

CONFÉRENCE SPÉCIALISÉE / DISTINGUISHED LECTURE

DISPERSION MÉCANIQUE DE L'OR DANS LES MATÉRIAUX DE SURFACE :
EXEMPLE DU SITE AURIFÈRE DE PIÉLA (BURKINA-FASO)Mechanical gold dispersion in surficial materials:
Example of Piela auriferous site (Burkina-Faso)

OUANGRAWA M. *, GRANDIN G. **, PARISOT J.-C. *** & BARAS E. ****

* Université de Ouagadougou, Département de Géologie, B.P. 7021, Ouagadougou (Burkina-Faso)

** ORSTOM, Section géologie, B.P. 182, Ouagadougou (Burkina Faso)

*** Unité Mixte ORSTOM-CEREGE (Centre d'Enseignement et de Recherche de Géosciences de l'Environnement),
B.P. 80, 13545 Aix-en-Provence cedex 04 (France)

**** BUMIGEB (Bureau des Mines et de la Géologie du Burkina), B.P. 601, Ouagadougou (Burkina-Faso)

RÉSUMÉ

A Piéla, l'or primaire est associé à des filons de quartz, dans une zone de cisaillement des formations volcano-sédimentaires birimiennes (Protérozoïque inférieur). La présence d'or a également été mise en évidence dans les matériaux superficiels latéritiques bien que les roches sous-jacentes et leurs altérites soient en général stériles: L'étude de la répartition de l'or sur les différentes surfaces aplanies montre que l'or est concentré par des transferts mécaniques dans les cailloutis et graviers de cuirasse ferrugineuse et de quartz de la plaine alluviale et dans des portions du moyen-glacis cuirassé assimilables à une ancienne terrasse. Ailleurs sur les surfaces cuirassées (haut-glacis, moyen-glacis), l'or est dispersé à faible teneur ou absent. Les caractères morphologiques et chimiques des particules d'or évoluent depuis la zone minéralisée jusqu'à la plaine alluviale distale ainsi que sur les glacis. Cette évolution se marque par une augmentation de l'émoussé, par des traits morphologiques spécifiques du transport mécanique (stries, bordures repliées, aplatissement) et par un lessivage de l'argent jusqu'au cœur des particules. Dans les matériaux superficiels du site de Piéla, les particules d'or présentent des degrés d'usure différents et ne montrent pas l'évolution progressive avec diminution de la taille des particules et lessivage de l'argent, souvent décrite de bas en haut des profils cuirassés sur roche mère minéralisée.

ABSTRACT

Piela auriferous quartz veins are associated with a large shear zone in volcano-sedimentary birimian (Lower Proterozoic) formations. Gold evidence has also been found in lateritic materials although the underlying rocks and in situ saprolites are barren. Gold distribution in the different planation surfaces shows a mechanical concentration in the broken stones and gravels layers of the alluvial flat and in some parts of the medium pediment system which correspond to an ancient terrace. On the other parts of indurated surfaces (high and medium pediment systems), either gold is absent or gold contents are low. Morphological and chemical characteristics of gold particles evolve from the mineralized zone to the alluvial flat and in the removed pediment materials. This evolution includes an increase of blunted forms, specific marks of transport (striation, turning up of the rims, flattened forms) and leaching of Ag up to the center of particles. In the surficial materials of Piela zone, gold particles present different abrasion grades and do not show a progressive evolution with size decrease and leaching of Ag, as often described in indurated weathering profiles on mineralized bedrock.

1 - INTRODUCTION

L'or est au Burkina Faso une ressource minérale traditionnelle. Il est devenu le second produit d'exportation du pays dans la période récente. En effet la production artisanale par orpaillage est montée en puissance après la sécheresse de 1983. Elle a atteint son maximum -soit 2,3 tonnes- en 1990 représentant les 2/3 de

la production totale et est en diminution, avec 0,7 tonne en 1994 (44 % du total).

Actuellement, seuls les filons de quartz font l'objet d'une exploitation industrielle ou semi-industrielle. Si les orpailleurs exploitent également les filons de quartz, ils sont les seuls à exploiter les matériaux de surface des glacis, cuirassés ou non. Les teneurs y sont généra-



Fonds Documentaire ORSTOM
Cote: B*9482 Ex: 1

lement peu élevées, sur une faible épaisseur, mais parfois sur des surfaces étendues, ce qui représente des tonnages non négligeables (1/2 ppm sur 60 cm d'épaisseur représente plus de 8 kg à l'hectare). L'or grossier y est récupéré par des techniques gravimétriques sommaires.

Dans la zone intertropicale, la répartition de l'or dans les matériaux de surface a fait l'objet d'un certain nombre de travaux en région équatoriale (Machairas, 1970; Edou-Minko, 1989; Freyssinet *et al.*, 1989a; Colin & Vieillard, 1991; Edou Minko *et al.*, 1992; Colin, 1992; Howell *et al.*, 1993; Colin *et al.*, 1993), en milieu aride (Wilson, 1983; Mann, 1984; Smith & Keele, 1984), en régions tropicales à saisons contrastées et en particulier en zone soudano-sahélienne (Freyssinet *et al.*, 1989b; Séa *et al.*, 1990; Sanfo *et al.*, 1992; Freyssinet, 1993; Parisot *et al.*, 1995a et b). Les mécanismes pouvant entraîner des concentrations aurifères différent selon les contextes géologiques, géomorphologiques et bioclimatiques.

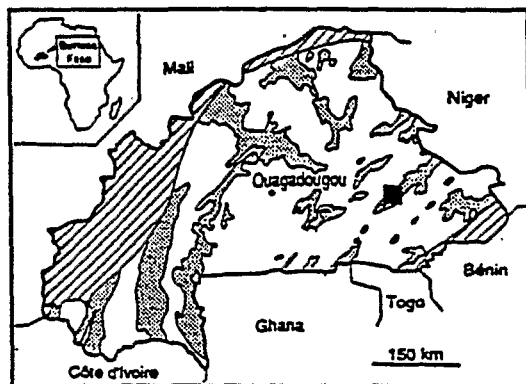
En zone soudano-sahélienne, des systèmes de glacis étagés qui ont fonctionné à des époques différentes favorisent les transferts latéraux vers des drains actifs seulement pendant quelques mois par an. Dans ce contexte, le problème des modalités de dispersion de l'or se pose d'une part dans les glacis relictuels cuirassés

comme dans les glacis fonctionnels et d'autre part, dans les zones alluviales actuelles ou fossiles. Une meilleure connaissance des processus de migration de l'or dans les matériaux de surface de cette zone climatique fournirait des arguments dans les discussions scientifiques concernant l'origine des cuirasses et aurait des implications pour l'amélioration des techniques de prospection de l'or. Dans ce but, le site aurifère de Piéla, situé à l'Est du pays, a été choisi pour une étude de la dynamique de l'or dans les matériaux de surface.

2 - GÉOLOGIE (fig. 1)

Le prospect a été étudié par le BUMIGEB (Bureau des Mines et de la Géologie du Burkina) entre 1988 et 1992 (Wedraogo & Napon, 1988; Baras, 1992). Il se situe dans un contexte birimien fortement schistosé et cataclaté, avec des amphibolites ou schistes amphiboliques où subsistent des noyaux de roches volcaniques basiques, des schistes de nature diverse souvent argileux et des granitoïdes.

Les métalaves comprennent des basaltes et des andésites. Elles sont affectées par un métamorphisme allant jusqu'au grade amphibolite avec apparition de grenats et silicates d'alumine.



- A. Couverture sédimentaire post-protérozoïque
- B. Ceintures de roches vertes birimiennes
- C. Socle granito-gneissique
- D. Zone d'étude

1. Dyke de dolérite
2. Granite
3. Volcano-sédiments
4. Métalaves
5. Gneiss
6. Failles
7. Direction et pendage de la schistosité majeure
8. Route
9. Fijons de quartz
10. Habitations

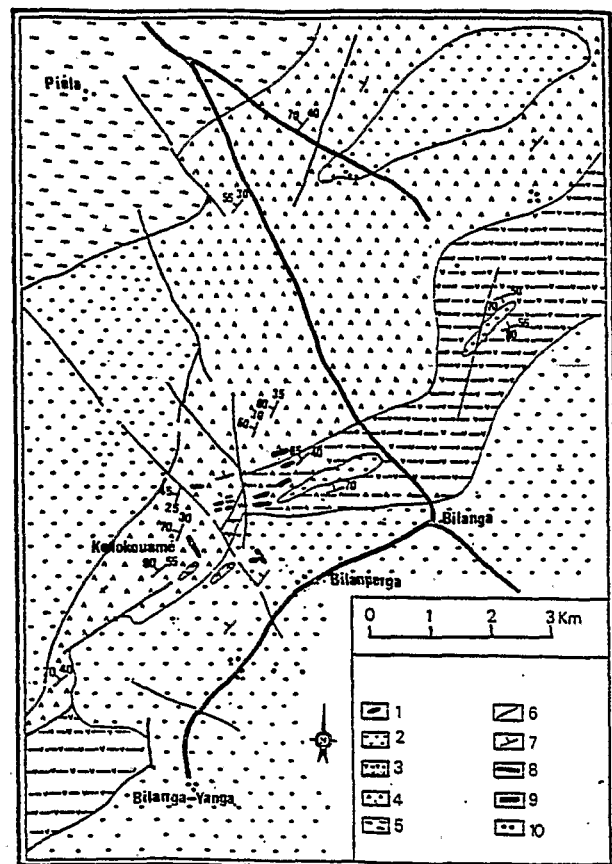


Fig. 1 - Esquisse géologique du site de Piéla.

Les sédiments fins sont des schistes sériciteux parfois satinés et des tufs graphiteux. Leur origine volcano-sédimentaire est supposée en tenant compte de l'association sur le terrain métalaves-tufs graphiteux.

Des granites à biotite et amphibole et des granites roses à grains équants sont intrusifs dans la série volcano-sédimentaire. Ils sont localement très déformés dans une shear zone de 4 km de large, avec des passées gneissiques ou mylonitiques. Des dykes de dolérite recoupant les formations birimiennes n'affleurent que discrètement dans la zone étudiée.

D'après Bourges *et al.* (1994), la minéralisation primaire se présente dans la zone de cisaillement sous forme de remplissages de fentes de tension en échelon ou de veines issues de fentes de tensions sigmoïdes évoluant postérieurement avec développement de plis sous l'effet de la reprise du mouvement cisailant. La déformation progressive se marque dans la géométrie des filons qui sont affectés par des plis serrés d'axes verticaux et de longueur d'onde décamétrique. Le quartz est accompagné d'or, de pyrite, d'arsénopyrite, de chalcopyrite, de tourmaline et d'épidote et les teneurs en or varient de 1 à 26 g/t pour les différents filons. On observe deux plans de schistosité. Le premier correspond à une schistosité de flux de direction N50 à N60 associée à la déformation D2 du Birimien (Milesi *et al.*, 1992). Il est repris par un second, de direction N30 à N70.

3 - GÉOMORPHOLOGIE (fig. 2)

En accord avec les descriptions faites dans d'autres régions du Burkina et plus généralement en Afrique de l'Ouest (Vogt, 1959; Boulet, 1970; Michel, 1973; Grandin, 1976; Peltre, 1977; Leprun, 1979; Beaudet & Coque, 1986), l'armature du relief dans le secteur étudié est principalement constituée par des cuirasses découvertes ou voilées d'une couche détritique. Ces cuirasses se répartissent en plusieurs niveaux étagés. Ainsi, on distingue un haut-pays et un bas-pays.

Le haut-pays

Le haut-pays comprend des collines de roches basiques d'altitude supérieure à 340 m. La plus élevée culmine à 398 m et comporte sur ses flancs de gros blocs de cuirasse massive, très indurée, de couleur rouge sombre à violet, qui peuvent être assimilés à des reliques de la surface intermédiaire. Le faciès est nodulaire à gravillonnaire. Les nodules qui sont essentiellement hématitiques sont emballés dans une matrice également hématitique.

Le haut-pays comprend aussi des plateaux cuirassés du haut-glacis dont l'altitude moyenne est de 350 m et

qui présentent des dénivellations variables par rapport au bas pays. Certains sont réduits à des buttes témoins de cuirasse. Les plus étendus dépassent 2 km de dimension principale, les versants des plus élevés 20 m de dénivellation. Les rebords sont souvent abrupts et peuvent atteindre une dizaine de mètres de hauteur. Les plateaux de haut-glacis présentent des irrégularités d'altitude et de forme qui proviennent soit d'événements survenus au cours de leur formation, soit de leur évolution au cours de la mise en relief. Cette évolution va jusqu'à des dissolutions de type karstique avec formation de conduits ovales et de grottes, parfois de chaos de blocs d'effondrement du toit de ces grottes.

Les matériaux indurés en cuirasse ferrugineuse (ou en carapace peu consolidée à la base de la cuirasse) sont de deux types. D'une part, des argiles tachetées issues de l'altération *in situ* de la roche sous-jacente qui donnent des faciès indurés alvéolaires. Ces faciès atteignent 4 m d'épaisseur et peuvent constituer la totalité du profil cuirassé. D'autre part, des cailloutis et graviers comportant des débris de quartz anguleux à subanguleux, des débris de cuirasses anciennes, des nodules violacés à structure schisteuse d'altérite ferruginisée. Ces éléments sont de taille variable, bien représentés entre 2 et 10 cm. Par endroits des structures sédimentaires sont conservées, telles des granoclassements ou des successions de lits à éléments grossiers et matrice fine peu abondante et de lits à éléments moins grossiers et matrice fine très abondante, caractéristiques de matériaux transportés. Ces matériaux donnent des faciès indurés conglomératiques

A la base des cuirasses ou carapaces, les horizons meubles sont en général des altérites autochtones. Dans certains cas, ces horizons meubles comportent des dépôts de cailloutis et graviers sur les altérites. C'est le cas dans le puits B5 avec 3,8 m de cailloutis et graviers meubles sous une cuirasse à faciès conglomératique de 4,2 m (fig. 3).

Le bas-pays

Le bas-pays comprend des collines provenant du décapage du haut-glacis, des cuirasses de moyen-glacis (d'altitude inférieure à 340 m) en position de piedmont par rapport au haut-glacis ou associées aux collines décapées. Le moyen-glacis peut s'étendre vers les vallées en vastes plateaux faiblement pentés (1 à 2°). Le rebord cuirassé est localement bien marqué et la totalité du versant peut atteindre 5 à 7 m de dénivellation. Les faciès de la cuirasse et de la carapace du moyen-glacis sont des deux mêmes types que ceux du haut-glacis : argile tachetée indurée, conglomérats à matrice ferrugineuse.

Le bas-pays comprend également un bas-glacis qui forme des bas-fonds en spatule et présente très rarement

une cuirasse affleurante. La limite avec le moyen-glacis est parfois difficile à préciser, lorsque tous deux s'inclinent vers la plaine alluviale dans la même direction. A l'aval, le bas-glacis passe presque en continuité à celle-ci, les deux formant la surface fonctionnelle. La cuirasse, généralement moins indurée que celle du moyen-glacis et souvent manganésifère, est en général

recouverte par un niveau argilo-sableux.

Des graviers sous berge, dont l'épaisseur atteint 70 cm, apparaissent dans les incisions vives des plaines alluviales. Ils correspondent à la base du remblai d'entailles du bas ou du moyen-glacis et peuvent être légèrement indurés sous forme de carapace.

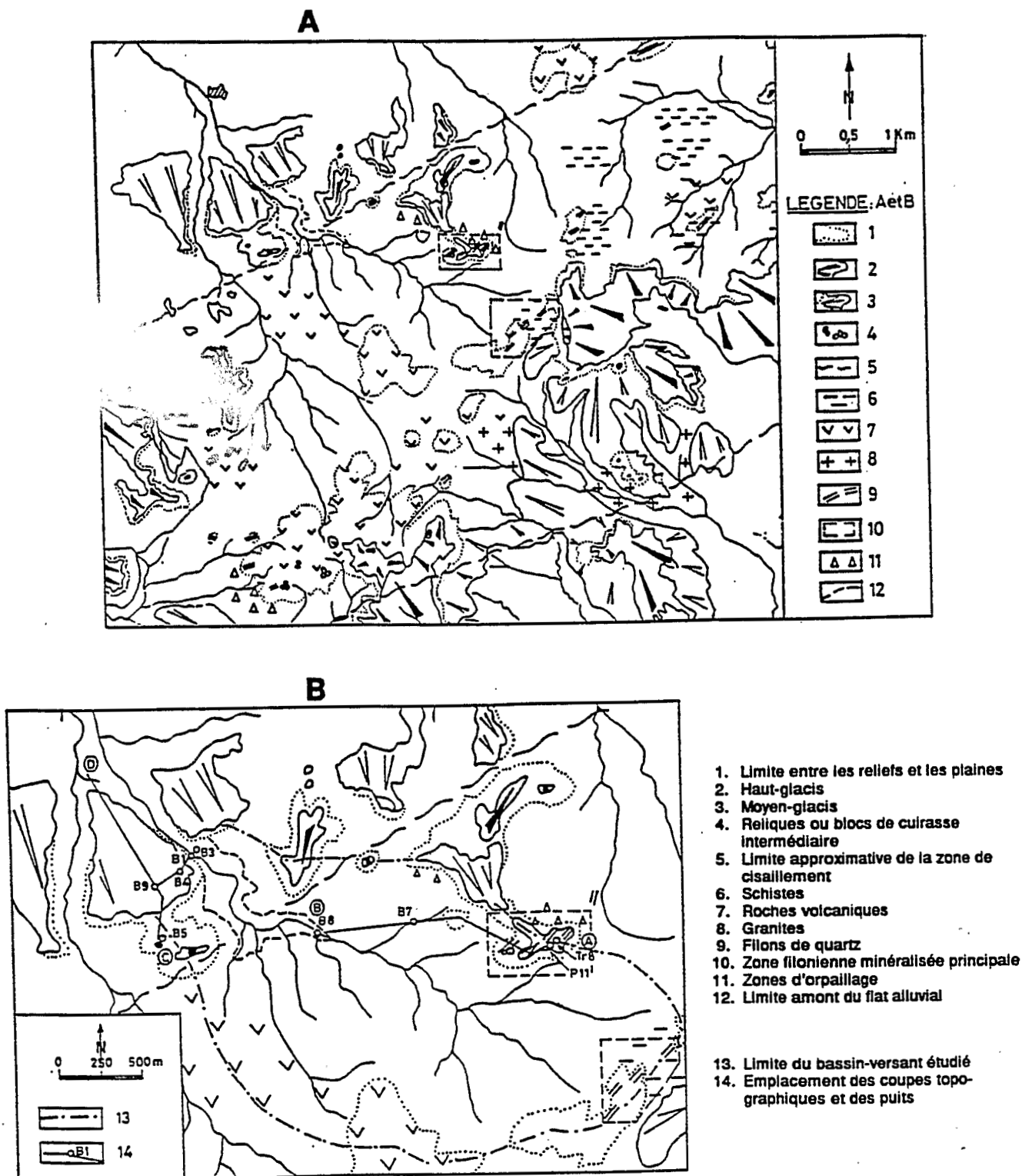


Fig. 2 A et B - Carte géomorphologique du site de Piéla.

4 - ORGANISATION DES PROFILS D'ALTÉRATION

Le choix de la zone d'étude a été guidé par l'interprétation de photographies aériennes et les observations de terrain qui montrent un petit bassin versant limité à l'amont par la zone minéralisée et dont l'exutoire passe entre deux buttes élevées de haut-glacis et deux plateaux de moyen-glacis. Ainsi cet exutoire fonctionne depuis longtemps à cet endroit qui peut donc être un site de concentration d'alluvions aurifères. L'étude a été réalisée à partir de séquences de puits (fig. 3) depuis la principale zone filonienne minéralisée jusqu'à la plaine alluviale distale en passant par les différents systèmes de glacis cuirassés. Les puits ont été foncés jusqu'à l'altérite en place (bedrock) et la disposition des différents horizons est reportée sur la figure 4.

A - Puits dans les éluvions-colluvions de la zone minéralisée (Tr8, P11)

Deux puits ont été foncés dans cette zone qui est un sommet d'interfluve correspondant à un moyen-glacis démantelé. Du sommet vers la base sont décrits :

- *Les horizons de surface à cailloutis et graviers* : l'épaisseur totale des cailloutis et graviers atteint 1 m dans le puits Tr8 et 0,25 m dans le puits P11. Ils sont constitués de cailloux de quartz anguleux à subanguleux (quelques mm à 15 cm de dimension principale), de cailloux de cuirasse et de nodules ferrugineux à structure massive de la même taille que les quartz, de rares débris de roche altérée et de concrétions manganésifères noires. Tous ces éléments grossiers sont emballés dans une matrice argilo-limoneuse et sableuse qui se compose essentiellement de kaolinite et de goethite.
- *L'altérite* : à la base des puits, une altérite friable à structure conservée, ayant pour roche mère les métalaves dont subsistent quelques résidus peu altérés, montre des plans de schistosité encore visibles et des filonets de quartz parallèles à la schistosité. La couleur varie du brun-vert au brun. Les minéraux primaires résiduels sont la muscovite, l'épidote et le quartz avec des minéraux accessoires (magnétite, pyrite, zircon, ilménite). Les minéraux secondaires sont la goethite et la kaolinite. L'altérite à structure conservée est surmontée par une altérite à structure non conservée d'épaisseur atteignant 50 cm. Cette dernière inclut des gravillons ferrugineux, des débris de roche altérée et des plaquettes de schistes légèrement ferruginisés qui lui confèrent un caractère remanié, localement intense. Des concrétions manganésifères noirâtres s'y sont développées.

B - Puits dans la plaine alluviale (B1, B3, B7, B8)

Du sommet vers la base des puits, on distingue :

- *Les recouvrements argileux de surface* : d'amont en aval de la séquence, leur épaisseur varie de quelques cm à 5 m dans la plaine alluviale distale mais leurs compositions chimiques restent assez proches (tabl. 1). La couleur, grise en surface où de la matière organique est présente, varie en profondeur du jaune brun au brun. La texture est argilo-sableuse. Des pisolites ferrugineuses et des débris de quartz sont dispersés dans ces recouvrements et s'organisent localement en lentilles ou en lits de quelques centimètres d'épaisseur. On observe aussi des concrétions manganésifères, des racines d'arbre, des traces de charbon végétal.
- *Les horizons à cailloutis et graviers* : leur épaisseur est variable d'un puits à l'autre. Comme éléments grossiers, on observe des pisolites et nodules ferrugineux, des cailloux de cuirasses anciennes dont la taille peut atteindre 15 cm de diamètre, des morceaux de roche plus ou moins altérés, des cailloux de quartz anguleux, subanguleux et arrondis, des concrétions manganésifères. La matrice est argilo-limoneuse ou sableuse. Si l'on excepte l'horizon à blocs au contact du bedrock, la proportion des éléments grossiers supérieurs à 10 cm est plus importante (7 % du poids total) dans le puits situé à l'amont de la séquence. Par contre, les fractions comprises entre 2 cm et 2 mm sont importantes dans les puits situés à l'aval et peuvent atteindre 60 % du poids total des échantillons. Dans ces puits, les fractions inférieures à 1 mm sont également bien représentées (30 à 45 %). On y rencontre des niveaux essentiellement argilo-sableux avec moins de 5 % d'éléments supérieurs à 1 mm, des alternances de strates bien lavées à éléments grossiers (jusqu'à 4 cm de diamètre) et de strates mal lavées à éléments moins grossiers. Dans le puits B1 situé au pied du versant du moyen-glacis, l'horizon de graviers situé au-dessus de l'horizon de base à gros blocs de cuirasse est partiellement induré en une carapace pisolitique.
- *L'altérite* : dans les puits B7 et B8, l'altérite conserve des plans de schistosité et est comparable à celle rencontrée dans la zone minéralisée. Ici, elle contient en plus des argiles smectitiques, en accord avec des teneurs plus élevées en CaO, K₂O, MgO et Na₂O (tabl. 1). Dans les puits B1 et B3, l'altérite est friable, de couleur blanchâtre tachetée d'orange. Elle contient beaucoup de grains de quartz anguleux pouvant atteindre 5 mm et emballés dans une matrice argileuse abondante, kaolinitique et smectitique. Outre le quartz, les minéraux résiduels sont la muscovite,

l'épidote, la hornblende, le sphène et le grenat. Il s'agit d'une altérite de roche granitique qui se distingue de l'altérite des puits de l'amont par de plus

fortes teneurs en Al_2O_3 et de plus faibles teneurs en TiO_2 et en P_2O_5 .

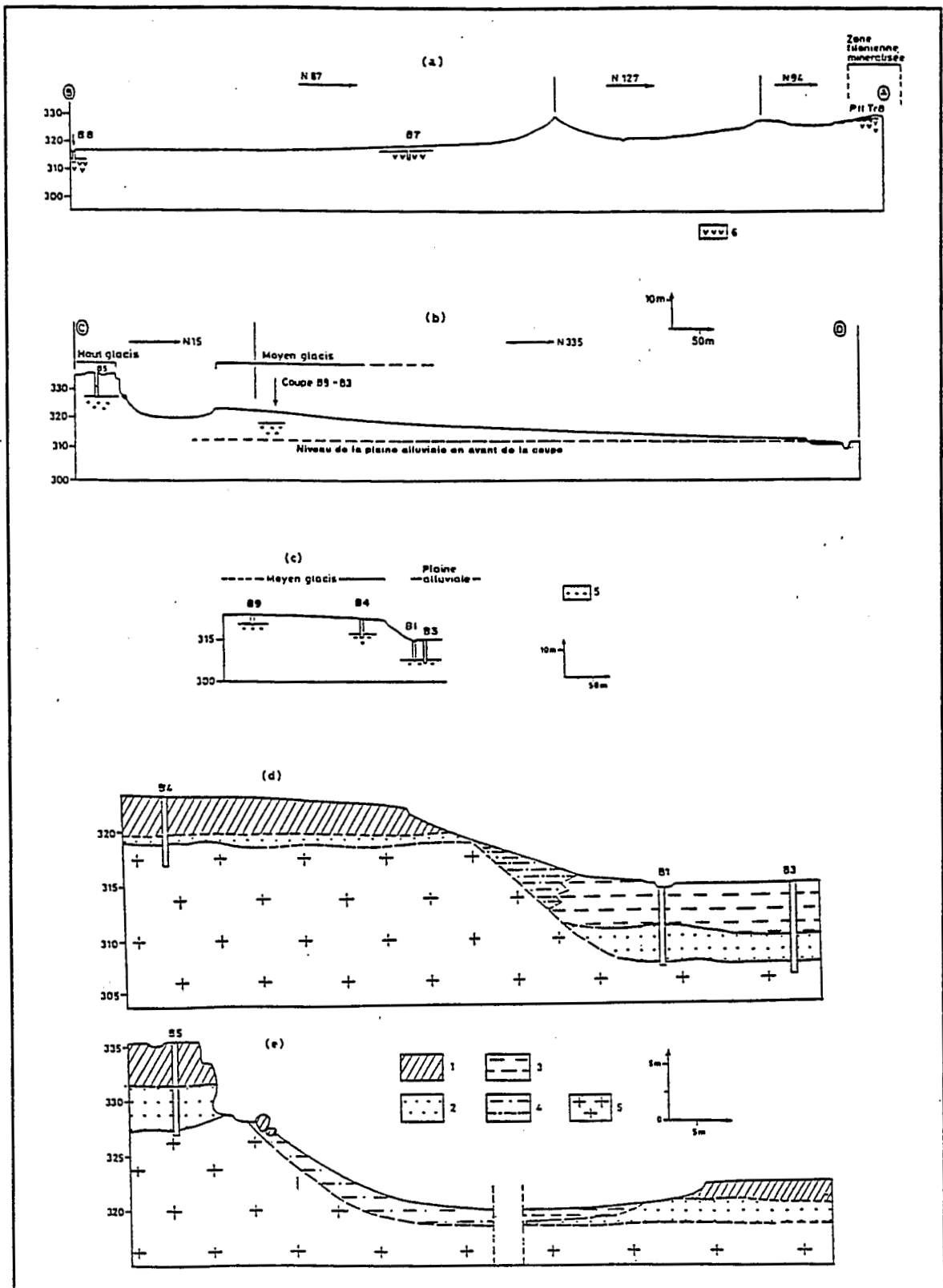


Fig. 3 - Coupes des toposéquences (relevées au chysimètre).

- 1: horizons indurés. 2: horizons à cailloutis et graviers. 3: recouvrement argilo-sableux de surface.
- 4: colluvions. 5: altérite de granite en place.
- (d) et (e): agrandissements des entailles moyen-glacis/plaine alluviale et haut-glacis/moyen-glacis.

		Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	MnO	Na ₂ O	P ₂ O ₅	SiO ₂	TiO ₂	LOI	Total
Altérite	1	19.17	0.16	18.95	0.07	0.30	0.17	< 0.01	0.16	46.09	4.02	9.99	99.09
	2	15.58	6.06	13.04	0.15	3.98	0.23	0.69	0.12	47.77	1.04	10.75	99.62
	3	30.40	0.02	6.54	2.50	0.65	0.01	0.01	0.01	47.57	0.65	11.24	99.62
	4	30.80	0.20	3.88	2.33	0.62	0.01	< 0.01	0.01	49.69	0.47	11.55	99.58
Horizons à cailloutis	5	19.42	0.21	22.56	0.83	0.46	0.31	0.01	0.09	41.61	1.15	12.98	99.63
	6	14.97	0.76	18.64	0.52	0.52	0.18	0.05	0.05	52.97	0.65	9.91	99.22
	7	21.08	1.03	11.01	0.65	0.78	0.85	0.01	0.03	50.02	1.26	12.64	99.34
	8	23.40	0.06	11.33	0.92	0.38	0.01	0.02	0.04	51.77	0.76	11.01	99.73
Recouvrements argileux	9	16.70	1.11	9.24	0.85	0.68	0.06	0.16	0.03	57.73	1.37	11.32	99.28
	10	12.27	1.64	7.64	0.82	0.86	0.09	0.19	0.03	65.37	1.20	8.88	98.99
Cuirasse	11	15.26	0.03	24.54	0.30	0.15	0.11	< 0.01	0.20	49.26	0.71	9.11	99.70
	12	24.46	0.21	30.09	0.23	0.18	0.07	0.01	0.29	30.34	1.43	12.25	99.61

Tableau 1 - Compositions chimiques moyennes en roche totale (% d'oxydes).

1: altérite sur métalaves de la zone minéralisée. 2: altérite sur métalaves de l'amont de la plaine alluviale. 3: altérite du moyen-glacis. 4: altérite de la plaine alluviale distale. 5, 6, 7, 8: fraction fine de l'horizon à cailloutis, respectivement, des élévions-colluvions, de la plaine alluviale distale, de l'amont de la plaine alluviale, sous la cuirasse de moyen-glacis. 9 et 10: recouvrements argileux dans la plaine alluviale proche de la minéralisation et dans la plaine alluviale distale. 11 et 12: cuirasse du moyen- et du haut-glacis.

C - Puits sur le moyen-glacis (B4)

Trois ensembles sont décrits dans ce puits. Il s'agit, du haut vers le bas, de l'ensemble induré, de l'horizon gravillonnaire sous cuirasse et de l'altérite.

- *L'ensemble induré*, d'épaisseur 3,10 à 3,25 m, comporte deux horizons :
 - un horizon de cuirasse ferrugineuse à faciès gravillonnaire, moyennement indurée, à porosité macroscopique faible. Les éléments figurés sont des gravillons ferrugineux violacés à bruns et des débris de quartz, de taille inférieure à 2 cm. La matrice est argilo-ferrugineuse avec des taches manganésifères noirâtres. Des alvéoles sont partiellement occupés par du matériel argileux blanc à jaune kaolinitique, ou tapissés par des cutanes goethitiques.
 - un horizon inférieur de carapace ferrugineuse, faiblement induré. La limite avec l'horizon meuble sous-jacent est très nette et marquée par l'induration. Des nodules de couleur rouge brun à jaune brun sont anastomosés. Les éléments grossiers (débris de roche altérée et de quartz, gravillons ferrugineux) sont peu nombreux. La matrice est plus argileuse et de couleur jaune à jaune brun. On note par endroits des concrétions manganésifères noirâtres. Des poches et tubulures (jusqu'à 5 cm de diamètre) sont remplies par du matériel kaolinitique et parfois tapissées de cutanes goethitiques bruns.
- *L'horizon gravillonnaire* se situe entre la carapace et l'altérite en place. Il est épais de 60 à 90 cm. C'est un niveau très friable de gravillons ferrugineux et de débris de quartz dont la plupart sont infracentimétriques (la fraction supérieure au centimètre représente

environ 10 % du poids total de l'échantillon). Ils sont emballés dans une matrice argilo-sableuse brune.

- *L'altérite*: elle est semblable à l'altérite granitique rencontrée dans les puits B1 et B3 avec des grains de quartz dont la taille peut atteindre 5 mm dans une matrice kaolinitique. Elle est toutefois plus colorée par des taches de ferruginisation brunâtres à rougeâtres. La partie supérieure à structure non conservée contient des gravillons ferrugineux et des débris de quartz.

D - Puits sur le haut-glacis (B5)

Sa profondeur totale est de 8,6 m. Il comporte trois horizons distincts qui sont du sommet vers la base, la cuirasse, l'horizon à cailloutis et graviers, l'altérite.

- *La cuirasse* atteint 4,2 m d'épaisseur. Elle est moyennement indurée. Les faciès cuirassés varient d'un horizon à l'autre : gravillonnaire jusqu'à 0,74 m, puis alvéolaire jusqu'à 1,27 m et enfin conglomératique jusqu'à 4,20 m.
- *L'horizon à cailloutis et graviers* atteint 3,80 m d'épaisseur. Comme dans la cuirasse, les éléments figurés sont des cailloux de quartz parfois fracturés et ferruginisés aux contours anguleux, subanguleux à arrondis, des cailloux de cuirasse ancienne (forte teneur en fer, structures distinctes de celles de la cuirasse englobante), des nodules ferrugineux et des concrétions manganésifères. Ils sont emballés dans une matrice argilo-limoneuse et ferrugineuse de couleur jaune-brun à brun.

- *L'altérite* : elle est identique à celle du moyen-glacis. C'est une arène granitique dont les 40 cm supérieurs sont remaniés et contiennent des éléments de l'horizon sus-jacent. La matrice est argileuse et de couleur ocre à brunâtre. La partie inférieure est un horizon où la structure de la roche mère est conservée avec des alignements de restes oxydés d'anciens minéraux ferromagnésiens.

5 - RÉPARTITION DE L'OR VISIBLE

A - Distribution des particules d'or

Les concentrés de batée sont obtenus après débouage (précédé d'un concassage pour les matériaux indurés) et tamisage de 30 à 100 kg d'échantillons représentatifs des différents horizons des profils d'altération. Ce sont les fractions inférieures à 1 mm et parfois celles comprises entre 1 et 2 mm qui ont été concentrées à la batée.

Les minéraux lourds sont décrits sous la loupe bino-culaire. Les principaux sont le zircon, l'ilménite, l'épidote. Comme minéraux accessoires, il y a le disthène, la hornblende et le sphène en domaine granitique, la staurotite, le grenat et le rutil ubiquistes, la magnétite et la pyrite oxydées en domaine volcano-sédimentaire. La magnétite et la pyrite sont plus importantes dans les éluvions-colluvions de la zone minéralisée.

Les particules d'or ont été triées, comptées, leurs dimensions principales mesurées. Elles ont été regroupées en quatre classes de taille d'après les dimensions principales : > 1000 μm et 1000 à 500 μm pour les grains, 500 à 160 μm pour les points, 160 à 50 μm pour les minipoints. Quelques constats sont ainsi effectués (fig. 4 A et B) :

- dans tous les profils, les altérites meubles ne contiennent pas de particules d'or, ce qui indique que l'or grossier est concentré dans les filons de quartz, sans dispersion latérale. Les particules d'or présentent une médiane de 155 μm ;
- dans les cailloutis et graviers des éluvions-colluvions, l'or est essentiellement concentré dans les niveaux superficiels, avec une médiane de 160 μm ;
- les cailloutis et graviers des puits situés dans la plaine alluviale distale comportent un nombre important de particules avec des grains, des points et des minipoints. Dans les recouvrements, la taille des particules (médiane de 210 μm) est en général plus faible que dans les cailloutis (médiane de 230 μm). La dispersion de taille est plus forte dans les cailloutis des alluvions ;
- dans l'ensemble induré (cuirasse et carapace) du profil de moyen-glacis, les particules sont en nombre réduit (5 à 18 particules par 100 kg d'échantillon) mais d'assez grande taille. La dispersion des tailles est beaucoup plus homogène par rapport à celles des particules dans la plaine alluviale. Le niveau gravillonnaire sous-jacent montre un nombre élevé de particules d'or, de l'ordre d'une centaine par 100 kg d'échantillon, avec une médiane plus faible (de 200 μm) que dans la cuirasse (450 μm) ;
- dans la cuirasse du haut-glacis, il n'a été observé que quelques minipoints et des poussières d'or (< 50 μm). L'horizon meuble à cailloutis et graviers sous-jacent contient un peu plus de particules, avec des tailles plus élevées, surtout dans la partie supérieure en contact avec la cuirasse (20 particules par 100 kg d'échantillon).

B - Morphologie de l'or visible

Le degré d'éroussé, les formes des particules d'or et leur état de surface ont été observés au microscope électronique à balayage.

Dans les horizons à cailloutis et graviers de la zone minéralisée (éluvions-colluvions), environ 60 % des particules présentent des caractéristiques morphologiques assez proches des particules saines extraites du quartz filonien, avec des formes généralement xénomorphes, à surface irrégulière (fig. 5 a). Ces particules sont parfois faiblement éroussées et peuvent comporter des cavités dont la plupart sont d'aspect syngénétique (fig. 5 b). Les autres particules sont plus ou moins évoluées avec effacement des arêtes primaires et apparition de puits de dissolution tapissés par des oxydes de fer et des argiles. Certaines présentent des marques de transport (telles que définies par Yeend, 1975 et Héral, 1990). Quelques-unes sont très évoluées, tant mécaniquement que chimiquement, avec un éroussé important, des bordures repliées, des marques de dissolution.

Dans la plaine alluviale, on observe une évolution de la morphologie d'ensemble des particules d'or de l'amont vers l'aval. Dans la zone proche de la minéralisation principale, 20 % des particules d'or sont peu éroussées avec des reliques fréquentes de surface primaire. 80 % sont éroussées à très éroussées et présentent des marques de transport avec des stries et des bordures repliées. Les formes à contours réguliers, soit convexes (arrondies, ovoïdes), soit convexo-concaves plus ou moins allongées, représentent 15 % de l'ensemble des particules (fig. 5 c et d). Les vides de dissolution sont nombreux (parfois très nombreux) sur environ 32 % des particules et sont tapissés par des oxydes de fer, des argiles (kaolinite et smectite) et des carbonates.

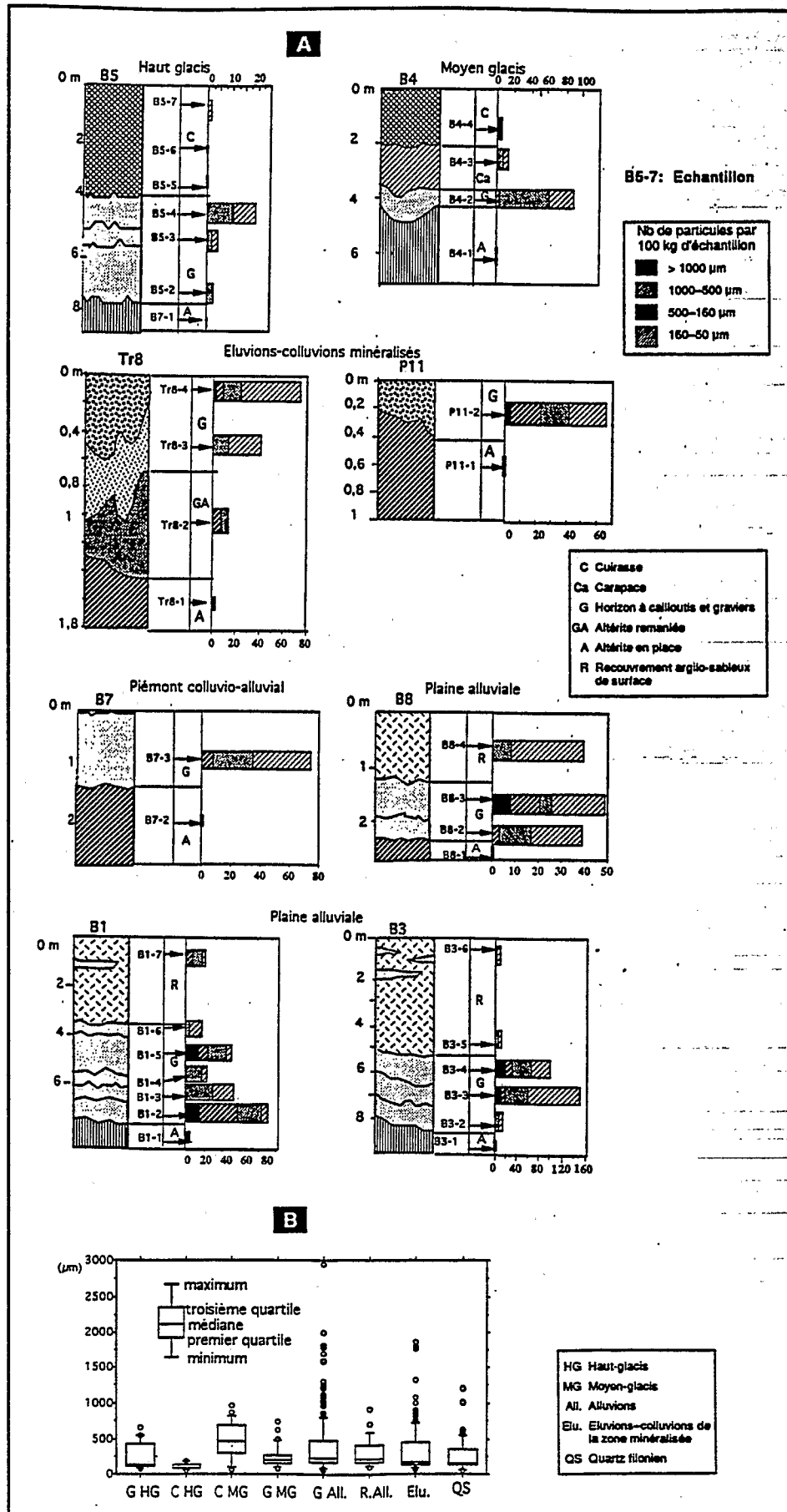


Fig. 4 A et B - Répartition des particules d'or dans les puits étudiés.

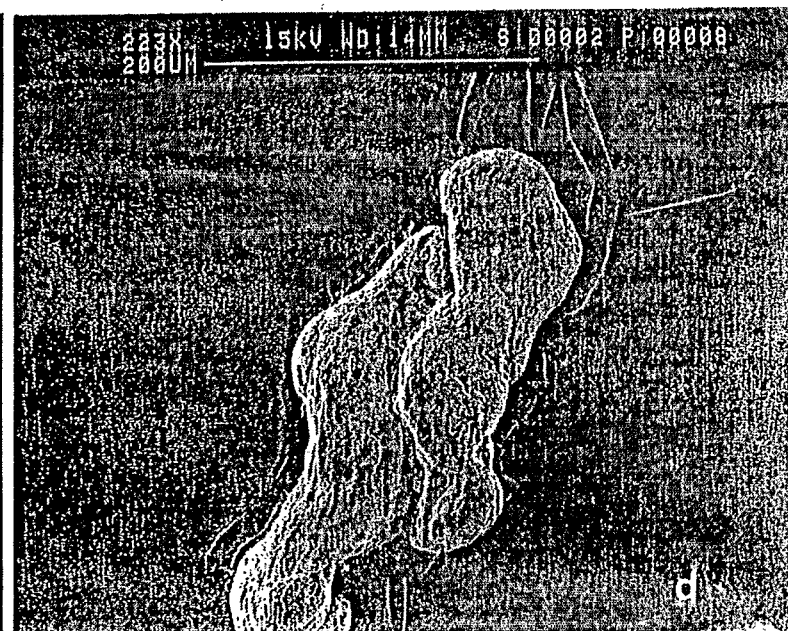
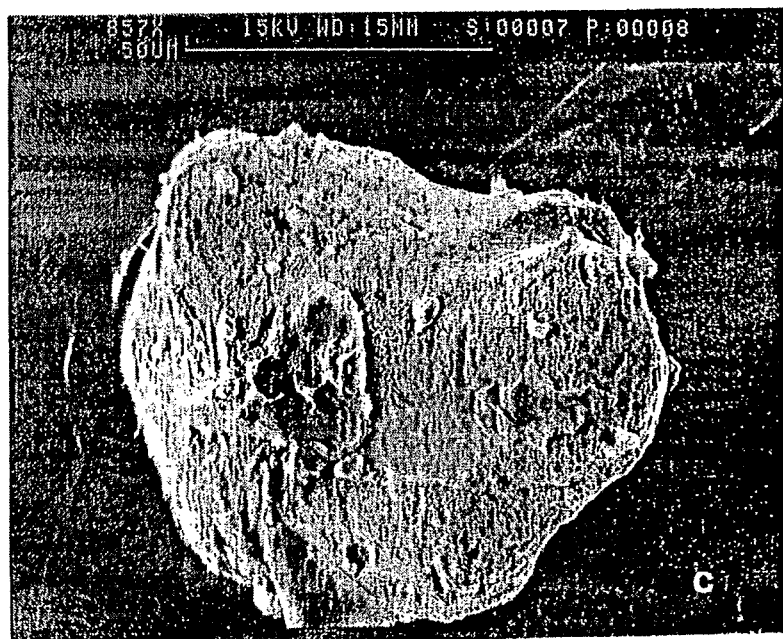
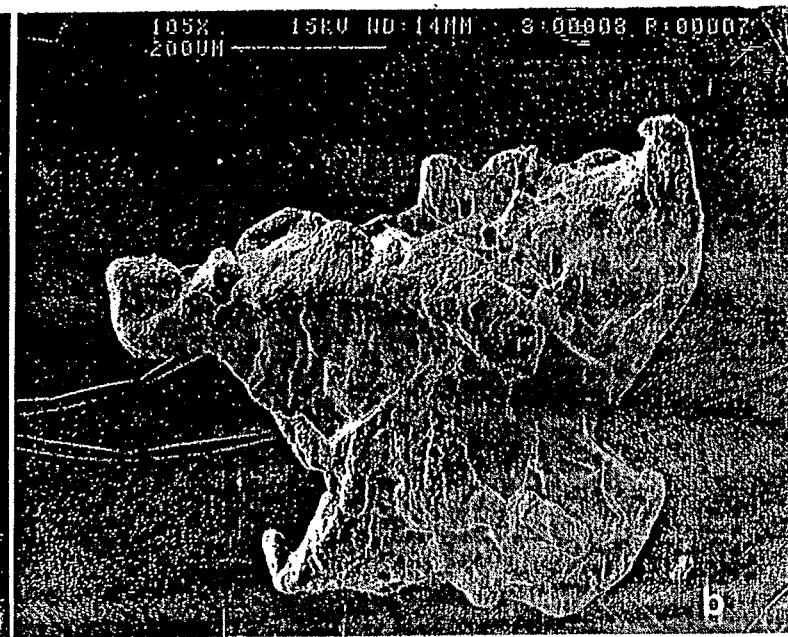
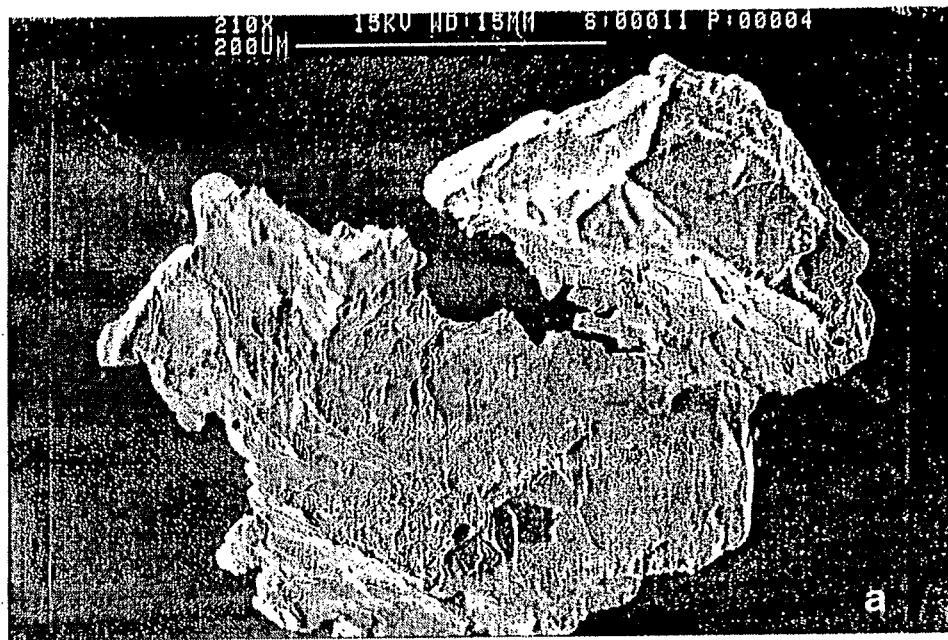
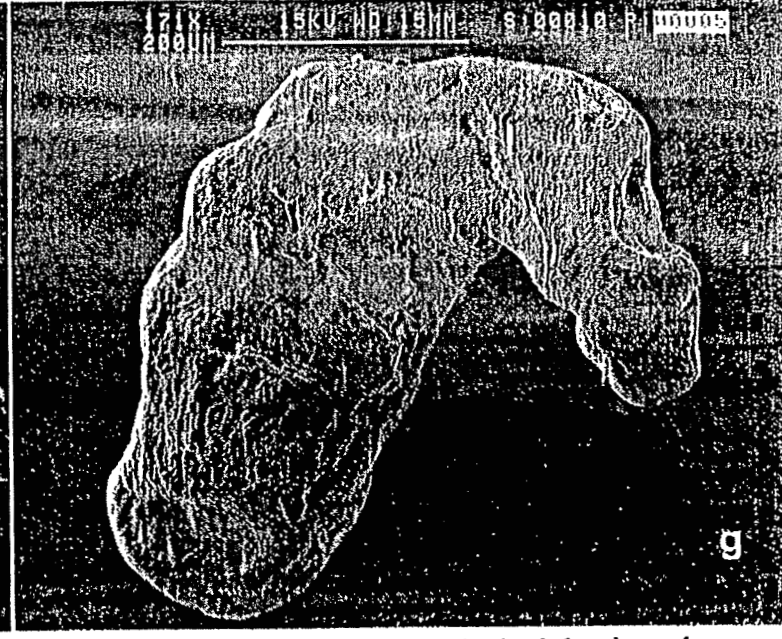
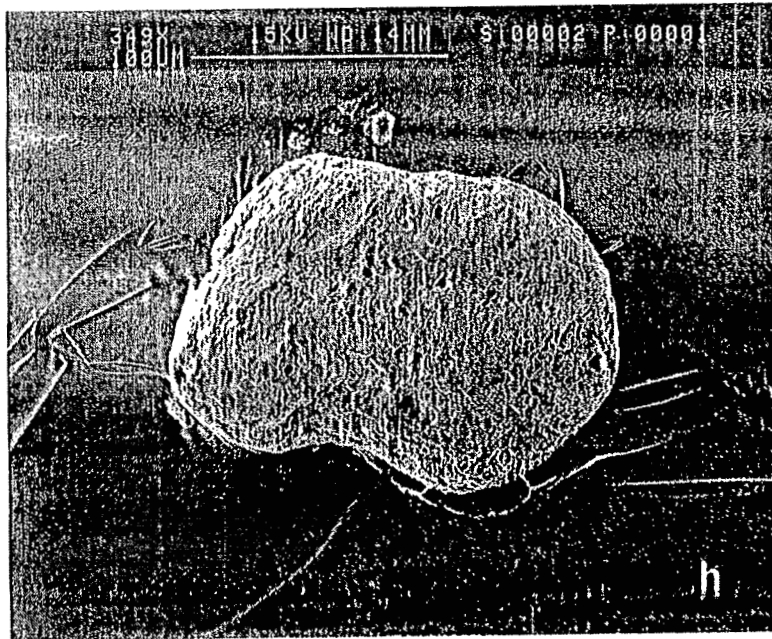
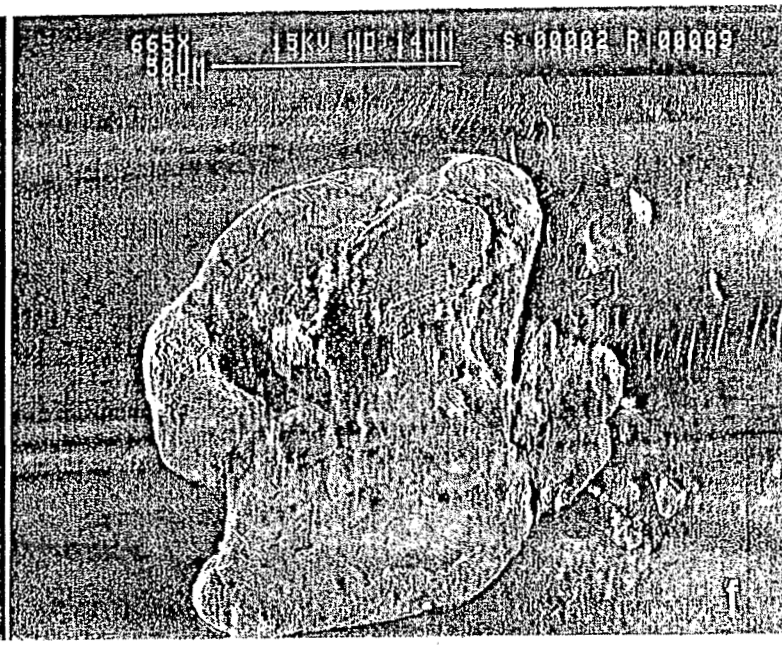
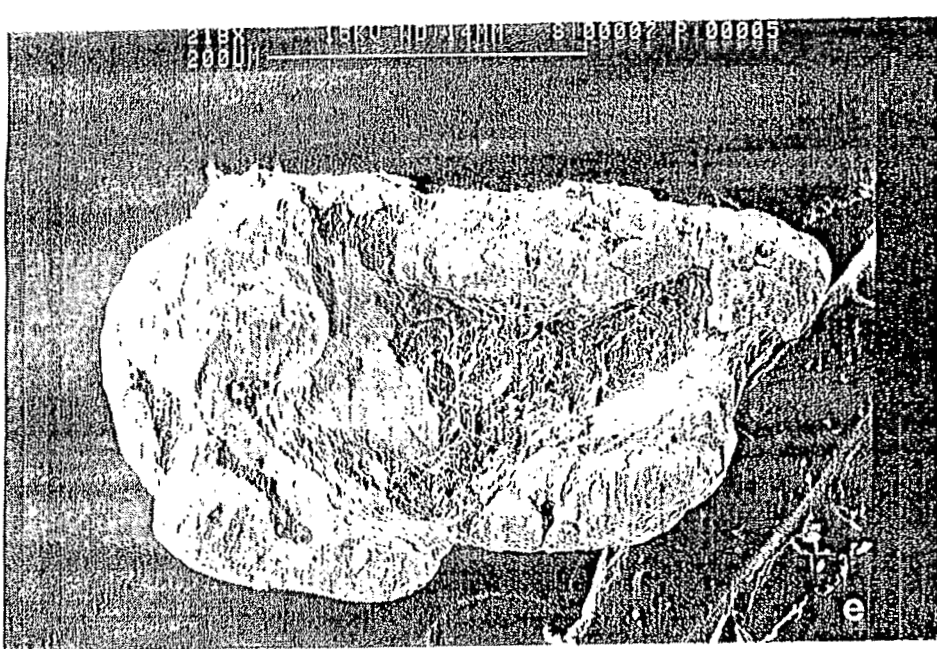


Fig. 5 - Morphoscopie de particules d'or.

a: Particule saine du quartz filonien. b: particule faiblement émoussée à cavités syngénétiques de la zone minéralisée. c, d, et e: particules de forme respectivement arrondie, allongée et "en sandwich" dans la plaine alluviale. Les cavités sont occupées par des carbonates et des argiles.



f: particule avec stries, traces d'aplatissement et bordures repliées de la carapace du moyen-glacis. g: particule avec reliques de surface primaire de la cuirasse du moyen-glacis. h: particules très évoluées de la cuirasse de haut-glacis.

Plus en aval, presque toutes les particules sont évoluées à très évoluées et présentent des marques de transport très nettes avec des bordures fortement repliées donnant parfois des formes en sandwich (fig. 5e). Environ 30 % des particules portent des stries, généralement peu profondes et courtes, ainsi que des marques de pression et d'écrasement. Les formes à contours réguliers, convexes (18 %) et convexo-concaves plus ou moins allongées (26 %) sont en grand nombre. De rares particules (7 %) présentent encore des reliques de surface primaire. Les particules montrent toutes des figures de dissolutions qui peuvent atteindre 50 µm de diamètre.

Dans le puits B4 au bord du moyen-glacis, on retrouve les caractéristiques morphologiques décrites dans la plaine alluviale. Dans l'horizon gravillonnaire, les formes émoussées avec reliques de surface primaire représentent environ 10 % des particules, les formes très émoussées avec vides de dissolution importants 23 %. Toutes portent des marques de transport mécanique. Dans l'ensemble induré (carapace et cuirasse), on retrouve les mêmes types de particules que dans l'horizon sous-jacent (fig. 5 f) mais les formes émoussées avec reliques de surface primaire (fig. 5 g) sont légèrement plus importantes (14 %).

Dans le puits B5 du haut-glacis, les particules d'or des horizons à cailloutis et graviers sont dans l'ensemble plus évoluées que celles du moyen-glacis, avec également des marques de transport et des formes très émoussées, et avec des cavités de dissolution en plus grand nombre. Dans la cuirasse, les particules d'or qui sont en général de petite taille sont également très évoluées (fig. 5 h).

C - Composition chimique des particules d'or

66 particules d'or ont été analysées à la microsonde électronique. Les résultats (tabl. 2) montrent des variations de teneurs en argent qui distinguent nettement des familles de particules.

Les particules d'or du quartz filonien ont une teneur moyenne de 10 % Ag (7 à 13 % selon les particules, avec des variations irrégulières à l'intérieur de certaines d'entre elles).

Dans les éluvions-colluvions, la teneur moyenne est de 8,3 % Ag au cœur des particules et 7,8 % sur les bordures. Certaines restent proches des particules primaires, d'autres présentent un lessivage de l'argent bien marqué.

Dans la zone alluviale, les teneurs en argent sont faibles et décroissent d'amont en aval, la teneur moyenne au centre des particules passant de 7,06 % à 5,31 %. Dans l'ensemble, les teneurs varient de 0 à 11 % Ag. Les plus fortes (> 8 % Ag) s'observent en général dans les particules les moins évoluées à reliques de surface primaire. Les plus faibles (proches de 0 % Ag) s'observent dans des particules de petite taille (< 200 µm) fortement émoussées et arrondies ou très allongées.

Dans les puits du haut- et du moyen-glacis, les teneurs en argent des particules d'or sont également faibles. Pour le moyen-glacis, la diminution par rapport aux particules du quartz filonien est plus importante dans les horizons à cailloutis et graviers que dans la cuirasse, notamment là où les teneurs au cœur des particules s'abaissent à 2,07 %.

Horizons	Au	Ag	Total
Or filonien n = 13	88.07 (1.84)	10.61(2.10)	98.68
Cailloutis des éluvions-colluvions n = 8 *	90.18 (1.72)	8.26 (1.69)	98.44
	89.74 (1.41)	7.75 (1.30)	97.49
Zone alluviale proximale n = 7 *	90.80 (2.08)	7.06 (2.25)	97.86
	91.45 (1.61)	6.72 (1.80)	98.17
Zone alluviale distale n = 13 *	92.32 (2.13)	5.31 (2.02)	97.63
	94.86 (2.20)	3.43 (2.45)	98.29
Cuirasse Moyen-glacis n = 8 *	90.56 (2.90)	6.51 (3.01)	97.07
	94.39 (1.40)	3.26 (1.60)	97.65
Gravillons sous cuirasse Moyen-glacis n = 6 *	92.56 (1.45)	5.27 (1.77)	97.83
	95.75 (1.04)	2.07 (1.12)	97.82
Cuirasse Haut-glacis n = 5 *	91.57 (2.57)	6.09 (2.72)	97.66
	90.66 (2.01)	5.64 (2.13)	96.30
Cailloutis sous cuirasse Haut-glacis n = 6 *	91.51 (3.08)	6.25 (2.93)	97.76
	95.04 (2.84)	3.34 (2.66)	98.38

Tableau 2 - Compositions chimiques moyennes au centre et au bord (*) de particules d'or, dans différents horizons.

n = nombre de particules. Chiffres entre parenthèses = écart type.

D - Distribution des teneurs d'or (fig. 6)

Les teneurs d'or des échantillons, relatives aux particules de taille supérieure à 50 μm , sont établies selon les correspondances de taille utilisées par Edou-Minko (1989) et Sanfo *et al.*, (1993). Dans les altérites, les particules d'or sont absentes et les teneurs à l'analyse chimique par absorption atomique de la fraction fine distinguent bien les granites, à 2 ou 3 ppb, des roches volcano-sédimentaires à 15-30 ppb. Dans la plaine alluviale distale et le puits du bord du moyen-glacis, les particules supérieures à 50 μm présentent à peu près la

même distribution des teneurs, avec les plus fortes teneurs (200 à 900 ppb) dans les horizons à cailloutis et graviers. Les recouvrements de surface présentent généralement de très faibles teneurs (< 40 ppb) sauf au niveau du puits B1 où localement une teneur de 90 ppb est notée. Dans les élutions-colluvions de la zone minéralisée et le puits le plus en amont de la plaine alluviale, on observe les plus fortes teneurs dans les cailloutis de surface. Sur le haut-glacis comportant essentiellement de fines particules, les teneurs sont plus faibles avec cependant les plus fortes dans les cailloutis de la base.

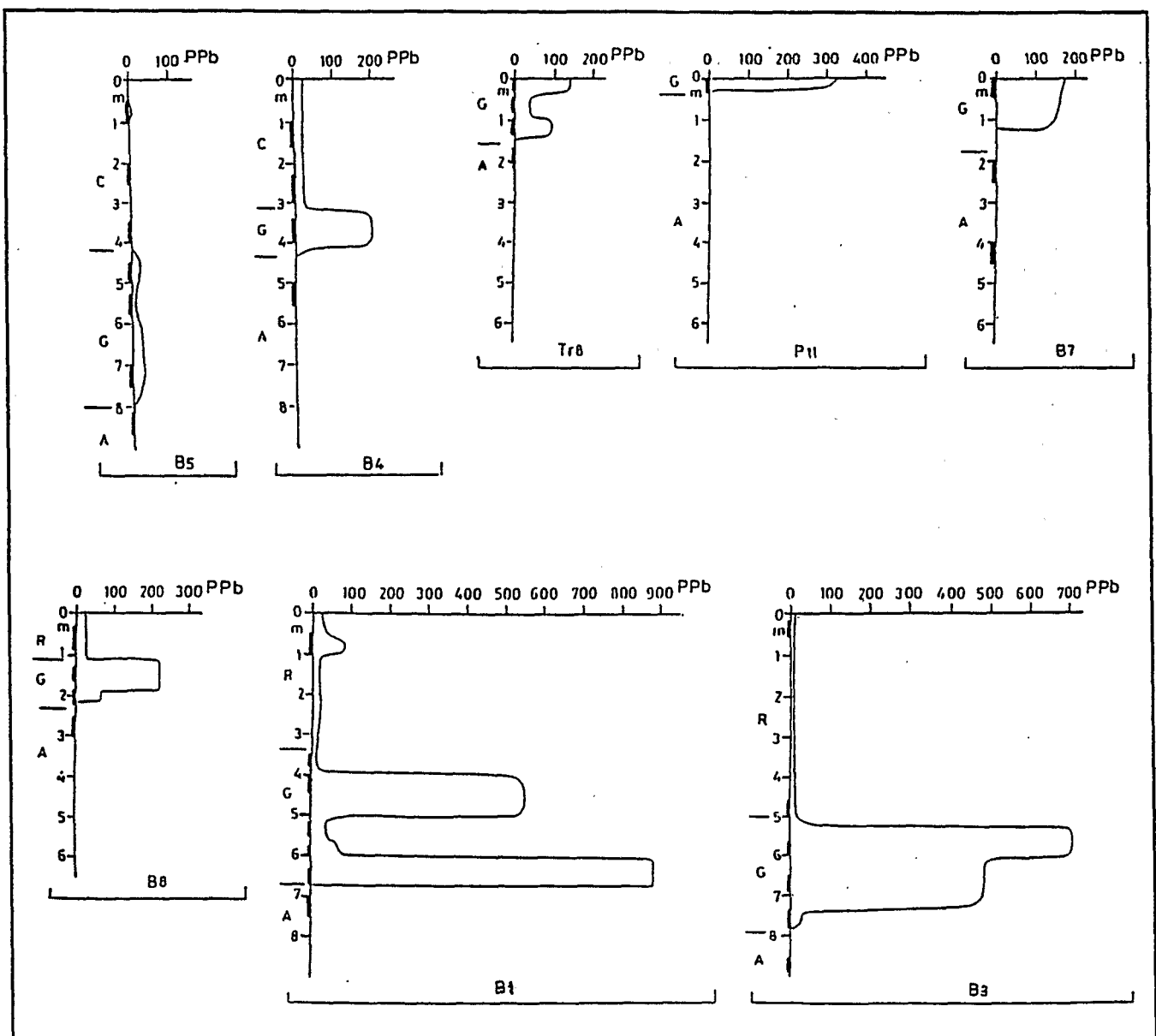


Fig. 6 - Variation selon la profondeur des puits de la teneur de l'or en ppb.

Trait plein : teneur de l'échantillon calculée pour les particules d'or de taille supérieure à 50 μm .

Trait renforcé : emplacement des échantillons.

5 - DISCUSSION ET CONCLUSION

Dans les éluvions-colluvions de la zone minéralisée, l'or est concentré dans les cailloutis de surface que les orpailleurs traitent par simple balayage des fines, creusant très rarement à plus de 25 cm de profondeur. Issu en majorité de l'érosion récente des filons de quartz, cet or est morphologiquement peu évolué, une altération des particules se manifestant toutefois par un émoussé des arêtes et une diminution des teneurs en argent à la périphérie. La présence de quelques particules très évoluées à marques de transport nettes est à mettre en relation avec le fait que des blocs résiduels de cuirasse subsistent sur les collines minéralisées : celles-ci sont issues de la dissection d'un moyen-glacis ayant assuré le transit de matériaux d'érosion qui pouvaient inclure des particules provenant d'autres filons du site de Piéla.

Jusqu'à plus de 2 km de la minéralisation primaire, des particules d'or sont présentes dans les matériaux superficiels sur des altérites *in situ* non minéralisées. La réalité des transports mécaniques est ainsi confirmée dans la zone étudiée, non seulement dans la vallée mais sur le moyen-glacis dont l'induration puis la dissection ultérieure ont donné des plateaux de cuirasse ferrugineuse. L'origine des particules d'or du haut-glacis est plus incertaine mais elles sont incluses dans des matériaux transportés. L'épaisseur des dépôts alluviaux atteint 7,6 m dans l'exutoire stable du bassin versant étudié. L'épaisseur des matériaux remaniés atteint 4,2 m sur le moyen-glacis et 8 m sur le haut-glacis. Dans les deux cas, le cuirassement ferrugineux développé sur ces matériaux n'en indure qu'une partie (3,2 m et 4,2 m respectivement), laissant subsister un horizon meuble à cailloutis et graviers entre la base des horizons indurés et l'altérite en place.

Dans la plaine alluviale, la taille des particules d'or diminue généralement avec la granulométrie des horizons, les recouvrements argileux de surface comportant les fines particules. Ceci est à relier avec la dynamique sédimentaire comme l'a déjà noté Héraïl (1984) dans des sites alluviaux d'Espagne. Mais plusieurs situations se présentent en ce qui concerne la distribution des particules :

- à proximité de la zone minéralisée, il y a dans l'ensemble un enrichissement en particules de petite taille qui s'explique par le transfert mécanique préférentiel de ces particules en direction de la plaine dans les colluvions des versants et est en accord avec la taille moyenne un peu plus élevée dans les éluvions du sommet de la colline minéralisée que dans les filons de quartz ;
- à l'aval de la séquence, dans l'exutoire stable, un véritable tri granulométrique a lieu avec une perte d'or fin et un enrichissement en or grossier, piégé

dans les cailloutis des alluvions. Ces horizons enrichis atteignent la teneur de 0,9 g/t, mais sont enfouis sous des recouvrements argileux atteignant 5 m d'épaisseur. Les particules ont des formes beaucoup plus évoluées. Leur étude détaillée et leur comparaison avec les particules proches de la source primaire fera l'objet d'un autre article.

Dans le secteur étudié de Piéla, les matériaux des glacis sont moins riches en or que les colluvions et alluvions meubles où le transit et le tri granulométrique se sont poursuivis. Mais le puits B4 situé sur le moyen-glacis à proximité du rebord dominant les alluvions de l'exutoire et le puits B5 situé sur le haut-glacis présentent de grandes différences dans la répartition de l'or bien qu'ils comportent tous deux des épaisseurs importantes de matériaux transportés.

Dans le puits B4, la distribution des teneurs en or (fig. 6) est de même type que dans les alluvions de l'exutoire, avec, dans le gravier de base, une forte teneur provenant des particules supérieures à 50 μm . Considérer qu'il s'agit là aussi d'une concentration alluviale est d'autant plus facile que l'évolution du réseau hydrographique apparaît faible depuis l'époque du moyen-glacis. D'une part en effet les pentes de celui-ci et la disposition des témoins de haut-glacis montrent que le bassin-versant étudié avait des contours comparables au nord et à l'est, peut-être une extension légèrement supérieure au sud. D'autre part, les deux plateaux de haut-glacis encadrant l'exutoire actuel étaient déjà individualisés, impliquant la présence d'un ancien exutoire au même endroit. Autrement dit, en bordure de l'exutoire actuel, le moyen-glacis est une moyenne terrasse cuirassée. Le puits B9, foncé à titre de contrôle vers le centre du glacis, montre qu'en s'éloignant de cette bordure on trouve des matériaux remaniés plus classiques d'un moyen-glacis, d'épaisseur plus faible (3 m dont 2 m cuirassés), moins grossiers à la base où ils incluent de l'arène granitique, ne contenant pas de particules d'or et provenant d'un amont non ou très peu minéralisé. De tels glacis-terrasses, avec passage, sur une même forme de relief aplanie, de matériaux de transit latéral (déplacés depuis l'amont du glacis ou les reliefs dominants) à des matériaux de transit longitudinal (déplacés le long d'un axe de drainage) sont connus dans les différents systèmes de glacis (Vogt, 1962; Tricart, 1969; Grandin, 1976). Dans les zones aurifères du Burkina, des exemples existent aussi bien pour le haut-glacis, avec la haute terrasse du Mouhoun proche de la mine de Poura que pour le bas-glacis avec la basse terrasse cuirassée orpaillée de Koireziéna-TKM.

Dans le puits B5 du haut-glacis, les courbes de teneurs ne manifestent pas la présence d'un horizon d'accumulation de l'or. Discrètes dans le cailloutis de base et plus encore dans la cuirasse où elles sont très

fines, les particules d'or apparaissent diluées dans des matériaux stériles. Ceci est en accord avec le fait que la pente des deux témoins de haut-glacis encadrant l'exutoire est orientée vers le NNE, selon un angle de 40° avec la pente du moyen-glacis (fig. 2). Ceci implique une alimentation à partir d'un amont s'étendant à l'ouest et au sud-ouest de la zone minéralisée principale (ainsi qu'un réseau hydrographique différent de l'actuel). Cet amont inclut toutefois un massif de roches basiques avec des orpailages de piémont, ce qui pourrait expliquer une plus forte alimentation en or très fin au regard des matériaux du moyen-glacis et de la plaine alluviale.

En définitive, il apparaît que la répartition de l'or le plus souvent décrite dans les profils latéritiques, avec une diminution progressive de la taille des particules vers le haut accompagnée d'un lessivage de l'argent, ne s'applique pas aux matériaux superficiels du site de Piéla, bien qu'une évolution chimique des particules accompagne l'acquisition de marques de transport. En fait, cette répartition est décrite sur des roches minéralisées à armature de filons de quartz ayant subi de fortes altérations sous climat tropical humide, qu'il s'agisse de sommets d'interfluves en zone équatoriale (Colin & Vieillard, 1991; Edou-Minko *et al.*, 1992; Colin, 1992) ou qu'il s'agisse, dans des régions actuellement soudano-sahéliennes, de cuirasses anciennes sur des glacis à faible recouvrement dans les zones de roches résistantes (Freyssinet, 1993). Le choix, à Piéla, de glacis cuirassés situés à quelques kilomètres de la zone minéralisée permet d'aborder d'autres cas. Il apparaît alors qu'il n'y a pas de lithodépendance systématique de la cuirasse par rapport à la roche sous-jacente et que les glacis peuvent conserver des épaisseurs im-

portantes de matériaux en transit où l'or est distribué selon les conditions hydrodynamiques locales, l'ampleur des zones d'alimentation et la richesse des minéralisations qui y sont présentes. Localement accumulés jusqu'à 8 m d'épaisseur, ces matériaux sont fixés par le cuirassement. La prospection intensive de l'or entreprise au Burkina Faso depuis quelques années permet des observations de même type dans d'autres permis miniers des régions de Bani (Parisot *et al.*, 1995 a et b), de Yako (Grandin *et al.*, 1995), de Kaya ou d'Aribinda (Sanfo *et al.*, 1992; Sanfo, 1994).

Si les têtes de filons aurifères font dans tout le Birrien ouest-africain l'objet d'orpailage, les matériaux de surface exploités artisanalement sont de préférence les latérites minéralisées au Burkina Faso (haut-glacis à Guibaré et à Sidtenga, haut-glacis et moyen-glacis à Lybie, moyen-glacis à Bayldiaga II et Essakane, moyen-glacis et bas-glacis à Belhouro et Koireziéna) et rarement les plaines alluviales. Au Mali, le développement ancien d'un orpailage important et la présence de fleuves pérennes comme le Niger et la Falémé font qu'à côté des latérites, les graviers alluvionnaires font également l'objet d'un orpailage traditionnel, parfois sous plusieurs mètres de recouvrement stérile (BUGECO, 1991). □

Ce travail a été réalisé dans le cadre d'une collaboration entre l'Université de Ouagadougou et l'ORSTOM (Institut français de recherche scientifique pour le développement en coopération). Il a été financé par l'ORSTOM dans le cadre d'un contrat d'association.

Les auteurs remercient Monsieur Ph. Freyssinet pour sa relecture très attentive qui a permis d'améliorer le texte et les figures.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BARAS E. (1992) - Rapport de fin de campagne 1991-1992, mission Piéla, Province de la Gnagna. - Document BUMIGEB, 91 p.
- BEAUDET G. & COQUE R. (1986) - Les modelés cuirassés des savanes du Burkina Faso (Afrique de l'Ouest). - *Rev. Géol. Dyn. Géogr. Phys.*, 27, 3-4, p. 213-224.
- BOULET R. (1970) - La géomorphologie et les principaux types de sols en Haute-Volta septentrionale. - *Cah. ORSTOM*, 2, p. 13-38.
- BOURGES F., DEBAT P. & TOLLON F. (1994) - Cartographie géologique appliquée à la recherche minière au Burkina Faso. Rapport final du programme CAMPUS, 43 p.
- BOWELL R.J., FOSTER R.P. & GIZE A.P. (1993) - The mobility of gold in tropical rain forest soils. - *Econ. Geol.*, 88, p. 999-1016.
- BUGECO S.A. (1991) - Etude de l'orpailage au Mali, Burkina Faso, Niger et Sénégal. Rapport final pour la Banque mondiale, Bruxelles, mars 1991, 127 p.
- COLIN F. & VIEILLARD Ph. (1991) - Behavior of gold in lateritic equatorial environment: weathering and surface dispersion of residual gold particles at Dondo Mobi. - *Applied Geochemistry*, 6, p. 270-290.
- COLIN F., VIEILLARD Ph. & AMBROSI J.P. (1993) - Quantitative approach to physical and chemical gold mobility in equatorial rain-forest lateritic environment. - *Earth and Planetary Sciences Letters*, 114, p. 269-285.
- COLIN F. (1992) - L'or traceur de l'histoire chimique de l'altérosphère latéritique sous forêt équatoriale. Habilitation à diriger les recherches, Univ. Aix-Marseille III, 171 p.

- EDOU-MINKO A. (1989) - Pétrologie et géochimie des laterites à 'stone-line' du gîte d'or d'Ovala. Application à la prospection en zone équatoriale humide (Gabon). - Thèse, Univ. Poitiers, 147 p.
- EDOU-MINKO A., COLIN F., LECOMTE P. & TRESCASES J.J. (1992) - Altération latéritique du gîte aurifère d'Ovala (Gabon) et formation d'une anomalie superficielle de dispersion. - *Mineralium Deposita*, 25, p. 90-100.
- FREYSSINET Ph., LECOMTE P. & EDIMO A. (1989a) - Dispersion of gold and base metals in the Mborguéné lateritic profile, east Cameroun. - *J. Geochem. Explor.*, 32, p. 99-116.
- FREYSSINET Ph., ZEEGERS H. & TARDY Y. (1989b) - Morphology and geochemistry of gold grains in lateritic profiles of southern Mali. - *J. Geochem. Explor.*, 32, p. 17-31.
- FREYSSINET Ph. (1993) - Gold dispersion related to ferricrete pedogenesis in South Mali: application to geochemical exploration. - *Chron. Rech. Min.*, 510, p. 25-40
- GRANDIN G. (1976) - Aplissements cuirassés et enrichissement des gisements de manganèse dans quelques régions d'Afrique de l'Ouest. - *Mém. ORSTOM*, 82, 275 p.
- GRANDIN G., OUANGRAWA M., SANFO Z. & TRAORE A. (1995) - Cartographie géomorphologique du permis d'exploration minière Yako-Est. - Rapport final du contrat ANMERCOSA-ORSTOM, 27 p.
- HERAIL G. (1984) - Dynamique géomorphologique et sédimentologique des piémonts et bassins intramontagneux du Nord-Ouest de l'Espagne et géologie de l'or détritique. - *Chron. Rech. Min.*, 474, p. 49-68.
- HERAIL G., FORNARI M., VISCARA G. & MIRANDA V. (1990) - Morphological and chemical evolution of gold grains during the formation of polygenic fluvial placer: the Mio-Pleistocene Tipuani placer example (Andes, Bolivia). - *Chron. Rech. Min.*, 500, p. 41-49.
- LEPRUN J.C. (1979) - Les cuirasses ferrugineuses des pays cristallins de l'Afrique occidentale sèche. Genèse, transformation, dégradation. - *Sci. Géol.*, Mémoire n° 58.
- MACHAIRAS G. (1970) - Contribution à l'étude minéralogique et métallogénique de l'or. - *Bull. Rech. Géol. Min. (Fr.) Bull. (2^e Sér.)*, Sec. 2, n° 3, p. 1-109.
- MANN A.W. (1984) - Mobility of gold and silver in lateritic weathering profiles - some observations from Western Australia. - *Economic Geology*, V. 79, p. 38-49.
- MICHEL P. (1973) - Les bassins des fleuves Sénégal et Gambie - Etude géomorphologique. - *Mém. ORSTOM*, 63, 3 vols., 752 p.
- MILESI J.P., LEDRU P., FEYBESSE J.L., DOMMANGET A. & MARCOUX E. (1992) - Early proterozoic ore deposits and tectonics of the Birimian orogenic belt, West Africa. - *Precambrian Res.*, 58, p. 305-344.
- PARISOT J.C., VENTOSE V., GRANDIN G., BOURGES F., DEBAT P., TOLLON F. & MILLO L. (1995a) - Dynamique de l'or et d'autres minéraux lourds dans un profil d'altération cuirassé du Burkina Faso, Afrique de l'Ouest. Conséquence sur l'origine des matériaux constituant les cuirasses de haut-glacis. - *C. R. Acad. Sci. Paris*, t. 321, série II a, p. 295-302.
- PARISOT J.C., OUANGRAWA M. & GRANDIN G. (1995b) - Gold: an indicator of the origin of the ironcrust materials in Burkina Faso (Western Africa). - V.M. Goldschmidt Conference, May 24-26, Abstract, p. 77.
- PELTRE P. (1977) - Le 'V' Baoulé (Côte d'Ivoire centrale) héritage géomorphologique et paléoclimatique dans le tracé du contact forêt-savane. - *ORSTOM, travaux et doc.*, n° 80, 198 p.
- SANFO Z., GRANDIN G., PARISOT J.C. & PALE F. (1992) - Aplissements latéritisés anciens, glacis récents et indices d'or dans la région d'Aribinda (Burkina Faso), Mineralogical and Geochemical records of Paleoweathering, ENSMP Mém. Sc. de la terre, 18, p.15-30.
- SANFO Z., COLIN F., DELAUNE M., BOULANGE B., PARISOT J.C., BRADLEY R. & BRATT J. (1993) - Gold: a useful tracer in sub-sahelian laterites. - *Chemical Geology*, 107, p. 323-326.
- SANFO Z. (1994) - Histoire des champs latéritiques aurifères de la région d'Aribinda (Nord Burkina Faso): application à la prospection en zone sub-sahélienne. - Thèse, Univ. Aix-Marseille III, 187 p.
- SEA F., TANGUAY M.G., TRUDEL P. & PERRAULT G. (1990) - Résultats préliminaires d'une étude sur la dispersion de l'or en milieu latéritique autour de l'indice aurifère de Misséni, au Mali. - *Can. J. Earth Sci.*, 27, p. 1686-1698.
- SMITH B.H. & KEELE R.A. (1984) - Some observations on the geochemistry of gold mineralization in the weathered zone at Norseman, Western Australia. - *J. Geochem. Explor.*, 22, p. 1-20.
- TRICART J. (1969) - Le modelé des régions sèches. - In Tricart & Cailleux, *Traité de géomorphologie*, SEDES Paris, vol. 4, 472 p.
- VOGT J. (1959) - Aspects de l'évolution morphologique récente de l'Afrique de l'Ouest. - *Ann. Géogr. Fr.*, 68, 367, p. 193-206.
- VOGT J. (1962) - Une vallée soudanaise, la moyenne Bagoé. - *Rev. Géomorph. Dyn.*, 13, p. 2-9.
- WEDRAOGO L. & NAPON S. (1988) - Rapport de fin de campagne 1987-1988, mission Piéla, Province de la Gnagna. - Document BUMIGEB, 42 p.
- WILSON A.F. (1983) - The economic significance of non hydrothermal transport of gold, and the accretion of large gold nuggets in laterite and other weathering profiles in Australia. - *Spec. Publ. Geol. Soc. Sci. Afr.*, 7, p. 229-234.
- YEEND W. (1975) - Experimental abrasion of detrital gold. - *J. Res. US Geological Survey*, 3, p. 203-212.