

Morphologie des quartz d'une couverture ferrallitique dégradée par hydromorphie

Emmanuel FRITSCH

Pédologue ORSTOM, C.P.B.-CNRS, 17, rue Notre Dame des Pauvres BP 5 — 54501 Vandœuvre-Les-Nancy cédex

RÉSUMÉ

Dans la partie sommitale et supérieure d'une couverture pédologique de Guyane française, l'accumulation résiduelle de quartz s'accompagne d'une modification de leur morphologie.

Les caractères acquis à la surface de ces quartz traduisent une altération chimique des grains. Leur changement d'aspect est relié à la dégradation par hydromorphie de la partie supérieure de la couverture ferrallitique étudiée. Il est attribué à deux modalités dans l'altération superficielle des quartz.

Ainsi, dans des organisations ferrallitiques suffisamment drainées, l'altération des grains est guidée par les structures cristallographiques du quartz. Par destabilisation très superficielle du réseau cristallin, la dissolution donne des surfaces luisantes et des formes géométriques en relief et en creux. Dans des organisations meubles supérieures, périodiquement engorgées, l'altération des quartz aboutit par désorganisation plus profonde du réseau cristallin puis par desquamations successives à une sphéritisation des grains. Cette corrosion donne aux surfaces un aspect mat, buriné finement piqueté.

MOTS-CLÉS : Quartz — Réseau cristallin — Formes géométriques en relief et en creux — Desquamation — Dissolution.

ABSTRACT

QUARTZ MORPHOSCOPY IN FERRALLITIC MANTLE MODIFIED BY AN HYDROMORPHIC PROCESS

On the top of a hill in French Guyana, the residual quartz accumulation in the upper part of the soil is accompanied by a modification of its morphology.

Chemical weathering of the grains gives the surface of the quartz new features. The changed aspect is related to hydromorphical degradation in the upper part of the ferrallitic soil under study. This change is attributable to two kinds of superficial quartz weathering.

Thus, in ferrallitic organizations which are sufficiently drained, the grain weathering is guided by the crystallographic structure of quartz. By a very superficial, destabilization of the crystalline network, the dissolution creates shiny surfaces with geometric forms in reliefs and depressions. In the upper layers of soil, periodically engorged by water, the weathering of the quartz starts with a deeper disorganization of the crystalline network, continues with successive desquamations and ends up as spherical grains. This corrosion gives the surface a dull aspect, finely etched with spots.

KEY WORDS : Quartz — Crystalline network — Geometric forms in reliefs and depressions — Desquamation — Dissolution.

1. CADRE DE L'ÉTUDE

La zone d'étude est située dans la partie centrale et septentrionale de la Guyane française, à 25 km au Sud de la zone côtière. Le climat, de type équatorial humide (AUBREVILLE, 1950), se caractérise par un total annuel de précipitations élevé (3100 à 3500 mm : ROCHE, 1982) réparti en deux saisons des pluies et par des intensités d'averses généralement fortes.

Les formations géologiques, connues exclusivement par leur faciès d'altération, appartiennent à une série schistogréseuse stratifiée à faciès flysch dans laquelle la granitisation aurait engendré une multitude de corps pegmatitiques en filons ou en lentilles (CHOUBERT, 1978 ; MAZEAS, 1961). Ces faciès sont affectés par une schistosité subverticale et une direction générale W.NW-E.SE (CHOUBERT, 1978). Ils sont composés principalement de quartz et de muscovite, minéraux primaires considérés parmi les plus stables dans l'échelle d'altérabilité des minéraux endogènes (GOLDICH, 1938).

Les formations pédologiques sont apparentées au domaine ferrallitique et sont couvertes d'une forêt dense ombrophile sempervirente. De nombreux travaux (LIM et THACH, 1977 ; HUMBEL, 1978 ; FRITSCH, 1979 ; BOULET, 1978, 1981 ; BOULET, BRUGIERE, HUMBEL, 1979 ; FRITSCH, 1981 ; GUEL, 1981 ; ROCHE, 1982 ; FRITSCH, 1984) tendent à confirmer la transformation sur place, par engorgements successifs, de ces couvertures ferrallitiques. Dans le paysage schisteux, le pourcentage élevé de couvertures affectées par cette hydromorphie secondaire témoigne bien d'un milieu particulièrement agressif dans lequel les transformations secondaires et l'érosion chimique qui en résulte ont profondément modifié la morphologie interne et externe de ces couvertures.

Dans ce contexte, l'analyse minéralogique et structurale d'un interfluve de 16 ha (FRITSCH *et al.*, 1986) a permis de mieux caractériser ces transformations secondaires et d'en définir les principales étapes. A l'échelle de cet interfluve, les transformations les plus spectaculaires s'observent dans sa partie sommitale. Elles traduisent, sur environ 60 cm de profondeur, une nette accentuation de la dégradation du plasma argilo-ferrugineux.

L'ensemble meuble supérieur affecté par cette dégradation comprend deux compartiments directement superposés et d'épaisseur sensiblement équivalente. Verticalement du compartiment supérieur vers le compartiment inférieur, les transformations minéralogiques sont successivement soustractives puis additives. La soustraction du fer et de la kaolinite dans le compartiment supérieur entraîne une accumulation résiduelle de quartz. L'accumulation de ce fer dans le compartiment inférieur favorise le concrétionnement et l'individualisation de fragments d'altos.

Cette évolution développe ainsi une macroporosité de type interstitiel dans le compartiment supérieur et entraîne progressivement une imperméabilisation du compartiment inférieur. Elle est propice à l'installation d'une nappe perchée en saison pluvieuse.

L'ensemble d'altération, localisé à faible profondeur (80 cm environ), est préservé de ces transformations secondaires. Ses principales caractéristiques sont identiques à celles observées dans les couvertures ferrallitiques avoisinantes non dégradées.

Ainsi, le développement in situ d'organisations de transformation dans la partie supérieure de certaines couvertures ferrallitiques s'accompagne d'une nette péjoration de la dynamique verticale de l'eau et d'un développement simultané de zones à engorgement temporaire.

2. CHOIX DES PRÉLÈVEMENTS

Dans l'interfluve pré-cité, les quartz ont été prélevés dans sa partie sommitale à deux niveaux de profondeur : — dans l'ensemble d'altération. Cet ensemble étant constitué d'une altérite schisteuse à nombreuses intrusions pegmatitiques subverticales, deux prélèvements ont été réalisés à 1,5 m : l'un dans l'altérite schisteuse, l'autre dans une intrusion pegmatitique, — dans l'ensemble meuble supérieur délimitant, en saison pluvieuse, le magasin de la nappe perchée. Le prélèvement a été effectué à 30 cm de profondeur dans son compartiment supérieur le plus sableux (horizon jaune pâle verdâtre S.A.).

3. INTÉRÊT DU SITE ÉTUDIÉ ET DU CHOIX DES PRÉLÈVEMENTS

La connaissance du milieu hydro-pédologique nous amène à considérer les quartz comme résiduels d'une évolution géochimique sur place. Dans la zone de prélèvement (sommet d'interfluve), elle nous autorise à relier génétiquement les quartz de l'ensemble meuble supérieur à ceux de l'ensemble d'altération. A cette filiation verticale, des régimes hydriques très contrastés doivent être opposés (milieu suffisamment drainé dans l'ensemble d'altération, milieu confiné dans l'ensemble meuble supérieur).

De ce fait, les principaux caractères acquis à la surface des grains de quartz seront dus principalement à l'intervention de facteurs chimiques (phénomènes de dissolution du quartz et éventuellement de reprécipitation de silice). Les facteurs mécaniques seront limités à l'ensemble meuble supérieur et pourront être attribués à des remaniements in situ (chute des arbres : chablis, activité biologique : vers de terre). D'autre part, la

modification verticale de ces caractères (de bas en haut) ne pourra être corrélée qu'au développement d'une hydromorphie secondaire dans la partie supérieure de la couverture ferrallitique. La description de ces caractères fera l'objet de cette étude.

4. IDENTIFICATION DU QUARTZ

Par simple tamisage et après lavage sous l'eau, la couleur (translucide à blanc vitreux), l'absence de clivage, la dureté, l'éclat (luisant à mat), la forme permettent une identification rapide des grains de quartz.

Au microscope optique, le quartz se présente le plus souvent en cristaux xénomorphes de forme très variée. En lumière naturelle, il apparaît incolore et contient parfois des inclusions solides rougeâtres de rutile sous forme de fines aiguilles. La déformation du réseau cristallin de certains grains est mise en évidence par une extinction ondulante. Ces déformations sont généralement attribuées à un environnement métamorphique et éventuellement à des contraintes tectoniques.

Au microscope électronique à balayage (MEB), l'adjonction d'un micro-analyseur par spectrométrie de rayons X dispersive en énergie permet l'identification du quartz dans les cas litigieux.

5. ASPECTS DES QUARTZ DANS L'ENSEMBLE D'ALTÉRATION

5.1. Examens méso et microscopiques

Sous loupe binoculaire, les grains de quartz de l'ensemble d'altération une fois lavés à l'eau présentent un éclat luisant, des formes subanguleuses et des contours irréguliers, émoussés. Ceux prélevés dans l'intrusion pegmatitique se différencient des autres par des contours plus anguleux, un plus grand nombre de fissures et par des plages fortement cariées.

Au microscope optique, l'examen de ces quartz sur lames minces permet de préciser la taille, la forme et le type d'assemblage qu'ils définissent avec le plasma (BREWER, 1964).

Dans l'altérite schisteuse, les grains de quartz sont juxtaposés, en proportion sensiblement équivalente, aux éléments micacés. Ils définissent avec le plasma kaolinique rouge un assemblage porphyrosquelique. Leurs dimensions varient des limons grossiers aux sables grossiers avec prédominance de sables fins. Les grains de grande taille peuvent être fissurés et incrustés d'oxydes de fer ou être reliés deux par deux par un fin pédonucle. Leur contour externe, émoussé, est souvent irrégulier (aspérités subanguleuses, bords lobés...). La limite est nette. Certains rebords de quartz n'adhèrent pas

directement au plasma adjacent (présence en discontinuité d'un vide périgranulaire).

Dans les intrusions pegmatitiques, les quartz et les micas sont de plus grande taille (< 5 cm). Ces minéraux constituent un assemblage granulaire à la base des intrusions devenant porphyrosquelique en leur sommet. Ce gradient vertical résulte d'un accroissement de bas en haut d'un plasma silasépique par microfissuration et kaolinitisation des micas. Dans ces pegmatites altérées, les quartz, fissurés, polycristallins lorsqu'ils sont en place, ont des contours beaucoup plus irréguliers à arêtes anguleuses et à nombreux golfes de corrosion.

5.2. Examens ultramicroscopiques

L'examen des grains de quartz (Pl. I, photos 1 et 2) au microscope électronique à balayage fait apparaître des figures très variées. Ces figures ont, le plus souvent, des formes géométriques très nettes. Elles peuvent être classées dans deux catégories distinctes : les figures en relief et les figures en creux.

LES FIGURES EN RELIEF

Certaines surfaces planes des quartz se caractérisent latéralement par l'individualisation progressive de pointements pyramidaux (Pl. I, photo 3). Lorsqu'elles sont bien individualisées, les pointes sont non seulement emboîtées les unes dans les autres mais aussi juxtaposées et jointives à leur base. Les arêtes de ces pointes pyramidées sont le plus souvent vives. L'aspect émoussé de certaines d'entre elles est lié à la présence de fines écailles de desquamation (Pl. I, photo 4).

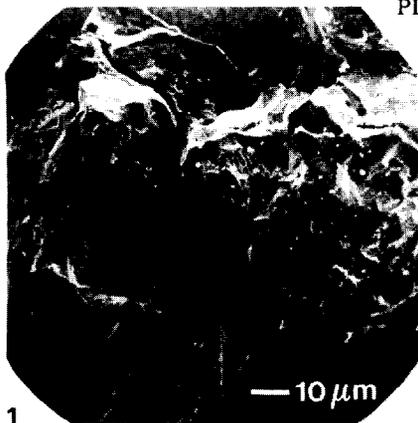
Par ailleurs, certaines de ces pointes peuvent être décalées les unes par rapport aux autres. Quand le décalage devient net, les figures présentent un aspect en marche d'escalier (Pl. I, photos 5 et 6 ; Pl. II, photo 2). A des grossissements plus faibles, les pointes pyramidées et les marches d'escalier s'observent sur des faces différentes du quartz. Ces faces forment entre elles un angle obtus (Pl. II, photo 1). Ces observations sont encore plus spectaculaires lorsque la forme automorphe du quartz est conservée (Pl. II, photos 3 et 4).

De telles figures ont été observées et décrites par de nombreux auteurs (LENEUF, 1972, 1973 ; ESWARAN et RAGHU MOHAN, 1973 ; KRINSLEY et DOORNKAMP, 1973 ; SOOPS, 1974 ; ESWARAN *et al.*, 1978 ; BUOL et ESWARAN, 1978 ; ESWARAN et STOOPS, 1979 ; LEPRUN, 1979, 1981 ; MULLER, 1979 ; MULLER *et al.*, 1981 ; FLAGEOLLET, 1981 ; CHAUVEL *et al.*, 1983 ; FRITSCH, 1984 ; ESCHENBRENNER, 1987).

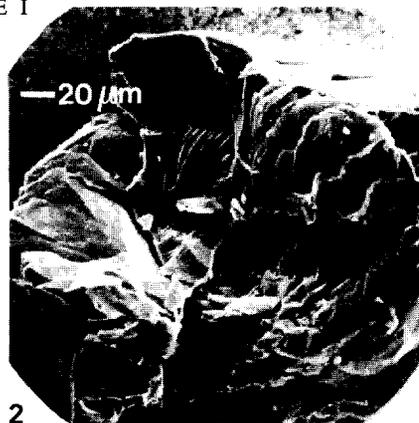
LES FIGURES EN CREUX

D'autres surfaces planes des quartz montrent quelques petites cavités isolées de forme tétraédrique (Pl. II, photo 5). Latéralement, sur une même surface, ces

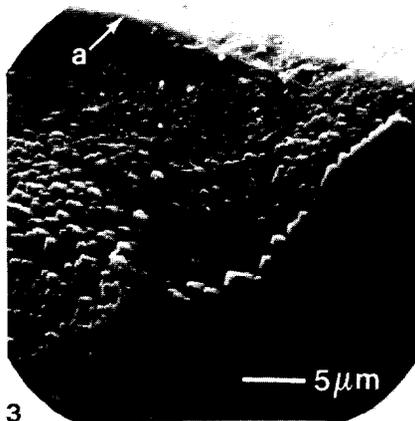
PLANCHE I



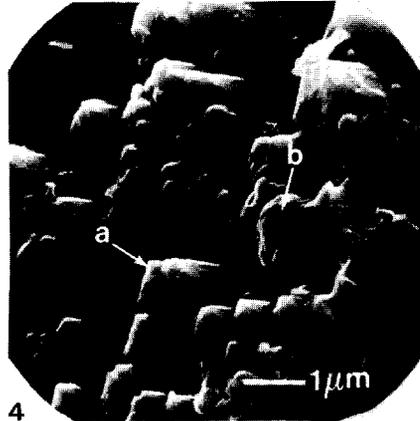
1
PHOTO 1. — Vue d'ensemble d'un grain de quartz prélevé dans l'altérite schisteuse



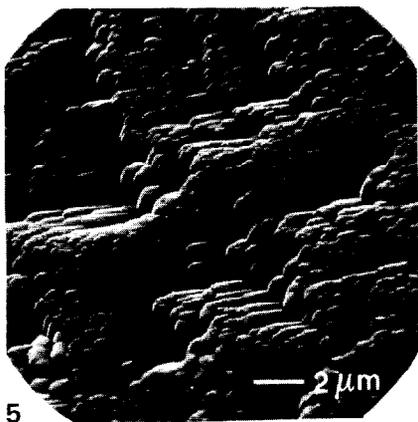
2
PHOTO 2. — Vue d'ensemble d'un grain de quartz prélevé dans une intrusion pegmatitique. A noter par rapport à la photo 1 : des rebords à arêtes plus anguleuses et une zone fortement cariée (en bas à droite)



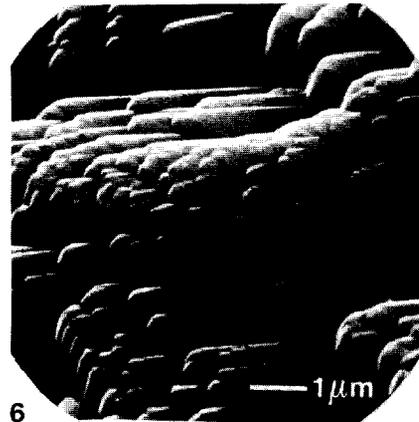
3
PHOTO 3. — Surfaces cristallines d'un quartz délimitées par une crête (a). A partir d'une surface plane (en haut), individualisation progressive de pointements pyramidaux (en bas à gauche)



4
PHOTO 4. — Détail de la photo 3. Pointes pyramidées emboîtées, juxtaposées à arêtes vives (a) ou émoussées (b). L'aspect émoussé est dû à une desquamation des pointes en petites écailles

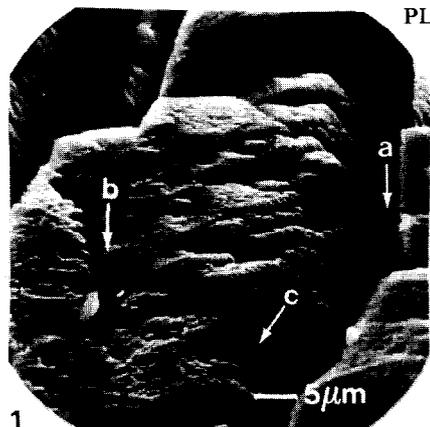


5
PHOTO 5. — Pointes pyramidées emboîtées, juxtaposées et décalées. Lorsque le décalage est marqué, tendance à l'apparition de marches d'escalier



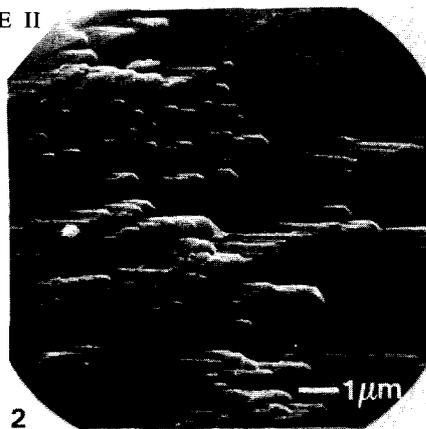
6
PHOTO 6. — Détail de la photo 5. Le décalage des pointes, peu marqué au centre de la photo (zone bombée), l'est plus ailleurs (zone incurvée)

PLANCHE II



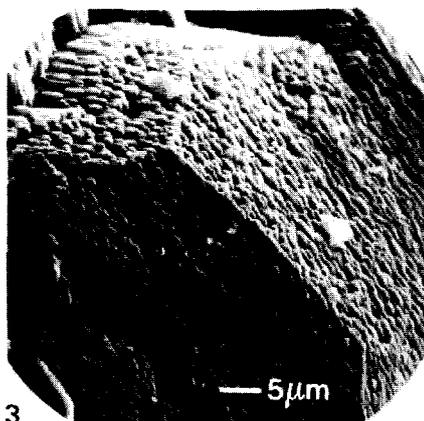
1

PHOTO 1. — Détail de la photo 2 (planche I). Dans la zone cariée du quartz : fissures intracrystallines de dissolution (a), parallèles entre elles. Sur une surface du fragment de quartz : figures en marches d'escalier (b). Sur une autre surface : groupement de pointes pyramidées (c)



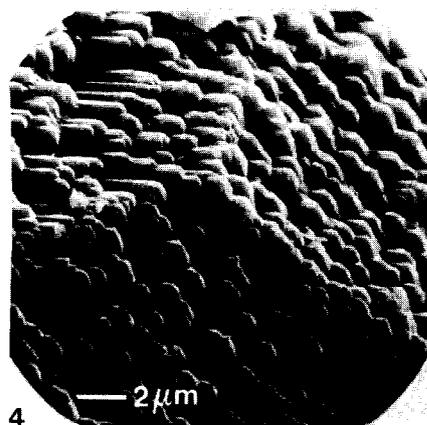
2

PHOTO 2. — Détail de la photo 1. Marches d'escalier plus ou moins décalées à arêtes pyramidées



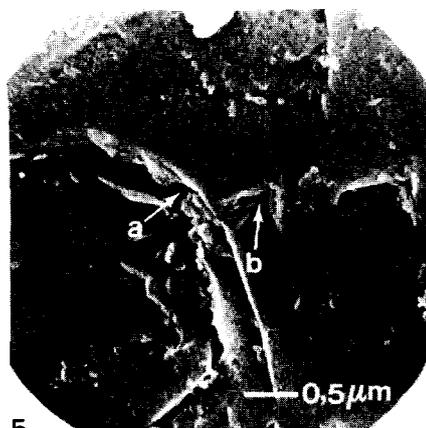
3

PHOTO 3. — Structure prismatique d'un quartz automorphe. Les faces du cristal présentent de nombreuses figures en relief



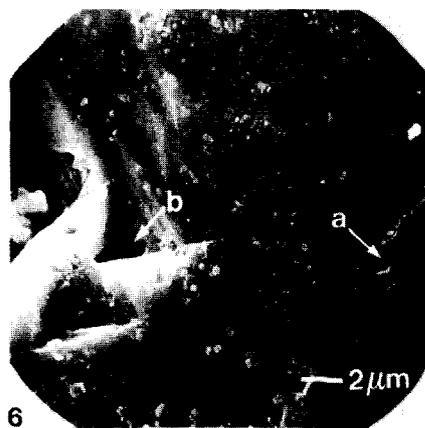
4

PHOTO 4. — Détail de la photo 3. Arêtes d'un trièdre délimitant trois surfaces cristallines. Sur deux d'entre elles : groupement de pointes pyramidées. Sur la troisième (en haut à gauche) : marches d'escalier



5

PHOTO 5. — Détail d'une surface plane présentant des figures en coupe d'angle (a) et de petites cavités de forme tétraédrique (b). Quelques fines écailles de desquamation se dégagent de la surface plane



6

PHOTO 6. — Détail d'une surface plane : cavité allongée d'inclusion solide (a), cavité tétraédrique (b) faisant nettement apparaître un emboîtement, légèrement décalé, de plusieurs trièdres

cavités peuvent s'agrandir et se répéter. Leur agrandissement fait souvent apparaître un emboîtement de plusieurs tétraèdres (Pl. II, photo 6). La répétition de ces figures sur une même surface amène plusieurs remarques :

— les angles homologues de ces tétraèdres sont tous égaux et leurs faces sont parallèles (Pl. III, photo 1). Ces angles sont caractéristiques du système cristallin rhomboédrique du quartz,

— les bases des tétraèdres peuvent être situées dans un même plan matérialisé par la surface externe du quartz ou être légèrement décalées par rapport à cette dernière. Dans ce deuxième cas, des plans discontinus parallèles entre eux apparaissent décalés et superposés (Pl. III, photo 2).

Enfin en s'accroissant parfois d'une façon très localisée, ce micro-découpage créé un édifice caveux. Cet édifice est constitué d'une superposition ou d'une juxtaposition de plans discontinus et de chevrons parallèles entre eux (Pl. III, photo 3 et 4). Ces derniers sont eux-mêmes percés de petites cavités tétraédriques (Pl. III, photo 4) constituant, de ce fait le point de départ d'une nouvelle séquence évolutive.

Ces figures en creux, moins fréquentes que les précédentes, ont été décrites par LE RIBAUT (1971, 1977), LENEUF (1972, 1973), KRINSLEY et DOORNKAMP (1973), DOUGLAS et PLATT (1977), BUOL et ESWARAN (1978), LITTLE *et al.* (1978), ESWARAN et STOOPS (1979), LEPRUN (1979, 1981), FLAGEOLLET (1981), FRITSCH (1984), ESCHENBRENNER (1987).

Signalons également la présence éparse sur certaines de ces surfaces de petites écailles de desquamation, de particules en placage ainsi que des figures en coupure d'ongle et de fines cavités allongées. Ces dernières peuvent être attribuées respectivement aux déformations du

réseau cristallin et à la présence ancienne d'inclusions qui constituent autant de points de faiblesse au sein de l'édifice cristallin (LE RIBAUT, 1977).

LES RELATIONS STRUCTURALES DES FIGURES EN RELIEF ET EN CREUX

Les figures en relief et en creux coexistent sur un même grain mais s'observent toujours sur des plans cristallographiques différents (Pl. III, photos 5 et 6). Lorsque les figures en creux sont suffisamment développées, les arêtes des chevrons sont prolongées par des pointements pyramidaux (Pl. III, photo 6). Ces deux figures reproduisent ainsi en de nombreux exemplaires et d'une façon incomplète la forme hexagonale bipyramidée des quartz automorphes (CLOCCHIATTI, 1975). Il est de ce fait logique d'observer les formes en relief (pointes ou crêtes pyramidées, marches d'escalier) sur des plans réticulaires perpendiculaires ou obliques au sens de l'allongement du cristal (Ng) c'est-à-dire sur des plans sensiblement parallèles aux faces pyramidées du quartz et les formes en creux (tétraèdres, chevrons...) sur des plans parallèles à Ng c'est-à-dire sur des plans parallèles aux faces du prisme hexagonal (fig. 1).

LA SIGNIFICATION DE CES FIGURES EN TERME D'ALTÉRATION

Si les figures en creux sont très généralement attribuées à la dissolution du quartz, les figures en relief ont fait l'objet d'une controverse. Ainsi, ces dernières furent interprétées dans un premier temps comme des figures de croissance cristalline (LENEUF, 1972 ; ESWARAN et RAGHU MOHAN, 1973 ; KRINSLEY et DOORNKAMP, 1973) puis, à l'inverse, dans un second temps, comme des figures de décroissance cristalline (LENEUF, 1973 ; STOOPS, 1974 ; FRITSCH, 1984 ; ESCHENBRENNER, 1987).

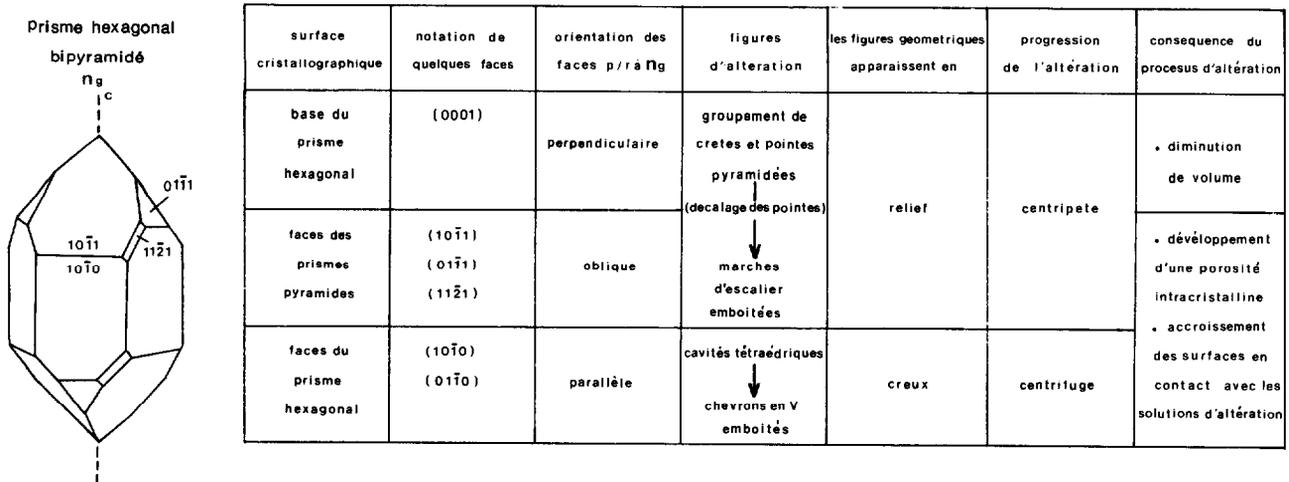
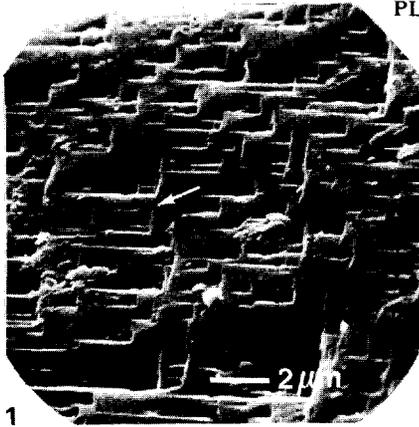
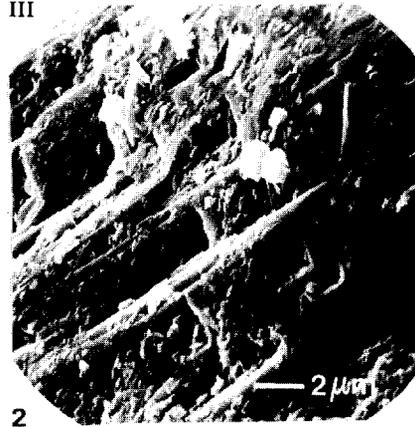


FIG. 1. — L'altération du quartz guidée par ses directions cristallographiques



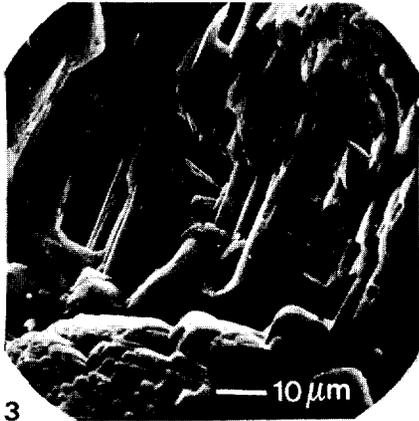
1

PHOTO 1. — Très nombreuses cavités tétraédriques de dimension variable. Les angles homologues de ces trièdres sont tous égaux et leurs faces sont parallèles. En étant commune à plusieurs de ces trièdres, l'une de ces faces souligne une nette orientation (flèche sur la photo) de ces figures. Les bases de ces trièdres sont situées dans un même plan, matérialisé par la surface externe du quartz



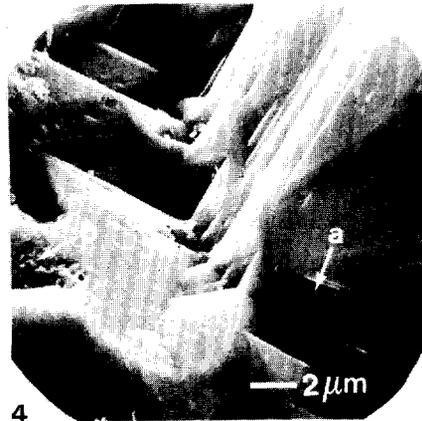
2

PHOTO 2. — Cavités tétraédriques avec de nombreuses particules en placage. Contrairement à la photo 1, les bases des trièdres ne sont plus situées dans un même plan. Le décalage fait apparaître des plans discontinus, décalés et superposés



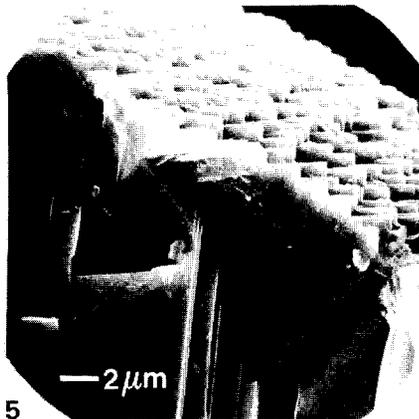
3

PHOTO 3. — Edifice caverneux à plans discontinus ou chevrons disposés parallèlement les uns par rapport aux autres. En bas à gauche, groupement de pointes pyramidées



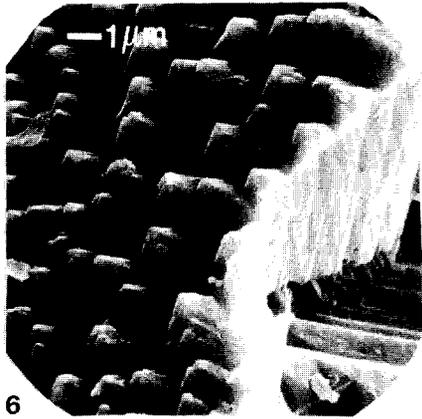
4

PHOTO 4. — Emboîtement parallèle de plusieurs chevrons à arêtes vives (angles : 30°, 60°, 90°, 120°) délimitant une cavité globalement tétraédrique. Sur les faces lissées des chevrons, s'individualisent de petites cavités tétraédriques (a). Localement, présence de fines écailles de desquamation (b)



5

PHOTO 5. — Les crêtes pyramidées en dent de scie et les chevrons en V s'observent sur des plans cristallographiques différents ; localement, fines écailles de desquamation parfois détachées et en placage



6

PHOTO 6. — Les arêtes des chevrons sont prolongées par les pointements pyramidaux, ces deux figures reproduisant d'une façon incomplète la structure hexagonale bipyramidée du quartz

En définitive, la coexistence sur un même grain de ces deux types de figure (parfois sur des distances très courtes), la présence dans des échantillons en place d'un vide périgranulaire (cas de quartz encore associé à des micas (Pl. IV, photos 1 et 2) ou de quartz paraissant « flotter » dans un plasma argilo-ferrugineux) et la mise en relief d'inclusions solides (Pl. IV, photo 3) sont autant d'arguments en faveur d'une dissolution du quartz. En outre, les relations structurales établies entre ces différentes figures montrent que la dissolution de ce minéral est guidée par ses directions cristallographiques.

Nous en déduisons que les figures en relief produisent une diminution de volume du grain de quartz et que les figures en creux développent une porosité intracristalline. L'altération superficielle du quartz progresse ainsi d'une façon centripète dans le premier cas et d'une façon centrifuge dans le second cas. Enfin, les figures en creux sont les seules à donner au minéral un aspect fortement carié. Elles accroissent les surfaces en contact avec les solutions d'altération et accélèrent de ce fait la dissolution (cf. fig. 1).

Cette solubilisation du quartz a été démontrée par WEY et SIFFERT (1961), FAUCK (1970, 1971, 1974), MILLOT et FAUCK (1971), CLAISSE (1972).

L'ÉVOLUTION DIFFÉRENTIELLE ENTRE L'ALTÉRITE SCHISTEUSE ET LES INTRUSIONS PEGMATITIQUES

Les grains de quartz, très souvent cariés dans les intrusions pegmatitiques, le sont peu dans l'altérite schisteuse. Ils ont tous des figures géométriques en relief mais des figures en creux nombreuses uniquement lorsqu'ils sont issus des intrusions pegmatitiques. Nous en déduisons à la fois des possibilités de dissolution différentes suivant les directions cristallographiques du quartz (ESCHENBRENNER, 1987) et une nette accentuation de la dissolution dans les intrusions pegmatitiques.

Dans l'altérite schisteuse, la dissolution lente se fait principalement dans le sens de l'allongement du cristal. Elle affecte essentiellement les plans à faible densité réticulaire (faces pyramidées du prisme). En s'accroissant, elle finit par affecter aussi les plans à forte densité réticulaire (faces hexagonales de ce prisme). La solubilisation accrue du quartz dans les intrusions pegmatitiques s'explique par une nette amélioration du drainage interne assurée par une macroporosité de type interstitiel (assemblage granulaire).

Signalons également que les figures de desquamation peu fréquentes à la surface des grains de quartz, le sont encore moins dans les intrusions pegmatitiques.

6. ASPECTS DES QUARTZ DANS L'ENSEMBLE MEUBLE SUPÉRIEUR

6.1. Examens méso et microscopiques

Sous loupe binoculaire, la majeure partie des grains de quartz de l'ensemble meuble supérieur présente un aspect mat, des formes ovoïdes et une surface finement piquetée. D'autres, tout en conservant l'aspect mat finement piqueté, ont des contours plus irréguliers et des zones cariées. Ces deux catégories de quartz, bien qu'étant prélevées dans un même échantillon, permettent de par leur aspect d'en définir la provenance. Les premiers sont issus de l'altérite schisteuse, les seconds des intrusions pegmatitiques. Enfin, certains quartz montrent des cassures franches à surface luisante qui apparaissent planes et lissées au microscope électronique à balayage (Pl. IV, photos 4 et 5). Ces figures, les plus récentes, sont attribuées à des contraintes mécaniques.

Au microscope optique et sur lames minces, les grains de quartz, presque jointifs, définissent avec un plasma kaolinique jaune pâle, peu abondant, un assemblage aggloméroplasmique. Généralement arrondis, ils peuvent présenter, à leur périphérie, des écailles à arêtes anguleuses à subanguleuses. Ces écailles sont reliées en continuité à la partie interne du quartz sain. Localement, la limite externe des grains peut devenir floue en lumière normale et faire apparaître un mince liseré anisotrope en lumière polarisée. Ces liserés correspondent à un revêtement discontinu de silice amorphe à la surface des quartz.

6.2. Examens ultramicroscopiques

Au microscope électronique à balayage et à faible grossissement, l'examen des quartz fait ressortir la forme nettement arrondie de ces grains (Pl. IV, photo 4), parfois interrompue par des cassures franches à surface plane lissée (Pl. IV, photo 5).

A des grossissements plus grands, les figures observées ont souvent des contours très tortueux. Elles peuvent être classées dans les trois catégories suivantes : les figures en creux, les figures de desquamation et les figures de revêtement.

LES FIGURES EN CREUX

Localement, la surface des grains de quartz fait apparaître des figures en creux (Pl. V, photos 1 et 2) sensiblement identiques à celles décrites dans l'ensemble d'altération (cavités tétraédriques, chevrons en V). Comme pour ce dernier ensemble, le regroupement de ces figures montre qu'elles présentent toutes la même orientation (quelle que soit leur taille) et que leurs angles homologues sont tous égaux. Toutefois, la desquamation de leur surface estompe ici leur forme géométrique.

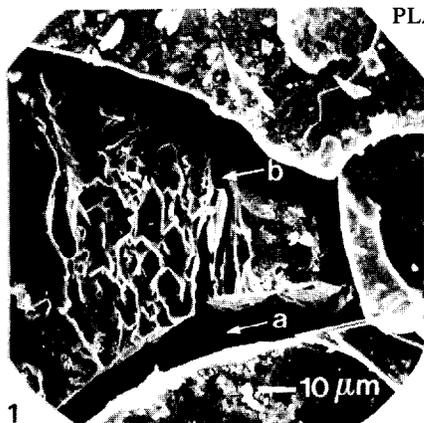


PHOTO 1. — Quartz en inclusion dans un mica à microrelief caverneux et à nombreuses figures géométriques en relief et en creux. Le quartz, non adhérent au mica, « flotte » dans ce dernier : vide intercrystallin (a) et intracrystallin (b) de dissolution

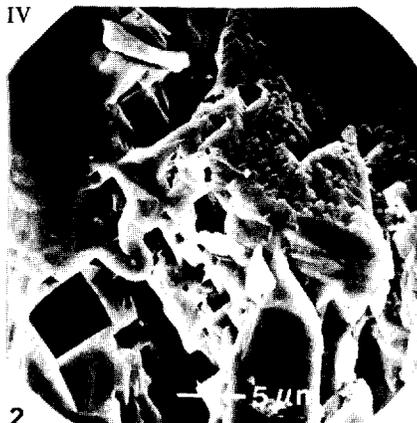


PHOTO 2. — Détail de la photo 1. Sur la face du quartz orientée vers le mica : figures géométriques en relief (groupement discontinu de pointes pyramidées). Sur la face du quartz ouverte vers l'extérieur : figures géométriques en relief (plans discontinus et chevron en V)

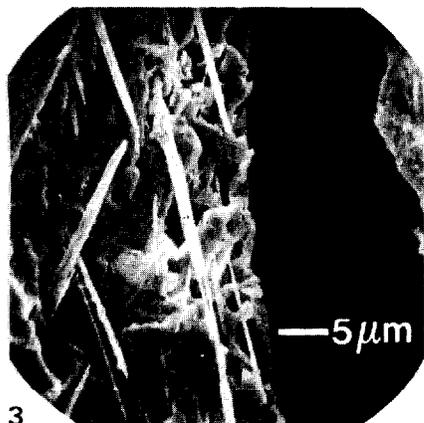


PHOTO 3. — Quartz (à gauche) fortement carié, non adhérent au plasma argilo-ferrugineux encaissant (à droite). Baguettes de rutile d'inclusion apparaissant en relief après dissolution partielle du quartz. Ces baguettes sont orientées suivant deux directions formant entre elles un angle de 120°

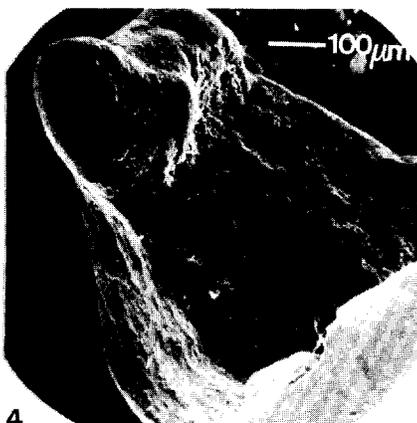


PHOTO 4. — Vue d'ensemble d'un quartz prélevé dans l'ensemble meuble supérieur. Noter la forme ovoïde du quartz et l'aspect buriné, finement piqueté de sa surface. Cassure franche en bas à droite

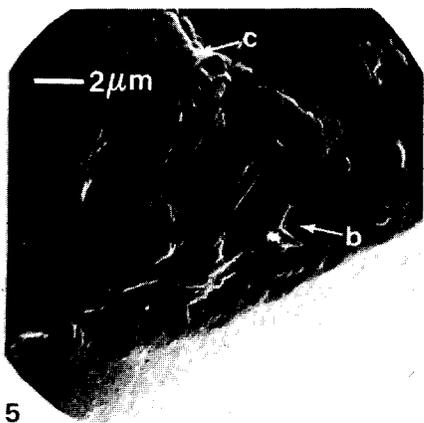


PHOTO 5. — Détail de la photo 4. Cassure franche à surface plane lissée (a). Rebord de la cassure : chevrons (b), écailles de desquamation (c)

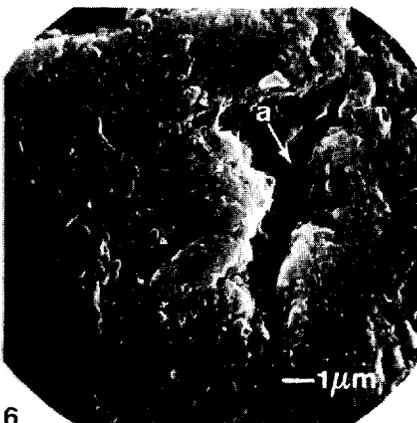


PHOTO 6. — Surface mate burinée dans laquelle s'amorce une desquamation en écaille. Cavité creuse (a) tétraédrique dont la forme géométrique est estompée par les figures de desquamation

LES FIGURES DE DESQUAMATION

Les écailles de desquamation qui préexistaient à la surface des grains de quartz dans l'ensemble d'altération deviennent ici nombreuses, parfois jointives (Pl. IV, photo 6 ; Pl. V, photos 1, 2 et 3). Ces écailles, d'une fraction de micron à un micromètre de diamètre en moyenne, à contours irréguliers, dentelés et à bord relevé se détachent plus ou moins de leur support. Elles couvrent la totalité des surfaces courbes du quartz et donnent à ces dernières un aspect buriné, finement piqué. La petite taille de ces écailles explique qu'elles sont rarement visibles au microscopique optique.

LES FIGURES DE REVÊTEMENT

Ces figures couvrent localement les précédentes (Pl. V, photos 3, 4 et 5). En effet, la faible épaisseur de ce revêtement révèle souvent la morphologie des figures qu'il recouvre. A la microanalyse, ce revêtement est constitué exclusivement de silice. Il est fort probable qu'il correspond aux minces liserés de silice amorphe mis en évidence au microscope optique.

6.3. La signification de ces figures en terme d'altération

Les figures en creux peuvent être considérées comme héritées des conditions d'altération qui ont prévalu antérieurement lorsque ces quartz se situaient dans des ensembles mieux drainés, du type de l'altérite sous-jacente. Leur caractère relictuel est confirmé par la surimposition de figures de desquamation qui efface progressivement leur forme originelle.

En couvrant la totalité des surfaces courbes, les écailles siliceuses concaves montrent que le phénomène de desquamation constitue actuellement le principal mode d'altération de ces quartz. LE RIBAUT (1977) relie cette morphologie des grains à la fois à une désorganisation superficielle des quartz puis à l'exploitation par la dissolution de cette fine pellicule désorganisée. Il attribue également la désorganisation superficielle à des actions mécaniques qui pourraient correspondre ici à des remaniements in situ (chablis, activité biologique). En affectant préférentiellement les aspérités des grains et en épargnant par contre les zones déprimées, cette désorganisation serait propice à la sphéritisation des quartz. L'exploitation de cette zone désorganisée par la dissolution aboutirait, quant à elle, à une desquamation des grains. Cette desquamation traduit une attaque chimique localisée le long des fissures. En s'agrandissant puis en se recoupant, le réseau de fissures isole à la périphérie du quartz des écailles qui tendent à se détacher de leur support.

Les figures de revêtement couvrent localement les figures précédentes. Elles sont de ce fait les plus récentes. Elles s'individualisent par précipitation de silice lorsque la saturation des solutions d'altération est atteinte.

Les figures de desquamation et de revêtement témoignent donc d'alternances de dissolution et de reprécipitation de silice dans cet ensemble meuble supérieur où règnent des écarts hydriques très contrastés.

7. CONCLUSION

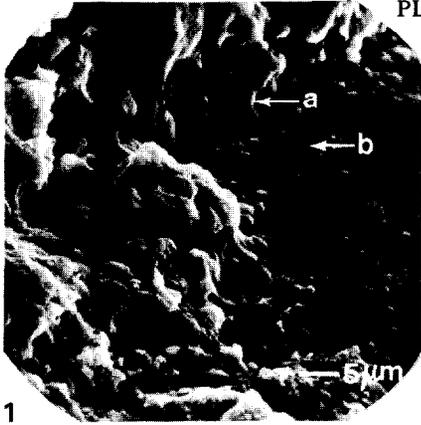
Dans une couverture ferrallitique de Guyane française, l'accumulation résiduelle de quartz vers la surface s'accompagne d'une modification de leurs aspects de surface. En sommet d'interfluve et du bas vers le haut, l'examen exoscopique de ces quartz montre que les principaux caractères acquis à la surface des grains sont liés à la pédogenèse et plus particulièrement à des phénomènes de dissolution en profondeur, couplés vers la surface à des remaniements in situ et périodiquement à des phénomènes de reprécipitation de silice.

Dans le détail, cet examen exoscopique nous amène à distinguer deux modalités dans l'altération superficielle des quartz qui aboutissent respectivement à des grains très différents de par leur forme et leur aspect de surface.

Dans le premier type de grain, l'altération très superficielle est guidée par les structures cristallographiques du quartz. La dissolution agit d'une façon suffisamment lente et continue pour entraîner une exhumation du réseau cristallin, avec développement de figures géométriques en relief sur les plans à faible densité réticulaire et, à l'inverse, apparition de figures géométriques en creux sur les plans à forte densité réticulaire. Lorsque les figures en creux sont suffisamment développées, la dissolution révèle un accollement de prismes hexagonaux à bases pyramidées. Ainsi, elle reproduit en de nombreux exemplaires et d'une façon incomplète la forme automorphe du quartz. Cette dissolution donne aux grains des surfaces luisantes et des formes anguleuses à subanguleuses.

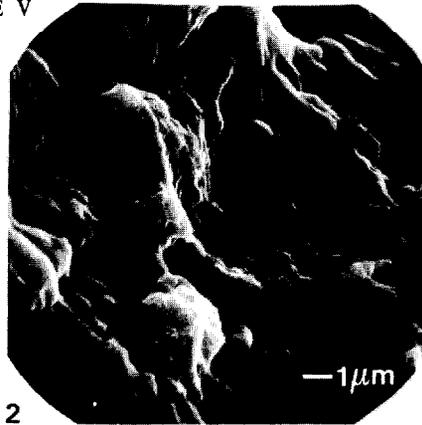
Dans le deuxième type de grain, l'altération agit plus en profondeur. Elle concourt à une désorganisation du réseau cristallin sur quelques micromètres d'épaisseur puis à l'exploitation de cette zone par la dissolution. Cette dissolution est révélée par de nombreuses écailles de desquamation sur les faces courbes des grains. A l'inverse du cas précédent, elle n'est plus guidée par les structures cristallographiques du quartz. Localement, la présence sur ces écailles d'un fin revêtement de silice amorphe indique l'interruption saisonnière du phénomène de dissolution. Cette altération donne aux grains des surfaces mates, burinées et une forme ovoïde.

Par ailleurs, l'examen exoscopique de ces quartz montre qu'il est possible de passer progressivement, de la profondeur vers la surface, du premier au deuxième type de grain. En sommet d'interfluve, la connaissance du



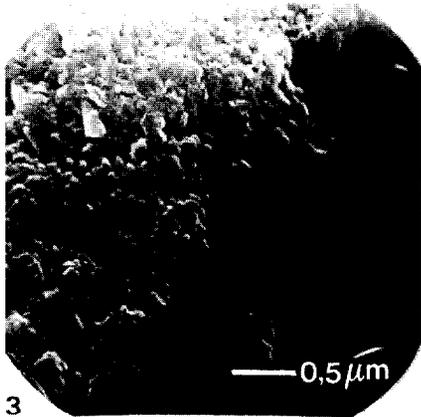
1

PHOTO 1. — Nombreux chevrons (a) disposés dans des plans sensiblement orthogonaux à une surface burinée (b) du quartz



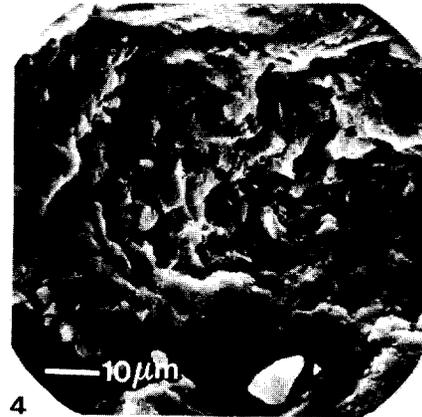
2

PHOTO 2. — Détail de la photo 1. Les chevrons ont des angles homologues égaux et des arêtes parallèles entre elles. La desquamation en écaille de leur surface estompe les formes géométriques



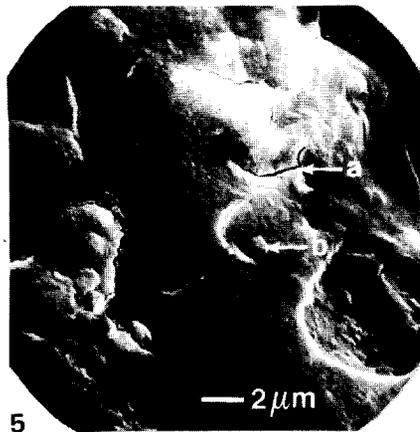
3

PHOTO 3. — Deux aspects de surface du quartz : A gauche, nombreuses écailles de desquamation jointives. A droite une fine pellicule de silice amorphe apparaît en revêtement sur les figures précédentes



4

PHOTO 4. — Ancienne cavité tétraédrique couverte en discontinuité par une pellicule de silice amorphe. L'aspect rugueux de cette pellicule peut être attribué à un recouvrement d'écailles de desquamation et/ou de figures en placage



5

PHOTO 5. — Revêtement de silice amorphe. Localement, très fines craquelures (a) et particules incluses dans le revêtement (b)

milieu hydro-pédologique permet de relier ces changements d'aspect de surface à une modification du régime hydrique entre l'ensemble d'altération et l'ensemble meuble supérieur. Ainsi, du premier vers le second, nous passons d'un régime peu contrasté et non saturé à un régime fortement contrasté et périodiquement engorgé (nappe perchée temporaire). Il est alors possible d'envisager un gradient allant des zones les milieux drainées vers les zones les plus confinées et d'y relier les trois faciès suivants, tous les termes de transition étant possibles :

- grains luisants, anguleux, fissurés et cariés à nombreuses figures de dissolution en relief et en creux,
- grains luisants subanguleux à figures de dissolution uniquement en relief,
- grains mats, ovoïdes à figures de dissolution en écailles.

Dans les grains mats, ovoïdes, la présence de figures de dissolution en creux montre que le quartz a subi l'influence de deux types de régime hydrique : celui qui a prévalu dans un ensemble suffisamment drainé du type de l'altérite sous-jacente et celui qui prévaut actuellement dans l'ensemble meuble supérieur.

Enfin, nous pouvons aussi relier au drainage la concentration en silice des solutions d'altération qui agit directement sur la vitesse de dissolution des quartz.

Ainsi avec un bon drainage et une importante quantité d'eau traversant la zone d'altération, les solutions ne seront jamais saturées vis-à-vis de la silice libérée ; la dissolution du quartz se fera normalement et ne sera pas freinée par une trop forte concentration en silice dans la solution du sol.

Au contraire, dans une nappe perchée ayant un trop faible débit, la solution sera vite saturée vis-à-vis de la silice et la dissolution du quartz sera enrayée. L'altération ne pourra progresser qu'en période de recharge de la nappe par simple dilution des solutions d'altération par les eaux d'infiltration.

REMERCIEMENTS

L'auteur remercie Mr G. PEDRO et Mlle J. BERRIER du CNRA de Versailles qui lui ont permis d'effectuer les observations au microscope électronique à balayage et Mrs C. FELLER, A. HERBILLON et N. LENEUF pour les commentaires et les corrections apportés au document.

Manuscrit accepté par le Comité de Rédaction le 9 juillet 1988.

BIBLIOGRAPHIE

- AUBREVILLE, 1950. — Climat, forêts et désertification de l'Afrique tropicale. Soc. Edit. Marit. Colon., Paris, 351 p.
- BOULET (R.), 1978. — Existence de systèmes à forte différenciation latérale en milieu ferrallitique guyanais : un nouvel exemple de couvertures pédologiques en déséquilibre. *Sc. du Sol*, n° 2 : 75-82.
- BOULET (R.), 1981. — Etude pédologique des bassins versants Ecerex. Bilan de la cartographie. *Bulletin de liaison ECEREX* n° 4, ORSTOM Cayenne : 4-22.
- BOULET (R.), BRUGIÈRE (J.M.), HUMBEL (F.X.), 1979. — Relation entre organisation des sols et dynamique de l'eau en Guyane française septentrionale. Conséquences agronomiques d'une évolution déterminée par un déséquilibre d'origine principalement tectonique. *Sc. du sol* n° 1 : 3-18.
- BREWER (R.), 1964. — Fabric and mineral analysis of soils. J. Wiley and Sons, New-York, Sydney, 470 p.
- BUOL (S.W.) & ESWARAN (H.), 1978. — The micromorphology of oxisols. Proc. Proc. 5th Working Meeting on Soil Micromorphology, Granada, M. DELGADO ed., vol. 1 : 325-347.
- CHAUVEL (A.), BOULET (R.), JOIN (P.), BOCQUIER (G.), 1983. — Aluminium and iron oxi-hydroxide segregation in nodules of latosols developed on tertiary sediments (Barreiras). Region of Manaus-Amazon-Brazil. in : Lateritisation Processes, A.J. Melfi and A. Carvalho ed. Sao Paulo : 507-526.
- CHOUBERT (B.), 1978. — Atlas des D.O.M. — La Guyane : géologie, C.E.G.T. du C.N.R.S. — ORSTOM, 1979.
- CLAISSE (G.), 1972. — Etude de la solubilisation du quartz en voie d'altération. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol*, Vol. X, n° 2 : 97-122.
- CLOCCHIATTI (R.), 1975. — Les inclusions vitreuses des cristaux de quartz : Etude optique, thermo-optique et chimique. Applications géologiques. *Mém. Sco. Géol. Fr*, n° 122 : 1-96.
- DOUGLAS (L.A.) et PLATT (D.W.), 1977. — Surface morphology of quartz and age of soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 41 : 641-645.
- ESCHENBRENNER (V.), 1987. — Les glébulles des sols de Côte d'Ivoire. Nature et origine en milieu ferrallitique — Modalité de leur concentration — Rôle des termites. Thèse Sci. Nat., Dijon, *Multigr.*, 780 p.
- ESWARAN (H.) & RAGHU MOHAN (N.G.), 1973. — The microfabric of petroplinthite. *Soil Sci. Am. Proc.* 37 : 79-82.
- ESWARAN (H.) & STOOPS (G.), 1979. — Surface textures of quartz in tropical soils. *Soil. Sci. Soc. Amer. J.* 43 : 420-424.
- ESWARAN (H.), WONG CHAW BIN, 1978. — A study of deep weathering profile on granite in peninsular Malaysia. II. Mineralogy of the clay, silt and sand fractions. *Soil. Sci. Soc. Amer. J.* 42. 1 : 149-153.

- FAUCK (R.), 1970. — Evolution des quartz dans les sols rouges ferrallitiques développés sur les roches sableuses et gréseuses de l'Afrique Occidentale. C.R. Acad. Sci., Paris, 271 : 2273-2276.
- FAUCK (R.), 1971. — Contribution à l'étude des sols des régions tropicales : les sols rouges sur sables et sur grès d'Afrique occidentale. Thèse Sci. Nat., Strasbourg, *Multigr.*, 377 p.
- FAUCK (R.), 1974. — Les facteurs et les mécanismes de la pédogenèse dans les sols rouges et jaunes ferrallitiques sur sables et grès en Afrique. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, 12 : 69-72.
- FLAGEOLLET (J.C.), 1981. — Aspects morphoscopiques et exoscopiques des quartz dans quelques sols ferrallitiques de la région de Cechi (Côte d'Ivoire). *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.* vol. XVIII, n° 2 : 111-121.
- FRITSCH (E.), 1979. — Etude des organisations pédologiques et représentation cartographique détaillée de quatre bassins versants expérimentaux sur schiste Bonidoro de Guyane française (piste de St-Elie). Rapport ORSTOM Cayenne, cote P 183, 3 p, 4 cartes (bassins A, C, E, F).
- FRITSCH (E.), 1984. — Les transformations d'une couverture ferrallitique : Analyse minéralogique et structurale d'une toposéquence sur schistes en Guyane Française. Thèse 3^e cycle Université de Paris VII, 190 p.
- FRITSCH (E.), BOCQUIER (G.), BOULET (R.), DOSSO (M.), HUMBEL (F.X.), 1986. — Les systèmes transformants d'une couverture ferrallitique de Guyane française. Analyse structurale d'une formation supergène et mode de représentation. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, vol. XXII, n° 4 : 361-395.
- FRITSCH (J.M.), 1981. — Ecoulement et érosion sur les bassins versants ECEREX en 1979. *Bulletin de liaison ECEREX* n° 4, ORSTOM Cayenne : 23-44.
- GOLDICH (S.S.), 1938. — A study in rock weathering. *J. Géol.*, 46 : 17-23.
- GUEHL, 1981. — Dynamique de l'eau dans le sol en forêt tropicale humide Guyanaise. Influence de la couverture pédologique. *Bulletin de liaison ECEREX* n° 4, ORSTOM Cayenne : 52-60.
- HUMBEL (F.X.), 1978. — Relation entre : certains caractères morphologiques et la composition volumique saisonnière en air et en eau, le comportement à l'infiltration et à la filtration, la distribution verticale des racines en quelques points caractéristiques des sols de Guyane Française septentrionale. ORSTOM Cayenne, *multigr.* 64 p.
- KRINSLEY (D.H.) and DOORNKAMP (J.C.), 1973. — Atlas of quartz and surface textures. Cambridge University Press, 91 p.
- LE RIBAULT (L.), 1971. — Présence d'une pellicule de silice amorphe à la surface de cristaux de quartz des formations sableuses. C.R. Ac., Sc., T 272 : 1933-1936.
- LE RIBAULT (L.), 1977. — L'exoscopie des quartz Masson, Paris, New York, Barcelone, Milan, 150 p.
- LENEUF (N.), 1972. — Aspects microscopiques de la surface de grains de quartz du continental terminal de Côte d'Ivoire. *Cah. ORSTOM, Sér. Géol.*, Vol. IV, n° 1 : 53-65.
- LENEUF (N.), 1973. — Observations stéréoscopiques sur les figures de corrosion du quartz dans certaines formations superficielles. *Cah. ORSTOM sér. Pédol.*, Vol. XI, n° 1 : 43-51.
- LEPRUN (J.C.), 1979. — Les cuirasses ferrugineuses des pays cristallins de l'Afrique de l'Ouest sèche. Genèse, transformation, dégradation. Thèse Sci. Géol. Mém. Strasbourg, 58, 224 p.
- LEPRUN (J.C.), 1981. — Some principal features of iron crusts in dry Western Africa. Int. Sémin. Lateritisation Processes, Trivandrum, India : 144-153.
- LIM (S.K.) et THACH (S.), 1977. — Etude de l'organisation et des caractéristiques physiques et chimiques de couvertures pédologiques sur schistes Bonidoro. Rapp. de stage de 2^e année. ORSTOM Cayenne, Cote P 151, 209 p.
- LITTLE (J.P.), ARMITAGE (T.M.), GILKES (R.J.), 1978. — Weathering of quartz in dune sands under subtropical conditions in eastern Australian. *Geoderma*, 20 : 225-237.
- MAZEAS (J.P.), 1961. — Carte géologique détaillée de la France. Département de la Guyane. Feuille d'Iracoubo et notice explicative. Imprimerie Nationale, 21 p.
- MILLOT (G.) et FAUCK (R.), 1971. — Sur l'origine de la silice des silicifications climatiques et des diatomites quaternaires du Sahara. C.A. Acad. Sci., Paris, 272, D, 1 : 4-7.
- MULLER (D.), 1979. — Contribution à l'étude de la différenciation des horizons nodulaires des sols ferrallitiques congolais sur granito-gneiss. Thèse 3^e cycle, Univ. Paris VII, 118 p.
- MULLER (D.), BOCQUIER (G.), NAHON (D.), PAQUET (H.), 1981. — Analyse des différenciations minéralogiques et structurales d'un sol ferrallitique à horizons nodulaires du Congo. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, XVIII, n° 2 : 87-109.
- ROCHE (M.A.), 1982. — Comportements hydrologiques comparés et érosion de l'écosystème forestier amazonien à ECEREX, en Guyane. *Cah. ORSTOM, sér. Hydrol.*, Vol. XIX, n° 2 : 81-105.
- STOOPS (G.), 1974. — Optical and electro microscopy. A comparison of their principles and their use in micropedology. In G.K. Rutherford (Ed.). Soil microscopy, pp.101-118. Lime-stone Press, Kingstom. Ontario, Canada.
- WEY (R.) et SIFFERT (B.), 1961. — Réactions de la silice monomoléculaire en solution avec les ions Al³⁺ et Mg⁺. Genèse et synthèse des argiles. Colloques Internationaux du CNRS, Paris, 1961, n° 105 : 11-23.