

LES PLACERS ALLUVIAUX AURIFERES DE LA PLAINE AMAZONIENNE DE MADRE DE DIOS (SE DU PEROU)

Jean LANCKNEUS*

Mots clés : or alluvionnaire, granulométrie, placers.

Résumé

Une prospection alluvionnaire a été effectuée dans le Département de Madre de Dios (sud-est du Pérou) où la majorité des rivières est aurifère.

La morphoscopie et la microchimie des paillettes d'or sont étudiées en détail. Une origine chimique est attribuée à une pépite trouvée dans une marmite fluviale. L'évolution minéralogique et granulométrique des sédiments est considérée le long d'un point bar. Une étude à échelle plus régionale démontre que les lois classiques des dépôts détritiques, prévoyant un décroissement de la taille des paillettes et une diminution de la teneur de l'amont vers l'aval, perdent de leur signification quand on les applique à des paillettes d'or ayant voyagé sur plusieurs centaines de kilomètres.

Abstract

A prospecting survey based on heavy mineral concentrates was carried out in the Department of Madre de Dios, where fine placer gold occurs in most of the rivers.

The morphoscopical and micro-chemical characteristics of the gold particles are studied in detail. A chemical origin was attributed to a small nugget found in a fluvial pot-hole. The mineral and grain size evolution of the sediments are considered along a point bar. A more regional study shows that the classical laws of detritic deposits, forecasting a decrease in gold size and content from the upstream part of the river towards the downstream part, lose part of their significance when they are applied to gold particles which have travelled various hundreds of kilometres.

I. INTRODUCTION

Le département de Madre de Dios, situé dans l'extrémité sud-est du Pérou, touche au Brésil et à la Bolivie. La presque totalité du département se trouve dans la plaine amazonienne, ce qui explique son accessibilité souvent difficile et des conditions de vie et de travail très pénibles.

Néanmoins des milliers des personnes y vivent, la plupart attirées par des histoires alléchantes de riches gisements aurifères. Cependant la réalité est fort différente et peu de mineurs font fortune; la plupart travaillent comme ouvriers dans une concession pour un maigre salaire.

Très peu d'études scientifiques ont été faites dans cette zone de plus de 78.000 km². Les quelques renseignements qu'on trouve dans la littérature sont d'ordre très local et n'abordent que rarement des problèmes généraux. Quelques grandes compagnies de prospection (or et pétrole) possèdent des données qui sont malheureusement inaccessibles au public.

Une étude de plusieurs mois sur le terrain nous a permis d'échantillonner les placers alluviaux de la plupart des grandes rivières. Au total une distance de 1.200 km a été parcourue en canot.

* Labo. Géographie Physique, Université de Gand, Krijgslaan, 281, B - 9000 Gand (Belgique)

Plusieurs aspects de la sédimentologie et de la minéralogie des placers ont été étudiés. Les associations entre l'or et les autres minéraux lourds ont été analysées afin de déterminer d'une part quels minéraux peuvent révéler la présence d'or et, d'autre part, quels minéraux sont caractéristiques des sédiments stériles (LANCKNEUS, 1988, 1989). Une attention particulière a été prêtée à l'évolution des caractéristiques granulométriques et morphoscopiques des paillettes d'or le long d'une même rivière. Il y a, en effet, peu de données dans la littérature actuelle traitant du transport de particules d'or sur une distance de plusieurs centaines de kilomètres.

II. LES GRANDS TRAITES MORPHOLOGIQUES ET GEOLOGIQUES DU SUD DU PEROU

La macro-structure du sud du Pérou est caractérisée par une zonation NO-SE très nette (fig. 1A). Une coupe transversale (fig. 1B) depuis le Pacifique au SO jusqu'à la plaine amazonienne au NE, permet de distinguer les unités suivantes (LAUBACHER, 1978).

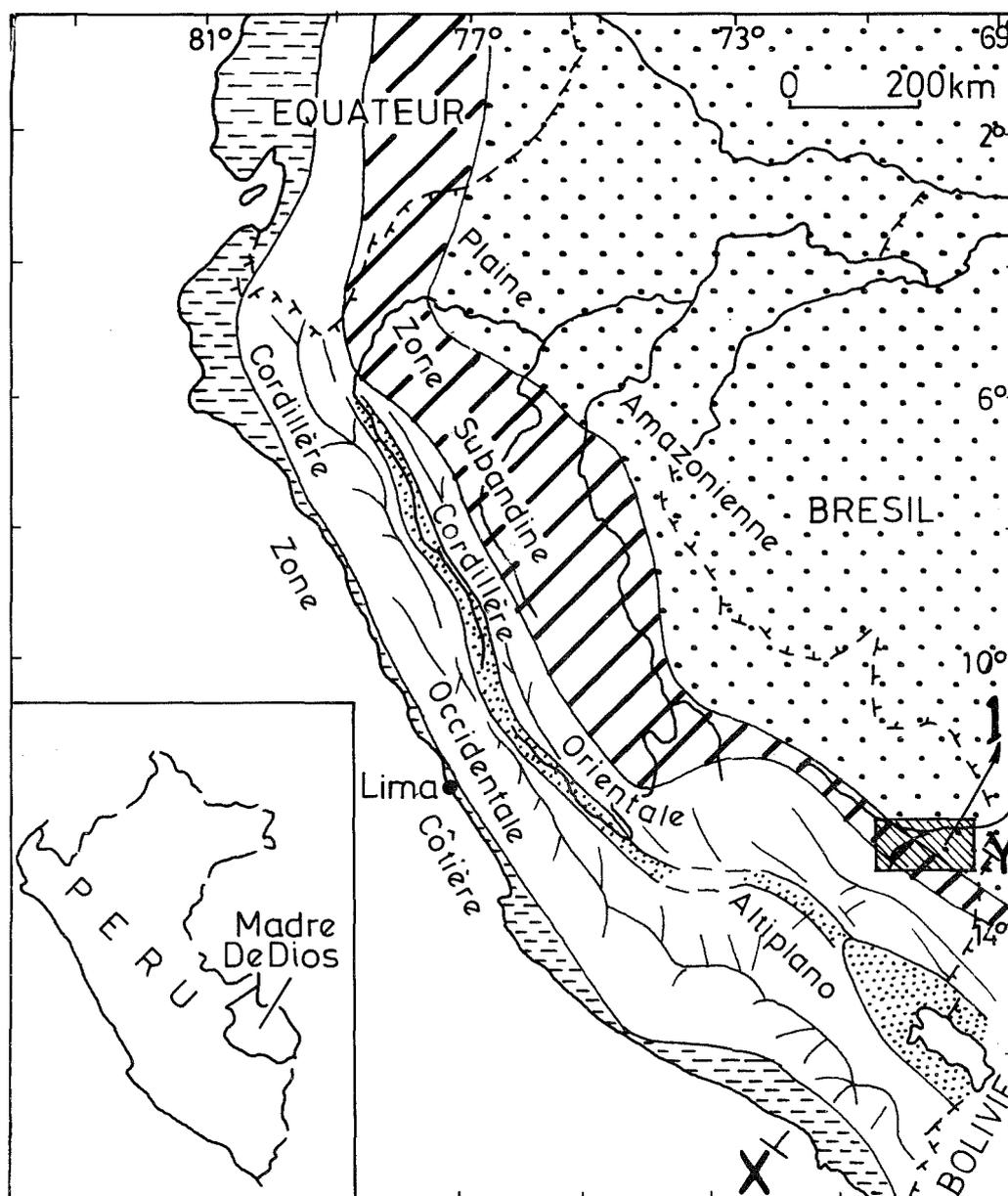


Fig. 1. (A) Macro-morphostructure du Pérou (1: localisation de la zone d'étude).

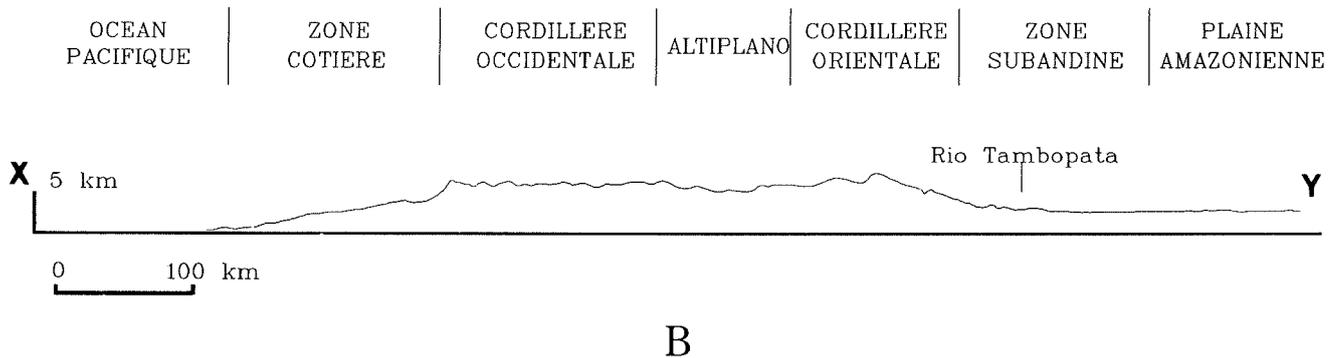


Fig. 1. (B) Profil topographique du sud du Pérou (d'après LAUBACHER, 1978); la localisation du profil transversal est indiquée sur la figure 1(A) par X-Y.

A. La zone côtière

Elle va de 0 à 2000 m d'altitude environ et correspond à un pédiment post-éocène, large de près de 50 km, qui descend de 2000 m au NE à 1000 m au SO, avant de surplomber la côte par un abrupt de près de 1000 m.

B. La Cordillère Occidentale

Au point de vue morphologique, la Cordillère Occidentale correspond à une grande chaîne volcanique et volcanodétritique post-éocène, dont l'altitude actuelle (6000 m) a été acquise par un soulèvement récent.

C. L'Altiplano péruvien

L'Altiplano correspond à une vaste zone de hauts plateaux, situés entre les Cordillères Occidentale et Orientale, disséqués au Pliocène et dont l'altitude moyenne est comprise entre 4000 et 4400 m. Le centre de l'Altiplano correspond à une dépression longitudinale, d'origine tectonique, dont le point le plus bas est occupé par le lac Titicaca (3815 m).

D. La Cordillère Orientale

C'est une zone morphostructurale très fortement individualisée, qui est bordée par des failles au SO et au NE. On distingue 1) le versant occidental (4500 à 5000 m), marqué par de grands appareils morainiques, 2) la chaîne "nevados" qui culmine à près de 6000 m d'altitude et qui comporte une série de grands massifs glaciaires, 3) le versant amazonien qui est extrêmement raide car, en moins de cinquante kilomètres, il descend de 6000 à 1000 m d'altitude. Il présente des vallées très profondes et des ensembles morainiques peu volumineux, mais qui descendent très bas, jusqu'à 3400-3200 m.

E. La zone subandine

La zone subandine est constituée de collines formant une transition entre la Cordillère Orientale et la plaine amazonienne dont l'altitude descend vers le NE de 1000 à 400 m.

F. La plaine amazonienne

La plaine amazonienne commence là où les derniers reliefs de la zone subandine disparaissent sous les épandages plio-quaternaires de piedmont non déformés du Rio Madre de Dios. Sous ces séquences récentes se trouvent des séries secondaires et tertiaires, épaisses de plusieurs milliers de mètres, qui témoignent de l'existence d'un bassin sédimentaire important et qui reposent sur un socle précambrien.

Le paysage nous montre une plaine boisée étendue, caractérisée par des interfluves ondulants et de larges rivières à méandres.

III. EVOLUTION GEOMORPHOLOGIQUE ET CLIMATOLOGIQUE DU PIEDMONT ET DE LA PLAINE AMAZONIENNE.

A. Miocène supérieur

Une phase de plissement au Miocène supérieur déforme les séries crétacées et éo-oligo-miocènes de la zone subandine. Le sommet de ces séquences représente une surface d'érosion qui recoupe les couches miocènes. Cette surface d'aplanissement, connue sous le nom de "Surface-Puna" sera déformée postérieurement durant le Pliocène

et le Quaternaire par une tectonique de failles et par un mouvement épirogénique, qui soulèvera la "Surface-Puna" à des altitudes importantes. Des cuvettes intramontagneuses se forment dans la Cordillère Orientale et la zone subandine.

B. Pliocène

Le soulèvement de la Cordillère Orientale s'accompagne d'une période de dissection profonde entraînant la formation d'épandages de piedmont, qui se déposent au pied de la Cordillère par l'intermédiaire de rivières à chenaux tressés.

C. Pléistocène

Le soulèvement de la Cordillère se poursuit au Pléistocène inférieur et est responsable de la déformation du piedmont et d'une réactivation de la dissection (LAUBACHER *et al.*, 1984), qui provoque la formation de plusieurs niveaux de terrasses.

L'évolution du piedmont et de la plaine amazonienne est sans aucun doute fortement liée aux mouvements tectoniques. Néanmoins, des études mettent en évidence que des oscillations climatiques au Quaternaire ont été perceptibles dans des régions tropicales sud-américaines et de ce fait ont joué un rôle dans l'évolution pléistocène.

TRICART (1958) attribue à un refroidissement sensible du climat, l'abaissement de la limite des neiges permanentes et de la limite inférieure des actions périglaciaires.

L'étude de l'isotope O^{18} dans les sondages de la mer des Caraïbes par C. EMILIANI (1964) confirme un abaissement de la température des eaux de 4,5°C par rapport à la température actuelle.

Des études palynologiques, appuyées pour la période la plus récente sur les datations au carbone 14, nous apportent également la preuve des changements climatiques. VAN DER HAMMEN (1972) admet, pour une période allant de 21.000 à 15.000 BP, une diminution de température de 6 à 7°C dans les hautes altitudes de la Cordillère des Andes du Nord, et de 3°C dans les régions basses. Cette période plus froide a été également beaucoup plus sèche avec un maximum vers 18.000 BP, période pendant laquelle le pourcentage des pollens herbacés est passé de 5 à 95 % par rapport aux pollens d'arbres. TRICART (1974) reconnaît également l'existence de périodes sèches au Quaternaire en Amazonie. Pendant cette période, la forêt dense aurait été remplacée par de larges plaques de savanes herbeuses ou arbustives, isolant des îlots forestiers sur des reliefs refuges.

D. Holocène

A partir de l'Holocène, l'humidité augmente et la forêt reconquiert par étapes le vaste domaine qui est actuellement le sien.

IV. TYPES DE GISEMENTS AURIFÈRES DANS LE SUD-EST DU PÉROU

Les particules d'or des sédiments alluviaux de la Plaine de Madre de Dios ont réalisé un voyage long et complexe pendant lequel transport, sédimentation et remobilisation, causés par l'érosion des sédiments aurifères, ont tous joué un rôle actif.

A. L'or primaire

L'or des placers de Madre de Dios provient de l'érosion de minéralisations primaires, situées dans la Cordillère Orientale, où il est principalement associé aux veines de quartz. Ces dernières, connues sous le nom de "mantos", sont relativement continues et de faible pente. Les exploitations traditionnelles, connues depuis la période précolombienne, s'étagent entre 4900 m et 5100 m, jusqu'à la limite inférieure du glacier. La teneur moyenne du minerai varie de 10 à 25 grammes par tonne (g/t) et la répartition de l'or est très aléatoire. Mentionnons également la découverte d'une minéralisation sulfoarsénisée de type exhalatif-sédimentaire, qui pourrait être à l'origine des "mantos" aurifères (FORNARI et BONNEMAISON, 1984).

B. L'or détritique

L'érosion provoquée par différents mécanismes est responsable de la désagrégation des roches aurifères et de la formation de différents types de gisements d'or détritique.

1. Placers glaciaires et fluvioglaciaires

Dans les parties les plus élevées de la Cordillère Orientale, l'activité des glaciers est responsable de la formation de placers glaciaires et fluvioglaciaires accumulés sur les versants et dans les bassins intramontagneux. Ces placers sont de volume très important, de plusieurs km² pour une puissance variant de 10 à 30 m. Les teneurs moyennes y sont de l'ordre de 200 à 400 milligrammes par m³ (mg/m³) (BONNEMAISON *et al.*, 1983, p. 41). Cet or est originaire des filons de quartz aurifère et des gisements sulfoarsénisés.

2. Placers du piedmont amazonien

L'érosion alluviale est également responsable de la formation de sédiments aurifères dans le piedmont amazonien. Les vastes quantités de sédiments, dérivées de l'érosion de la Cordillère Orientale pendant le Pliocène se retrouvent dans des bassins qui furent remplis par d'épais dépôts sédimentaires. Le matériel détritique, issu de l'érosion, s'accumule également dans des cônes alluviaux construits au débouché des principales rivières issues des Andes (par exemple la Formation Mazuko) (LAUBACHER *et al.*, 1984).

Ces dépôts, remplissant les bassins et s'accumulant dans des cônes alluviaux, sont aurifères et jouent le rôle de "collecteurs intermédiaires" d'or détritique.

3. Placers de la Plaine de Madre de Dios

L'or est présent dans presque tous les terrains alluviaux de la Plaine de Madre de Dios. Deux types d'accumulations aurifères peuvent être distingués (LANCKNEUS, 1987):

- a. D'une part les paillettes d'or se présentent dans les lits de rivières actuelles. Les placers les plus riches sont formés dans les parties amont des "point bars" de méandres. L'exploitation de l'or, cependant, s'avère également possible dans d'autres lieux, comme par exemple dans certaines sections du lit proprement dit des rivières qui peuvent être travaillées pendant la saison sèche.

Les teneurs en or diffèrent fort de place en place. Aucune valeur supérieure à 500 mg/m³ n'a été personnellement trouvée dans ce type de placer, ce qui correspond assez bien aux valeurs communiquées par des mineurs locaux. Une exploitation artisanale peut déjà fonctionner économiquement à partir de 200 mg/m³.

Ajoutons qu'en certains lieux, des teneurs de 4-5 g/m³ ne sont pas considérées comme exceptionnelles.

Des teneurs de quelques centaines de mg/m³ peuvent paraître, à première vue, très basses. Mais ne perdons pas de vue qu'elles sont le résultat d'une seule accumulation saisonnière.

L'apport de l'or se produit principalement en saison des pluies quand la force érosive des rivières est la plus grande. L'érosion de la rive concave des méandres est alors considérable et, en ces endroits, la rivière peut éroder plusieurs mètres de la berge pendant une période très courte.

A la fin de la saison des pluies, le niveau d'eau baisse considérablement et une grande partie du lit mineur est émergée. C'est à ce moment que les alluvions sont

travaillées par les chercheurs d'or qui repartiront après avoir lavé les 20 cm supérieurs de leur concession. Comme ce cycle se répète chaque année et qu'en 1982 les placers de la Plaine de Madre de Dios produisirent officiellement 2000 kg d'or, on ne peut que s'émerveiller des ressources enfouies dans la plaine.

- b. D'autre part, les sédiments holocènes de la plaine alluviale de Madre de Dios contiennent également de l'or. Dans ces placers plus anciens, l'or a pu s'accumuler pendant plusieurs années et les teneurs sont beaucoup plus hautes. Des teneurs de 2400 mg/m³ ont été personnellement mesurées. Selon des sources locales, elles peuvent quelquefois atteindre 25 g/m³.

Ces placers, bien que plus riches que les lits actuels, sont peu travaillés car leur exploitation suppose des moyens mécaniques pour déboiser et enlever la couche limoneuse supérieure stérile, épaisse de plusieurs mètres.

V. ECHANTILLONNAGE ET TRAITEMENTS DES ECHANTILLONS

Les échantillons ont été prélevés dans les sédiments alluviaux du Madre de Dios, Rio Colorado, Inambari Alto, Inambari Bajo, Malinowski, Tambopata, Rio Azul et Rio Chuncho (fig. 2). Au total, 190 échantillons ont été prélevés.

Chaque échantillon consistait en 20 à 60 kilos de sédiment qui ont été concentrés à la batée afin de réduire le volume initial.

Les minéraux lourds ont été séparés des grains de quartz restants au moyen de bromoforme. L'échantillon a ensuite été fractionné en 5 coupures électro-magnétiques afin de faciliter l'identification des différents minéraux opaques. L'or, se retrouvant dans la fraction non-magnétique, a été séparé des autres minéraux non-magnétiques à l'aide d'un tube d'éluatriation (FROST, 1959) suivi d'une séparation sur une surface vibrante inclinée (LANCKNEUS, 1987). Les minéraux lourds ont été comptés selon la méthode du comptage en ruban (500 grains par échantillon). Le microscope polarisant ainsi que le binoculaire ont été employés.

La longueur et la largeur de quelque 20.000 particules d'or ont été mesurées individuellement en employant un système de mesure qui consiste en un binoculaire équipé d'un miroir à dessin et une tablette de digitalisation connectée à un ordinateur. Les dimensions d'un objet peuvent être mesurées en indiquant la position des quatre extrémités d'une particule à l'aide d'un curseur. Toutes les données sont groupées dans un fichier informatisé, sur lequel on effectue toutes les opérations statistiques désirées.

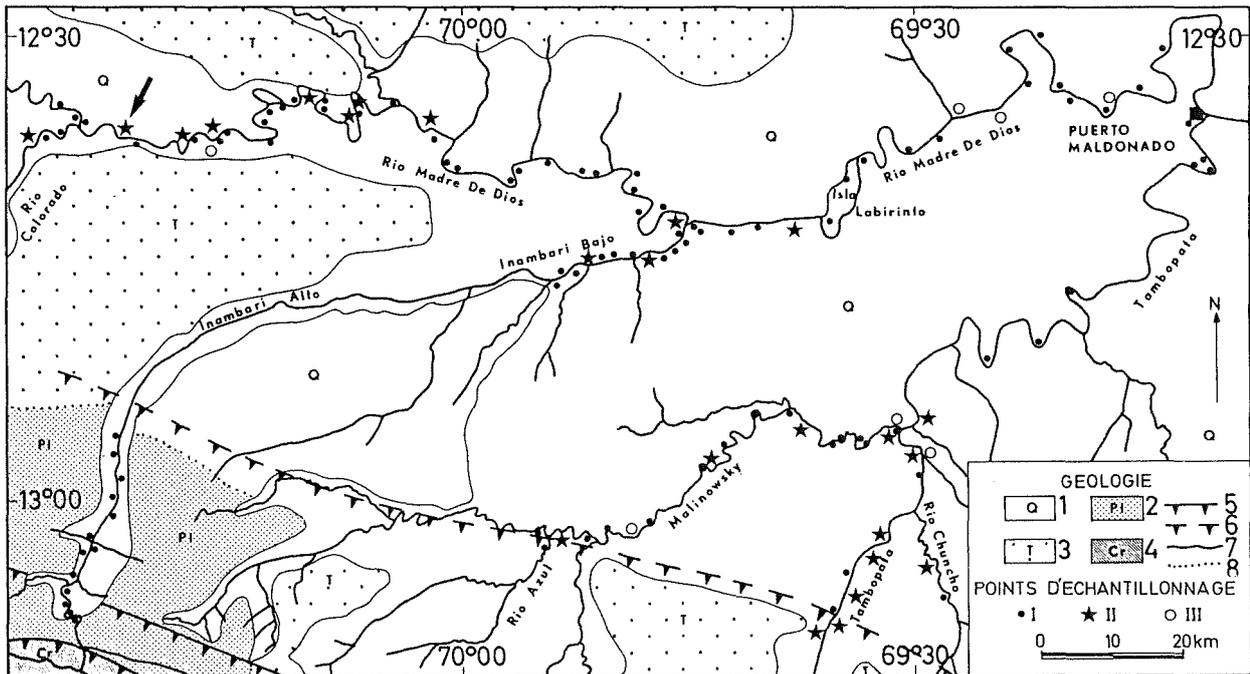


Fig. 2. Localisation générale des échantillons.

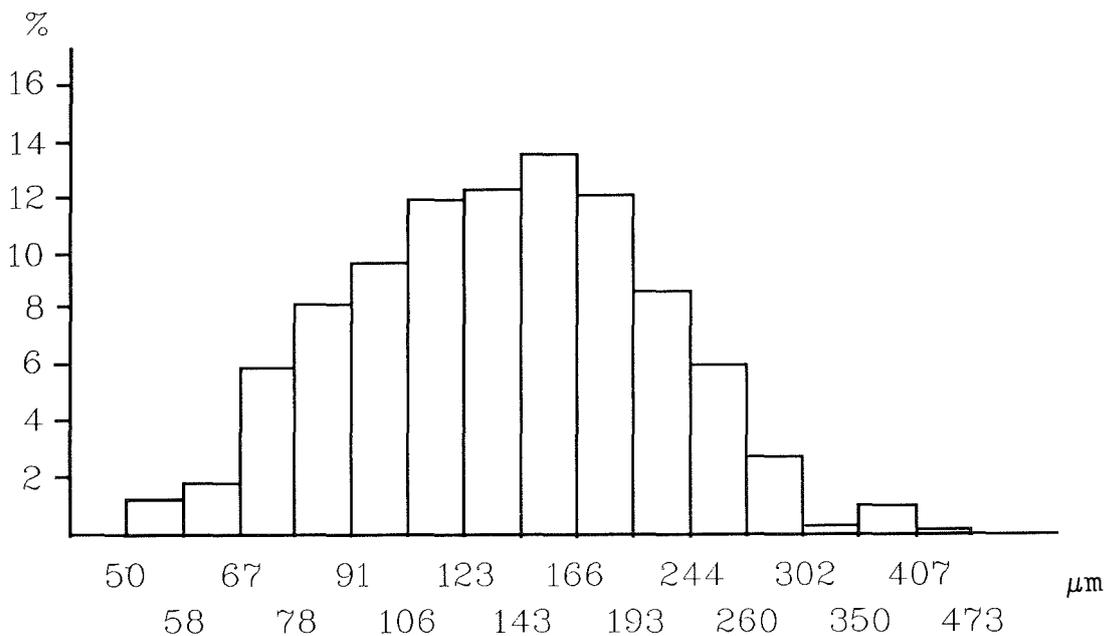
I :échantillon unique.

II :échantillonnage multiple le long d'un point bar.

III :échantillonnage multiple le long d'un profil vertical.

Le méandre, considéré au paragraphe IX, est indiqué par une flèche.

Carte géologique simplifiée du Département de Madre de Dios (d'après LAUBACHER, 1978; LAUBACHER et al., 1984; ONERN, 1972): 1 : dépôts quaternaires alluviaux (Q); 2: Formation pliocène Mazuko (PI); 3: Formation tertiaire Capas Rojas (T); 4: séries crétacées (Cr); 5: faille inverse; 6: faille inverse supposée; 7: contour; 8: contour supposé.



A

Fig. 3.A Histogrammes représentant la granulométrie de l'or dans un échantillon du Madre de Dios.

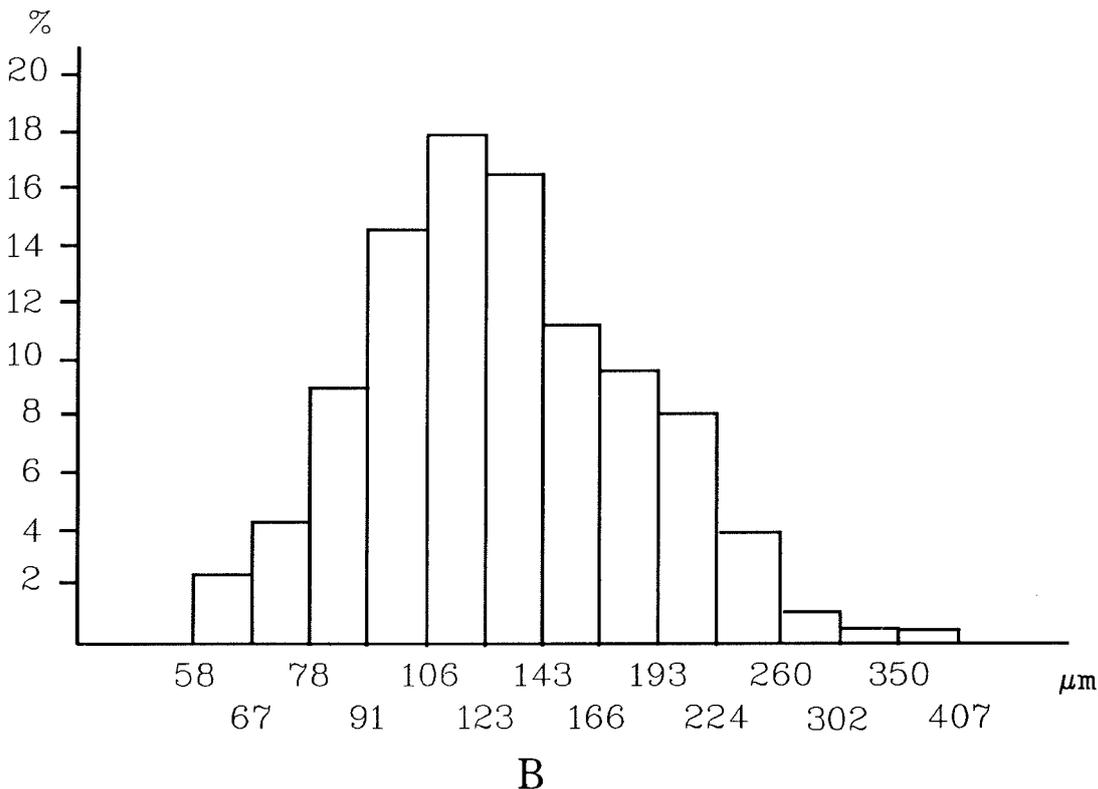


Fig. 3.B Histogrammes représentant la granulométrie de l'or dans un échantillon du Inambari.

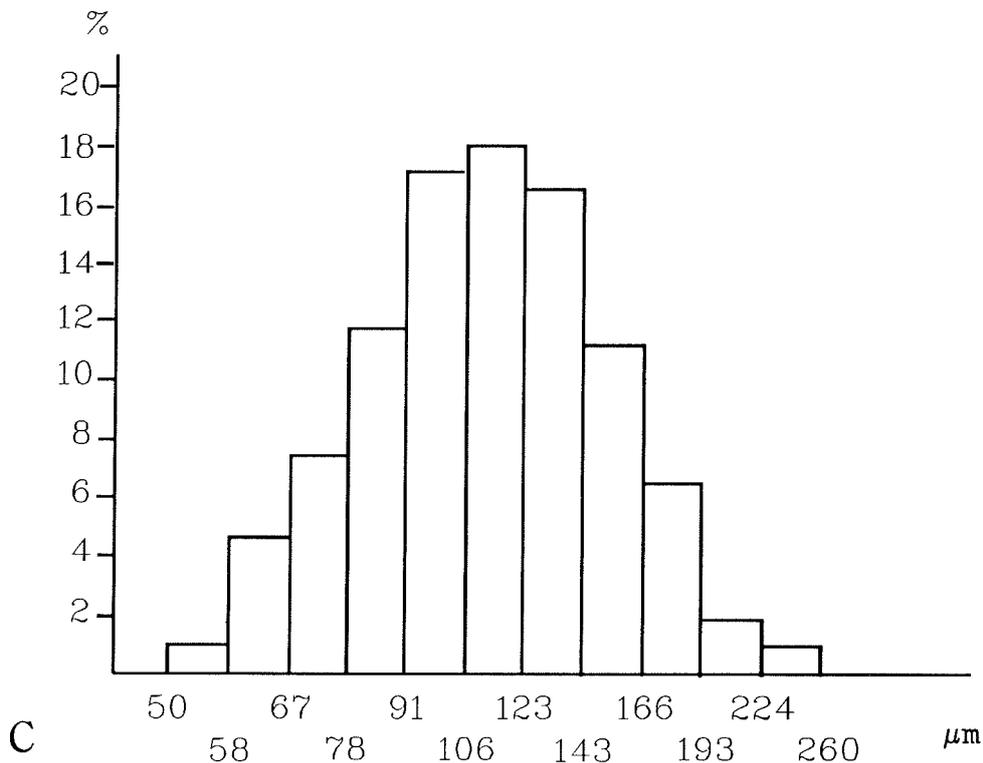


Fig. 3.C Histogrammes représentant la granulométrie de l'or dans un échantillon du Malinowsky.

VI. GRANULOMETRIE DE L'OR

Les histogrammes suivants (fig. 3), qui sont représentatifs pour la majorité des sédiments échantillonnés, illustrent la distribution granulométrique des particules d'or. Tous les calculs et représentations granulométriques sont basés sur

les largeurs des particules. Nous observons que la distribution est lognormale et unimodale.

Les histogrammes permettent de supposer également que des paillettes plus petites que 50 μm doivent exister. Celles-ci ont malheureusement été perdues sur le terrain pendant les opérations de batée.

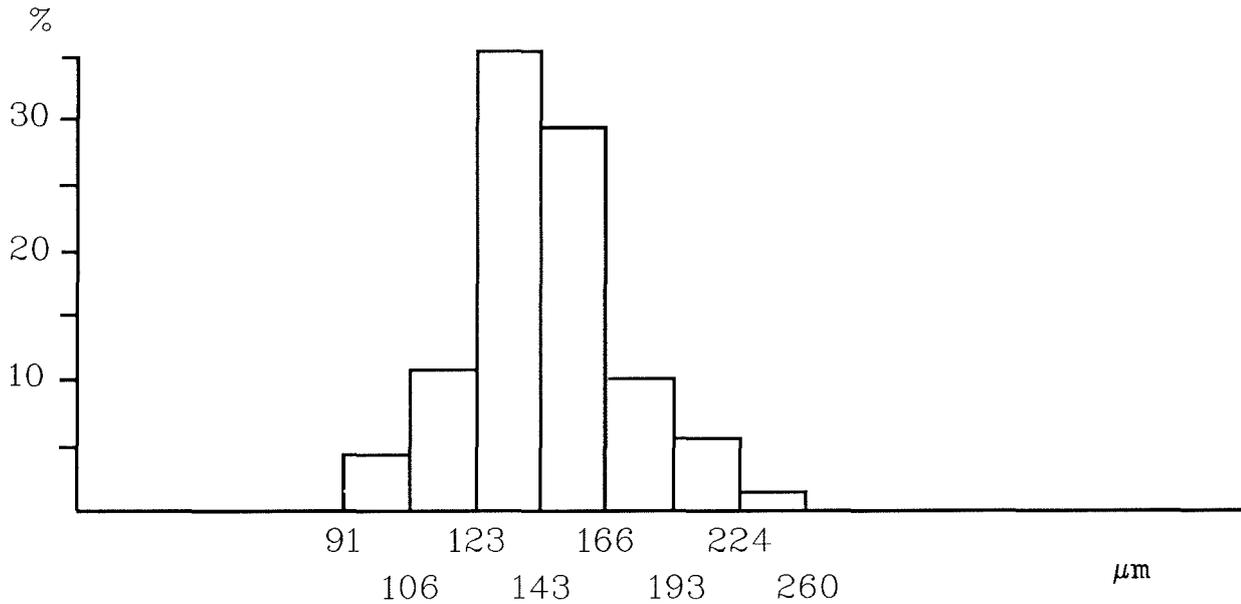


Fig. 4. Histogrammes des médianes calculées pour chaque échantillon du Rio Madre de Dios.

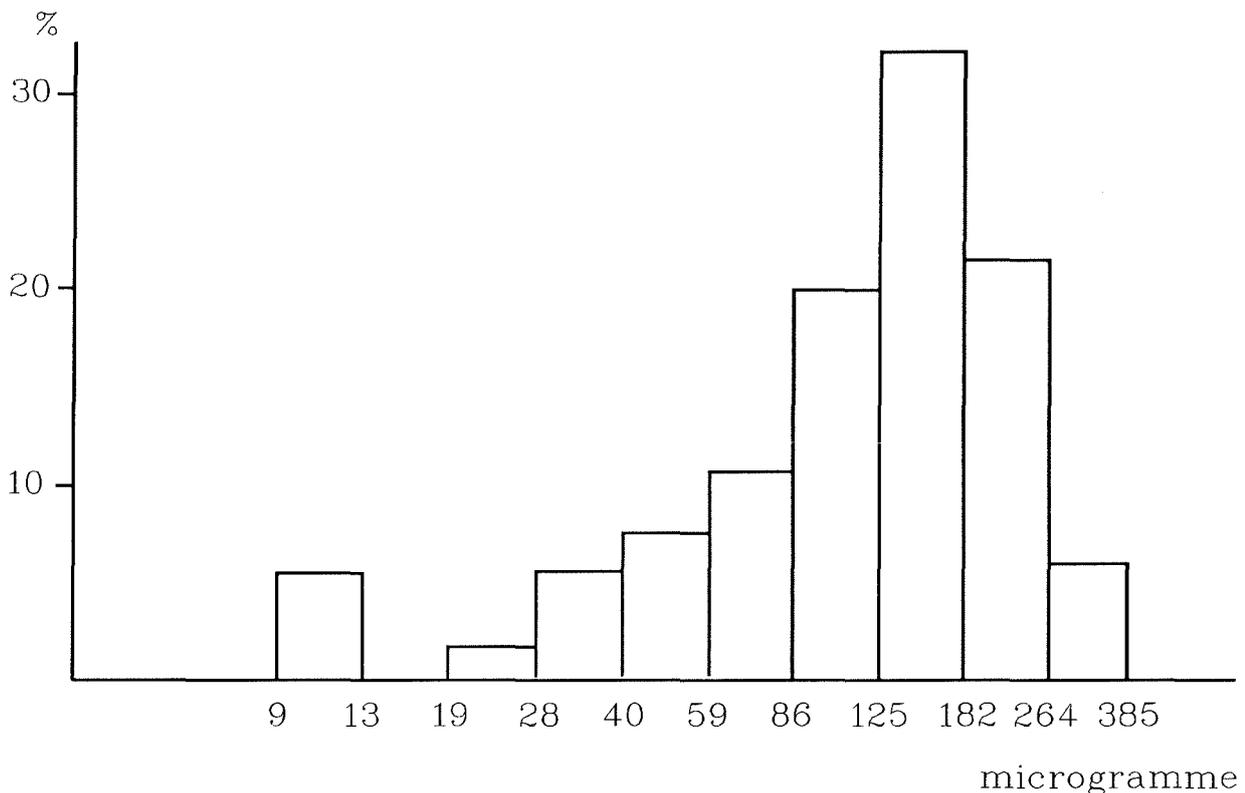


Fig. 5 Poids des paillettes d'or, déterminés pour un échantillon du Malinowsky.

Si nous retenons les valeurs médianes de chaque échantillon pris dans le Madre de Dios, nous obtenons l'histogramme de la figure 4.

Nous pouvons déduire de cette distribution que la médiane des particules d'or varie entre 100 μm et 240 μm ; la médiane la plus commune est de 135 μm . Les épaisseurs des paillettes varient normalement entre 3 et 10 μm .

Nous avons également pesé les paillettes grain par grain à l'aide d'une balance analytique. Les résultats de ces pesées sont représentés dans l'histogramme de la figure 5. La majorité des paillettes pèse entre 125 et 182 microgrammes, ce qui est une valeur représentative pour tous les échantillons.

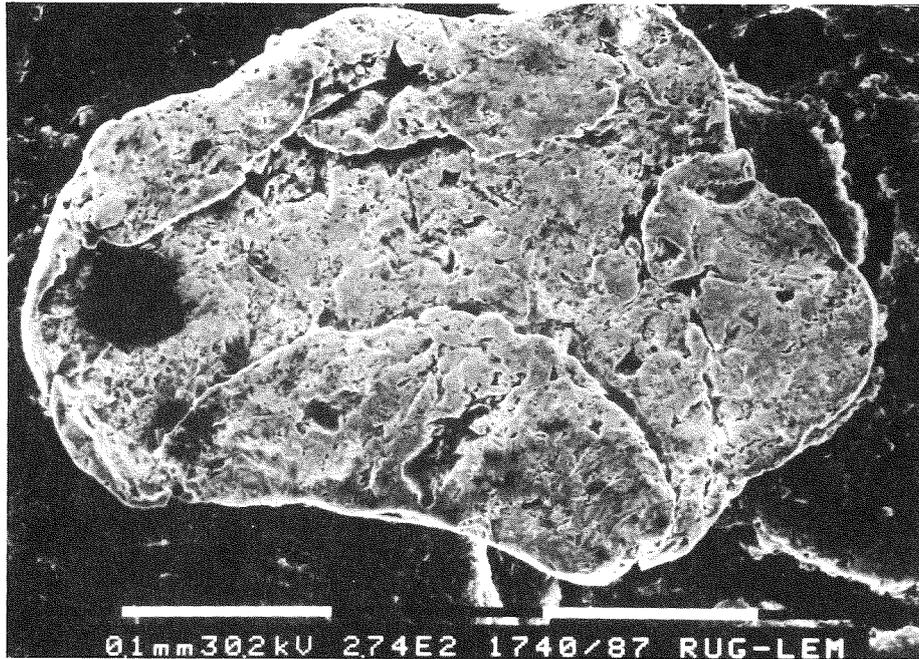


Photo 1. Paillette d'or (longueur 0.4 mm) très aplatie aux bords retournés (Madre de Dios).

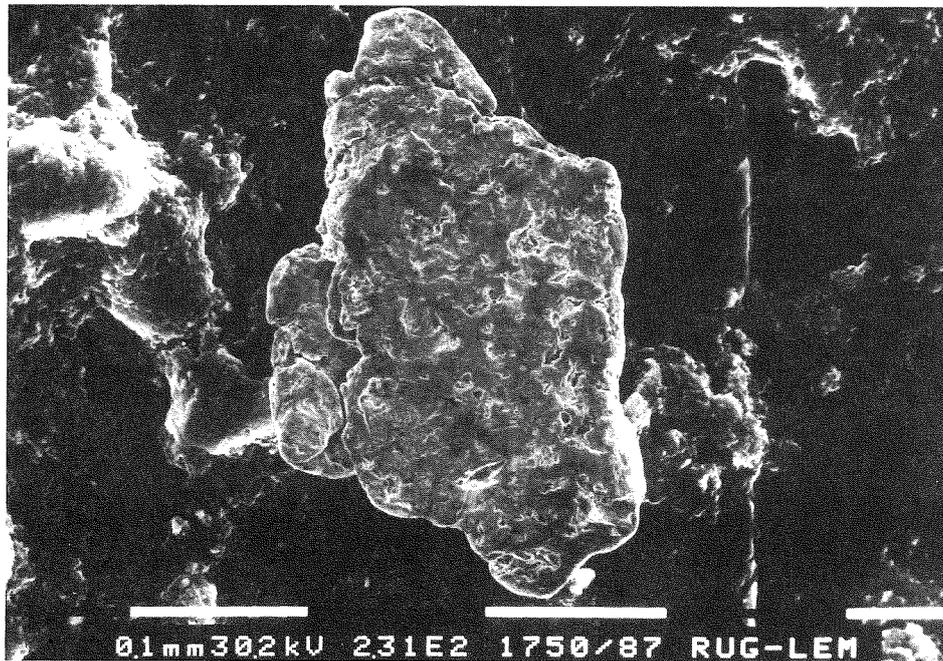


Photo 2. Paillette d'or (longueur 0.3 mm). On remarque que la paillette est constituée d'une lame d'or complètement repliée sur elle-même (Inambari Bajo).

VII. MORPHOSCOPIE DES GRAINS

La presque totalité des paillettes a été examinée sous le binoculaire à faible grossissement (généralement inférieur à 50). Postérieurement, un nombre d'individus a été observé en détail au microscope électronique à balayage. Ce microscope est couplé à un micro-analyseur EDAX (KEIL, 1973), ce qui permet d'examiner la

composition chimique de la surface des paillettes en même temps qu'on étudie leur morphologie.

Le trait le plus saillant des particules est leur aspect aplati (photo 1), résultat d'un martelage prolongé par le gravier alluvial. Les particules présentent des stries produites par le frottement d'éléments grossiers sur les paillettes.

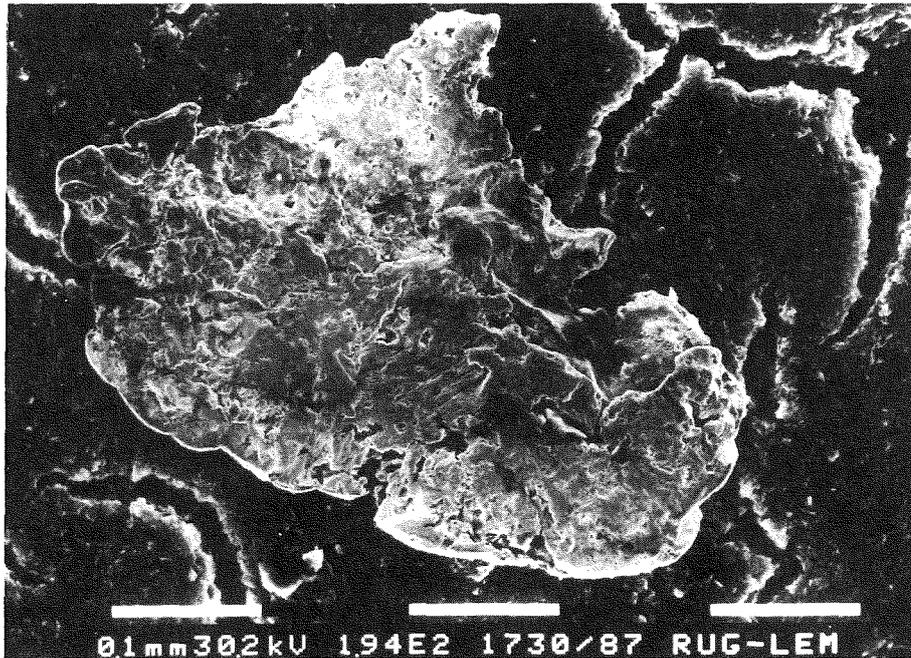


Photo 3. Paillette d'or (longueur 0.5 mm) transportée dans une rivière à régime torrentiel; contour irrégulier accidenté de nombreux creux et bords repliés.

Les grandes paillettes présentent fréquemment des bords repliés et certaines paillettes sont même constituées d'une lame d'or plusieurs fois repliée sur elle-même (photo 2), phénomène qui n'apparaît qu'après un long transport fluvial.

Des inclusions de quartz, d'origine secondaire, peuvent être observées sur la surface des paillettes.

Aucune différence morphoscopique n'a été remarquée entre les particules provenant des sédiments holocènes de la plaine alluviale et celles originaires des rivières actuelles.

Mentionnons également que le Inambari Alto, la rivière la plus proche de la Cordillère et de pente plus prononcée que le Madre de Dios, contient des paillettes d'or d'aspect différent des autres rivières de la plaine alluviale. En effet, bien que les particules soient déjà très aplaties, elles présentent un contour irrégulier, peu arrondi et accidenté de nombreux creux causés par un transport dans une rivière à régime torrentiel (photo 3).

VIII. CHIMIE DE L'OR

Les paillettes d'or, présentes dans un gisement, se composent rarement d'or pur. Elles sont constituées d'alliages instables dont la composition évolue dès qu'ils sont soumis à l'altération météorique.

L'une des caractéristiques qu'on observe le plus souvent est la diminution de la teneur en argent ou accroissement de la finesse (pureté) de l'or.

La teneur en argent dans plusieurs centaines de paillettes a été contrôlée à l'aide du dispositif EDAX. Nous constatons que l'or de quasiment toutes les particules observées est très pur et ne contient aucune trace d'impuretés. Des traces d'argent, uniformément partagées sur toute la surface de la paillette, ont été détectées sur 2 individus seulement.

Dans la partie aval du Tambopata près de Puerto Maldonado, des sédiments accumulés dans des marmites creusées dans le bedrock ont été échantillonnés. Un des échantillons contenait une pépite d'or, mesurant 1400 μm de longueur sur 1200 μm de largeur et 1000 μm d'épaisseur, à laquelle nous attribuons une origine chimique (photo 4). Il est en effet peu probable que la pépite provienne directement d'une minéralisation primaire car de tels sites se trouvent à plusieurs centaines de kilomètres en amont et le grain observé ne montre que peu ou pas de traces de transport.

Des "pépites synthétiques" morphologiquement similaires aux pépites naturelles ont d'ailleurs été reproduites en laboratoire (GONI *et al.*, 1967). Dans le cadre de ces expériences, il est intéressant de noter que la précipitation d'or s'améliore dans des conditions se rapprochant de celles présentes dans des marmites fluviales.

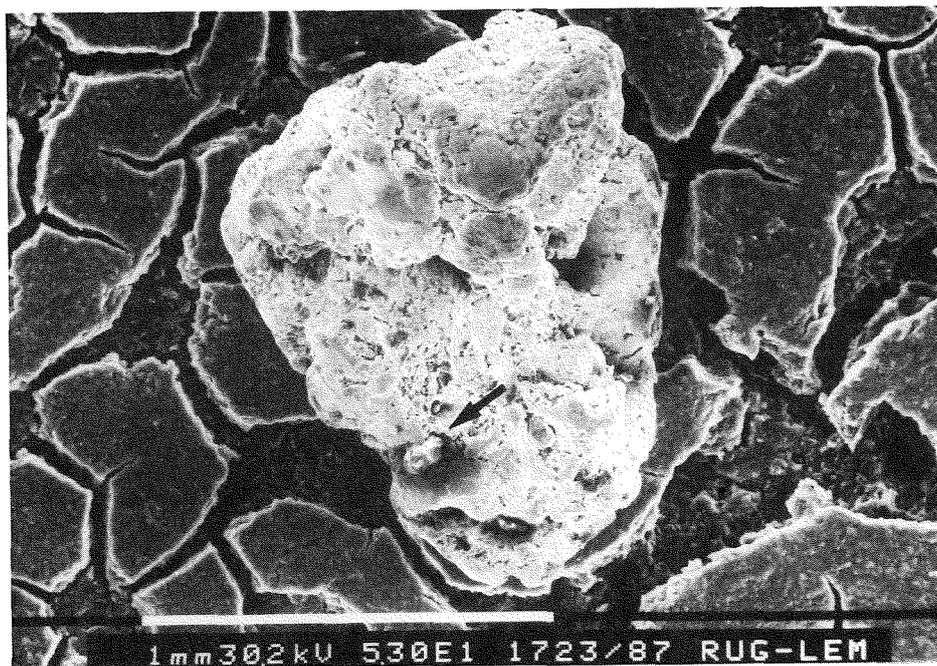


Photo 4. Pépite d'or (longueur 1.4 mm); la flèche indique le nodule d'argent se trouvant dans un creux.

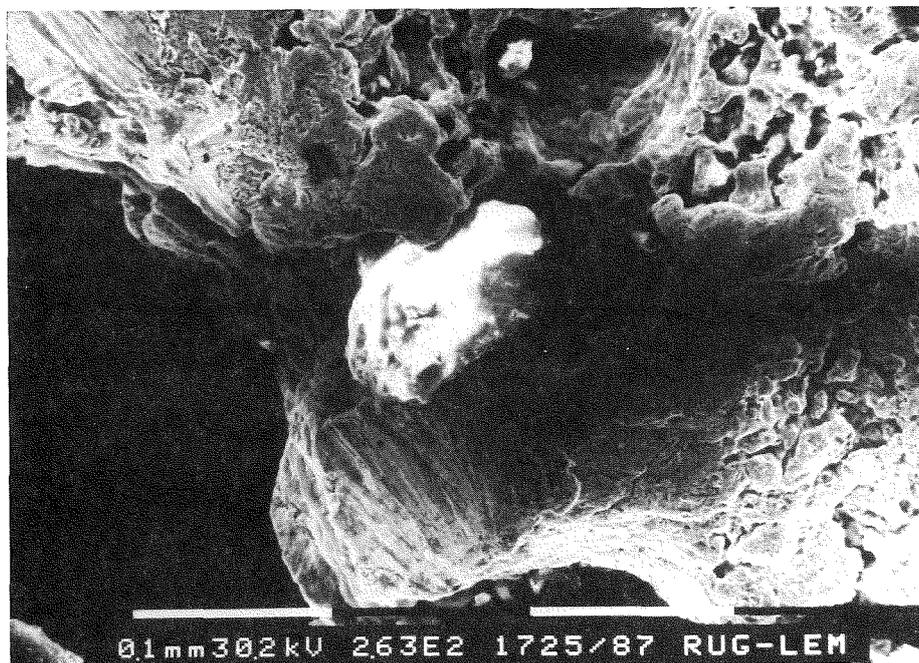


Photo 5. Nodule d'argent pur (0.1 mm).

Durant l'examen de la pépite au microscope électronique, notre attention a été attirée par une pépite nodule (photo 5) de 100 μm de longueur qui se trouvait dans un creux de la particule d'or et qui se composait d'argent pur. La précipitation de nodules très riches en argent est un phénomène rare qui ne s'observe que dans des milieux très hydromorphes (DESBOROUGH, 1970, p. 310; HERAIL, 1984, p. 49).

IX. EVOLUTION GRANULOMETRIQUE DE L'OR LE LONG D'UN POINT BAR

Etudions dans un premier temps l'évolution minéralogique et granulométrique des sédiments le long d'un point bar.

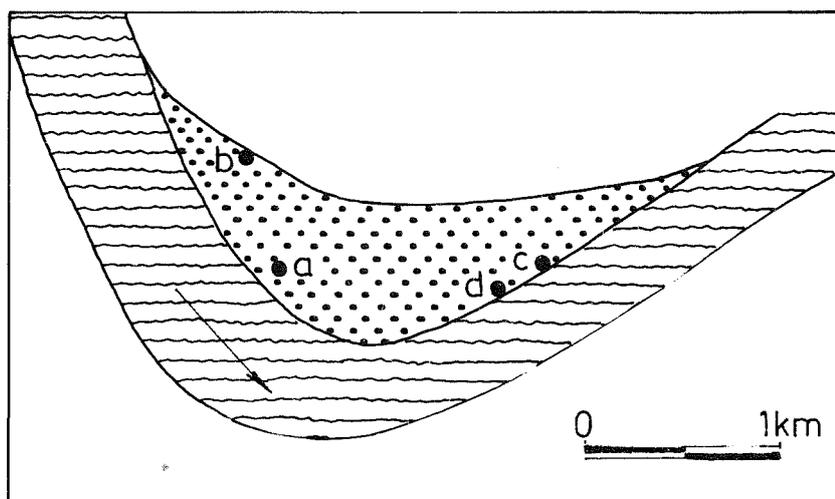


Fig. 6. Méandre du Madre de Dios (voir aussi figure 2) et localisation des 4 échantillons le long du point bar.

Nous choisissons comme exemple un point bar du Rio Madre de Dios (fig. 6).

Deux échantillons ont été pris dans la partie amont et deux dans la partie aval. Nous comparons les paramètres

suivants : teneur en minéraux lourds (kg/m^3), la teneur en or (mg/m^3), le pourcentage de zircon et d'épidote et les valeurs médianes des longueurs et largeurs des particules d'or (μm). Ces données sont groupées dans le tableau 1.

Echantillon	Partie amont du méandre		Partie aval du méandre	
	a	b	c	d
Teneur ML (kg/m^3)	1.7	5.6	0.6	2.0
Teneur en or (mg/m^3)	1134	1260	23	16
Zircon (%)	10.0	8.7	7.2	5.7
Epidote (%)	1.4	0.7	2.6	3.6
Zircon/Epidote	7.1	12.4	2.8	1.6
Médianes longueurs particules d'or (μm)	295	230	215	190
Médianes largeurs particules d'or (μm)	205	150	120	130

Tableau 1 : Caractéristiques minéralogiques et granulométriques (or) le long d'un point bar.

L'analyse de ces données permet de déduire les éléments suivants:

- Les teneurs en or les plus importantes se trouvent dans les parties amont du point bar.
- Dans la partie amont du point bar, les teneurs en zircon sont plus élevées et les pourcentages d'épidote plus bas. On retrouve l'image contraire, hautes concentrations d'épidote et moins de zircon, dans la partie aval du point bar.
- Les pourcentages de minéraux lourds sont plus élevés en amont qu'en aval du point bar.
- L'or est plus grossier dans la partie amont que dans la partie aval du point bar.

Ces conclusions sont valables pour les méandres de toutes les rivières étudiées.

X. EVOLUTION GRANULOMETRIQUE DE L'OR LE LONG DU RIO MADRE DE DIOS

Comme nous l'avons déjà mentionné, il existe peu de données dans la littérature actuelle traitant du transport de particules d'or sur une distance de plusieurs centaines de kilomètres. C'est pour cette raison qu'une attention particulière a été prêtée au Rio Madre de Dios qui est la rivière la plus importante de la région et qui reste d'un accès aisé pendant la période d'étiage. Quatre-vingts échantillons, la plupart provenant des points bars de méandres actuels, ont été pris sur une distance de 270 km qui s'étendent de la confluence du Rio Colorado et du Rio Madre de Dios jusqu'à Puerto Maldonado. Une distance de 100 km sépare les minéralisations primaires dans la Cordillère Orientale de l'échantillon le plus proche de cette dernière. On peut donc supposer que l'or arrivant à Puerto Maldonado a voyagé sur une distance de près de 400 km.

Afin d'étudier le comportement de l'or sur une distance aussi importante, nous avons calculé un certain nombre de paramètres: la valeur médiane des largeurs et longueurs des particules présentes, le nombre de particules d'or et la teneur en or du sédiment. Les distances entre chaque point d'échantillonnage et un point de référence, à savoir Puerto Maldonado, ont également été définies.

Afin d'obtenir une meilleure visualisation des données, nous avons calculé des coefficients de corrélation Pearson entre chaque paire de paramètres (DAVIS, 1973).

Les coefficients sont basés sur les 64 échantillons en provenance du lit de la rivière actuelle. Les échantillons des sédiments holocènes de la plaine alluviale de Madre de Dios n'ont pas été pris en considération.

Le tableau 2 présente quelques-uns de ces coefficients.

En analysant ces données, nous pouvons résumer nos résultats de la manière suivante :

- Les particules d'or ne présentent pas d'évolution granulométrique significative le long de la rivière échantillonnées (coefficient de corrélation médiane largeurs/distance: -0.06).
- La teneur en or ne diminue pas d'une manière significative le long de la rivière échantillonnée (coefficient de corrélation teneur en or/distance: 0.21).
- Il n'existe aucune relation significative entre la taille des particules d'or et la teneur en or des sédiments (coefficients de corrélation teneur en or/médiane longueurs : 0.04; teneur en or/médiane largeurs: 0.05).

La teneur en or d'un gisement détritique peut s'accroître d'une part par la présence d'un nombre plus élevé de paillettes d'une certaine granulométrie ou d'autre part par la présence de paillettes plus grandes sans que ceci n'entraîne une augmentation du nombre des particules. Une étude dans le Sixes River (BOGGS et BALDWIN, 1970, p. 21), par exemple, démontra que

	Poids ML	Dist.	Nombre pail.	Médiane long.	Médiane larg.	Longueur max.
Teneur en or	<u>0.47</u>	0.21	<u>0.93</u>	0.04	0.05	<u>0.55</u>
Médiane largeurs		-0.06				

Tableau 2 : Coefficients de corrélation Pearson calculés à l'aide des 64 échantillons d'alluvions du Madre de Dios. Les coefficients soulignés sont significatifs à un niveau de confiance de 95 %.

l'accroissement de la teneur en or des sédiments aurifères était étroitement lié à la présence de paillettes plus grandes. Par contre, le Rio Madre de Dios est un exemple clair du cas contraire des teneurs en or plus hautes sont le résultat d'une augmentation du nombre des paillettes (coefficient de corrélation teneur en or/nombre de paillettes: 0.93). Néanmoins, les paillettes les plus grandes se présentent dans les sédiments les plus riches (coefficient teneur en or/longueur maximale: 0.55). Ces particules sont toutefois peu nombreuses et elles influencent peu la taille moyenne des paillettes.

d. La teneur en or est associée à la quantité des minéraux lourds présents dans le sédiment (coefficient de corrélation: teneur en or/poids de minéraux lourds: 0.47).

Les deux premières conclusions peuvent sembler contraires aux lois classiques des dépôts détritiques qui prévoient que la taille des paillettes (HERAIL, 1984, p. 49; BOYLE, 1979, p. 337) et la teneur en or (HERAIL *et al.*, 1986, p. 7) décroissent de l'amont vers l'aval. Cependant, HALLBAUER et UTTER (1977) affirment que les particules d'or qui ont parcouru une longue distance, parviennent à un équilibre avec la rivière et sa charge. Un décroissement ultérieur de la taille des particules devient à ce moment très graduel. A ce propos, il est également intéressant de mentionner les études d'abrasion de particules d'or dans un environnement à haute énergie, simulé en laboratoire, qui montrent que la vitesse avec laquelle une paillette est transportée joue un rôle plus important dans l'abrasion des paillettes que la distance parcourue par la particule (YEEND, 1975).

L'absence d'une évolution granulométrique semble indiquer qu'un équilibre a été atteint entre les paillettes d'or et la charge de la rivière. La distance que les paillettes ont parcourue ne peut, de ce fait, plus être estimée à l'aide d'éléments granulométriques et morphoscopiques.

REFERENCES

- BOGGS, S. & BALDWIN, E., 1970. Distribution of placer gold in the Sixes River, Southwestern Oregon. A preliminary report. *Geol. Survey Bull.*, 1312 (1): 1-27.
- BONNEMAISON, M., FORNARI, M., GALLOSO, A., HERAIL, G., JUNGBLUTH, R., LAUBACHER, G., VERGARA, J. & ZEGARRA, J., 1988. Oro primario y oro detrítico en la Cordillera Sur-Oriental del Peru. El papel de la geomorfogenesis en la formación de los placeres. Accion conjunta INGEMMET-ORSTOM, Convenio 1980-1983, Informe final, segunda parte, Lima, 94 p.
- BOYLE, R., 1979. *The geochemistry of gold and its deposits*. Geol. Survey of Canada, 280, 584 p.
- DAVIS, J., 1973. *Statistics and data analysis in Geology*. J. Wiley and Sons, N.Y., 550 p.
- DESBOROUGH, G., 1970. Silver depletion indicated by micro-analysis of gold from placer occurrences, Western United States, *Ec. Geology*, 65: 304-311.
- EMILIANI, C., 1964. Paleotemperature analysis of the Caribbean Cores A 254-BR-C and CP-28. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 75: 129-144.
- FORNARI, M. & BONNEMAISON, M., 1984. Mantos et amas sulfo-arseniés à or : la Rinconnada. Premier indice de minéralisation de type exhalatif - sédimentaire dans la Cordillère Orientale du Pérou. *Chron. Rech. Min.*, 474: 33-40.
- FROST, I., 1959. An elutriation tube for the specific gravity separation of minerals. *Amer. Min.*, 44: 886-890.
- GONI, J., GUILLEMIN, C., SARCIA, C., 1967. Géochimie de l'or exogène. Etude expérimentale de la formation des dispersions colloïdales d'or et de leur stabilité. *Mineralium Deposita* 1: 259-268.
- HALLBAUER, D. & UTTER, T., 1977. Geochemical and morphological characteristics of gold particles from recent river deposits and the fossil placers of the Witwatersrand. *Mineralium Deposita*, 12: 293-306.
- HERAIL, G., 1984. Les paillettes d'or, mémoire des piemonts. *Courrier Centre National de Recherches Scientifiques*, 57: 49-51.
- HERAIL, G., RUIZ, E., ARGOLLO, J., FORNARI, M., LAUBACHER, G. & VISCARRA, G., 1986. El distrito de Tipuani. *Geologia e Historia* (parte II). *Khryosos*, ano 1, 3: 7-14.
- KEIL, K., 1973. Applications of the Electron Microprobe in Geology, in C.A. Andersen, Microprobe analysis. Wiley Interscience Publications, New York: 189-240.
- LANCKNEUS, J., 1987. *Invloed van de alluviale morfologie op de mineralogische en granulometrische kenmerken van zware mineralen uit goudplacers in het Department Madre de Dios, ZO Peru (Study of the relationships between the alluvial morphology and the mineralogical and grain size characteristics of heavy minerals from gold placers in the Department of Madre de Dios, SE Peru)*. PhD, State University of Ghent, 178 p.
- LANCKNEUS, J., 1988. The use of heavy minerals as pathfinders for placer gold in the Department of Madre de Dios (SE Peru). Bicentennial Gold 88. Extended Abstract Poster Programme, Volume 2. *Geological Society of Australia INC.* Abstracts n°23: 547-549.
- LANCKNEUS, J., 1989. The use of heavy minerals as pathfinders for placer gold : a case study in the Department of Madre de Dios (SE Peru). *Bull. Belg. Vereniging voor Geologie* (in press).
- LAUBACHER, G., 1978. *Géologie des Andes péruviennes*. Travaux et documents de l'O.R.S.T.O.M., Paris, 95, 217 p.
- LAUBACHER, G., HERAIL, G., FORNARI, M. et SEBRIER, M., 1984. *Le piedmont amazonien*

- des Andes sud-orientales du Pérou (Marcapata - Inambari)*. Travaux de la Rev. Géol. Pyrénées et Sud-Ouest, I, 20 p.
- Oficina Nacional de Evaluacion de Recursos Naturales (ONERN), 1972. *Inventario, evaluacion y uso regional de los recursos naturales de la zona de los rios Inambari y Madre de Dios*. Lima: 49-66.
- TRICART, J., 1958. Division morphoclimatique du Brésil atlantique central. *Rev. Géom. Dyn.*, 9: 1-12.
- TRICART, J., 1974. Existence de périodes sèches du Quaternaire en Amazonie et dans les régions voisines. *Rev. Géom. Dyn.*, XXIII, 4: 146-158.
- VAN DER HAMMEN, T., 1972. Changes in vegetation and climate in the Amazon basin and surrounding areas during the Pleistocene. *Geologie en Mijnbouw*, 51, 6: 641-643.
- YEEND, W., 1975. Experimental abrasion of detrital gold. *Journ. Research US Geol. Survey*, vol. 3, 2: 203-212.

