

LES ENDUITS FERRUGINEUX
ASSOCIÉS AUX CUIRASSES LATÉRIQUES
SUCCESSIVES DU HAUT-SHABA.
NATURE, STRUCTURE ET MODE DE FORMATION

PAR

J. ALEXANDRE & TSHIDIBI N. YA B. *

RÉSUMÉ. — La plupart des cuirasses latéritiques ont été couvertes dans un stade final de leur formation d'un enduit ferrugineux rubané. Les couches extérieures de l'enduit présentent un aspect différent selon l'ancienneté de la cuirasse. Dans le Haut-Shaba, la succession suivante a pu être observée : brun zoné très épais pour le plus ancien et ensuite, rouge foncé brillant, brun foncé brillant ou mat avec un réseau de lignes irrégulières en relief («sutures»), brun clair mat et enfin, brun foncé ou rouge foncé très mince. L'âge relatif a été déduit de la position des cuirasses sur des surfaces d'érosion en escalier et de la superposition de deux voire plusieurs enduits sur une même cuirasse. Les enduits bruns sont composés de goethite ou d'alumino-goethite pauvre en manganèse, plus ou moins hydratée, tandis que les enduits rouge foncé sont constitués essentiellement d'hématite. Le rubanement est fait d'une alternance de fines couches claires et sombres. Ces dernières sont moins hydratées et présente au M.E.B. une structure plus compacte. Plusieurs arguments sont présentés en faveur d'une formation des enduits à l'air libre (densité relativement faible des particules détritiques, stratification entrecroisée au sein du rubanement) sous un climat assez sec (fentes de dessiccation, vernis siliceux) grâce à des bactéries (structure globuleuse associée à un mycelium sur les images au M.E.B.). La différence de nature des enduits les plus anciens serait due à la présence de bactéries spécifiques à chacune des phases de climat désertique d'une longue évolution cyclique.

SAMENVATTING. — *De ijzerhoudende lagen geassocieerd met de opeenvolgende laterietkappen van Boven-Shaba. Aard, structuur en vormingsproces.* — De meeste laterietkappen werden in het laatste stadium van hun vorming overdekt met een gestreepte ijzerhoudende laag. De buitenwanden van de laag vertonen een verschillend aspect naargelang de ouderdom van de kap. In Boven-Shaba werd de volgende opeenvolging waargenomen : dik donkerbruin voor de oudste en vervolgens, glanzend donkerrood, glanzend donkerbruin of matbruin met een net van onregelmatige lijnen in reliëf («hechtingen»), mat lichtbruin en tenslotte zeer dun

* Service de Géographie physique de l'Université de Liège, Place du XX Août 7, B-4000 Liège (Belgique).

donkerbruin of donkerrood. De relatieve ouderdom werd afgeleid van de plaats van de kappen op de in trappen geërodeerde afvlakkingen en van de opeenstapeling van twee of meerdere lagen op éénzelfde kap. De bruine lagen bestaan uit goëthiet of alumino-goëthiet arm aan mangaan, min of meer gehydrateerd, terwijl de donkerrode lagen uitsluitend van hematiet zijn. De streping bestaat uit een afwisseling van dunne heldere en donkere lagen. Deze laatste zijn minder gehydrateerd en vertonen in de electronenmikroskoop een meer compacte structuur. Verscheidene argumenten worden aangehaald ten voordele van een formatie van de lagen in open lucht (relatief zwakke dichtheid van de detritische deeltjes, door elkaar gekruiste gelaagdheid in de streping) in een tamelijk droog klimaat (uitdragingsbarsten, siliceus glazuur) dank zij bakteriën (globuleuze structuur gepaard met een mycelium op de raster-elektronen mikroskoopbeelden). Het verschil in aard van de oudste lagen zou te wijten zijn aan de aanwezigheid van bakteriën specifiek voor elk van de fazen van woestijnklimaat van een lange cyclische evolutie.

SUMMARY. — Iron coatings associated with the successive lateritic crusts of High-Shaba. Constitution, structure and formation process. — Most of the lateritic crusts were covered in their last stage of formation by a laminated iron-rich coating. This coating is quite different according to the age of the crust. In High-Shaba, the observed succession is as follows : very thick dark brown with multiple thin layers for the eldest and afterwards, bright purplish red, bright or dull dark brown with an irregular net of linear excrescences, dull light brown and lastly, very thin dark reddish or brownish coatings. Their relative age is inferred from their position on steplike erosion levels and from superposition of two or several coatings on the same crust. Brown coatings are often composed of more or less hydrated goethite or alumino-goethite poor in manganese and with some impurities consisting of quartz and/or clay. Dark laminae are dryer and have a more compact structure. Purplished coatings essentially consist of hematite. Many arguments support a formation of coatings in an open air environment (weak relative density of detrital material, cross-bedding of laminae) under a very dry climate (dessication cracks, silica glaze) with the help of bacteria (botryoidal structure associated with fungal hyphae in S.E.M. images). In order to explain tertiary differentiation of coatings, bacteria would be changing from a desert phase to the other during the geological cycles.

Introduction

La plupart des cuirasses latéritiques ont été recouvertes dans une phase tardive de leur formation par un dépôt ferrugineux superficiel continu (ALEXANDRE 1978). Ces enduits d'une épaisseur variable (de quelques dizaines de micromètres à quelques centimètres) selon l'âge et selon d'autres critères, ne se limitent pas aux seules cuirasses et enrobent également certains débris qui en sont détachés voire des gravillons latéritiques libres. On les rencontre même quelquefois sur des surfaces dégagées du substrat rocheux.

Ces enduits ont tendance à recouvrir la surface entière des éléments libres sur lesquels ils se déposent. Dans le cas d'une cuirasse toutefois, ils se

limitent à la surface supérieure et aux parois des vides de quelque ampleur qui sont en communication avec cette dernière. Les enduits peuvent ainsi atteindre des profondeurs de l'ordre du mètre le long des diaclases et de plusieurs dizaines de centimètres en suivant un labyrinthe de galeries assez semblables à ceux que creusent aujourd'hui les termites.

Si les enduits couvrant la partie supérieure des cuirasses ont peu frappé l'attention, il en est fait largement état dans les références relatives aux gravillons latéritiques. En effet, la zonation des enduits confère à l'ensemble une structure oolithique qui a presque toujours été notée et quelquefois interprétée comme un enduit (TRICART 1965, McFARLANE 1976), enduit caractéristique de nodules qui ont subi un transport, c'est-à-dire superficiels (PULLAN 1967).

Dans le Haut-Shaba, une succession de cuirasses latéritiques d'âge différent a pu être reconstituée grâce à la disposition en escalier des surfaces d'érosion dans lesquelles elles sont intégrées et aux dépôts continentaux qui les encadrent (ALEXANDRE 1985). Les cuirasses de chaque âge portent les marques d'un enduit spécifique. L'ordre dans lequel se sont formés ces enduits spécifiques, est le suivant :

- a) Un enduit rubané très épais fait de nombreuses couches brun foncé et ocre par alternance (extrêmes : 7,5 YR 3/2 et 6/8). Cet enduit commence à se former autour de noyaux qui finissent par se souder par leur intermédiaire. La structure est dite pisolithique eu égard à la taille des éléments. Age probable : début du Tertiaire ;
- b) Un enduit rouge violacé (7,5 R 3/6), assez fin et très brillant. Dans le rubanement qu'il recouvre peuvent apparaître des couches ocre (7,5 YR 3/2). Age probable : mi-Tertiaire ;
- c) Un enduit brun foncé (2,5 YR 3/4 à 5 YR 3/3) brillant en surface mais dont l'intérieur est également fait d'une alternance de couches claires (5 YR 5/8 à 7,5 YR 6/8) et sombres. Age probable : fin du Tertiaire ;
- d) Un enduit ocre clair mat (7,5 YR 5/8), de même nature que les straticules claires de l'enduit précédent. Age probable : transition entre le Tertiaire et le Quaternaire ;
- e) Un enduit très fin, une patine de couleur soit brun foncé soit rouge violacé. Age probable : Quaternaire.

Il n'est pas rare que deux enduits soient superposés : l'enduit complexe se terminant par un brun foncé brillant peut recouvrir l'enduit rouge violacé et d'autre part, être dissimulé sous les couches de l'enduit ocre clair mat. Il est plus fréquent encore que l'enduit ait disparu de la surface de la cuirasse à la suite d'un contact prolongé avec l'horizon humifère. Des recherches

minutieuses en font toujours découvrir quelque lambeau abrité dans une anfractuosité ou dans une diaclase.

Quelles conditions de milieu sont responsables de ces différences entre les enduits plus ou moins anciens, quel environnement régnait au moment de leur formation et plus principalement à la fin de celle-ci, lorsque s'est élaborée la couche externe si caractéristique ? Une série d'observations faites tant sur le terrain à travers tout le Haut-Shaba qu'au laboratoire avec quelquefois des techniques d'analyse fine pour une partie des échantillons (lame mince et surface polie au microscope polarisant, photomultiplicateur d'électrons pour la réflectance, diffraction des rayons X sur poudre et lame orientée, microscope électronique à balayage, spectromètre de rayons X dispersifs en énergie) a permis de donner une première réponse à ces questions.

Observations

Les enduits ferrugineux ne contiennent pas que des oxydes ou des hydroxydes de fer. La proportion en poids de Fe_2O_3 , est en moyenne de l'ordre de 50%, avec pour certaines plages, un maximum de 85% et un minimum de 12%. Même si l'on tient compte de l'état hydraté des minéraux ferrugineux, une quantité non négligeable de composants non ferrugineux est présente dans une grande partie des enduits. Ils se présentent sous diverses formes.

- a) Des éléments détritiques, argile et quartz résiduel auquel viennent quelquefois se joindre une hématite primaire et l'ilménite, sont dispersés dans la masse ferrugineuse de cristallisation plus récente. Quelquefois, ces éléments détritiques constituent une fine laie qui souligne la disposition rubanée de l'enduit ;
- b) Certaines substances présentes dans l'enduit se sont fixées ou déplacées en relation étroite avec le fer. Il en est ainsi de l'aluminium de substitution au sein des minéraux ferrugineux, principalement la goéthite. A cet égard, aucune tendance nette à la diminution des teneurs en aluminium n'a pu être observée entre les matrices internes et les enduits. Ce phénomène ne laisse pas de surprendre, l'aluminium et le fer n'étant pas censés se mouvoir simultanément. Le manganèse, par contre, sans être absent des enduits, s'y rencontre moins fréquemment qu'au sein de la cuirasse ;
- c) Enfin, d'autres minéraux de néoformation se forment séparément des oxydes de fer, telles les fines couches de vernis siliceux transparent qui se disposent parallèlement au rubanement (fig. 4).



Fig. 1. — Enduit ocre mat. Alternance de couches massives et de couches globulaires. La couche massive du bas présente une surface botryoïde (flèche) attribuée à une activité bactérienne. Échelle : 10 μ m.

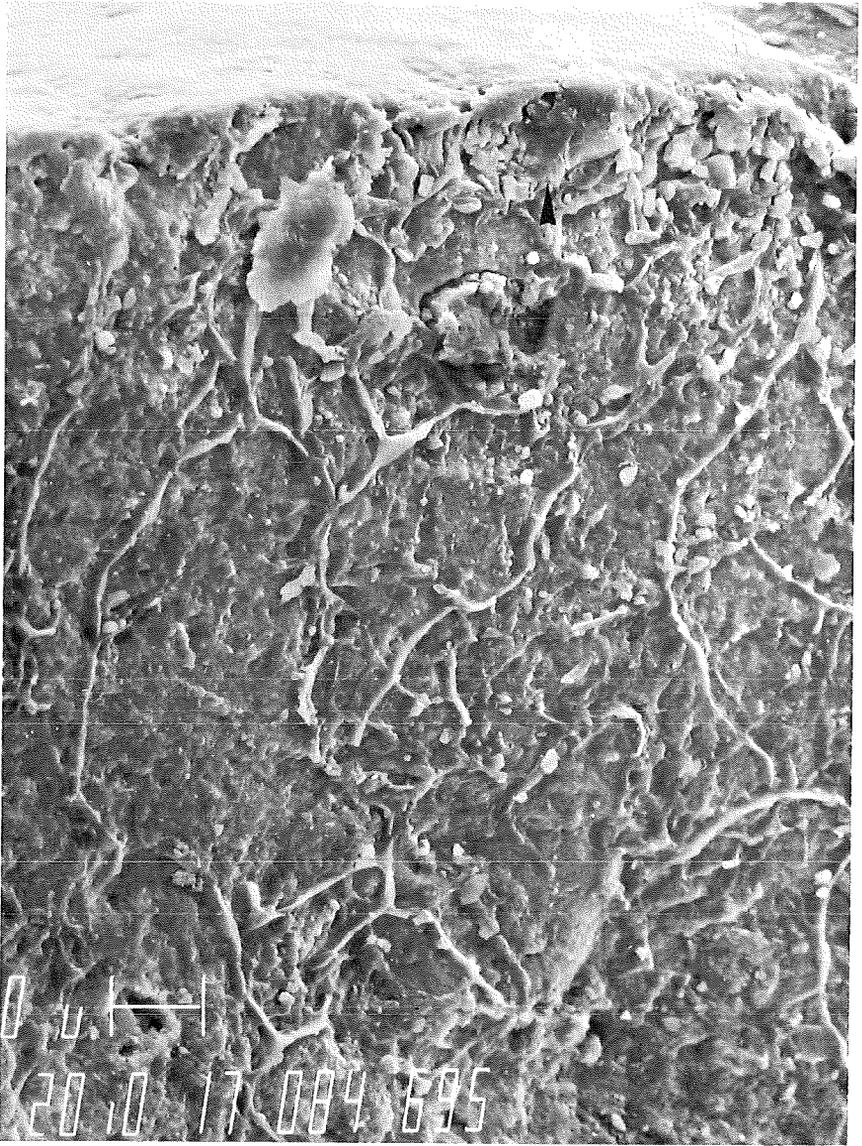


Fig. 2. — Surface extérieure de l'enduit brun foncé à sutures : surface botryoïde empâtée surmontée d'un mycelium (association de bactéries-champignons). Le remplissage d'une crevasse est montré sur la tranche (flèche). Échelle : 10 μ m.

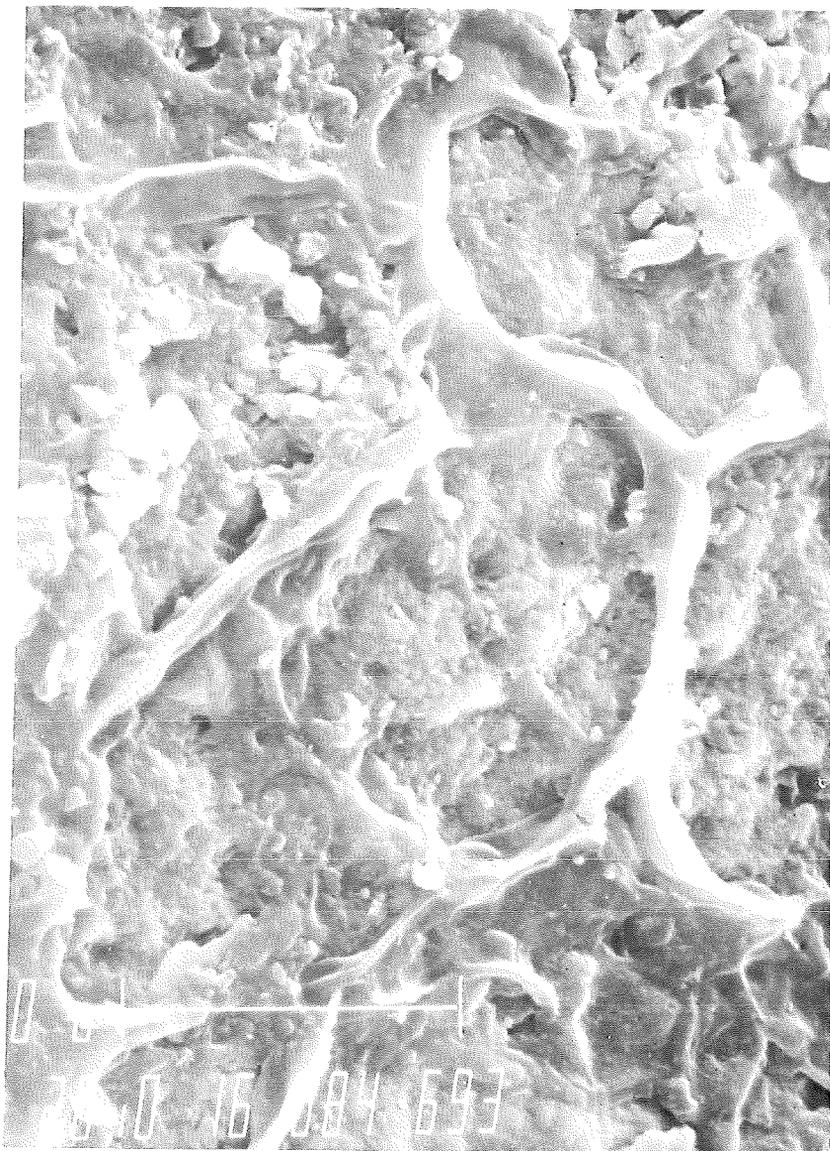


Fig. 3. — Agrandissement du mycelium de la photo précédente de la base des filaments et diverticules perpériciaux. Échelle : 10 μ m.

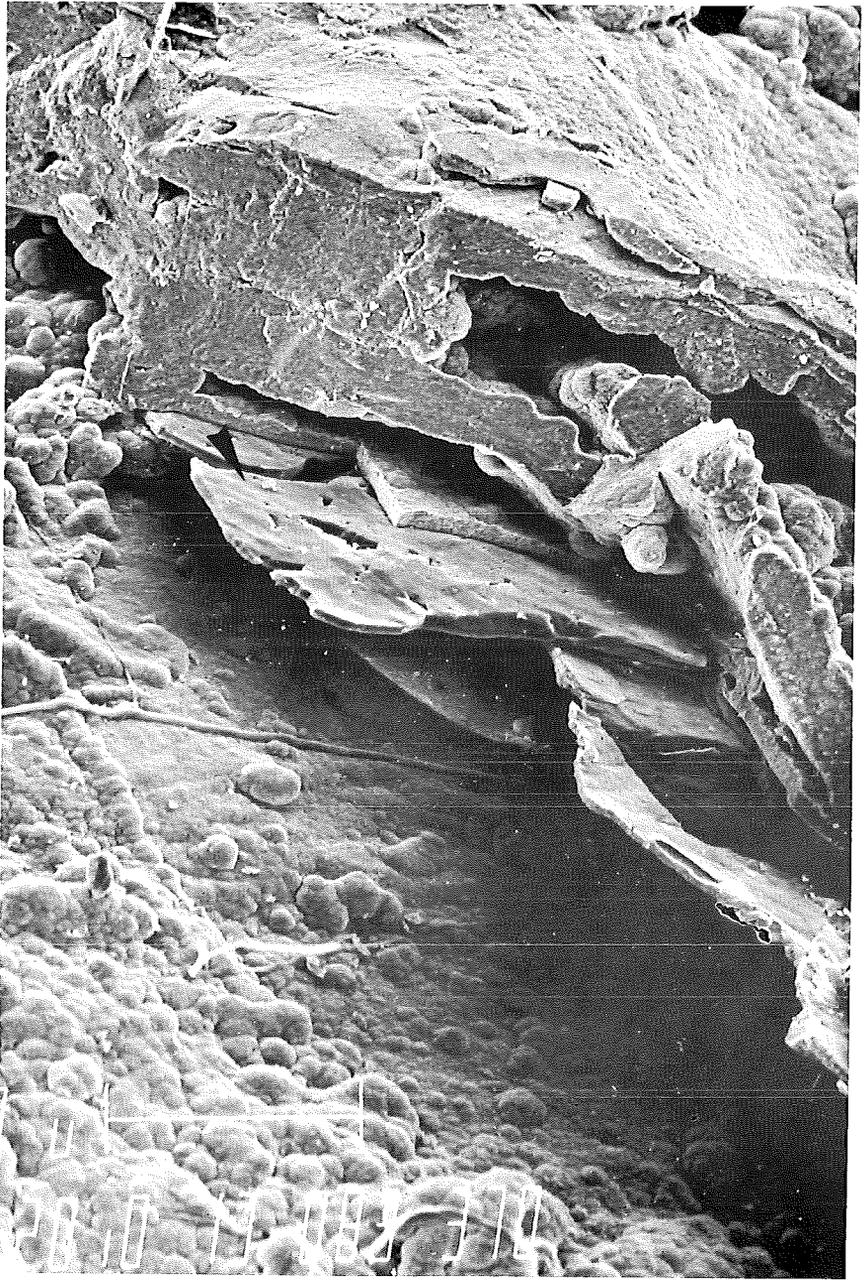


Fig. 4. — Partie externe de l'enduit le plus ancien (pisolithique, épais). Intercalation de couches botryïdes et de vernis siliceux reconnaissable par ses vides géométriques (flèche). Échelle : 100 μm .

En ce qui concerne les minéraux ferrugineux, les enduits se différencient des matrices internes des cuirasses et des nodules par la prépondérance de la goéthite sur l'hématite. Toutefois, l'enduit rouge violacé est fait d'hématite et l'enduit brun foncé brillant comporte quelquefois en son sein quelques fines couches composées d'hématite.

L'aspect rubané qui a été signalé à plusieurs reprises, est dû à l'alternance de couches claires et sombres qui correspondent à un état respectivement plus et moins hydraté des minéraux ferrugineux. Les teneurs en eau des hydrogoéthites (KANOURKOV 1970) voire des hydrohématites sont déterminées grâce à la réflectance sur sections polies de plages sans réflexion interne. Sous le microscope électronique à balayage (M.E.B.), les couches de teinte sombre paraissent assez compactes alors que les couches claires sont composées de grains équidimensionnels subarrondis (fig. 1).

Il n'est pas rare que les couches qui composent le rubanement présentent localement des divergences géométriques : certaines couches sont taillées en sifflet sous des couches qui épousent la surface du biseau. Autour des gravillons latéritiques, il peut ainsi s'édifier une disposition semblable à plusieurs étages qui n'est pas sans rappeler une stratification entrecroisée. Une telle structure a été notée par NAHON (1976) tout en lui donnant une interprétation qui s'applique difficilement aux cas présentés ici.

Le substrat sur lequel repose les enduits présente un contact assez net avec ces derniers, rarement souligné par un fin liséré d'altération. Le long des galeries, par contre, il n'est pas rare que la matrice encaissante ait été imprégnée d'oxyde de fer avant que ne se forme l'enduit qui prend dans ce cas la forme d'un tuyau dont l'épaisseur est assez homogène.

Les enduits sont affectés par de nombreuses crevasses qui ressortissent à deux types. Le premier comprend les crevasses perpendiculaires au rubanement et qui s'ouvrent à la surface extérieure. Dans un certain nombre de cas, ces crevasses sont comblées par un matériau complexe de même nature que l'enduit. A la place des crevasses, il s'édifie une excroissance qui forme ainsi un réseau de bourrelets linéaires (sutures) aux formes qui s'éloignent souvent d'un réseau de dessiccation. Il est vrai que la surface à partir de laquelle les crevasses se développent présente souvent une géométrie très contournée qui influence ce réseau. Ces bourrelets peuvent dépasser le millimètre en largeur. Les difficultés techniques et le hasard font que nous n'avons pas pu jusqu'à présent, observer la structure de ces remplissages qui, au M.E.B., paraissent assez massifs (fig. 2).

Les crevasses superficielles s'observent au microscope sur tous les enduits épais rubanés. Certaines d'entre elles apparaissent à l'œil nu sur

l'enduit le plus ancien à structure pisolithique : l'ouverture qui est en moyenne de quelques dizaines de micromètres, peut y dépasser les 100 μm . Le réseau de sutures quant à lui, est caractéristique de l'enduit brun foncé brillant.

Le second type de crevasse est strictement interne sans contact avec l'extérieur. L'orientation en est perpendiculaire ou parallèle à la stratification de l'enduit. Dans ce dernier cas, la crevasse constitue une sorte de décollement des couches et peut se combiner au réseau radial des fissures perpendiculaires. Ces crevasses sont toujours remplies de goéthite ou d'hématite presque pure. De légères figures de corrosion peuvent apparaître au contact avec l'enduit primitif. La croissance des cristaux se fait ici perpendiculairement aux parois.

Les couches externes des enduits peuvent présenter sous le M.E.B. une microstructure particulière. Des globules d'un diamètre de l'ordre du micromètre sont juxtaposés en une couche continue. Le relief de la surface supérieure peut en être assez accusé (fig. 4) ou au contraire paraître ennoyé (fig. 3). Cette couche globuleuse est quelquefois associée à un réseau de filaments évoquant un mycelium, les filaments étant élargis à leur base avec quelques filaments plus courts et perpendiculaires. La couche globuleuse peut également être en contact direct avec une couche de silice (fig. 4). Une telle disposition a été observée au sein des couches externes de l'enduit le plus ancien (structure pisolithique) et existe vraisemblablement sur l'enduit rouge violacé brillant.

Interprétation

Quels sont les mécanismes responsables de la formation des enduits ferrugineux, dans quelles conditions de milieu naturel sont-ils apparus ? Une réponse va être tentée en se fondant sur les observations résumées ci-dessus.

En premier lieu, il semble bien que les enduits se sont déposés alors que la cuirasse était dénudée et que les débris qui en dérivent séjournèrent à l'air libre. Cette hypothèse est confirmée par les faits suivants :

- a) Autour de formations latéritiques enfouies dans le sol, la fixation du fer aurait emprisonné une part plus grande de matériaux détritiques. De telles indurations ont été observées, par exemple dans les sables remaniés du plateau des Bianco (Kisa Moya) où les gravillons latéritiques d'une strate sédimentaire ont été soudés entre eux par une pellicule ferrugineuse provenant du lessivage des sables surincombants. Cette pellicule a simplement cimenté les grains de sable jointifs qui entouraient les gravillons.

- Pour expliquer la raréfaction de ce matériel détritique dans l'enduit, il faudrait invoquer un joint ouvert omniprésent autour des éléments à enrober ou encore, comme le suggère NAHON (1976) pour le massif de Ndias, une disparition sélective de ces éléments, variable d'une couche à l'autre de l'enduit et laissant indemnes des lentilles de grain de quartz ;
- b) Les traces d'érosion mécanique qui créent des lacunes au sein de l'enduit rubané et notamment les «stratifications entrecroisées» observées autour de certains gravillons, se conçoivent plus aisément en milieu subaérien. Une formation centripète (NAHON 1976) où par conséquent le groupe de couches le plus interne apparaît en dernier lieu alors qu'il est taillé en sifflet par un autre groupe de couches, reste un processus qu'il faudrait décrire par le détail ;
 - c) Enfin, une série de phénomènes qui affectent les couches internes et/ou la surface de l'enduit (degrés d'hydratation des oxydes de fer, crevasses et «sutures», couche superficielle brillante) et qui vont être invoqués dans la suite du raisonnement, s'accommodent d'une formation en milieu dégagé de toute couverture.

Au Shaba, la fixation du fer sous forme d'oxyde ou d'hydroxyde ne se produit actuellement en surface qu'à l'intervention de micro-organismes. Ceux-ci agissent selon deux processus assez différents. Sans que ces processus soient spécifiques de la zone tropicale, leur connaissance peut aider notre réflexion quant à l'origine des enduits ferrugineux.

Dans la région de Lubumbashi, des fonds de vallée évasée sans écoulement permanent sont fréquemment associés à des formations latéritiques. Dans certains d'entre eux, on peut observer dans la seconde moitié de la saison des pluies, de grandes flaques temporaires où sous l'action de micro-organismes, des hydroxydes de fer ont été précipités sous forme de gel colloïdal. Après évaporation et dessiccation, il subsiste sur les gravillons latéritiques et les débris de cuirasse une fine poussière de couleur rouille. La déshydratation est toutefois insuffisante et les hydroxydes de fer restent amorphes. Le dépôt s'est produit sous eau, en milieu acide (pH inférieur à 5).

Sur les parties régulièrement émergées du bed-rock des rivières tropicales, apparaissent des patines de teintes diverses, comme par exemple dans les chutes de la Lufira à Mwadingusha (ALEXANDRE & LEQUARRE 1975). A côté des patines formées de silice (transparente) ou de manganèse (noire), il existe de très fines couches d'oxyde de fer à des niveaux différents : rouge violacé à l'étage supérieur, brun foncé en contrebas. Toutes ces patines proviennent de la fixation sélective par des micro-organismes de substances

contenues dans l'eau de la rivière. La fixation du fer s'est effectuée directement à partir d'une eau légèrement basique (SYMOENS 1968). Les difficultés d'échantillonnage ne nous ont pas permis de vérifier la cristallinité du dépôt, encore que celui-ci paraisse fortement déshydraté.

Dans les deux cas, la fixation du fer par les micro-organismes expliquerait la netteté du contact des enduits avec leur substrat sans que celui-ci soit le siège d'une imprégnation préalable.

Le principe de chacun de ces deux processus peut être évoqué dans la formation des enduits plus particulièrement dans l'alternance de couches plus ou moins hydratées. Les strates claires sont formées de granules indépendants qui ne sont pas sans analogie avec l'oxyde de fer pulvérulent qui succède au gel colloïdal. Une meilleure cristallisation est à mettre en relation avec une déshydratation plus poussée qui favorise la pectisation, c'est-à-dire avec un climat plus sec et peut-être plus chaud que celui qui règne actuellement au Shaba. Une déshydratation prolongée contribuerait à l'indépendance de granules et pourrait être responsable des crevasses externes.

Les couches plus sombres ont une microstructure plus massive et il est difficile de les faire dériver des couches claires. La dessiccation plus poussée a dû se produire dès la fixation. Dans la zone externe de l'enduit, les couches sombres présentent une surface faite de globules juxtaposés qui est interprétée comme une croissance à partir de points de nucléation sous l'action de bactéries (DORN & OBERLANDER 1982) (1). Cette ressemblance est encore plus accusée sur l'enduit brun foncé très brillant où un mycelium est associé à la couche globulaire. Cette symbiose entre bactéries et champignons serait, toujours d'après DORN & OBERLANDER (1982), caractéristique des patines désertiques. Sur ces dernières, comme sur les patines en rivière, la fixation du fer se ferait sans l'intermédiaire d'un précipité colloïdal.

Les climats favorables aux enduits sont donc relativement arides vis-à-vis de ceux qui ont présidé à la formation des cuirasses latéritiques et qui sont peu différents du climat actuel au Shaba méridional (pluies suffisantes avec une longue saison sèche). Une phase climatique plus sèche a permis une érosion des sols et une dénudation au moins locale de la cuirasse qui s'est trouvée jonchée de débris et de gravillons résiduels. Tant que le fer a pu être mis en solution, l'enduit s'est formé par épisodes. Il s'est terminé, pour les trois cuirasses les plus élevées, sous un climat désertique, par une

(1) ESWARAN & DE CONINCK (1971) montrent des globules assez semblables dans leur forme générale dans un ferrane fait de substance amorphe. Une convergence des phénomènes n'est pas exclue.

ou plusieurs couches brillantes. Les couleurs sombres ont ensuite favorisé de forts échauffements que l'on peut tenir pour responsables des fractures et des crevasses internes.

Les affleurements de cuirasse à enduit brun foncé brillant se trouvent par ailleurs sur le plateau des Bianco encore entourés par des vestiges d'un environnement désertique (ALEXANDRE-PYRE 1971). La surface d'érosion à laquelle la cuirasse est associée porte encore les traces de champs de dunes, et, sur des blocs de quartzite, les traces d'une érosion éolienne concave (type Dreikanter) et d'un vernis désertiques siliceux. On trouve dans l'environnement de la cuirasse à enduit rouge violacé, sur la surface d'érosion qui vient s'y raccorder, des têtes de banc quartzitique dont la silicification peut être attribuée à une phase climatique très aride (ALEXANDRE 1985). Rappelons, d'autre part, que les trois premiers enduits sont caractérisés dans leur phase terminale, l'un par un réseau de crevasses suturées que l'on observe jusqu'à un mètre de profondeur le long de diaclases, les deux autres par un vernis désertique siliceux.

L'enduit ocre mat, par contre, ne s'est pas terminé sur un épisode désertique. Les enduits plus récents que ce dernier sont semblables aux patines de rivière. Elles offrent peu de renseignements dans l'état actuel de nos possibilités d'investigation.

Le fait que plusieurs enduits puissent être superposés montre bien que seul importe le site local — un fond de vallée évasée ou un rebord de versant — dans la mesure où il favorise l'arrivée d'eaux riches en sels de fer. L'enfoncement des niveaux de base et la dissection du relief n'ont eu qu'une influence secondaire sur la formation des enduits les plus anciens.

Les paléoclimats semi-arides et arides, par contre, par leur influence sur les processus d'érosion, sur l'activité des micro-organismes et sur le comportement des dépôts ferrugineux hydratés, ont, en provoquant la formation des enduits ferrugineux, marqué les cuirasses latéritiques de façon durable. Des enquêtes complémentaires sont en cours afin de préciser ou éclaircir certains points signalés dans le texte et de contrôler la généralisation de certaines observations.

REMERCIEMENTS

De nombreuses personnes nous ont aidés dans nos investigations de laboratoire : le professeur A. Beugnies, pour la mesure de la réflectance des minéraux ; le professeur P. Bourguignon, pour les analyses chimiques traditionnelles ; le professeur F. Dimanche, pour les observations sur surface

polie ; le professeur G. Goffinet, pour les observations au microscope électronique à balayage ; M. A. Greday et M. J. C. Herman du Centre de Recherches Métallurgiques, pour les analyses chimiques de rayons X dispersifs en énergie ; le professeur J. Thorez pour les analyses minéralogiques par diffraction des rayons X. Qu'ils reçoivent tous l'expression de notre gratitude.

BIBLIOGRAPHIE

- ALEXANDRE, J. 1978. Les stades de la formation des cuirasses latéritiques en Haut-Shaba (Zaïre) et leur signification géomorphologique. — *Trav. et Doc. de Géogr. trop., CEGET*, **33** : 133-149.
- ALEXANDRE, J. 1985. Critères pour une datation relative des cuirasses latéritiques. — *Bull. Séanc. Acad. r. Sci. Outre-Mer*, **30** (1984-2) (sous presse).
- ALEXANDRE, J. & LEQUARRE, A. 1978. Essai de datation des formes d'érosion dans les chutes et les rapides du Shaba. — *Geo-Eco-Trop.*, **2** : 279-286.
- ALEXANDRE-PYRE, S. 1971. Le plateau des Bianco (Katanga). Géologie et géomorphologie. — *Mém. Acad. r. Sci. Outre-Mer*, Cl. Sci. nat. méd., nouv. sér., in-8°, **18** (3), 151 pp.
- DORN, R. I. & OBERLANDER, T. M. 1982. Rock varnish. — *Progress in Physical Geogr.*, **6** (3) : 317-367.
- ESWARAN, H. & DE CONINCK, F. 1971. Clay mineral formations and transformations in basaltic soils in tropical environments. — *Pédologie*, **21** (2) : 181-203.
- HOOKE, R., YANG, H. & WEIBLEN, P. W. 1969. Desert varnish : an electron microprobe study. — *J. of Geol.*, **77** : 275-288.
- KANOURKOV, G. 1970. La classification des limonites. — *Ann. Soc. géol. Belg.*, **93** : 331-336.
- McFARLANE, M. J. 1976. Laterite and landscape. — Academic Press, 151 pp.
- NAHON, D. 1976. Cuirasses ferrugineuses et encroûtements calcaires au Sénégal occidental et en Mauritanie. Systèmes évolutifs : géochimie, structures, relais et coexistence. — *Sciences Géologiques*, Strasbourg, **44**, 232 pp.
- PULLAN, R. A. 1967. A morphological classification of lateritic ironstones and ferruginised rocks in Northern Nigeria. — *Nigerian J. Sci.*, **1** (2) : 161-174.
- SYMOENS, J. J. 1968. La minéralisation des eaux naturelles. — *In* : Exploration hydrobiologique du bassin du lac Bangweolo et du Luapula, **2** (1), 199 pp.
- TRICART, J. 1958. Observations sur le façonnement des rapides des rivières inter-tropicales. — *Bull. Sect. de Géog., Comité des Trav. hist. et scient.*, 289-313.