river segments with frequent immature gold grains; 10, known primary gold occurrences; 11, new gold vein occurrence (this work). In white: not mapped area.

IV. CONCLUSION. — La présence dans les alluvions actuelles du rio Mariapo, du rio Chimate et de leurs affluents, d'or d'origine locale mêlé à des paillettes d'or ayant subi un long transport, montre que ces cours d'eau érodent des minéralisations primaires situées beaucoup plus au Nord que celles qui étaient déjà connues; à la suite de ces observations un indice a été découvert à l'ouest de Chimate (fig. 1) dans un environnement géologique non réputé aurifère jusqu'à présent. La minéralisation est contenue dans des filonnets de quartz de quelques centimètres à un décimètre de puissance encaissés dans des schistes noirs du Llanvirnian datés par une faune de graptolithes. L'or, libre, se présente en particules millimétriques aux formes cristallines bien définies (fig. 7). Cet or analysé à la microsonde contient en moyenne 91 % d'or, 8 % d'argent et en proportion moindre du cuivre (0,01 à 0,04 %) du fer et de l'arsenic (0,01 à 0,05 %). Par sa composition il ne diffère pas significativement de celui qui est contenu dans les minéralisations de la zone de Yani.

L'analyse morphoscopique de particules d'or détritiques qui nous a amenés à rechercher et à mettre en évidence de nouvelles minéralisations primaires d'or peut donc être un instrument de prospection efficace même en milieu très couvert par la végétation tropicale.

Note reçue le 30 mars 1988, acceptée le 18 avril 1988.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] F. AHLFELD, *Rev. Min. Boliv.*, 1, 1927, p. 43-49.
- [2] F. AHLFELD, *Zbl. Min. Geol. Paleont.*, Abt. A, 1937, p. 240-255.
- [3] F. AHLFELD et C. S. SCHNEIDER-SCHERBINA, *Bol. Dept. Nac. Geol.*, 5 (special), 1964, p. 1-388.
- [4] M. TISTL, *Berliner Geow. Abh.*, (A), 65, 1985, 102 p.
- [5] W. C. STOLL, *Economic Geology*, 56, 1961, p. 1258-1264.
- [6] H. G. FREYDANK, *The gold placer deposits at the foot of the Eastern Cordillera of Bolivia*, ined., 1965, 52 p.
- [7] G. HERAIL, E. RUIZ, J. ARGOLLO, M. FURNARI, G. LAUBACHER et G. VISCARRA, *Kryos*, 1, n° 3, 1986, p. 7-14.
- [8] M. FURNARI et M. BONNEMAISON, *Chron. Rech. Min.*, 474, 1984, p. 33-40.
- [9] G. HERAIL, *Géomorphologie et géologie de l'or détritique. Piémonts et bassins intramontagneux du Nord-Ouest de l'Espagne*, C.N.R.S., 1984, 456 p.
- [10] G. VISCARRA, *Thèse*, U.M.S.A., La Paz, 1986, 68 p.

G. H. : O.R.S.T.O.M., C.P. 8714, La Paz, Bolivie;

M. F. : O.R.S.T.O.M., 213, rue La Fayette, 75010 Paris;

V. M. : GEOBOL, C.P. 2729, La Paz, Bolivie;

G. V. : Instituto de Geodinamica y Limnologia, C.P. 12198, La Paz, Bolivie;

G. H., M. F., V. M. et G. V. : Convention O.R.S.T.O.M.-U.M.S.A.

EXPLICATIONS DE LA PLANCHE

Fig. 2. -- Grain d'or xénomorphe à contour très indented et topographie irrégulière provenant du rio Yani, (des minéralisations primaires de la Cordillera Real (photographie MEB, échelle=200 μm).

Fig. 2. -- *Xenomorph gold particle with indented outline and irregular topography (sampled from rio Yani near the primary mineralisation). (SEM photography, scale bar=200 μm).*

Fig. 3. -- Paillette peu aplatie (I.A.=6) et peu émoussée. Les formes cristallines primaires ont disparu. Les stries larges et profondes sont probablement dues à un séjour dans des moraines. Les extrémités allongées (à gauche) ont été repliées sur elles-mêmes (confluence des rios Tipuani et Yani; échelle=100 μm).

Fig. 3. -- *Weakly blunt and flattened (F.I.=6) gold particle. Crystalline outlines are removed; Wide and deep striation marks indicate a stay in till; Tips (on the left) were folded up on themselves (confluence of rio Tipuani and Yani; scale bar=100 μm).*

Fig. 4. -- Paillette peu aplatie et émoussée (I.A.=5). Topographie en cours de régularisation mais il reste de profondes dépressions. Au centre (flèche) un grain de quartz fiché dans la strie qu'il a creusée (amont du rio Tipuani; échelle=100 μm).

Fig. 4. -- *Blunt, weakly flattened (F.I.=5) gold grain; on-going smoothing of the topography but deep cavities remain. Arrow shows a striation mark caved by a quartz grain fixed in the gold (Rio Tipuani; scale bar=100 μm).*

Fig. 5. -- Paillette très évoluée : indice d'aplatissement élevé (I.A.=12), topographie très régulière, bords émoussés, lame de métal repliée sur elle-même (structure en sandwich). Une telle évolution nécessite un transport de plusieurs dizaines de kilomètres; (rio Mariapo; échelle=500 μm).

Fig. 5. -- *"Mature" gold grain: high flatness index (F.I.=12), blunted borders, regular topography, and folded up plate of metal ("sandwich structure"). Such morphology indicates a transportation distance of several tens of kilometres; (rio Mariapo; scale bar=500 μm).*

Fig. 6. -- Particule d'or associée à des paillettes semblables à celles de la figure 5. Elle est peu aplatie (A.I.=4) et présente encore dans des cavités (en haut à droite) des formes cristallines primaires : cette particule a été transportée sur une distance très courte (affluent du rio Mariapo; échelle=100 μm).

Fig. 6. -- *Gold grain associated with grains similar to as in Figure 5; it is little flattened (F.I.=4) and shows still cavities (upper right corner) with primary crystalline outlines: this indicates a very short transport; (tributary of rio Mariapo; scale bar=100 μm).*

Fig. 7. -- Grain d'or xénomorphe issu des minéralisations primaires (filons de quartz) découvertes dans les schistes noirs du Llanvirnien de la région de Chimate (échelle=500 μm).

Fig. 7. -- *Xenomorph gold grain from the quartz veins discovered in the Llanvirnian black shales near Chimate; (scale bar=500 μm).*

