

L'or particulière résiduel dans les profils latéritiques : altération géochimique et dispersion superficielle en conditions équatoriales

Fabrice COLIN, Edou MINKO et Daniel NAHON

Résumé — Les particules d'or issues de filons de quartz de trois sites de la zone forestière du Gabon s'altèrent dans l'épaisse couverture d'altération latéritique. Émoussé des formes, diminution de la taille, figure de dissolution, baisse de la teneur en argent le prouvent. Dans les horizons supérieurs ces particules se dispersent en halos concentriques. L'or, métal résistant, est un témoin de l'histoire des dissolutions géochimiques et dispersions mécaniques dans l'altération équatoriale.

Residual gold particles in lateritic profiles: weathering and surface dispersion in equatorial conditions

Abstract — Residual gold particles inherited from quartz veins in three lateritic profiles of Gabon, are subjected to increasing in situ weathering, upward through the profile from the fresh auriferous parent rock to the surface and then laterally at the surface toward the rims of the dispersion halo. The gold particles gradually become smaller, their edges become more rounded, their Ag content decreases and both the number and size of dissolution pits increase. This evolution of the gold particles occurs in situ during the collapse of weathered rocks.

Abridged English Version — Gold mobility under supergene conditions has been the subject of several studies ([1] to [3]). The mobility of gold has been suggested by the occurrence of supergene gold, especially in laterites ([4] to [6]) and explained by the occurrence of organic and inorganic complexes of gold ([7] to [9]). In the present study, based on observations carried out on about 6,000 gold particles from three lateritic profiles in Gabon (Fig. 1), we show all the stages of the weathering of gold particles. In the area of study (Fig. 1), the gold occurs in quartz veins which also contain minor amounts of telluride, sulfide, carbonate and tourmaline and which crosscut a Proterozoic or Archean near vertical body of metabasite, itself located within an Archean gneiss basement [10]. The gneiss does not contain gold. The weathering profiles are typical of equatorial areas [11] and, from the fresh rock (IV) to the surface, can be divided into three main layers (Fig. 1):

(1) a saprolite (III) that preserves the texture of parent rock at the base of the profiles; at the bottom the saprolite consists of quartz, amphibole, chlorite and mica. This assemblage changes upward into quartz, smectite and vermiculite and, higher still, into quartz, kaolinite, goethite and gibbsite;

(2) a nodular layer (II) rich in hematitic, gibbsitic, goethitic nodules scattered in a sandy-clayey matrix made of quartz, gibbsite and kaolinite;

(3) a sandy clayey layer (I) that consists of a few millimetric goethitic nodules scattered in a sandy-clayey matrix with quartz and kaolinite and is covered by a humic layer.

The present study was undertaken to explain the gold dispersion halo found in [12] to [15] by chemical analysis of surface and bore-hole samples (Fig. 1). Gold contours in the upper part of the weathering profile describe an aureole which spreads laterally beyond the auriferous body (Fig. 1).

In the center of the halo, directly above the mineralized body, gradually from the bottom to the top, the gold particles (Pl. I, Figs. 1 to 6) become free of quartz, develop rounded

Note présentée par Georges MILLOT.

dissolution pits (a few micrometers in diameter) and rounded edges, decrease in size (50-2,000 μm to 10-1,000 μm) and decrease in Ag contents (*Fig. 2a*). But the core of each grain still preserved the original Ag content of the parent rock gold particles.

Laterally, from the core to the rims of the halo beyond the boundary of mineralized parent rock, the size of particles ranges from a few micrometers to 500 μm , the dissolution pits increase in size and in number (Pl. II, *Figs. 7 and 8*), but they become crystallographically controlled. Eventually, as the lateritization digests an increasing amount of mineralized parent rock, the halo becomes broader. The total gold contents decrease considerably and the gold particles become very well rounded with dissolution pits up to 40 μm long (Pl. II, *Figs. 9 and 10*).

In the rims of the halo, the average Ag content decreases vertically from the surface downward to the saprolite (*Fig. 2b*) in a way opposite from those observed in the profile directly above the mineralized parent rock.

Within the halo, supergene gold does occur, but very rarely (Pl. II, *Figs. 11 and 12*).

In conclusion, the morphological and chemical data prove that at least most of the gold particles observed are residual and that their degree of dissolution increases with distance from the parent rock. As the lateritization digests an increasing amount of mineralized parent rock, gold particles are chemically weathered and physically dispersed. This vertical and lateral evolution of gold particles must have taken place during the collapse of weathered rock and may be enhanced by short distance creeping. However, the excellent correlation between the characteristics of gold particles and the stages of lateritization indicates that the evolution of residual gold particles occurs *in situ* and is itself driven by lateritization in the weathering profiles of Gabon.

I. INTRODUCTION. — L'or peut être solubilisé dans certaines conditions supergènes expérimentales ([1] à [3]). Dans la nature, la preuve indirecte en est fournie par l'existence d'or supergène néoformé ([4] à [6]). Cette mobilité est expliquée par la formation de complexes aurifères minéraux ou organo-métalliques ([7] à [9]). Le travail présenté ici traite du comportement de particules d'or filonien livrées à l'altération latéritique en conditions équatoriales. Trois sites ont été étudiés au Gabon (*fig. 1*). (Dondo, Mébaga et Ouala). 6 000 particules d'or prélevées dans les filons sains et les faciès d'altération latéritique ont été étudiées au microscope électronique à balayage avec analyse chimique pour 10% d'entre elles.

Le paysage est constitué de collines à flancs convexes (demi-oranges) caractéristiques de la zone équatoriale. Des filons de quartz traversent le socle granito-gneissique qui contient des corps de metabasites [10]. C'est à la traversée de ces metabasites que les filons sont aurifères.

II. LES PROFILS D'ALTÉRATION LATÉRITIQUE. — Les profils d'altération sont les plus épais au droit des filons aurifères et peuvent alors atteindre une centaine de mètres (*fig. 1*). Ces profils sont constitués depuis la roche saine (IV) de trois principaux ensembles d'horizons : l'ensemble altérite (III), l'ensemble nodulaire (II) et l'ensemble argilo-sableux (I). Ces profils ressemblent aux profils décrits dans les manteaux d'altération de la zone équatoriale africaine [11].

1. L'ensemble altérite (III) est lui-même constitué de bas en haut d'une saprolite grossière et d'une saprolite fine. La saprolite grossière est formée de minéraux primaires

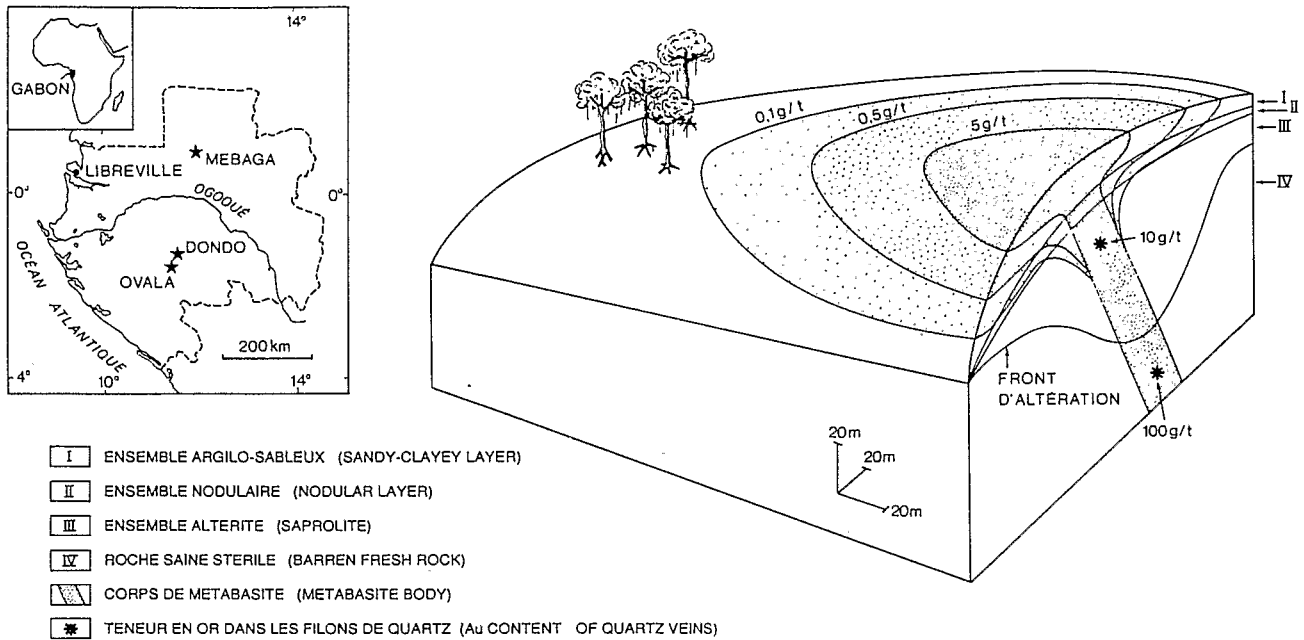


Fig. 1. — Situation géographique des sites étudiés.
Halo de dispersion superficielle des teneurs en or (g/t).

Fig. 1. — Geographical setting of the studied areas.
Surface dispersion halo of gold contents (g/t).

(quartz, amphibole, chlorite, biotite et muscovite) baignant dans une matrice d'altération argileuse à smectite, vermiculite et kaolinite. La goethite limite les argiles de pseudomorphose des minéraux primaires. La saprolite grossière passe progressivement à la saprolite fine où seules les reliques de quartz et de muscovite subsistent au sein d'une matrice d'altération abondante et constituée de kaolinite et goethite. Sur sa plus grande épaisseur, l'ensemble altérite (III) est à structure conservée de la roche mère. Dans les dix derniers mètres de cet ensemble cette structure s'estompe progressivement jusqu'à n'être plus reconnaissable que localement au travers de quelques plaquettes ferruginisées lithorelictuelles.

2. *L'ensemble nodulaire (II)* épais de quelques mètres est constitué de nodules ferrugineux décimétriques à millimétriques, hématitiques, goéthitiques et gibbsitiques. Les nodules ainsi que de nombreux quartz centimétriques corrodés sont noyés dans une matrice argilo-sableuse à kaolinite, gibbsite et goethite.

3. *L'ensemble argilo-sableux (I)* se développe sur environ 10 m d'épaisseur. Les nodules goéthitiques disparaissent progressivement au profit de la matrice argilo-sableuse qui devient microagrégée. Cet ensemble est recouvert par un horizon humifère.

Vers l'aval, les profils d'altération ne sont épais que d'environ 10 m. Les altérites y sont très riches en gibbsite. L'ensemble nodulaire n'est épais que de quelques décimètres et l'ensemble argilo-sableux ne contient pas de nodules ferrugineux.

III. DISPERSION SUPERGÈNE DE L'OR EN SURFACE. — Alors que dans la partie inférieure des profils d'altération amont, l'or n'est présent que dans les filons minéralisés ou à proximité immédiate (fig. 1), en surface, il est dispersé en halo centré sur le filon altéré. Cet halo de dispersion est mis en évidence par analyse chimique d'échantillons prélevés à 0,20 m de la surface, dans les puits d'homme, en sondage tarière ou en sondage carottés

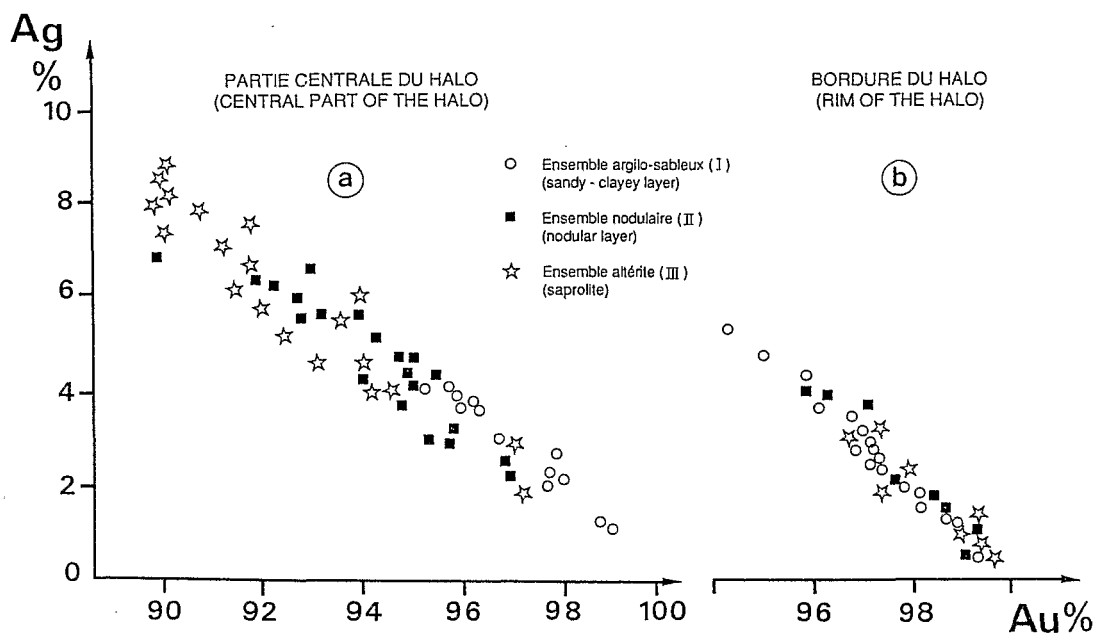


Fig. 2. — Variation de Ag en fonction de Au au cours de l'altération croissante.

Fig. 2. — Ag% vs Au% in increasing weathering.

([12] à [15]). La dispersion de l'or est sensible dans la partie supérieure de l'ensemble altéritique où les teneurs maximales (10 g/t par exemple à Dondo) sont environ dix fois plus faibles que celles du protore dont les altérites sont issues; elle est plus prononcée

EXPLICATIONS DES PLANCHES

Planche I

Photographies au Microscope électronique à balayage de particules d'or issues de la minéralisation primaire et des ensembles d'altération de la partie centrale du halo.

Scanning Electron photomicrographs of gold particles from the original mineralization and from the weathering layers of the central part of the halo.

Fig. 1. — Particule d'or primaire : automorphe et xénomorphe, surface non poreuse et arêtes franches.

Fig. 1. — Primary gold particle: euhedral and anhedral, non-porous surface and jagged rims.

Fig. 2. — Altérite. Particule intacte libérée des quartz.

Fig. 2. — Saprolite. Free fresh particle.

Fig. 3. — Même particule, détail : formes cristallines automorphes et arêtes vives.

Fig. 3. — Same particle, detail: euhedral crystalline shapes and sharp edges.

Fig. 4. — Ensemble nodulaire. Formes cristallines reconnaissables et arêtes légèrement émoussées.

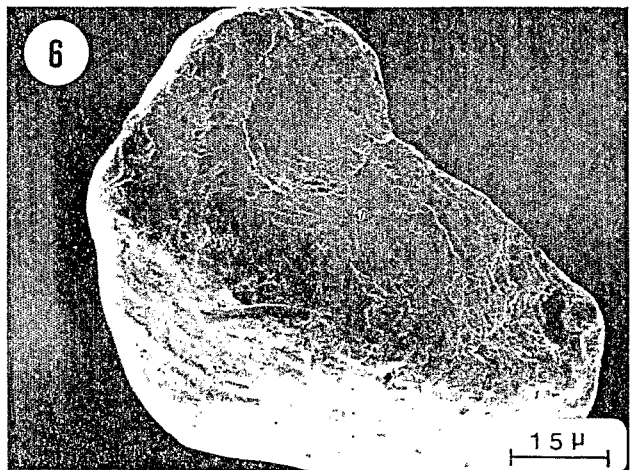
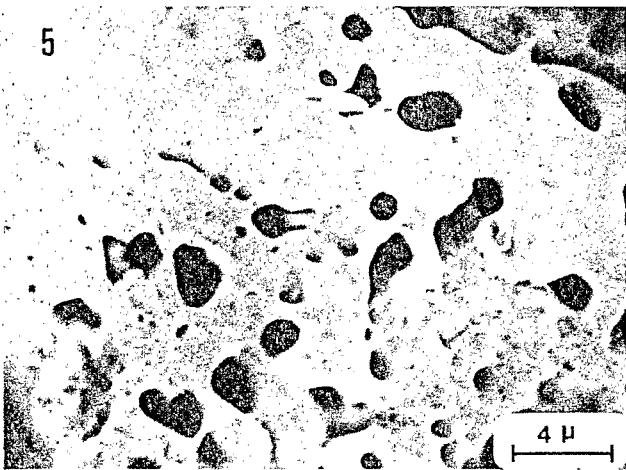
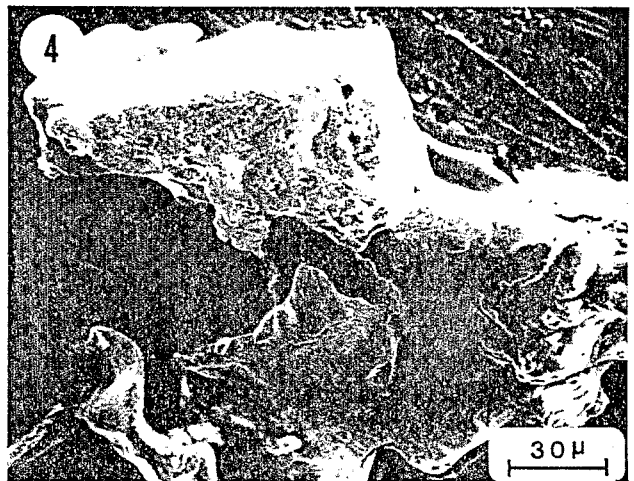
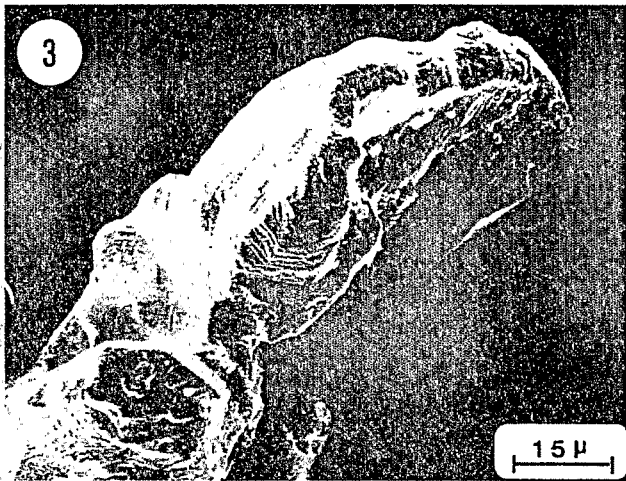
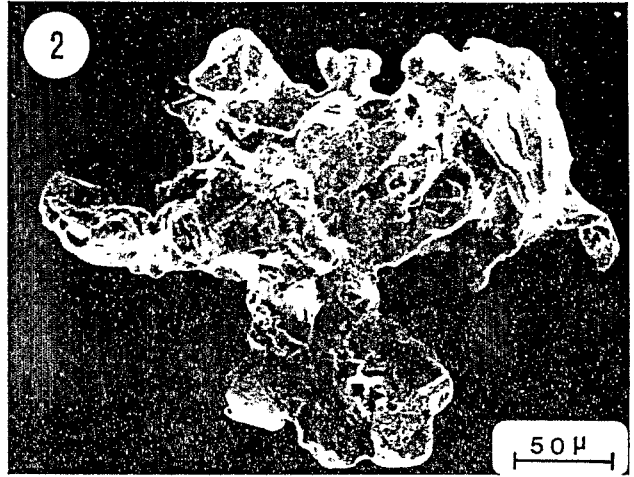
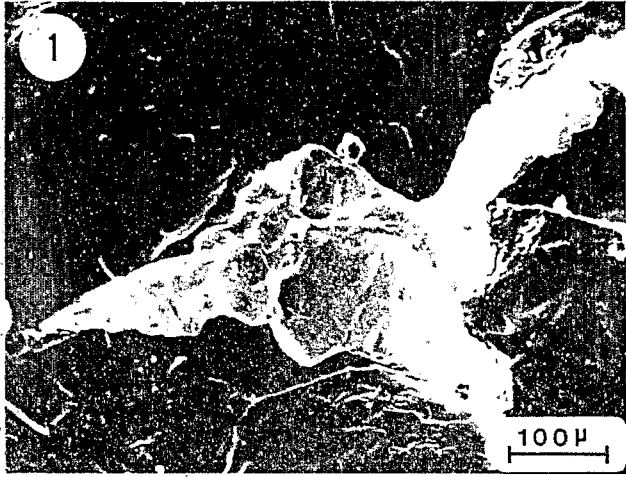
Fig. 4. — Nodular layer. Recognisable crystalline shapes and slightly rounded rims.

Fig. 5. — Même particule, détail : puits de dissolution subcirculaires de quelques microns de diamètre.

Fig. 5. — Same particle, detail: micrometric subcircular dissolution pits.

Fig. 6. — Ensemble argilo-sableux. Arêtes émoussées et puits de dissolution (plusieurs microns de longueur).

Fig. 6. — Sandy-clayey layer. Rounded edges and dissolution pits (several micrometers in length).



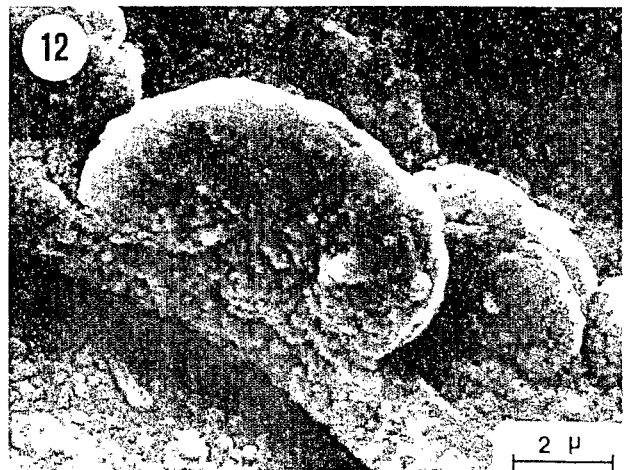
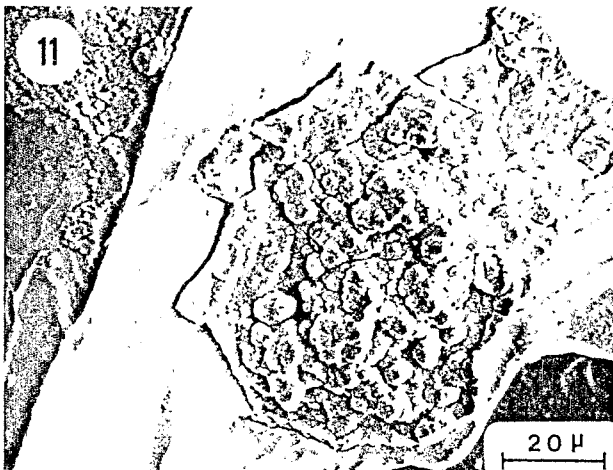
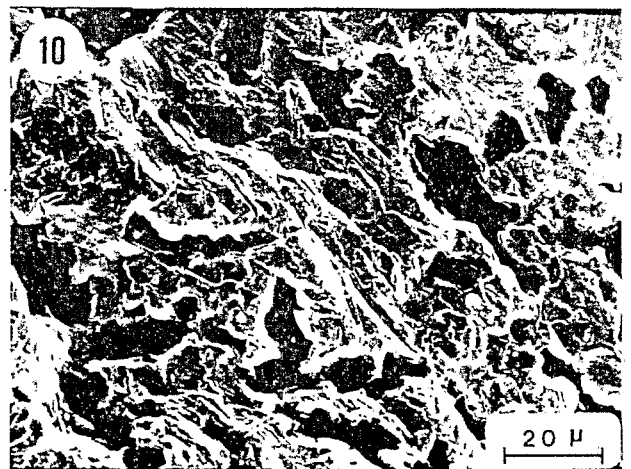
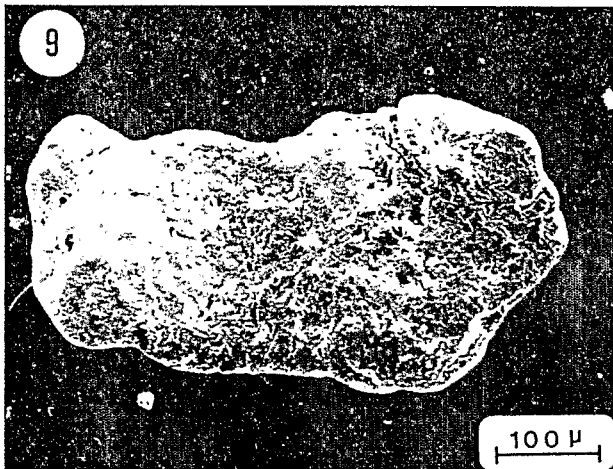
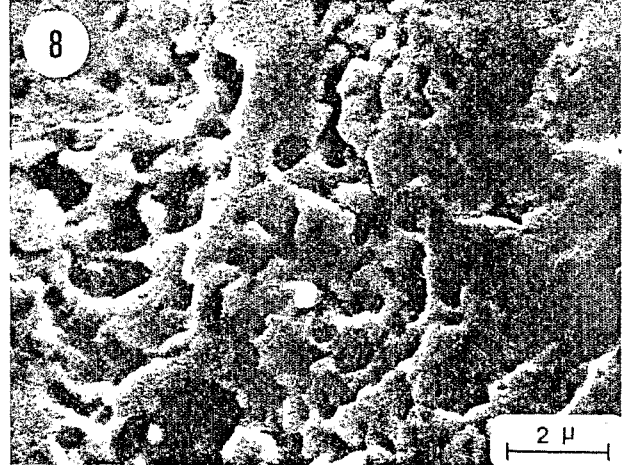
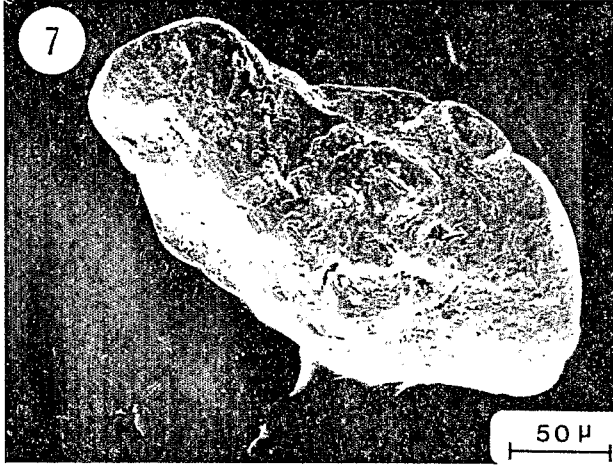


Planche II

Photographies au Microscope Électronique à Balayage de particules d'or issues des ensembles d'altération des bordures du halo.

Scanning Electron photomicrographs of gold particles from the weathering layers of the rims of the halo.

Fig. 7. — Émoussage fortement marqué et nombreux puits de dissolution.

Fig. 7. — Very pronounced chemical bluntness and numerous dissolution pits.

Fig. 8. — Même particule, détail : figures cristallines de quelques microns révélées par les vides.

Fig. 8. — Same particle, detail: micrometric crystalline shapes surfaced by dissolution voids.

Fig. 9. — Bordure extrême de halo. Émoussage très fortement marqué, similaire à un émoussage alluvial.

Fig. 9. — Farthest limit of the halo. Chemical roundness looking like alluvial roundness.

Fig. 10. — Même particule, détail : puits de dissolution anastomosés selon des directions cristallines préférentielles.

Fig. 10. — Same particle, detail: connected etch pits following preferential crystalline directions,

Fig. 11. — Sphérules d'or supergène sur produits argilo-ferrugineux.

Fig. 11. — Supergene gold crystallites on argillo-ferruginous products.

Fig. 12. — Même particule, détail : cristallite sphéroïdal.

Fig. 12. — Same particle, detail: spheroidal shape of crystallite.

dans les ensembles nodulaires et argilo-sableux dans la zone centrale du halo (ordre du g/t). Les teneurs diminuent ensuite progressivement vers les bordures du halo pour atteindre 0,1 g/t à 100 m du cœur de l'anomalie.

IV. ÉVOLUTION DES PARTICULES D'OR DEPUIS LE FILON MINÉRALISÉ PAR ALTÉRATION CROISSANTE. — Toutes les observations suivantes sont relatives à l'altération des particules résiduelles issues de l'or filonien. Ceci est distinct des particules d'or néoformé ([4] à [6]) dont nous avons observé des sphérules (pl. II, fig. 11 et 12) aux faciès tout à fait différents. Dans les roches saines, les particules d'or solidaires des quartz hôtes sont généralement xénomorphes moulant les cristaux de quartz voisins, mais elles peuvent présenter des habitus octaédriques et cuboctaédriques (pl. I, fig. 1). Les particules ont des contours échancrés et des surfaces non poreuses. Depuis l'ensemble altérite jusqu'à la saprolite fine, les particules sont peu à peu séparées des quartz primaires par dissolution de ces derniers. Les particules ne sont cependant pas altérées (pl. I, fig. 2 et 3), sauf localement où quelques particules montrent un léger émoussage des parties saillantes. Dans l'ensemble nodulaire, les particules d'or conservent les caractéristiques des particules primaires (pl. I, fig. 4), mais les arêtes cristallines sont émoussées et des puits de dissolution subcirculaires de quelques microns de diamètre affectent la surface des particules (pl. I, fig. 5).

Dans l'ensemble argilo-sableux, la tendance à l'émoussage des particules d'or s'accroît nettement et les formes cristallines primaires disparaissent presque totalement. La surface des grains est marquée par des puits de dissolution nombreux de plusieurs microns de longueur (pl. I, fig. 6).

La taille des particules d'or diminue depuis roche-mère et altérite (50 à 2000 μm) jusqu'à l'ensemble argilo-sableux (10 à 1000 μm). Parallèlement la teneur moyenne en argent (fig. 2a), passe de 2 à 10% à 2 à 5% au sommet; cette perte en argent se fait en périphérie des particules et des grains les composant.

V. ÉVOLUTION DES PARTICULES D'OR DEPUIS LE CENTRE DU HALO JUSQU'AUX BORDURES. — En surface, du cœur à la périphérie du halo, les particules sont de plus en plus fines (500 μm à quelques microns), de plus en plus émoussées et affectées à leur surface de puits de dissolution (pl. II, fig. 7 et 8). En bordure extrême de halo, la forme très émoussée des grains (pl. II, fig. 9) converge vers celle de particules alluviales [16]; leur surface est garnie à plus de 50% de puits de dissolution (pl. II, fig. 10) qui soulignent certaines directions cristallographiques originelles de l'or. Au droit du filon minéralisé, les teneurs en or et argent augmentent rapidement avec la profondeur. Au contraire, dans les bordures du halo, les teneurs en or ainsi que les teneurs en argent (0,5-3%) (fig. 2b) diminuent avec la profondeur.

VI. CONCLUSIONS. — 1. Dans une couverture latéritique équatoriale puissante, les particules d'or issues des filons de quartz aurifères subissent une altération géochimique intense. 2. Cette altération comporte : émoussé chimique, diminution de la taille, augmentation du nombre des puits de dissolution et de leur diamètre, perte de teneur en argent sauf au cœur, ce qui revient à un raffinage naturel de l'or. 3. A cette altération progressive de bas en haut à l'aplomb du filon aurifère altéré s'ajoute une dispersion mécanique latérale, en halo et en surface, qui peut atteindre une centaine de mètres avec altération croissante. 4. Bien plus, dans les bordures du halo, s'observe une véritable « pollution » verticale de haut en bas de particules de plus en plus altérées. 5. L'or est un élément difficilement soluble et bien qu'altéré de façon significative en conditions équatoriales, il est un excellent témoin de l'histoire de la couverture d'altération. Sa dispersion mécanique montre l'importance des déplacements latéraux et verticaux par tassement, « creeping », ou activités biologiques.

Note remise le 29 mai 1989, acceptée le 8 juin 1989.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] H. V. LAKIN, G. C. CURTIN, A. E. HUBERT, H. T. SHACKLETTE et G. DOXTADER, *U.S. Geol. Survey Bull.*, 1330, 1974, 80 p.
- [2] R. W. BOYLE, *Can. Geol. Survey Bull.*, 280, 1979, 280 p.
- [3] P. L. CLOKE et C. W. KELLY, *Econ. Geol.*, 59, 1964, p. 259-270.
- [4] A. W. MANN, *Econ. Geol.*, 39, 1984, p. 38-49.
- [5] P. FREYSSINET, H. ZEEGERS et Y. TARDY, *C. R. Acad. Sci. Paris*, 305, série II, 1987, p. 867-874.
- [6] R. N. W. DILABIO, J. W. NEWSOME, D. F. MCIVOR et P. L. LOWENSTEIN, *Econ. Geol.*, 83, 1988, p. 153-162.
- [7] R. STROFFREGEN, *Appl. Geochim.*, 1, 1986, p. 549-558.
- [8] J. G. WEBSTER, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 50, 1986, p. 1837-1845.
- [9] W. E. BAKER, in *Mineral Exploration: Biological Systems and Organic Matter*, D. CARLISLE, W. L. BERRY, I. R. KAPLAN et J. WATTERSON éd., 1986, Prentice-hall, Englewood Cliffs, New Jersey, p. 377-407.
- [10] J. P. PRIAN, Y. SIMEON, V. JOHAN, P. LEDRU, P. PIANTONE, B. COSTE et J. EKO N'DONG, *Chron. Rech. Min.*, 491, 1988, p. 67-104.
- [11] G. BOCQUIER, J. P. MULLER et B. BOULANGE, in *Livre jubilaire du Cinquantenaire de l'A.F.E.S.*, 1984, p. 123-138.
- [12] P. LECOMTE, *J. Geochem. Expl.*, 30, 1988, p. 35-61.
- [13] P. LECOMTE et F. COLIN, *J. Geochem. Expl.* (sous presse).
- [14] F. COLIN et P. LECOMTE, *Chron. Rech. Min.*, 491, 1988, p. 55-65.
- [15] A. EDOU-MINKO, *Thèse Sciences*, Université de Poitiers, 1988, 162 p.
- [16] G. HERAIL, M. FORNARI, V. MIRANDA et J. VISCARRA, *C. R. Acad. Sci. Paris*, 307, série II, 1988, p. 63-69.

F. C. : O.R.S.T.O.M.;

F. C. et D. N. : Laboratoire de Géosciences des Environnements tropicaux, case n° 431,
Université Aix-Marseille-III, 13397 Marseille Cedex 13;

E. M. : Laboratoire de Pétrologie de la Surface,
Université Poitiers, 40, avenue Recteur-Pineau, 86022 Poitiers.