

Aplanissements latéritisés anciens, glacis récents et indices d'or dans la région d'Aribinda (Burkina Faso)

Z. Sanfo^{1,4}, G. Grandin^{2,4}, J.C. Parisot^{2,4}, F. Palé³

(1) Lab. des Géosc. de l'Env., Faculté de St Jérôme, case 431, 13397 Marseille Cedex, France.

(2) ORSTOM, BP 182, Ouagadougou-01, Burkina Faso.

(3) BUMIGEB, BP 601, Ouagadougou-01, Burkina Faso

(4) IGCP 317 "Paleoweathering Records and Paleosurfaces"

ABSTRACT

At Belhouro in northern Burkina Faso, auriferous quartz veins occur within Birrimian tuffaceous schists in close spatial relationship with granitic basement. They were recently prospected. Gold evidences have been also found in removed surficial soil. Their relationships with planation surfaces and weathering horizons are studied here in.

The higher regional landforms are straight and narrow plateaus resulting from laterized paleosurfaces carving, and isolated inselbergs. Plateaus weathering profiles consist of a deep kaolinic regolith capped by an ironcrust. Recent planation processes have modified the most part of the landscape. Two recent planation systems may be distinguished: a "middle fan system" (moyen-glacis), and a "low fan system" (bas-glacis). The middle fan system is represented by relic hills and slight slopes at the periphery of the plateaus. Locally ironcrust exhibits sharp rims, whereas sandy layers overlying auriferous gravel are marked by unsteady drains and channels, signs of present mechanical activity.

The low fan system extends from the middle fan system boundary to the lowlands and valleys. It results from the transit of running water and detrital materials during heavy showers. Weakly manganiferous ferruginous crusts develop downslope. Both incision-stage and channel-infilling-stage are function of the present mechanical activity, which is related to sub-Saharan environmental conditions.

All these weathering materials including ironcrusts contain gold. Investigation of gold distribution by means of research pits bored on the two recent planation systems demonstrates that:

- gold particles up to 0,5 mm in size occur frequently within surficial sand or gravel layers;
- gold is present as minute particles within iron crusts of the middle fan and occurs significantly within downslope ironcrusts of the low fan;
- the saprolites are mostly gold-barren, except those developed at the vicinity of primary gold veins.

RÉSUMÉ

A Belhouro, des filons aurifères sont situés dans des schistes tuffacés birrimiens à proximité du contact d'un socle granitique. Il ont fait l'objet d'une prospection détaillée. Des indices de minéralisation sont également présents dans les matériaux superficiels remaniés. Leurs relations avec les surfaces d'aplanissement et les horizons d'altération associés sont en cours d'étude.

Dans la région, les reliefs sont des plateaux provenant de la dissection de surfaces d'aplanissement anciennes (Surface africaine bauxitisée, Surface intermédiaire, Haut-glacis) et quelques inselbergs rocheux. Souvent réduits à des buttes étroites, les plateaux associent des cuirasses à des altérites kaoliniques profondes. Des surfaces d'aplanissement récentes ont façonné l'essentiel du paysage:

- Système des moyens-glacis dont de larges portions sont conservées en sommet d'interfluve ou en périphérie des reliefs résiduels précédents. Des cuirasses ferrugineuses déterminent localement des rebords abrupts mais peu élevés. Des horizons sableux sur des cailloutis, souvent aurifères, comportent des rigoles et chenaux instables qui manifestent le maintien d'un caractère fonctionnel pour certains de ces glacis.

Fonds Documentaire ORSTOM

Cote: **BX9033** Ex: **1**



- Système des bas-glacis, s'étendant de la périphérie du moyen-glacis jusqu'aux vallées ou bas-fonds alluviaux, vers lesquels il assure le transit de l'eau ruisselée et des matériaux qu'elle transporte lors des fortes averses. Des cuirasses ferrugineuses et légèrement manganésifères apparaissent à l'aval. Des chenaux à des stades variés d'incision ou de comblement manifestent une activité en équilibre avec les conditions actuelles du climat (soudano-sahélien à 500 mm de pluviosité).

Tous ces matériaux superficiels, y compris la cuirasse, peuvent contenir de l'or. Des puits foncés sur ces deux glacis emboîtés montrent une répartition de l'or présentant les caractères suivants:

- Présence de particules d'or très fréquente dans les horizons superficiels sableux, gravillonnaires ou caillouteux, aussi bien sur le moyen-glacis que sur le bas-glacis. Dans ces horizons s'observent des particules grossières (dépassant 0,5 mm).
- Présence d'or discrète dans les horizons cuirassés du moyen-glacis sous forme de particules fines.
- Présence importante dans les cuirasses du bas-glacis, les particules pouvant être plus nombreuses que dans les horizons de surface.
- Quasi absence d'or dans les saprolites sauf à proximité immédiate des filons minéralisés.

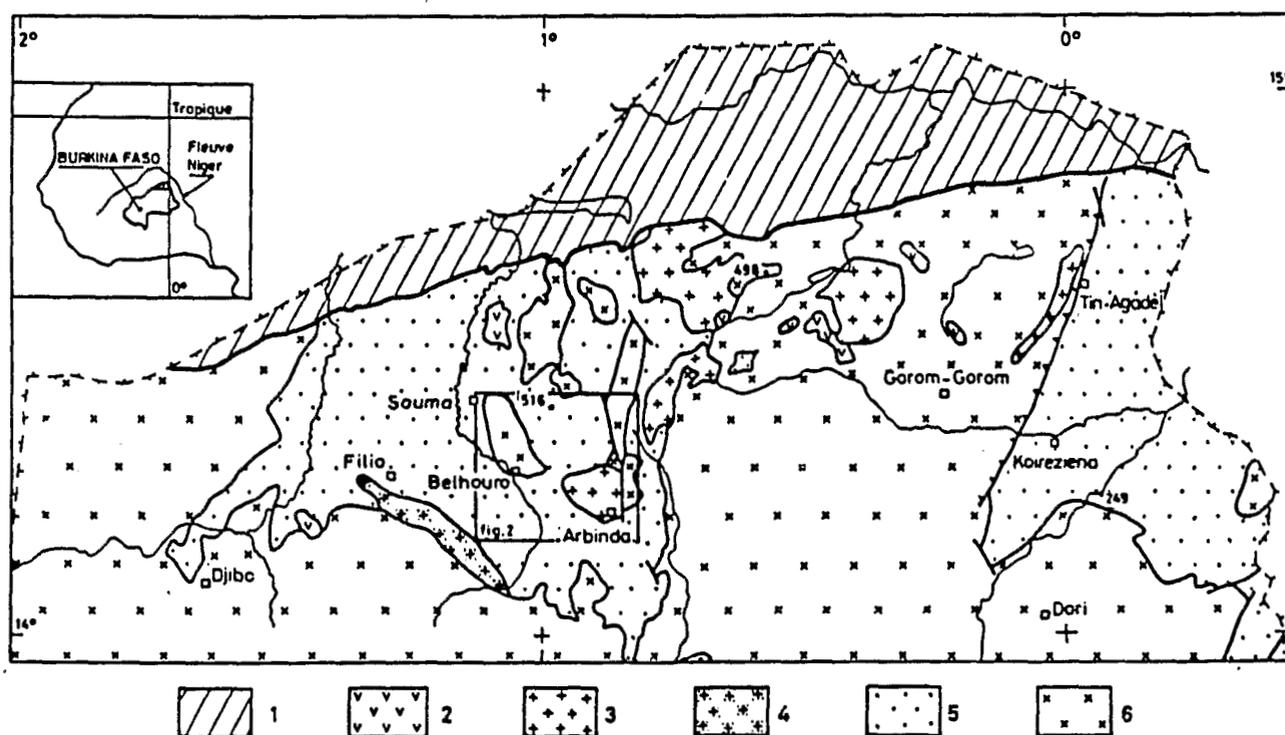


Fig. 1. Le nord du Burkina (d'après la carte géologique au 1/1 000 000; Hottin & Ouédraogo, 1975). Couverture de plateforme (Précambrien Sup. et Cambro-ordovicien): (1) grès, argiles et carbonates. Magmatisme post-tectonique birrimien (Précambrien Moyen): (2) gabbros vanadifères, (3) granites alcalins et granodiorites. Formations birrimiennes tectonisées (Précambrien Moyen): (4) granites syn- et tardi-tectoniques, (5) roches basiques, volcanosédimentaires et molasses. Socle anté-birrimien (Précambrien Inférieur): (6) granites, migmatites, gneiss et orthoamphibolites.

Fig. 1. Northern Burkina (from the 1/1 000 000 geological map; Hottin & Ouédraogo, 1975). Platform cover (Upper Precambrian and Cambro-Ordovician): (1) sandstones, shales and carbonates. Post-tectonic Birrimian magmatism (Middle Precambrian): (2) vanadiferous gabbros, (3) alkaline granites and granodiorites. Tectonized Birrimian formations (Middle Precambrian): (4) syn- and tardi-tectonic granites, (5) basic rocks, volcano-clastics and molasses. Pre-Birrimian basement (Lower Precambrian): (6) granites, migmatites, gneisses and orthoamphibolites.

INTRODUCTION

La découverte d'indices aurifères dans la région d'Aribinda au Nord du Burkina Faso (fig. 1), au cours d'une campagne de prospection du BUMIGEB (Palé F., 1983), a été suivie de travaux d'évaluation par tranchées et sondages, notamment sur les filons du secteur de Belhouro-Souma situé au Nord-Ouest d'Aribinda. Des échantillonnages réalisés à proximité de ces filons ont montré que les matériaux de surface peuvent présenter des teneurs d'or appréciables. Des orpailleurs ont d'ailleurs exploité de tels matériaux.

Des recherches ont été entreprises, à partir de toposéquences de puits allant des filons principaux au drain majeur régional, afin d'étudier la répartition de l'or sur les glacis qui constituent l'essentiel du paysage.

CONTEXTE GEOLOGIQUE

Le secteur aurifère de Belhouro-Souma (fig. 2) fait partie des terrains précambriens du Burkina Faso où se distinguent un socle anté-birrimien et des formations volcaniques et sédimentaires birrimiennes plissées et granitisées (2300-1900 Ma). La carte au 1/200 000 de l'Oudalan (Delfour et Jeambrun, 1970) couvre la majeure partie du secteur et les descriptions citées sont empruntées à sa notice.

Le socle anté-birrimien est constitué de granites calco-alcalins qui "affleurent de façon très inégale, s'altèrent facilement et très souvent ne sont localisés que par la nature du sol sableux et arénitique". "Des chaos de blocs apparaissent cependant dans certains massifs". Le massif granitique de Belhouro répond à ces caractéristiques avec des chaos de blocs à proximité du village du même nom et, au nord de ce dernier, des épandages sableux à grains de quartz bleuté sur le bas-glacis. Des affleurements en courtes lames ou en petits dômes sont visibles le long de la piste Belhouro-Souma. La bordure occidentale du massif présente des faciès orientés à fracturation serrée.

Les formations birrimiennes sont "des schistes sériciteux, graphiteux, tuffacés et des grauwackes, associés à des quartzites et phyllades". Des passées "très tendres et toujours altérées, de couleur beige rosé, sans schistosité ni litage apparent" sont considérées comme des tufs d'origine cinéritique probable. Ces formations affleurent "dans l'ensemble assez mal", à l'exception de chaînons à "armature quartzitique". Dans le secteur Belhouro-Souma, les collines situées au NW de BSF 16, celles de Ndarga et celles de Mormossol (fig. 3), alignées en direction nord-sud, correspondent à des faciès fortement hydrothermalisés, imprégnés d'oxydes de fer : bancs tuffacés compacts à grains de quartz globuleux millimétriques, de couleur brune; schistes bariolés de texture plus fine; brèches sombres à cloisons de quartz et d'oxydes bruns à noirs. A ces faciès ferrugineux sont associés de nombreux filons et filonnets de quartz, sécants sur la schistosité principale dont la direction varie de NNW à SSE. Les filonnets comportent eux-mêmes fréquemment des oxydes de fer, de part et d'autre d'un coeur quartzeux.

Les collines de cet alignement sont minéralisées, avec localement des teneurs assez fortes. Toutefois les filons aurifères les plus puissants, BEF 2, BSF 1 et BSF 16, sont situés à proximité de la limite occidentale du granite de Belhouro.

CONTEXTE GEOMORPHOLOGIQUE

La séquence régionale d'aplanissements

Comme la plupart des paysages d'Afrique de l'Ouest, la région d'Aribinda est marquée par la succession d'aplanissements étagés. (Lamotte et Rougerie, 1956; Michel, 1973; Grandin, 1976; Gavaud, 1977; Boulet, 1978; Boulangé, 1983; Beudet et Coque, 1986; Eschenbrenner, 1988; Kaloga, 1988).

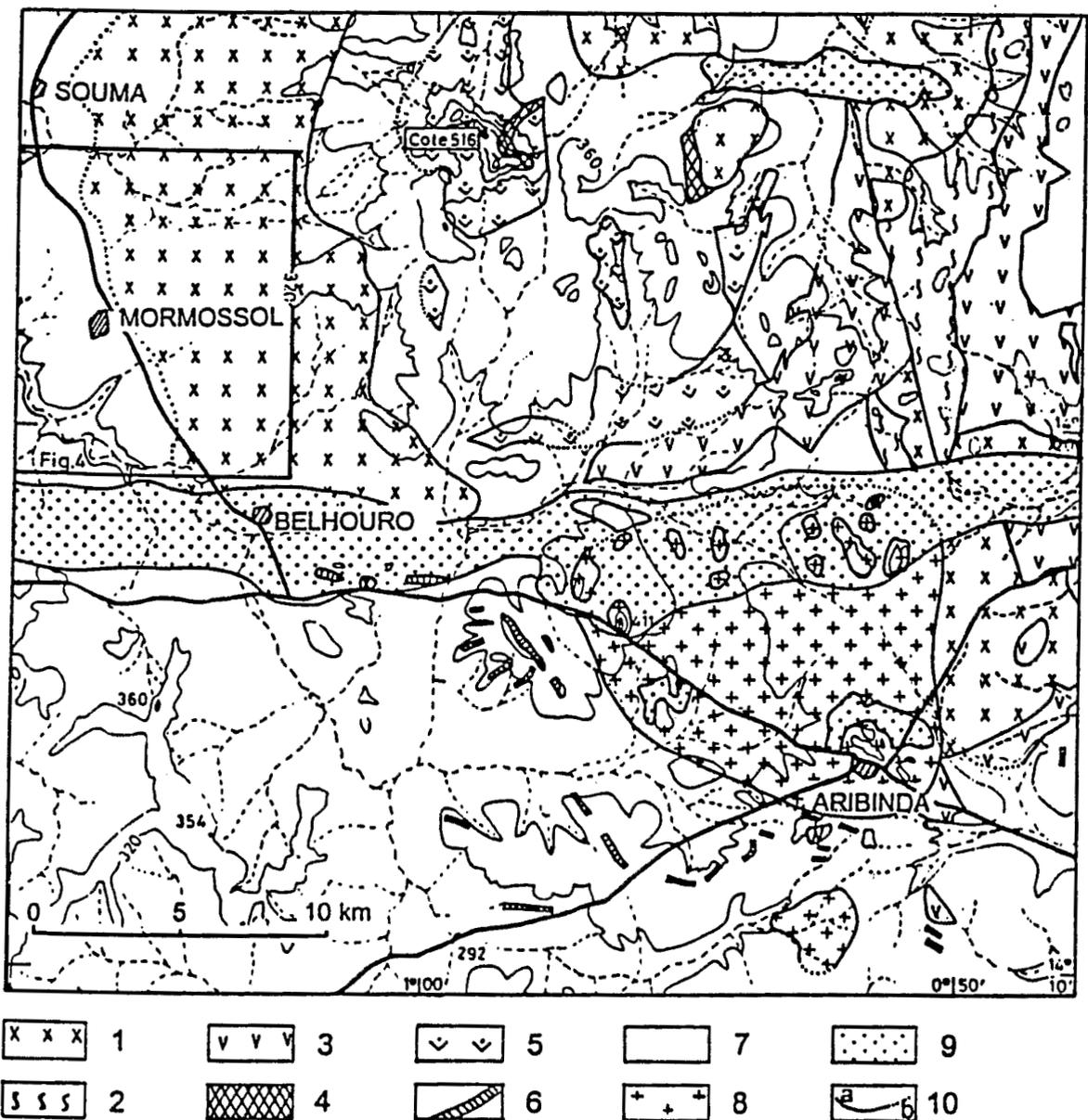


Fig. 2. Esquisse géologique de la région d'Aribinda d'après la carte géologique au 1/200 000 de l'Oudalan (Defour & Jeambrun, 1970) avec quelques compléments provenant des travaux du BUMIGEB. Socle anté-birrimien : (1) granites calco-alkalins à biotites et amphiboles, (2) gneiss, orthogneiss et migmatites, (3) orthoamphibolites, (4) rhyolites. Birrimien Inférieur : (5) métavolcanites andésitiques, calcochloritoschistes, brèches, (6) bancs ou corps de quartzite formant des reliefs, (7) schistes sériciteux, tufs, quartzites, phyllades. Magmatisme tardi-tectonique birrimien : (8) granite alcalin circonscrit. Quaternaire : (9) cordons dunaires de l'erg ancien, (10) contours géologiques, a- observé, b- supposé.

Fig. 2. Geological sketch map of the Aribinda region from the 1/200 000 geological map (Delfour & Jeambrun, 1970) with some additional information according to BUMIGEB works. Pre-Birimian basement : (1) calco-alkaline granites with biotite and amphibole, (2) gneisses, orthogneisses and migmatites, (3) orthoamphibolites, (4) rhyolites. Lower Birrimian : (5) andesitic metavolcanites, calcochloritoschists, breccias, (6) quartzite caps or lenses forming hills, (7) sericite schists, tufs, quartzites, phyllades. Tardi-tectonic Birrimian magmatism : (8) alkaline intrusive granite. Quaternary : (9) stabilised dunes of the ancient erg, (10) geological limit, a- observed, b- supposed.

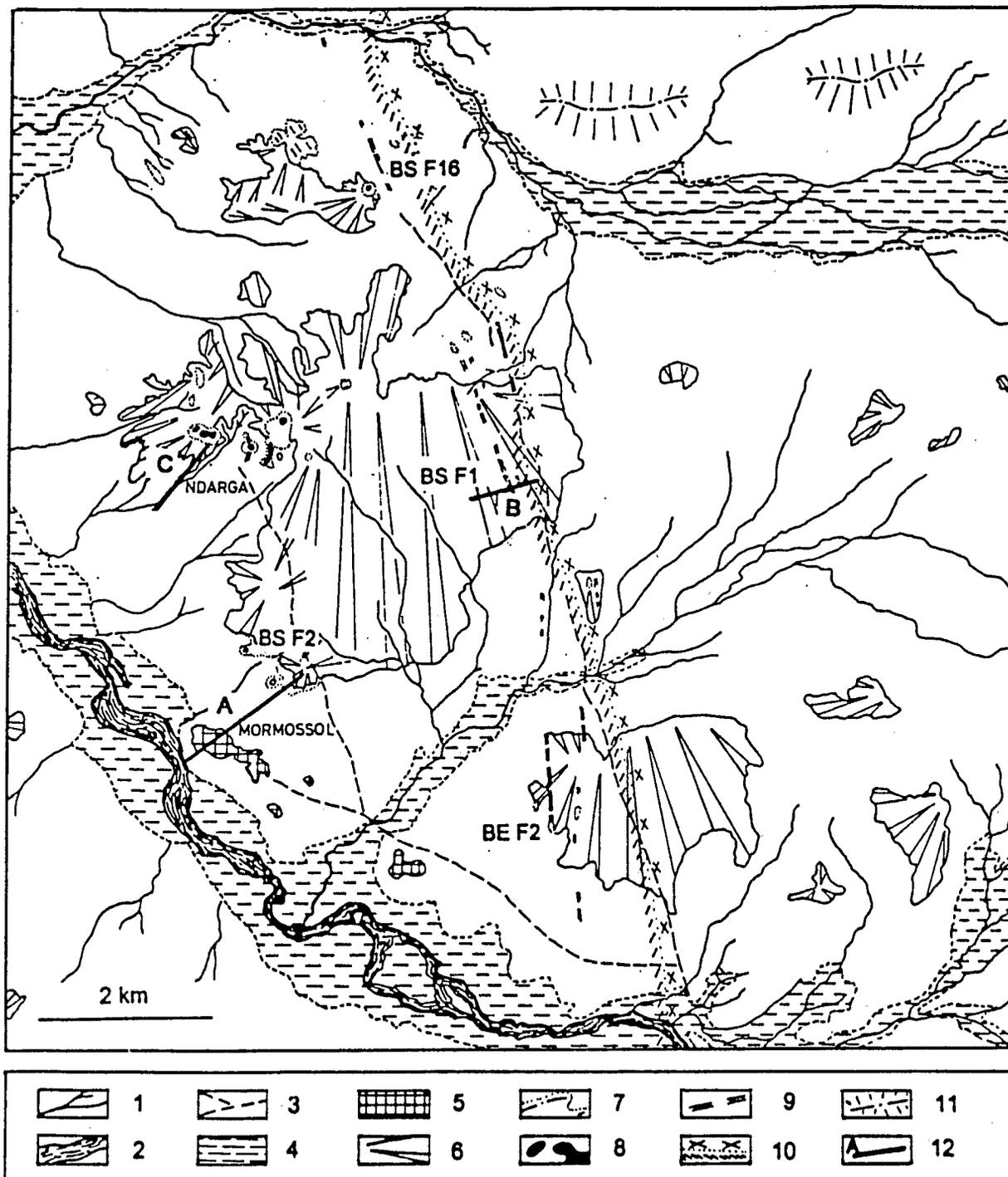


Fig. 3. Le secteur aurifère de Belhouro. (1) axes de drainage, (2) vallée du drain majeur régional, (3) pistes d'accès aux sites minéralisés, (4) plaine alluviale, (5) cuirasse affleurante du bas-glacis, (6) moyen-glacis, (7) relief dominant le bas ou le moyen-glacis, le pointillé marque le pied des versants, (8) cuirasse ancienne (haut-glacis, surface intermédiaire), (9) filon visible sur les photographies aériennes, (10) contact granite anté-birrimien/schistes birrimien volcano-sédimentaires, (11) élévation de terrain à pentes faibles (anciennes dunes ou moyen-glacis atypique), (12) séquences étudiées.

Fig. 3. Belhouro auriferous area. (1) drainage axes, (2) major regional river valley, (3) path to mineralized sites, (4) alluvial plain, (5) outcropping crust on the lower fan, (6) middle fan, (7) hill dominating the lower- or middle fan, dotted line indicates hill base, (8) ancient feriginous crust (high fan, intermediate surface), (9) quartz vein (observed on the aerial fotos), (10) contact between pre-Birimian granite and Birrimian volcano-sedimentary schists, (11) elevated zone with gentle slopes (old dunes or atypic middle fan), (12) studied catena.

Des trois plus anciens ne subsistent que des plateaux cuirassés, voire d'étroites buttes-témoins (fig. 4). La cuirasse, qui affleure en dalle ou en blocs, est associée à des horizons profonds d'altération kaolinique. Ces aplanissements anciens cuirassés résultent d'évolutions qui couvrent l'ensemble du Tertiaire.

- *La Surface africaine* (parfois dénommée surface bauxitique), d'âge éocène, à cuirasse alumino-ferrugineuse, n'est présente dans la région qu'au sommet du massif basique de la cote 516 m, au nord-est de Belhouro.
- *La Surface intermédiaire*, d'âge mio-pliocène probable, à cuirasse ferrugineuse, est conservée au sommet de quelques buttes, proches du drain majeur régional, à Ndarga et au nord de Filio, entre 340 et 350 m d'altitude.
- *Le Haut-glacis*, supposé fin pliocène ou quaternaire ancien, à cuirasse ferrugineuse, est bien représenté régionalement, avec des plateaux de dimension kilométrique en périphérie de la cote 516. L'altitude varie entre 350 m à proximité de celle-ci et 320 m près de la vallée du drain majeur.

Les deux aplanissements les plus récents sont des glacis de vaste extension qui restent souvent fonctionnels. La cuirasse affleure localement. Plus fréquemment elle est recouverte de matériaux sableux ou gravillonnaires.

- *Le Moyen-glacis*, partiellement érodé, est situé au pied de buttes de haut-glacis ou occupe le sommet des interfluves. Ses cuirasses ferrugineuses peuvent présenter un rebord bien marqué dans la topographie.
- *Le Bas-glacis* est cuirassé seulement à l'aval, le manganèse accompagnant généralement le fer. Il n'est incisé que par les rivières principales, l'entaille étant souvent masquée par un remblai alluvial.

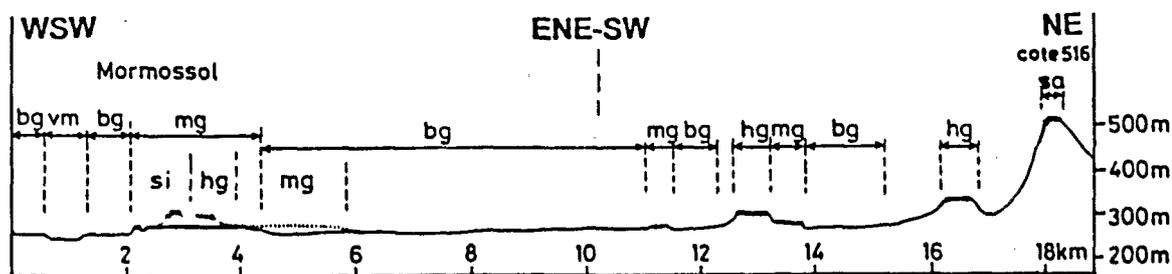


Fig. 4. Aplanissements étagés de la région d'Aribinda. Coupe de Mormossol à la cote 516 et coupe de Ndarga à l'arrière plan (en pointillé). (vm) vallée du drain majeur régional, (bg) bas-glacis, (mg) moyen-glacis, (hg) haut-glacis, (si) surface intermédiaire, (sa) surface africaine.

Fig. 4. Flattening surfaces in the Aribinda region. Cross section from Mormossol to the 516 m summit and Ndarga section in the background (dotted line). (vm) major regional river valley, (bg) low-fan, (mg) middle-fan, (hg) high-fan, (si) intermediate surface, (sa) african surface.

Le secteur de Belhouro

Une cartographie sommaire des aplanissements cuirassés (fig. 3) a été faite d'après les photographies aériennes au 1/50 000 et les observations de terrain.

Aplanissements anciens

Dans le secteur de Belhouro une seule relique de la surface intermédiaire cuirassée subsiste au sommet de la colline principale de l'inselberg de Ndarga (fig. 5). Le haut-glacis est représenté, dans ce même inselberg, par quelques plateaux entourant la colline principale. La dénivellation

entre ces deux surfaces anciennes est ici faible (une vingtaine de mètres). Un témoin du haut-glacis existe également à proximité du filon BSF 16, sous forme d'une butte coiffée de blocs de cuirasse ferrugineuse, dominant le moyen-glacis d'une quinzaine de mètres.

Les roches de ces diverses collines et buttes ont subi une altération kaolinique profonde et les seuls faciès résistants sont des faciès quartzeux ou des faciès ferruginisés. Toutefois les filons de quartz n'apparaissent pas à la surface des témoins de cuirasse ancienne. Ainsi, à Ndarga, un filon affleurant des deux côtés d'une butte de haut-glacis, sur le piémont et dans les altérites des versants, n'est pas observé au sommet de cette butte, la cuirasse ne présentant même pas de concentration de débris de quartz dans son horizon superficiel. Au maximum de l'extension du haut-glacis, seuls quelques très gros amas de quartz restaient en relief. Celui de Yalanga, 4 km au sud-est de Belhouro, forme encore aujourd'hui une colline rocheuse dominant les témoins de haut-glacis proches.

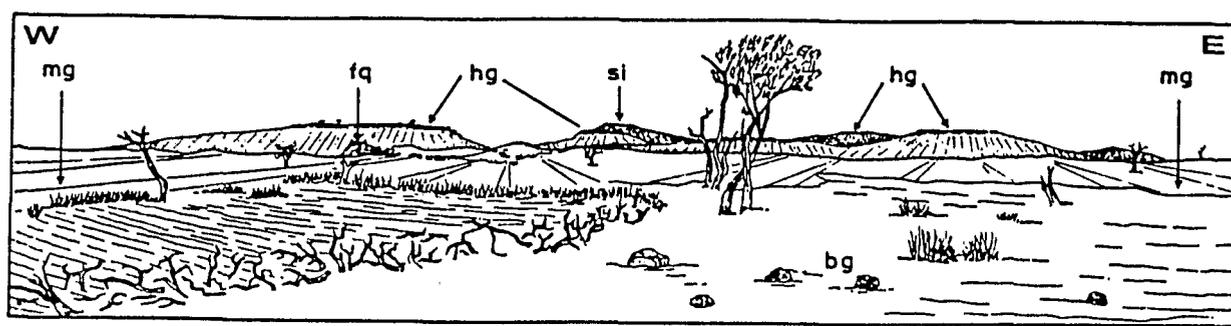


Fig. 5. Inselberg de Ndarga morcelé en collines cuirassées. (si) surface intermédiaire, (hg) haut-glacis, (mg) moyen-glacis (au pied des collines), (bg) bas-glacis (au premier plan), (fq) filon de quartz affleurant sur le moyen-glacis et le versant du haut-glacis.

Fig. 5. Crusted hills of the Ndarga inselberg. (si) intermediate surface, (hg) high-fan, (mg) middle-fan (at the foot of the hills), (bg) low-fan (first plane), (fq) quartz vein outcropping on the middle-fan and the high-fan slopes.

Le Moyen-glacis

Le Moyen-glacis tronque l'altérite kaolinique ancienne. A la périphérie des collines, son amont en conserve d'assez fortes épaisseurs (Boulet, 1968). L'extension principale du moyen-glacis correspond à d'amples croupes à drainage centrifuge qui peuvent s'associer en bas-plateaux. Celui de BSF 1-Mormossol atteint 4 km de dimension principale. Les sommets de ces croupes ont subi une troncature qui fait affleurer des roches altérées à structure reconnaissable de la base du profil. Il est d'ailleurs possible qu'au sommet de ces croupes la cuirasse du moyen-glacis ait été absente ou peu développée.

La limite Moyen-glacis / Bas-glacis, parfois peu distincte notamment sur granite, est généralement jalonnée de cuirasse affleurante sur schiste. Localement le rebord cuirassé est bien marqué et le raccord au bas-glacis se fait par un versant atteignant une dizaine de mètres de dénivellation.

Le rebord du Moyen-glacis est parfois délimité par des filons minéralisés (BEF 2, BSF 2). Là où ils sont de forte puissance, les filons déterminent des collines quartzieuses dominant ce glacis. L'altitude de ces collines reste toutefois inférieure ou comparable à celle des témoins de haut-glacis. Le plus fréquemment, sur le moyen-glacis, les filons de quartz se manifestent par un alignement discontinu d'amas de blocs s'étalant sur une dizaine de mètres de large. Dans les tranchées les filons présentent un fauchage, vers l'est pour BSF 16 et BSF 1, dont les pentages

sont orientés à l'Ouest. Mais pour BSF 1 un fauchage de part et d'autre d'une position sub-verticale du filon est visible dans une tranchée. Le fauchage dans une direction n'exclut pas l'épandage de cailloux de quartz dans la direction opposée où ils peuvent même être accumulés en quantité plus importante.

Le ruissellement des eaux pluviales, là où il existe une couverture meuble argilo-sableuse, s'effectue dans des incisions instables peu profondes (moins de 70 cm) qui remanient cette couverture et atteignent localement la cuirasse ou un niveau gravillonnaire résultant du démantèlement de celle-ci. En l'absence de cette couverture, l'écoulement des eaux correspond à un ruissellement diffus sur des pavages de débris de cuirasse ou de cailloutis de roches résistantes (quartz, schistes ferruginisés). Des pavages de cailloutis se forment également sur certains versants raccordant le moyen-glacis au bas-glacis.

Le bas-glacis

Le bas-glacis a une pente douce d'environ 1 %. Le système de drainage est comparable à celui du moyen-glacis. La présence plus générale de la couverture meuble argilo-sableuse permet une plus grande continuité du système d'incisions qui est de moins en moins profond vers l'aval, avec des collecteurs encombrés d'épandages sableux. Ces incisions ne mettent généralement pas à jour de cuirasse. Une cuirasse existe toutefois à l'aval du bas-glacis avec, à l'extrémité de la toposéquence étudiée, une portion affleurante que les incisions contournent.

Sur le bas-glacis, les filons de quartz donnent souvent des affleurements où l'épaisseur et le pendage sont apparents. Les fauchages sont limités. Toutefois les petits filons (de puissance inférieure à 40 cm) peuvent être masqués par les matériaux d'épandage et, s'ils sont minéralisés, ne pas donner d'anomalie géochimique.

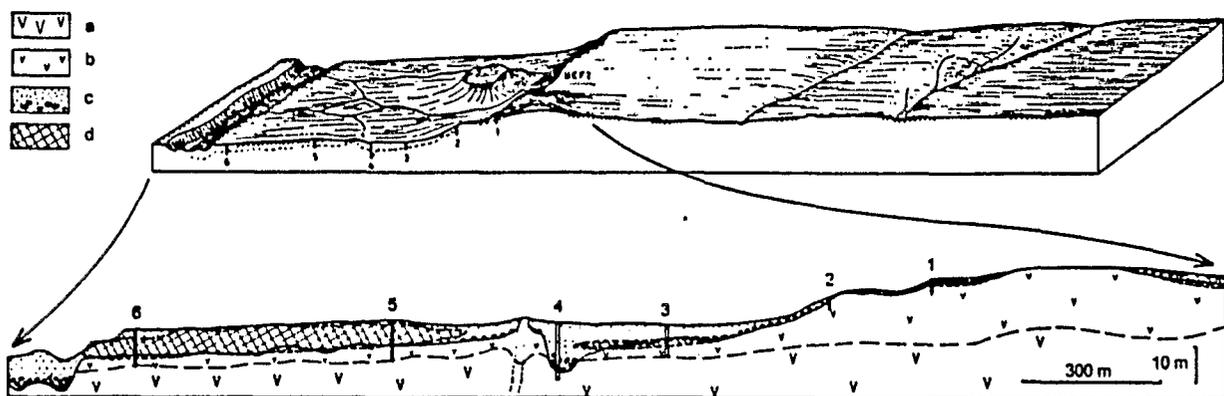


Fig. 6. Séquence de Mormossol. (1 à 6) puits, (a) roche saine ou peu altérée, (b) roche altérée à kaolinite, (c) couverture colluviale ou alluviale, (d) cuirasse ferrugineuse. L'échelle verticale a été doublée pour l'épaisseur des formations superficielles.

Fig. 6. - *Mormossol catena*. (1 to 6) pits, (a) unweathered rock, (b) kaolinite saprolite, (c) colluvial or alluvial covering materials, (d) ferruginous crust. Vertical scale : the thickness of surficial formations is doppled.

L'ORGANISATION DES PROFILS SUR LES SURFACES RECENTES

Trois zones minéralisées ont été sélectionnées pour implanter des séquences de puits (figure 3). Les séquences de Ndarga (3 puits sur une distance de 850 m) et de Mormossol (6 puits sur une distance de 1600 m, fig. 6) recoupent le moyen-glacis et le bas-glacis. A Mormossol le filon riche BSF 2 affleure au rebord du moyen-glacis. La séquence de BSF 1 (4 puits sur une distance de 600 m), perpendiculaire au filon minéralisé principal, ne concerne que

le moyen-glacis. Trois ensembles, d'épaisseur et de nature variables, sont décrits dans ces profils : l'ensemble meuble de surface, l'ensemble carapace, l'ensemble altérite.

Les profils du moyen-glacis

L'ensemble de surface

Son épaisseur varie de 20 à 100 cm. Il comporte deux horizons:

- Un horizon supérieur argilo-sableux, souvent incisé par des chenaux instables. Près des rebords bien marqués du moyen-glacis (comme à Mormossol) ou en sommet d'interfluve (comme au nord de la séquence de BSF 1), cet horizon est absent.
- Un horizon inférieur sablo-gravillonnaire ou caillouteux (la fraction supérieure à 2 mm représente plus de 60 % du poids des échantillons), composé de nodules ferrugineux dominants et de graviers de quartz. Cet horizon, décrit dans tous les puits du moyen-glacis, affleure à la faveur d'incisions et dans les parties de ce glacis soumises à l'ablation, notamment près des rebords bien marqués. Il rassemble alors des éléments résiduels de l'érosion des ensembles inférieurs (qui affleurent eux-mêmes sporadiquement). Dans certains cas ces éléments résiduels sont des plaquettes de schistes ferruginisés et des débris anguleux de filons de quartz reposant directement sur l'altérite. A proximité immédiate d'un filon, cet horizon devient franchement caillouteux, avec des débris de quartz atteignant 20 cm. Il prolonge alors, par un épandage détritique, les chaos de blocs issus du fauchage du filon.

L'ensemble carapace

Dans la séquence de BSF 1, jusqu'à 100 m du filon, cet ensemble est induré et épais de 1,5 m. Les nodules sont anastomosés et la couleur de la matrice varie du jaune au rouge orangé. Dans sa partie supérieure, la cuirasse englobe des cailloux de quartz atteignant 20 cm, qui correspondent à la base de l'horizon caillouteux sus-jacent. Dans sa partie médiane, des cailloux de quartz parfois fracturés et ferruginisés sont présents ainsi que de petits nodules de cuirasse ancienne, arrondis, compacts, violacés. Dans sa partie inférieure subsistent des plaquettes de schistes ferruginisés et des filonets de quartz, tandis que des faciès alvéolaires à caverneux manifestent une dissolution de la cuirasse.

A l'est du filon BSF 1, un puits atteint le granite altéré à 2,7m de profondeur, après avoir traversé, sous un horizon sablo-argileux de 25 à 30 cm d'épaisseur, un matériau grossièrement granoclassé. Celui-ci comporte des débris de taille variable de quartz et de cuirasse ferrugineuse, dont des blocs dépassant 20 cm, concentrés à la partie inférieure. Les quartz sont souvent émoussés à arrondis. Les blocs de cuirasse, par leur faciès à nodules rouge sombre à violacé de forme lobée, entourés de fins liserés concrétionnés de goéthite jaune verdâtre, apparaissent comme des reliques de la cuirasse intermédiaire. Ce matériau, qui correspond vraisemblablement au remplissage d'un ancien chenal, est faiblement induré en carapace dans sa partie supérieure.

A Mormossol, près du rebord du moyen-glacis, l'ensemble carapace est soit très induré et il affleure, partiellement masqué par un horizon sablo-gravillonnaire, soit peu développé (voire absent) sous un recouvrement sablo-caillouteux. Ce dernier cas correspond à une zone légèrement en relief et résulte de l'ablation d'un sommet d'interfluve ou d'une petite colline qui dominait le moyen-glacis. En avant du rebord, au sommet d'une butte témoin, l'ensemble carapace affleure. La partie supérieure est démantelée et il n'en subsiste que des blocs sur une dalle cuirassée. Celle-ci présente, ici un faciès conglomératique à cailloux de quartz et ciment ferrugineux, là un faciès à structures de roche conservées. La limite supérieure de l'altérite en place apparaît ainsi plus irrégulière que la limite inférieure de l'ensemble carapace et elle est recoupée par la surface topographique actuelle.

Entre BSF 1 et Mormossol la cuirasse apparaît à la faveur d'incisions de l'ensemble de surface ou en affleurements dans des zones décapées. Dans un puits à 500 m de BSF 1 elle est réduite à un horizon gravillonnaire faiblement induré.

La variété des situations rencontrées pose la question de la continuité du cuirassement sur le moyen-glacis. Si le décuirassement par dissolution et l'ablation créent des discontinuités, il est également possible que les fortes indurations soient liées à des conditions particulières de drainage ou d'alimentation (proximité des filons, ruptures de pente, présence de faisceaux de schistes tuffacés ferrugineux).

L'ensemble altérite

La partie supérieure de l'ensemble altérite, dont l'épaisseur atteint 60 cm est un horizon argileux rouge violacé à jaune orangé. Les structures de la roche-mère y sont effacées ou ne sont apparentes que dans de petits volumes associés à des plaquettes quartzieuses à proximité des filons.

La partie inférieure est un horizon où la structure de la roche-mère est conservée (saprolite). La schistosité est recoupée par des filonets de quartz qui sont discontinus et fauchés au sommet de l'horizon, ce qui indique un volume modifié par des dissolutions et tassements bien que la structure reste apparente.

Les profils du bas-glacis

L'ensemble de surface

L'ensemble de surface est sablo-argileux avec des épandages superficiels sableux dans les chenaux actifs qui assurent le drainage au moment des averses. Pour la séquence de puits de Mormossol, l'épaisseur est de 10 à 80 cm à l'amont du bas-glacis et atteint 2 m dans la partie médiane. La fraction supérieure à 0,5mm ne représente que 20% en poids des échantillons et les éléments grossiers sont des grains de quartz arrondis et des gravillons ferrugineux. A l'aval de la séquence, où une cuirasse affleure largement, l'ensemble de surface est limité à un horizon sablo-gravillonnaire ne dépassant pas 30 cm d'épaisseur, sauf en bordure de la vallée du drain régional où des limons sont déposés par les plus fortes crues.

L'ensemble carapace

A l'amont de la séquence de puits de Mormossol (fig 6), l'ensemble carapace, épais de 60 à 80 cm, indure deux matériaux distincts: d'une part un cailloutis associant des quartz anguleux, des quartz émoussés ferruginisés et des nodules hérités de cuirasse ferrugineuse (structures concrétionnées internes recoupées par un cortex périphérique de goéthite); d'autre part un matériau en place provenant de schistes riches en filonets de quartz à bordure d'oxydes de fer. Dans ce cas des plaquettes orientées subsistent dans une matrice comportant des concrétions ferrugineuses à coeur manganésifère. La schistosité apparaît progressivement dans l'altérite sous-jacente.

Le puits foncé dans la partie médiane du bas-glacis traverse, après les deux mètres de l'ensemble de surface argilo-sableux, un horizon non induré épais de 1,5 m. Les éléments de taille supérieure à 2mm représentent 65 % du poids total. Ce sont des quartz anguleux à arêtes émoussées, des galets de quartz arrondis en proportion plus faible, des débris de cuirasse ancienne et des concrétions ferrugineuses à coeur manganésifère. Un lit de cailloux anguleux de quartz délimite un contact franc avec l'altérite sous-jacente.

A l'aval du bas-glacis l'ensemble carapace, fortement induré, atteint 1,5 m d'épaisseur et affleure fréquemment. Il inclut des plaquettes de schistes ferruginisés, des fragments de quartz (quelques cailloux dépassent 5cm) et de petits gravillons ferrugineux denses. Vers la base les débris de schiste dominant dans une matrice argileuse à concrétions ferro-manganiques et la transition est progressive à l'altérite,

L'ensemble altérite

A l'amont et à l'aval du bas-glacis l'ensemble altérite apparaît vers 1,5 m de profondeur. Il peut comporter jusqu'à 50 cm de matériaux altérés argileux où la structure de la roche mère n'apparaît pas ou de façon discrète dans des volumes limités. Lorsque des filonets de quartz ou

de minces niveaux ferruginisés lardent les schistes, leur débris, qui conservent plus ou moins l'orientation initiale, confirment que ces matériaux sont autochtones ainsi qu'une partie de l'ensemble carapace. A la base de ces matériaux la transition est progressive à la saprolite isovolume.

Dans la partie médiane du bas-glacis, l'ensemble altérite apparaît à 3,5 m de profondeur et débute directement par la saprolite conservant les structures, sous un cailloutis de quartz.

Nature et distribution des argiles dans les toposéquences étudiées

Les analyses par diffraction de rayons X montrent que la kaolinite constitue l'essentiel de la phase argileuse des profils de moyen- et de bas-glacis. La smectite apparaît en trace dans les fragments de schistes les mieux conservés de l'altérite du bas-glacis et dans les matériaux du puits de la partie médiane de ce dernier. Dans ce puits, une estimation à partir des DRX indique que la smectite représente 20 à 50 % des argiles de l'ensemble de surface, 50 % des argiles de l'ensemble carapace et 80 % des argiles de l'ensemble altérite.

L'OR VISIBLE DANS LES PROFILS DES SURFACES RECENTES

Distribution de l'or visible.

L'or visible est récolté par débouillage et panage (concentration à la batée) d'échantillons de 10 à 180 kg représentatifs des différents horizons des profils. Une première estimation de la granulométrie des particules est faite visuellement lors du panage. Les particules sont regroupées en trois classes correspondant approximativement à des tailles de 0,8 à 0,5 mm pour les grains, 0,5 à 0,16 mm pour les points et 0,16 à 0,08 mm pour les minipoints.

Il ressort de cette première analyse que dans le moyen-glacis comme dans le bas-glacis l'ensemble de surface est le plus riche en or visible (fig. 7). La granulométrie des particules d'or est liée à celle de l'horizon dont elles sont issues: les horizons caillouteux et gravillonnaires renferment surtout des grains et des points, les horizons sablo-argileux surtout des points et des minipoints.

Dans l'ensemble carapace, le nombre de particules est modeste, à l'exception de l'horizon supérieur de la carapace affleurant dans la partie aval du bas-glacis, qui est particulièrement riche.

Dans l'ensemble altérite, le nombre de particules est très bas, sauf en présence de filonets minéralisés ou à proximité des filons.

Morphologie de l'or visible

Les premières observations faites au microscope électronique à balayage sur quelques particules de l'ensemble de surface de la toposéquence de Mormosol permettent de mettre en évidence une certaine zonalité.

Sur le versant du moyen-glacis, sujet à une forte ablation, dont le cailloutis de surface est issu du filon BSF 2 ou des roches aurifères de son environnement, les particules présentent des formes primaires sans marque de transport.

Près du rebord du moyen-glacis, dans l'horizon sablo-gravillonnaire ou caillouteux, les particules sont arrondies et plus ou moins aplaties. Elles peuvent conserver des bords peu usés avec des formes cristallines primaires. Elles ont été transportées sur des faibles distances.

Dans les parties amont et médiane du bas-glacis, deux familles de particules sont présentes: d'une part des formes immatures ayant un émoussé et un aplatissement faible, des cavités de dissolution et qui sont souvent associées à des grains de quartz; d'autre part, des particules évoluées, émoussées, aplaties, aux bords recourbés, présentant parfois des structures en "sandwich" indiquant un transport sur de longues distances.

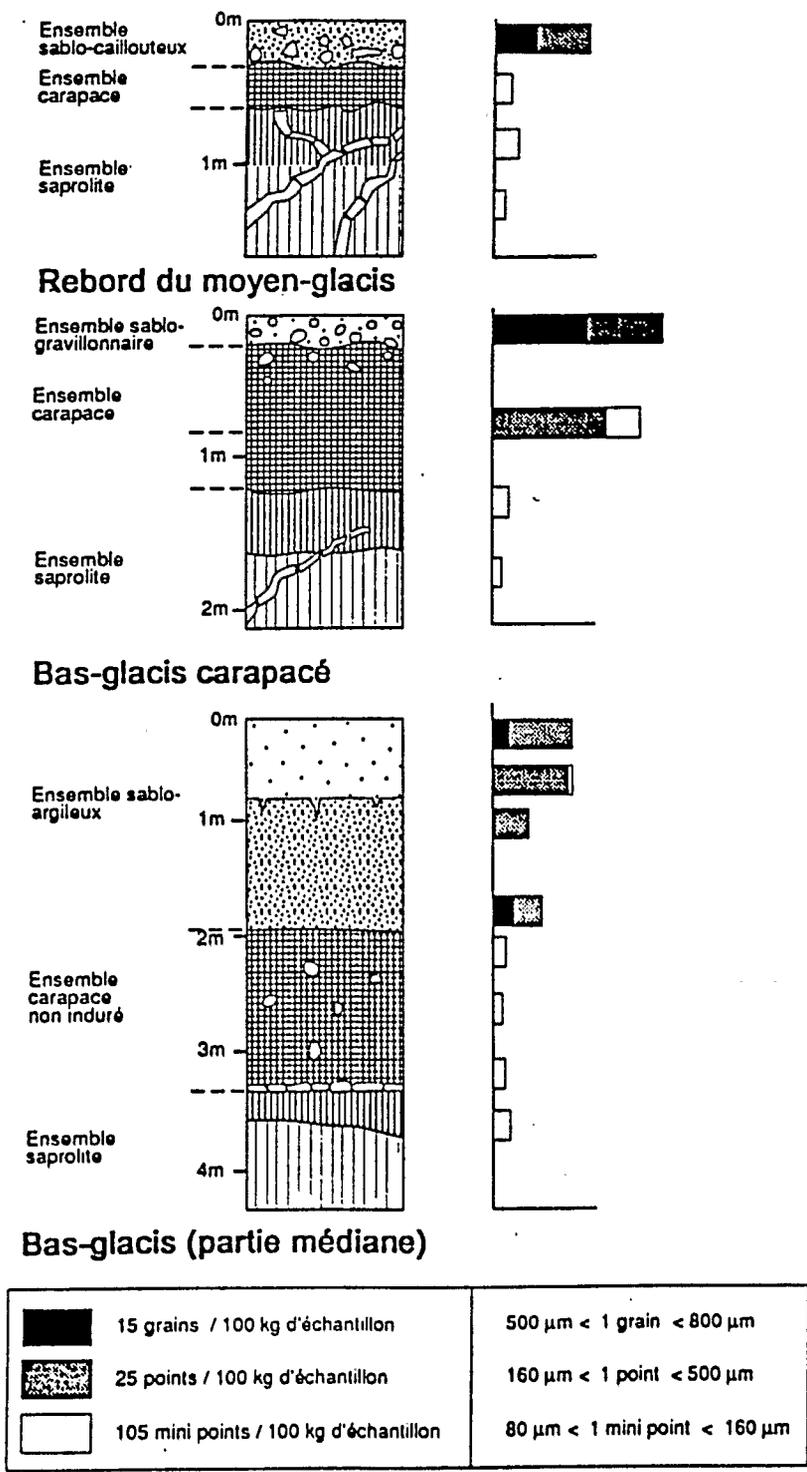


Fig. 7. Répartition de l'or dans les formations superficielles des bas- et moyen-glacis.

Fig. 7. Distribution of gold in the surficial formations of the middle- and low-fans.

Dans la partie aval du bas-glacis, là où les chenaux sableux deviennent plus larges, les particules présentent les marques d'un transport important. Elles sont fortement émoussées, leurs bords sont recourbés et les structures en "sandwich" fréquentes. Là où la carapace est sub-affleurante, le puits foncé présente un caractère particulier. Les particules sont arrondies ou aplaties mais ne présentent un émoussé que sur certains bords. Elles n'auraient donc subi qu'un transport limité avant le cuirassement du bas-glacis.

DISCUSSION

Les argiles: importance de l'héritage ancien

Dans les régions sahéliennes, la kaolinite est considérée comme le produit d'altérations profondes anciennes, contemporaines du haut-glacis ou antérieures. Elle peut être également un produit de la pédogenèse sur le moyen-glacis avant sa dissection, lorsque l'ablation avait atteint des matériaux conservant des minéraux altérables. L'altération actuelle, sur de tels matériaux, fournit principalement des smectites. A la base des altérites kaoliniques héritées, en conditions de drainage lent, se développe ainsi un horizon à smectite (Leprun, 1979; Pion, 1979). Ceci concerne aussi bien les témoins du haut-glacis que le moyen-glacis qui tronque généralement l'altérite du haut-glacis en en conservant la base. Les sols du bas-glacis et des vallées, lorsqu'ils se forment sur des matériaux riches en minéraux altérables sont à smectite avec une accumulation fréquente du calcium dans les horizons inférieurs, sous forme de concrétions carbonatées (Boulet, 1968).

A Mormossol les analyses par DRX des argiles des échantillons prélevés sur le moyen-glacis et le bas-glacis ne permettent pas de situer les profils dans un tel schéma général. Le fait que la smectite n'apparaisse pas dans les profils du moyen-glacis signifierait simplement que celui-ci conserve une épaisseur d'altérite ancienne supérieure à la profondeur des puits d'échantillonnage. Le fait que la kaolinite reste très dominante sur la majeure partie du bas-glacis est plus inattendu. Il suppose là aussi une ablation réduite, n'amenant près de la surface que des saprolites à faible proportion de matériaux altérables. Cette troncature limitée des parties les plus basses du paysage actuel s'explique toutefois par la situation particulière du bas-glacis de Mormossol. En effet celui-ci s'étend en bordure d'une vallée principale sud-nord qui fait partie du système endoréique de la mare de Soum. Même si l'endoréisme n'a pas été permanent, cette situation implique une incision régressive réduite.

D'ailleurs la dénivellation entre le haut et le moyen-glacis, plus encore entre le haut et le bas-glacis, est décroissante de la périphérie de la cote 516 à la proximité du drain majeur régional : de l'un à l'autre des trois systèmes de glacis la platitude du paysage a augmenté. Depuis la période de l'aplanissement du haut-glacis, sinon dès avant celle-ci, l'incision dans les vallées principales a été faible au regard des déblaiements réalisés dans les amonts du paysage. Dans ces amonts, des affleurements de roches saines sont souvent observés sur le bas-glacis. A l'aval, il s'avère que des altérites anciennes y sont conservées.

La partie médiane du bas-glacis de Mormossol (fig. 6) montre néanmoins qu'il suffit d'un chenal de quelques mètres de profondeur pour atteindre une roche très peu kaolinisée qui s'altère en smectite. Le remplissage alluvial de l'ancien chenal, lui-même à forte proportion de smectite dans la fraction argileuse, témoigne de l'existence, dans l'environnement de la séquence de Mormossol, d'autres sites où l'ancienne altérite a été érodée et où s'exprime l'altération smectitique actuelle.

Les cuirasses: un stock de fer en évolution

Les cuirasses ferrugineuses se sont largement développées sur le moyen-glacis. Le fonctionnement de celui-ci s'est poursuivi après le cuirassement, avec le retour des climats à pluviosité réduite et concentrée qui ont permis le façonnement du bas-glacis. Ainsi, sur les témoins les plus vastes, la platitude du moyen-glacis augmente et la surface topographique peut avoir une pente plus faible que celle de la base de l'ensemble carapace. Le long de BSF1 par exemple, cet ensemble est recouvert à l'aval du glacis par un horizon épais de matériaux meubles sablo-argileux tandis qu'à l'amont il affleure, tronqué jusqu'à la partie inférieure où la structure des roches est reconnaissable. Sur plus d'un kilomètre de distance, la transition est progressive, observable dans les tranchées de prospection du filon. Nous avons vu par ailleurs que les cuirasses de moyen-glacis subissent une dissolution.

Sur le bas-glacis le cuirassement est plus discret. Le manganèse accompagne généralement le fer. L'ensemble carapace se limite souvent à un horizon graveleux à débris hérités de cuirasse et de schiste ferrugineux, dans lequel se développent des concrétions plus ou moins anastomosées. A l'aval l'induration peut être continue et l'affleurement de la cuirasse, localement en léger relief et dont la partie supérieure se démantèle en horizon gravillonnaire, lui confère un caractère déjà inactuel. Ce caractère est confirmé par l'existence de rebords cuirassés affleurant parfois à la base de la berge limoneuse de la vallée du drain majeur régional, ce qui implique un cycle d'incision du bas-glacis et de comblement alluvial débordant sur celui-ci.

Toutefois, si le décuirassement est actuellement le phénomène géochimique dominant sur le moyen-glacis, la dynamique du bas-glacis est plus incertaine et il semble, selon les lieux et les modalités de drainage, que le concrétionnement se poursuive ou qu'une dispersion du fer ait lieu, notamment dans les vallées secondaires ou l'épandage de limons alluviaux se fait sur la cuirasse peu incisée et détermine en saison des pluies une longue hydromorphie de la base de l'ensemble carapace.

Souvent discrets mais ubiquistes, des débris de cuirasse ferrugineuse ancienne sont observés parmi les éléments grossiers de l'ensemble de surface, dans les horizons remaniés de l'ensemble carapace et dans les niveaux caillouteux du remplissage des chenaux profonds. De la taille du bloc à celle du gravillon, compactes, résistantes, avec des faciès pseudo-nodulaires à ferranes de goethite, de telles reliques sont fréquemment décrites dans les matériaux des systèmes de glacis du Burkina et des pays voisins. Elles sont assimilées à des débris de cuirasse intermédiaire par la comparaison des faciès et des compositions minéralogiques et chimiques (Boeglin, 1990; Boulet, 1968; Eschenbrenner, 1988; Grandin, 1976). Bien que les témoins de la surface intermédiaire cuirassée soient rares dans la région, une large extension initiale est probable. Le cuirassement des glacis postérieurs a été favorisé par les stocks de fer transmis de l'un à l'autre par héritage de nodules relictuels.

La distinction d'un ensemble de surface meuble, d'un ensemble carapace et d'un ensemble altérite, si elle est d'usage courant pour les matériaux latéritisés, n'est pas suffisante pour l'étude de la répartition de l'or. En effet l'ensemble carapace, indépendamment du fait qu'il peut être absent, indure des matériaux de nature distincte: matériaux en transit ou fortement remaniés d'une part, altérites sub-autochtones ou autochtones d'autre part. La limite entre ces matériaux peut se situer au sein de la carapace comme au-dessous d'elle ou à son sommet. Souvent moins contrastée que les limites pédologiques de cuirassement ou de décuirassement, parfois progressive, masquée par les fortes indurations ferrugineuses, cette limite, importante à détecter, détermine la quantité de matériaux potentiellement aurifères, là où les roches en place ne sont pas minéralisées.

L'or: variabilité du degré d'usure et complexité des transits.

A Mormosol deux situations sont apparemment simples:

- les formes primaires des particules d'or sur le versant érodé du moyen-glacis.
- les formes très évoluées dans les chenaux sableux de l'aval du bas-glacis, à plus d'un kilomètre du rebord du moyen-glacis.

Encore pourrait-on s'étonner qu'il n'y ait pas eu, sur le versant, de mélange avec des particules évoluées venant des larges extensions du moyen-glacis à l'Est. Mais d'une part la richesse de BSF 2 et de son environnement diluerait de telles particules en transit dans celles extraites des altérites locales (et le nombre faible de particules observées rend improbable la détection d'une population très minoritaire). D'autre part nous avons vu qu'à proximité de la partie concernée du rebord, le moyen-glacis est un ancien sommet d'interfluve qui reste en léger relief et que doivent contourner des particules en transit d'un glacis à l'autre. L'évolution limitée des grains d'or dans les cailloutis de cette éminence du moyen-glacis est d'ailleurs cohérente avec cette interprétation.

Une troisième situation demande une explication: le mélange de particules peu évoluées et très évoluées à l'amont et dans la partie médiane du bas-glacis. On peut certes concevoir qu'une même distance de transport sur un glacis ait des effets très distincts, selon qu'une particule avance progressivement dans un chenal sableux ou qu'elle soit mise en place par une nappe boueuse de très forte pluie. Mais les distances au rebord du moyen-glacis sont trop faibles pour considérer le transport de particules primaires extraites de ce dernier comme la seule cause d'évolution. Ici, il faut admettre que les particules très évoluées ont transité sur le moyen-glacis avant d'atteindre leur position actuelle. D'une part les chenaux superficiels peuvent amener, au droit de la partie en léger relief du moyen-glacis, des particules ayant contourné celle-ci. D'autre part des particules évoluées, mises en place antérieurement dans la portion disparue du moyen-glacis en avant de son rebord actuel, ont pu être transférées sur le bas-glacis.

L'existence, en zone médiane du bas-glacis, d'un chenal profond dont le remplissage, mieux trié et granoclassé que les matériaux en transit du glacis, comporte des débris de cuirasse ancienne et des galets très émoussés de quartz, montre même qu'au cours de la constitution du bas-glacis, des axes de drainage assez stables, transportant des matériaux en partie d'origine lointaine, ont suivi des trajets différents des axes de drainage actuels. L'aval du moyen-glacis peut avoir lui-même connu une telle activité. Il y a là, par transport longitudinal dans un drain, une source de particules d'or évoluées qui sont susceptibles d'être ultérieurement dispersées sur le bas-glacis.

La cuirasse de l'aval du bas-glacis, dont la partie échantillonnée tend (par érosion différentielle) à être mise en léger relief et n'est plus alimentée par des matériaux en transit, se caractérise par une forte teneur et par une assez faible usure des particules d'or. Cela suppose une source primaire assez proche à l'amont. L'alignement de blocs de quartz, marquant le passage d'un filon entre le chenal de la partie médiane du bas-glacis et cette cuirasse de l'aval, mérite donc une attention particulière. Mais il faudrait un échantillonnage plus systématique de l'aval du bas-glacis le long du drain régional, pour déterminer l'extension des parties riches. La fréquence des traces d'orpaillage par balayage et vannage de l'horizon sablo-gravillonnaire superficiel laisse augurer que cette extension n'est pas négligeable.

Il reste à souligner que, dans les systèmes de glacis, la morphologie des particules d'or est un indicateur de distance de la source primaire à considérer avec précautions, plus encore que dans le cas des systèmes alluviaux (Hérail, 1990). L'épandage de débris de quartz aurifère sur des glacis fonctionnels à l'aval des filons (en particulier le caillou de quartz contenant un grain d'or rencontré dans la carapace de moyen-glacis à 100 m du filon BSF 1) montrent que l'or peut se déplacer sur un glacis dans sa gangue, protégé de marques de transport, jusqu'à ce qu'il soit libéré en particules autonomes.

CONCLUSION

L'étude de la répartition de l'or sur des systèmes de glacis récents montre, malgré la faiblesse des pentes (de l'ordre de 1 à 2 %) l'ampleur de la dispersion à l'aval des sources primaires, jusqu'à plus d'un kilomètre sur le bas-glacis, en dehors des axes de drainage. Elle montre également la concentration des particules dans la partie supérieure des matériaux de surface avec des teneurs qui dépendent des conditions d'érosion et de transit autant que de la distance à ces sources. Le transit est assuré par l'interaction complexe de phénomènes d'altération et d'ablation, de transport en chenaux instables et d'épandage. Ces derniers ont assuré le développement du moyen-glacis et du bas-glacis et continuent à opérer sur ces deux systèmes d'aplanissement, le moyen-glacis conservant, sur ses témoins étendus, un caractère fonctionnel.

Le cuirassement peut protéger d'une dispersion rapide des matériaux transportés. Mais en général les horizons cuirassés sont moins riches en or que les horizons meubles sus-jacents où s'est poursuivi un transit et un tri des matériaux de surface.

Au cours de cette évolution des systèmes de glaciers, des accumulations locales de matériaux aurifères se constituent, soit comme stocks d'éléments résiduels de l'ablation des roches minéralisées (bord du moyen-glacier et son versant près de BSF 2), soit comme stocks de matériaux d'apport (aval cuirassé du bas-glacier de Mormossol). Ces stocks sont susceptibles de représenter des objectifs d'orpaillage si des techniques artisanales assurent une bonne récupération (1/2 ppm sur 60 cm d'épaisseur représente plus de 4 kg à l'hectare).

A l'échelle géologique, il s'agit de petits stocks très provisoires, dans le cadre d'une exportation vers les vallées principales. L'incision faible de celles-ci va de pair avec une évacuation lente. La constitution possible d'accumulations alluviales récentes ou actuelles, triées par les déplacements de méandres des lits mineurs, n'a pas fait jusqu'à présent l'objet d'une attention suffisante au Nord du Burkina Faso.

Dans un cas comme dans l'autre, la prévision des sites et leur détection demandent, au-delà d'une bonne localisation des sources primaires, une analyse détaillée de l'évolution géomorphologique. Celle-ci, associée à une connaissance des modalités de dispersion de l'or, est en retour la meilleure voie d'amélioration des techniques de prospection géochimique des gîtes aurifères.

BIBLIOGRAPHIE

- Beudet G., Coque R. (1986) - Les modelés cuirassés des savanes du Burkina Faso (Afrique occidentale). *Rev. Géol. Dyn. Géogr. Phys.*, 27, 3-4, 213-224.
- Boeglin J.L. (1990) - Evolution minéralogique et chimique des cuirasses ferrugineuses de la région de Gaoua (Burkina Faso). Thèse Sci., Strasbourg, 187 p.
- Boulangé B. (1983) - Les formations bauxitiques latéritiques de Côte d'Ivoire. Thèse Sci. Paris VII et *ORSTOM Trav. et Doc.*, 175, 363 p.
- Boulet R. (1968) - Etude pédologique de la Haute-Volta, région centre nord Rapport ORSTOM, Dakar, multigr., 351 p.
- Boulet R. (1978) - Toposéquences de sols tropicaux en Haute-Volta. Equilibre et déséquilibre pédobioclimatique, Thèse Sci. Strasbourg et *Mém. ORSTOM*, 85, 272 p.
- Delfour J., Jeambrun M. (1970) - Notice explicative de la carte géologique au 1/ 200 000 de l'Oudalan. DGM-BRGM, 64 p.
- Eschenbrenner V. (1988) - Les glébules des sols de Côte d'Ivoire. Nature et origine en milieu ferrallitique. Modalités de leur concentration. Rôle des termites. Thèse Sci., Dijon, 780 p.
- Eschenbrenner V., Grandin G. (1970) - La séquence de cuirasses et ses différenciations entre Agnibilékrou (Côte d'Ivoire) et Diébougou (Haute-volta). *Cah. ORSTOM*, série Géol., 2, 205-246.
- Gavaud M. (1977) - Les grands traits de la pédogenèse au Niger méridional. *ORSTOM, Trav. et Doc.*, 76, 102 p.
- Grandin G. (1976) - Aplatissements cuirassés et enrichissement des gisements de manganèse dans quelques régions d'Afrique de l'Ouest. Thèse Sci., Strasbourg et *Mém. ORSTOM*, 82, 275 p.
- Hérail G., Fornari M., Viscarra G., Miranda V. (1990) - Morphological and chemical evolution of gold grains during the formation of a polygenic fluvial placer: the Mio-Pleistocene Tipuani placer example (Andes, Bolivia). *Chron. Rech. Minière*, 500, 41-49.
- Hottin G., Ouédraogo F. (1975) - Notice explicative de la carte géologique à 1/ 1 000 000 de la République de Haute-Volta. DGM-BRGM, 58 p.
- Kaloga B. (1988) - Le manteau kaolinique des plaines du centre-sud de la Haute-Volta: dynamique et relation avec le manteau smectitique. Thèse Sci. Strasbourg et *ORSTOM Etudes et Thèses*, 344 p.
- Lamotte M., Rougerie G. (1956) - Genèse de certaines cuirasses ferrugineuses en Afrique occidentale. 18^{ème} Cong. Intern. de Géogr., Rio, 2, 270-277.
- Leprun J.C. (1979) - Les cuirasses ferrugineuses des pays cristallins de l'Afrique occidentale sèche. Genèse, transformations, dégradation. Thèse Sci., Strasbourg et *Sc. Géol. Mém.*, 57, 224 p.
- Michel P. (1973) - Les bassins des fleuves Sénégal et Gambie. Etude géomorphologique. Thèse Strasbourg et *Mém. ORSTOM*, 63, 752 p.
- Palé F. (1983) - Rapport de fin de campagne 1982-83. Mission Djibo-Aribinda. BUMIGEB, rapport multigr., 25 p.
- Pion J.C. (1979) - L'altération des massifs cristallins basiques en zone tropicale sèche. Etude de quelques toposéquences en Haute-Volta. Thèse Sci., Strasbourg et *Sci. Géol. Mém.*, 57, 220 p.