

## ÉVOLUTION DU QUARTZ AU SEIN DES CUIRASSES LATÉRITIQUES ET DES SOLS FERRUGINEUX

PAR

N. YA B. TSHIDIBI \*

RÉSUMÉ. — Les grains de quartz inclus dans les sols ferrugineux et dans les cuirasses latéritiques du Haut-Shaba, ont été soumis à l'examen exoscopique. Dans les horizons rubéfiés où l'oxyde de fer se présente sous forme d'hématite, les microtextures superficielles des grains sont chagrinées. Cet aspect doit être mis en rapport avec la présence de petits granules ( $<3 \mu\text{m}$ ) de silice amorphe accompagnés dans un second stade de granules plus gros ( $>5 \mu\text{m}$ ) et même de quartz cryptocristallin à cristallin. Le fer hématitique semble donc inoffensif vis-à-vis du quartz détritique et même vis-à-vis de la silice amorphe. Dans les cuirasses où dominant des oxydes de fer plus hydratés (goëthite, hydrohématite, ...) la surface des grains prend un aspect dépoli qui correspond au dégagement des formes structurales internes du minéral (souvent polyédriques). Ce type de surface serait accompagné d'un émoussé des contours et même des cavités polyédriques. Dans les cuirasses les plus anciennes, les formes polyédriques peuvent avoir presque complètement disparu. L'absence d'oxydes de fer dans les cavités de dissolution fait écarter toute action directe de leur part dans la corrosion du quartz.

SAMENVATTING. — *Evolutie van het kwarts binnen de laterietkappen en de ijzerhoudende bodems.* — De kwartskorrels, die in de ijzerhoudende bodems en in de laterietkappen van Boven-Shaba aanwezig zijn, werden aan een exoscopisch onderzoek onderworpen. In de roestkleurige horizonten, waar het ijzeroxyde in de vorm van hematiet aanwezig is, zijn de oppervlakkige microtexturen van de korrels gerimpeld. Dit aspect moet in verband gebracht worden met de aanwezigheid van kleine korreltjes ( $<3 \mu\text{m}$ ) van niet gekristalliseerd silicium, met in een tweede stadium dikkere korreltjes ( $>5 \mu\text{m}$ ) en zelfs cryptokristallijn tot kristallijn kwarts. Het hematietijzer blijkt dus ongevoelig voor detritisch kwarts en zelfs voor amorf silicium. In de kappen, die meer gehydrateerd ijzeroxyde bevatten (goëthiet, hydrohematiet, ...), heeft het oppervlak van de korrels een dof aspect dat overeenstemt met de vrijmaking van de structurele interne vormen van het mineraal (vaak veelvlakkig). Dit type van oppervlak zou gepaard gaan met een afronding van de randen en zelfs van de veelvlakkige holten. In de oudste kappen kunnen de veelvlakkige vormen bijna volledig verdwenen zijn. De afwezigheid van ijzeroxyden in de oplossingsholten sluit hun directe actie uit op de corrosie van het kwarts.

\* Service de Géographie Physique, Université de Liège, Place du XX août 7, B-4000 Liège (Belgique).

SUMMARY. — *Evolution of quartz in lateritic crusts and ferruginous soils.* — Quartz grains present in the ferruginous soils or included in lateritic crusts of the High-Shaba have been analyzed by exoscopy. In the rubefied horizons containing iron oxide as hematite, superficial microtextures of the particles are granulated. This aspect is due to little granules ( $<3 \mu\text{m}$ ) of amorphous silica accompanied by some coarser granules ( $>5 \mu\text{m}$ ) and even by cryptocrystalline or crystalline quartz. It seems that hematitic iron is inoffensive to quartz grains and even to amorphous silica. In the duricrusts where iron oxides are more hydrated (goethite, hydrohematite, ...) quartz grains show corrosion marks producing a frosted-like surface which soon reveal internal structures which are often polyhedral. This type of surface is accompanied by a blunting of the grain contours and sometimes of the polyhedral cavities. In the most ancient lateritic crusts, polyhedral forms can have almost disappeared. Absence of iron oxides in the dissolution cavity precludes any direct influence on the corrosion of quartz.

### Introduction

L'exoscopie des grains de quartz est une méthode d'analyse utilisée depuis une vingtaine d'années. Parmi les chercheurs qui l'ont utilisée, on peut citer KRINSLEY & TAKAHASHI (1962), MARGOLIS (1968), SOYER (1969), NORDSTROM & MARGOLIS (1972), PITTMAN (1972), etc.

KRINSLEY & DOORNKAMP (1973) ont associé les microtextures observées à la surface des grains de quartz aux paléo-environnements et aux phénomènes sédimentologiques qui y sont associés. D'autres auteurs sont parvenus depuis lors, à préciser l'histoire et les caractéristiques de milieu sédimentaire présentées par les dépôts contenant les grains de quartz soumis à l'analyse au microscope électronique à balayage (MEB).

Des études expérimentales de simulation ont été récemment menées ; elles permettent de vérifier et de préciser les interprétations antérieures. Dans ce domaine, il convient de signaler : KRINSLEY *et al.* (1973), LENEUF (1973), SUBRAMANIAN (1973), RIBAUT (1977), LY (1978), WILSON (1979), KRINSLEY & WELLENDORF (1980), LINDE & MYCIELSKA-DOWGIALLO (1980), VEBLEN *et al.* (1981), WILLETTS *et al.* (1982) ...

La microtexture des grains de quartz inclus dans les sols ferrugineux a déjà été traitée par divers auteurs (SOYER 1969, RIBAUT 1971, DOUGLAS & PLATT 1977...). Pour les régions tropicales, les publications restent encore en nombre restreint. Le travail le plus important est dû à ESWARAN & STOOPS (1979), auquel il faut adjoindre celui de FLAGEOLLET (1980/1981).

Mais parmi toutes ces publications, aucune n'établit des relations existant entre les accumulations ferrugineuses d'une part, et la micromorphologie superficielle des grains d'autre part. On en fait mention, tout au plus, sans dégager le rôle spécifique joué par chacun des principaux minéraux ferrugineux, ni sans tenir compte de l'âge du concrétionnement.

Quel que soit le processus responsable des textures superficielles à l'origine, les grains de quartz ont presque toujours subi un certain remaniement en rapport avec les conditions nouvelles apparues lors de l'évolution ultérieure. Ces conditions dépendent en grande partie de facteurs physico-chimiques. Les études qui y sont consacrées mettent en lumière le rôle de certains facteurs comme le pH sans insister sur le rôle actif ou passif joué par certains minéraux ferrugineux. En présence de ces derniers, le départ entre les caractères hérités de la mise en place et ceux apparus ultérieurement n'a guère été élucidé, qu'il s'agisse de la texture générale ou de certaines marques à la surface des grains.

Il nous a donc paru utile de chercher à résoudre ce problème qui est, en grande partie, propre aux régions tropicales du fait de leur richesse en concrétionnements ferrugineux tels que les gravillons ou les cuirasses latéritiques. Nous envisagerons une suite évolutive qui va des horizons sableux blancs, dépourvus de fer, jusqu'aux horizons cuirassés en passant par les horizons rubéfiés. Les quartz filoniens et polycristallins ou métaquartzitiques hérités de formations géologiques plus anciennes (Grand Conglomérat datant du Précambrien, notamment), sont très abondants dans la région de Lubumbashi. Leur évolution dans les parties concrétionnées est très spécifique. Ils seront traités comme un cas particulier à l'aide d'autres méthodes, dans un travail ultérieur.

## 1. Échantillonnage et méthodes d'analyse

Tous les échantillons analysés proviennent des hauts plateaux sableux du Shaba méridional. Les grains provenant des horizons ferrugineux ou non, ont été prélevés dans une série de coupes situées le long des rivières du plateau des Bianco : Pupa, Katentania et Kisa Moya (fig. 1). Les grains de quartz appartenant à des niveaux cuirassés proviennent d'affleurements situés sur le plateau des Kundelungu : le site de la tête de la Luanza, dans le sud, où l'âge présumé de la cuirasse latéritique est tertiaire terminal, et celui du point culminant de Kibwe wa Sanga, au nord (fig. 1) où la cuirasse est plus ancienne, peut être secondaire.

Pour les horizons sableux, les fractions granulométriques (80 à 450 microns) à examiner ont été séparées par tamisage. Les grains appartenant à des horizons rubéfiés ou des niveaux cuirassés ont dû être soumis à une déferrisation par l'attaque d'un mélange de HCl et HNO<sub>3</sub> à chaud. Le départ du fer, lors de cette attaque, entraîne celui de la kaolinite résiduelle, éliminée par les lavages répétés à l'eau distillée.

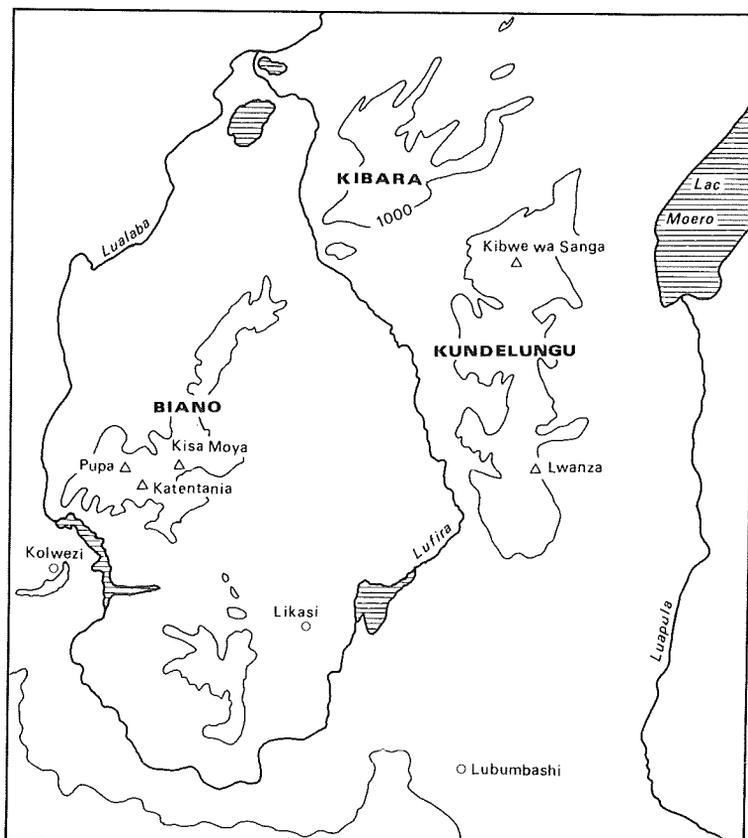


Fig. 1. — Localisation des échantillons.

Les grains de quartz empâtés dans la matrice ferrugineuse des cuirasses ont également été analysés sans extraction, sur des cassures effectuées à cet effet. Seuls les grains qui n'ont pas été affectés de fractures ont été pris en considération.

Les grains ont été montés sur un support en aluminium, modèle de Balzers Union (BUO/14/005-T) à l'aide d'argent colloïdal (marque Acheson). Le même procédé a été utilisé pour le montage des fragments de cuirasses latéritiques. Les échantillons ont ensuite été recouverts, par vaporisation sous vide, d'une fine pellicule métallique de Au-Pd afin de rendre la surface conductrice vis-à-vis du faisceau électronique.

## 2. Résultats et interprétations

### 2.1. Horizons de sables quartzeux blancs.

Les grains de quartz de ces horizons ont été examinés dans le but d'établir un terme de comparaison avec les grains à enrobage ferrugineux.

#### 2.1.1. Observations.

La photo 1 montre que la surface du grain est parcourue par de nombreuses stries parallèles, dont la largeur varie entre 1 et 4  $\mu\text{m}$ . Leur longueur excède rarement les 15  $\mu\text{m}$ . La distance entre deux stries voisines varie de 2 à 8  $\mu\text{m}$ .

On remarquera aussi la présence de dépressions profondes subcirculaires, dont le diamètre est de l'ordre de 5  $\mu\text{m}$ . D'autres dépressions présentent une forme oblongue.

#### 2.1.2. Interprétation.

D'après KRINSLEY & DOORNKAMP (1973), KRINSLEY & WELLENDORF (1980) et de nombreux travaux postérieurs, les stries parallèles de ce type sont dues à une action mécanique liée à l'abrasion éolienne. Les remaniements ultérieurs subis par ces sables (ALEXANDRE-PYRE 1971) n'ont guère influencé la texture superficielle des grains. L'héritage éolien est ici bien conservé.

L'allure allongée de certaines de ces dépressions évoque la coalescence de plusieurs petites stries (longueur supérieure à 7  $\mu\text{m}$ ) produites côte à côte, similaires à celles décrites précédemment.

### 2.2. Sables quartzeux des horizons rubéfiés ou ocrifiés.

#### 2.2.1. Observations.

##### 2.2.1.1. Grains quartzeux non déferrisés (quartz à manchon ferrugineux).

Il importe avant tout d'apporter des précisions sur la nature du manchon ferrugineux. Grâce à l'emploi d'autres méthodes (analyse thermique, études minéralogiques, analyse aux rayons X), nous savons maintenant que dans ces horizons, le fer enrobant les grains de quartz est composé essentiellement d'hématite. Cette dernière est associée à la kaolinite ou tout au moins à des minéraux argileux de son groupe. On n'y observe peu ou pas de goéthite.

L'examen de la surface du grain de la photo 2 aux endroits où le manchon a été décapé (probablement par tamisage), a permis de déceler les textures suivantes :

- De nombreuses marques d'arrachement sont bien développées et parfaitement conservées. Leur taille est généralement supérieure à 20  $\mu\text{m}$  et peut atteindre 100  $\mu\text{m}$  ;
- Des cassures conchoïdales se caractérisent par une allure irrégulière. Aux forts grossissements elles sont soulignées par des microsilicifications qui tendent à les colmater (photo 3). Il s'agit en fait de petits granules de silice (2/3  $\mu\text{m}$  de diamètre), disposés de manière désordonnée. Quelques fragments anguleux de quartz y sont également observés. Ces derniers seraient d'origine artificielle (arrachement au cours du tamisage) ;
- Les grains dépourvus des marques que nous venons de décrire, semblent de texture homogène au faible grossissement (photo 4). Au fort grossissement (photo 5) par contre, cette homogénéité apparaît comme relative car deux textures particulières deviennent alors visibles :
  1. De petites figures de section triangulaire (de l'ordre de 3-4  $\mu\text{m}$ ), peu profondes et dont les limites sont quelque peu diffuses ;
  2. De nombreux granules siliceux (0,8-4  $\mu\text{m}$  de diamètre) constellant le fond uni sombre (au MEB), correspondant aux «impuretés» argilo-ferrugineuses. La déferrisation des grains similaires confirmera ce point de vue (comparer les photos 5 et 6).

#### 2.2.1.2. Grains quartzeux déferrisés.

La photo 6 représente une surface similaire et de même grossissement que sur la photo 5. La déferrisation permet de faire des observations particulières :

- La surface des grains qui apparaissait plus ou moins homogène (lisse) avant la déferrisation est, en fait, une surface chagrinée ;
- L'aspect chagriné est dû à la présence de microsilicifications qui, d'après les formes observées seraient amorphes. Ces précipitations se présentent sous forme de granules de même diamètre que ceux observés à la photo 5, c'est-à-dire, de moins de 1  $\mu\text{m}$  à 3  $\mu\text{m}$  ;
- Les figures héritées (stries p.e.) tendent à disparaître suite au colmatage siliceux, mais leurs traces sont généralement conservées ;
- Sur le tapis siliceux amorphe, des nouvelles précipitations siliceuses se forment en grains plus ou moins idiomorphes (rhomboédriques, pseudo-hexagonaux ou de faciès aciculaire). Ces nouvelles précipitations auraient même été précédées d'une autre génération de granules amorphes d'assez grandes dimensions (plus de 5  $\mu\text{m}$  – voir près échelle au bas de la photo) comme le suggère le chevauchement de ce gros granule sur le premier tapis siliceux (bas de la photo 6).

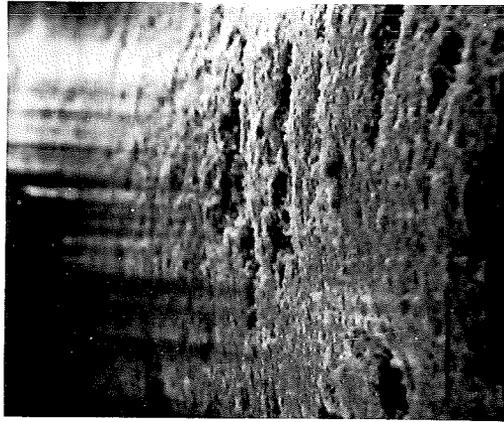


Photo 1.

Horizon de sables quartzux blancs. Grain de quartz avec stries parallèles d'abrasion éolienne. Microdépressions profondes (subcirculaires ou allongées), résultant probablement de la coalescence des stries. Échelle : 10  $\mu\text{m}$ .

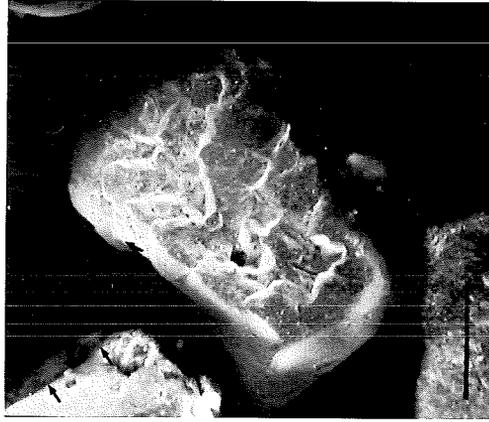


Photo 2.

Horizon rubefié : grains quartzux non déformés présentant des marques d'abrasion mécanique (au bas, à droite), les plans irréguliers de cassures conchoïdales (au centre) et le manchon ferrugineux hématitique cernant les quartz (flèches). Échelle : 100  $\mu\text{m}$ .



Photo 3.

Vue détaillée d'une cassure conchoïdale. Présence de petits granules (2/3  $\mu\text{m}$  de diamètre) siliceux dont la morphologie rappelle une silice amorphe. A côté d'eux, quelques petits fragments d'origine vraisemblablement mécanique. Échelle : 10  $\mu\text{m}$ .

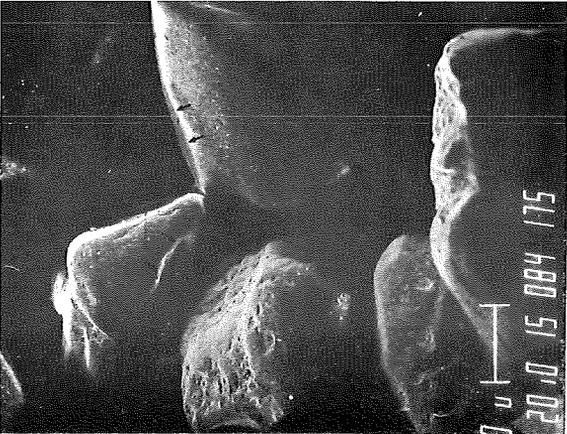


Photo 4.

Horizon rubéfié. Vue générale de grains non déferrisés. Remarque l'enveloppe du manchon ferrugineux hématitique autour de grains (flèches) dont la surface est en apparence homogène. Echelle : 100  $\mu\text{m}$ .

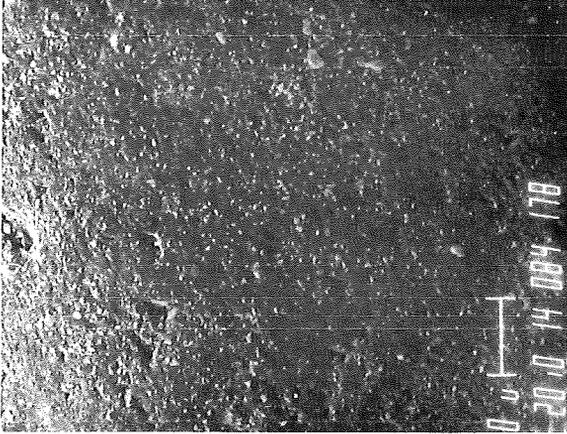


Photo 5.

Grain à surface homogène de la photo 4 agrandi. Les détails montrent la présence de petites figures triangulaires et celle de nombreux granules siliceux. Echelle : 10  $\mu\text{m}$ .

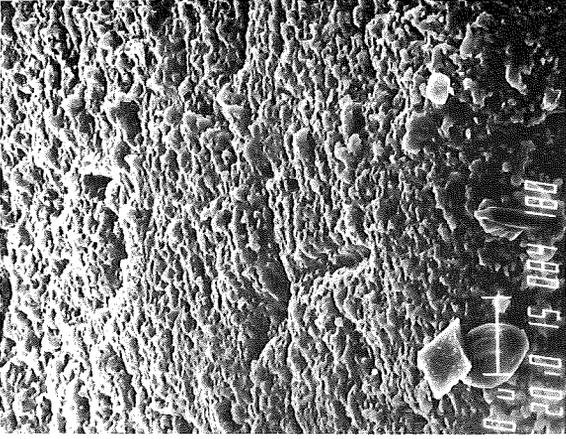


Photo 6.

Grain identique à celui de la photo 5, mais déferrisé. On remarque une surface totalement chagrinée due aux microsilifications amorphes (petits granules). On y voit le colmatage siliceux partiel des figures héritées (deux stries sécantes au centre). On remarque aussi d'autres générations de silice, d'abord amorphe (gros granule au niveau de la barre), ensuite cryptocristalline à cristalline : cristaux rhomboédriques, pseudohexagonaux et de faciès aciculaire (tout en bas). Echelle : 10  $\mu\text{m}$ .

### 2.2.2. Interprétation.

Les cassures conchoïdales, même lorsqu'elles sont colmatées par une silice amorphe, créent des zones de moindre résistance et diminuent la stabilité mécanique des grains.

L'enrobage par le fer hématitique permet une assez bonne conservation générale des traces de chocs. L'action chimique ultérieure, se révèle, par contre, très importante sur les zones apparemment homogènes ainsi que sur les marques telles que les stries et les petites figures triangulaires. L'action chimique se traduit donc ici, non pas par une attaque de grains, mais en revanche, par des dépôts de silice amorphe au départ, mieux cristallisés dans la suite et de taille de plus en plus grande.

La présence du fer autour de ces grains n'empêche pas la mise en place d'une silice nouvelle et ne facilite en rien la dissolution d'une silice quartzeuse pré-existante. Les oxydes de fer, ici essentiellement de l'hématite, ne se substituent aucunement à la silice. Leur rôle se limite à masquer, souvent de manière incomplète, la texture superficielle des grains de quartz.

Le manque d'agressivité de la part de l'hématite vis-à-vis du quartz s'oppose à la théorie déjà formulée par certains chercheurs (NAHON 1976, MULLER *et al.* 1980-1981) selon laquelle les oxydes de fer présents dans les formations superficielles, se prêtent à une épigénie du quartz. Nous reviendrons plus loin sur cette question fondamentale.

D'autres chercheurs avaient déjà mis en évidence le processus de microsilicification sur les surfaces des quartz primaires dans les sols tropicaux. ESWARAN & STOOPS (1979, fig. 1, i et j) ont observé des cristaux de quartz idiomorphes de même taille que ceux observés à présent à la surface des quartz à manchon ferrugineux.

Il convient de remarquer que la surface des grains quartzeux dans les horizons rubéfiés des sols tropicaux, présente des caractères nettement différents de ceux des régions tempérées. C'est ainsi que, par exemple, les quartz appartenant au dépôt de sables tertiaires d'Onhay (Belgique) (SOYER 1969) ne comportent guère de microsilicifications superficielles qui semblent plus générales en région tropicale. L'action chimique qui les affecte est tout à fait l'opposé de ce qui se produit dans les régions tropicales : les figures triangulaires, au lieu de s'obturer, y sont quelquefois élargies.

### 2.3. *Grains de quartz des horizons cuirassés.*

#### 2.3.1. Observations.

##### 2.3.1.1. Site de la Luanza (\*) (grains non extraits de la roche).

On voit sur la photo 7 un grain de quartz bien arrondi avec une surface couverte de bourrelets et affectée de stries fines, de cassures et de figures triangulaires. Il est complètement enchâssé dans un enduit superficiel ferrugineux.

Observée au fort grossissement (photo 8), la surface entière du grain est chagrinée. Des bourrelets superficiels disposés en écailles de poissons contribuent à donner un aspect grenu à la surface. Un examen attentif permet de distinguer des sommets polyédriques, résultat de la croissance des cristaux. Ils ont été ultérieurement soumis à une attaque chimique qui a émoussé les arêtes (longueur de l'ordre du micron) avec une violence plus ou moins grande, comme le montre une série évolutive observée sur une même plage. Au grossissement utilisé, la nature des stries se précise : elles correspondent aux creux limitant les différents polyèdres et sont donc d'origine structurale.

Les figures de dissolution de section triangulaire sont orientées dans une même direction. Il s'agit de triangles isocèles de taille assez semblable (2 à 4  $\mu\text{m}$  de hauteur), avec des côtés homologues disposés parallèlement.

La photo 9 prise dans une zone de cassure ancienne fait apparaître :

- De nombreuses stries structurales parallèles. Elles correspondent aux lignes de creux séparant les différentes faces structurales. A chaque profondeur de la cassure, leur orientation varie.
- Une rangée de triangles de dissolution apparaît nettement dans cette cassure. Elle recoupe en biais le coin inférieur gauche (voir au-dessus de l'échelle, par exemple). La coalescence de ces creux tend à former des cavités polygonales de section pseudorhombique ou rectangulaire. Les dimensions de celles-ci varient entre 0,4 et 8  $\mu\text{m}$  de diamètre. Les plus grandes cavités apparaissent généralement dans le bas-fond des cassures.
- Les sommets polyédriques dans les cassures, forment plusieurs séries de bourrelets de toute taille (de 0,67 à 3  $\mu\text{m}$ ), analogues à ceux observés sur la surface du grain. Ils corroborent l'origine structurale (dans le sens cristallographique) de l'aspect chagriné de la surface.
- Les microdépressions triangulaires partent toujours de ces creux structuraux, pour atteindre quelquefois les crêtes, à la suite d'un élargissement par coalescence. Elles passent de moins de 150  $\mu\text{m}$  à 615  $\mu\text{m}$  environ.

(\*) Lwanza sur la fig. 1.

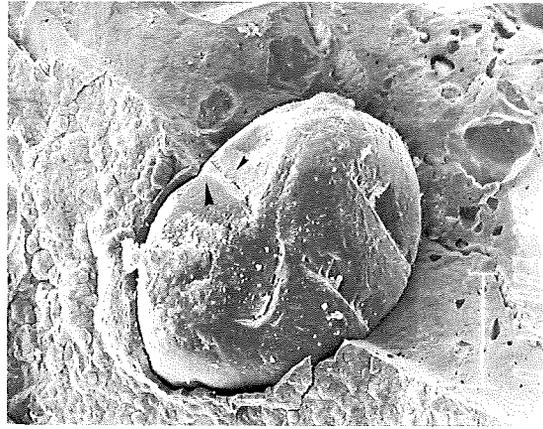


Photo 7.

Niveau cuirassé de Luanza. Quartz arrondi enchassé dans un enduit ferrugineux. La surface du grain présente des bourrelets et est affectée de nombreuses stries fines. Remarquer la présence de cassures et de figures triangulaires dépourvues de remplissage ferrugineux. Échelle : 100  $\mu\text{m}$ .

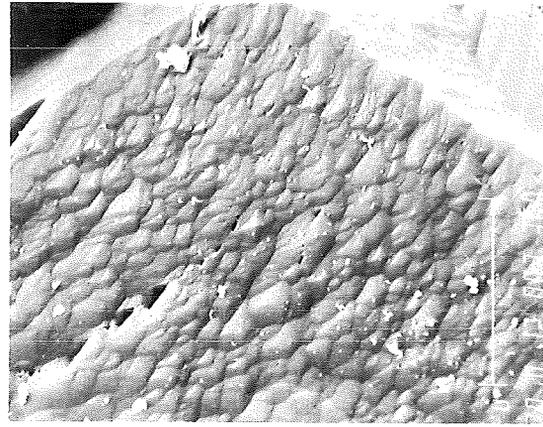


Photo 8.

Même grain que sur la photo 7 (la grande flèche représente le centre de la zone agrandie). On voit les bourrelets superficiels disposés en écailles de poissons. Ils sont à l'origine de l'aspect grenu. Ils représentent des sommets polyédriques de croissance cristalline. Leurs arêtes sont généralement émoussées. Les stries fines parallèles aperçues sur la photo 7 correspondent aux creux limitant les différents polyèdres. Voir aussi les figures triangulaires pointées dans une même direction. Échelle : 10  $\mu\text{m}$ .

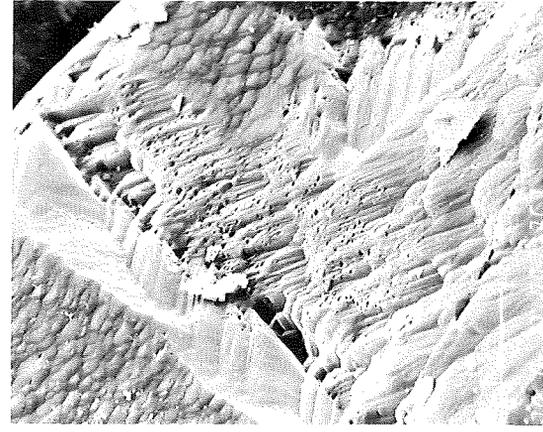


Photo 9.

Même grain que sur la photo 7 (la petite flèche désigne le centre de la zone agrandie). Une ancienne cassure présente de nombreuses stries structurales parallèles, des cavités polygonales à section pseudorhombique ou rectangulaire, dues à la coalescence de petits triangles de dissolution (le long de la cassure). La paroi inférieure de la grande cavité montre des sommets polyédriques fraîchement rabotés et formant des bourrelets similaires à ceux observés sur la surface primaire externe. Remarquer plusieurs microdépressions (0,15 à 0,62  $\mu\text{m}$ ). Noter l'absence de toute matrice ferrugineuse dans les cavités. Échelle : 10  $\mu\text{m}$ .



Photo 10.

Grains de quartz arrondis, enchâssés dans une cuirasse plus ancienne (Kibwe wa Sanga) : l'aspect général est dominé par une microtexture superficielle composée de stries à deux directions (grain central) et des zones relativement lisses. Échelle : 100  $\mu\text{m}$ .

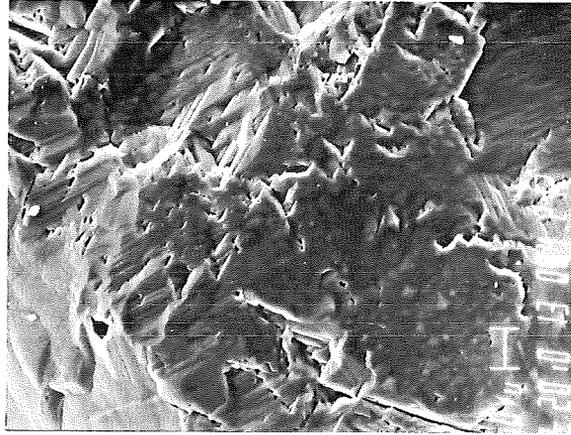


Photo 11.

Même grain que sur la photo 10 (la flèche représente le centre de la zone agrandie) : les zones apparemment lisses sont en fait constituées de petits bourrelets (2 à 5  $\mu\text{m}$  de diamètre), représentant une mosaïque des sommets polyédriques (au-dessus de la barre). Les stries parallèles sont faites des plans disposés en marches d'escalier (partie centrale et haut de la photo). On observe de nombreux creux à bords indentés ou rectilignes. Notez l'absence d'oxyde de fer dans les cavités. Échelle : 10  $\mu\text{m}$ .

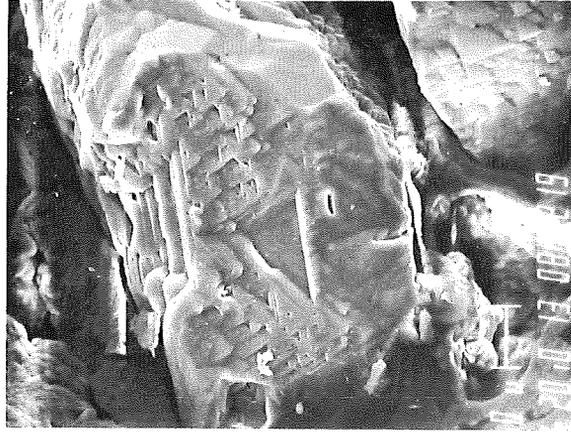


Photo 12.

Grains de quartz empâtés dans une matrice ferrugineuse (même cuirasse qu'à la photo 9). On remarque de nombreux triangles de dissolution parfois très développés (plus de 200  $\mu\text{m}$  de diamètre, pour la cavité triangulaire au centre). Leur élargissement s'accompagne en général d'un accroissement en profondeur et d'une structure en gradins. On note toujours l'absence totale d'oxydes de fer dans ces cavités. Échelle : 10  $\mu\text{m}$ .

### 2.3.1.2. Site de Kibwe wa Sanga (grains non extraits de la roche et non déferrisés).

Une vue d'ensemble des grains de quartz au sein de la matrice ferrugineuse est représentée par la photo 10. Le grain central fait apparaître des zones intensément griffées et de petites zones relativement lisses. Les grains de feldspath naguère associés au quartz dans cette roche, sont complètement altérés. Leur altération a engendré des cavités à remplissage argilo-ferrugineux (photo 10 au centre).

Sur les photos 10 et 11, il apparaît clairement que :

1. Les zones apparemment lisses sont affectées de bourrelets de 2 à 5  $\mu\text{m}$  de diamètre (une fois encore il s'agit des arêtes d'un faciès cristallin de polyèdres) ;
2. Les stries parallèles sont dues à une série de plans disposés en escalier et sont apparentées aux stries structurales ci-dessus ;
3. La coalescence des cavités triangulaires de dissolution fait apparaître à la surface des grains, des cavités polygonales plutôt irrégulières. Les bords de ces creux peuvent être indentés ou simplement rectilignes.

Sur la photo 12, deux grains de quartz présentent une surface des figures remarquables. L'un est affecté de nombreux triangles de dissolution dont l'élargissement est parfois considérable (plus de 200  $\mu\text{m}$ ). L'autre comporte plusieurs stries de même aspect que des cassures conchoïdales. Par ailleurs, l'élargissement des cavités triangulaires s'accompagne de l'accroissement de leur profondeur, avec une structure en gradins.

Il est important de noter l'absence quasi totale de colmatage ferrugineux au sein de différentes marques de dissolution observées (cavités, dépressions polygonales, figures triangulaires).

### 2.3.1.3. Quartz extraits de la roche, puis déferrisés.

La photo 13 représente un grain déferrisé, bien arrondi comparable à celui de la photo 10. Elle fait apparaître deux caractéristiques importantes :

1. Les innombrables stries de dissolution, par ailleurs assez profondes, sont orientées selon deux directions principales, formant un angle peu différent de 90° ;
2. Les versants associés aux crêtes de ces stries sont eux-mêmes fortement burinés. Au fort grossissement, on voit que le burinage se cantonne sur les parois de V alignés et que les cavités polygonales résultant de stries, sont implantées le long de creux formés par les V successifs.

L'intensité de la dissolution superficielle est telle que même la structure cristalline normalement observée sur d'autres grains tend à disparaître.

### 2.3.2. Interprétation.

La description des grains de quartz emprisonnés dans l'enduit ferrugineux a mis l'accent sur l'importance des textures cristallines préexistantes ainsi que celle de la corrosion chimique qui les a révélées.

Il convient ici de rappeler brièvement les considérations qui ont déjà été émises au sujet de la dissolution du quartz et des interactions entre le fer et la silice.

#### 2.3.2.1. Revue des travaux relatifs à la dissolution du quartz et l'interaction des ions ferriques et de la silice.

La solubilité de la silice dans l'eau est pratiquement indépendante du pH, tant que celui-ci reste inférieur à 9. Au-delà de cette valeur, l'acide monosilicique  $\text{Si}(\text{OH})_4$  se dissocie et la solubilité vraie de la silice augmente (ALEXANDER 1953, KRAUSKOPF 1959).

Le quartz et la calcédoine sont, par ailleurs, considérés comme moins solubles que la silice amorphe (KRAUSKOPF 1956 et 1979, SCHMITT & BOND 1981). Parmi ces trois formes de silice, le quartz reste le moins soluble dans les eaux naturelles à 25° C, surtout lorsque l'ion  $\text{Al}^{3+}$  est présent (OKAMOTO *et al.* 1957, MILLOT 1960).

D'autre part, l'interaction des ions ferriques avec la silice peut conduire à la formation des complexes ferri-siliciques qui dépassent une simple adsorption (TRICHET 1963). On doit à HAZEL *et al.* (1949) le fait d'avoir déjà souligné ces réactions lors d'études expérimentales menées pour confirmer les travaux de DEMOLON & BATISSE (1938, 1944). Le bilan de l'adsorption de la silice par l'oxyde de fer, établi par LEAF (1948 *in* : TRICHET 1963, fig. 2) montre qu'au-dessus d'une certaine teneur en oxyde de fer (plus de 360 ppm), l'adsorption de la silice en solution par le fer est quasi totale.

Parallèlement, deux hypothèses diamétralement opposées, méritent notre attention :

- La première a été émise à la suite des travaux de BECKWITH & REEVE (1963), JONES & ANDREUX (1963), selon laquelle la silice doit être considérée comme moins soluble en présence d'oxydes de fer ;
- La seconde considère au contraire que, en présence de fer, des mécanismes de désilicification peuvent affecter la silice du quartz. Ses partisans sont aussi nombreux que passionnés : ALIMEN & DEICHA (1958), WACKERMANN (1967 et 1975), BOURGEAT (1970), FAUCK (1971), NAHON

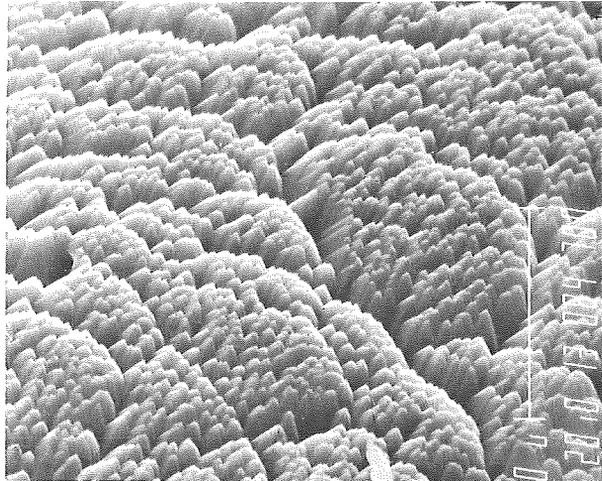


Photo 15.

Même grain qu'à la photo 14 : vue frontale de la plage où l'attaque sélective a eu lieu. Remarquer de nombreux vides intercrystallins qu'aucune substance ne vient colmater. Échelle : 10  $\mu\text{m}$ .

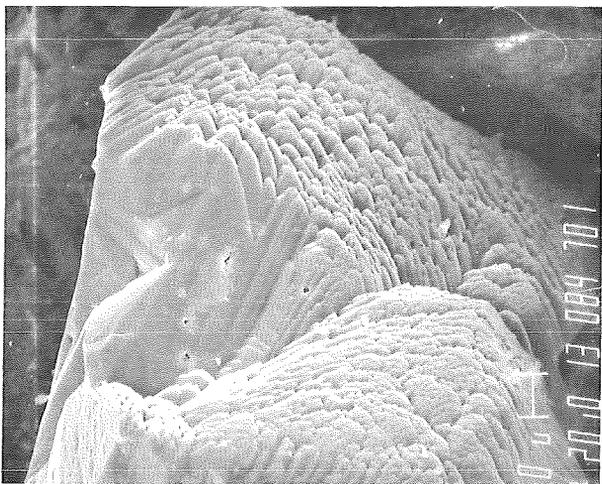


Photo 14.

Grain de quartz inclus dans un enduit ferrugineux rouge foncé, mi-tertiaire. Les petites cavités ( $\pm 1 \mu\text{m}$  de diamètre) sur la moitié supérieure du grain, sont le signe d'une amorce d'attaque chimique. Elles aboutissent souvent à des cavités triangulaires de taille plus grande (10  $\mu\text{m}$ , haut de la photo). Échelle : 10  $\mu\text{m}$ .

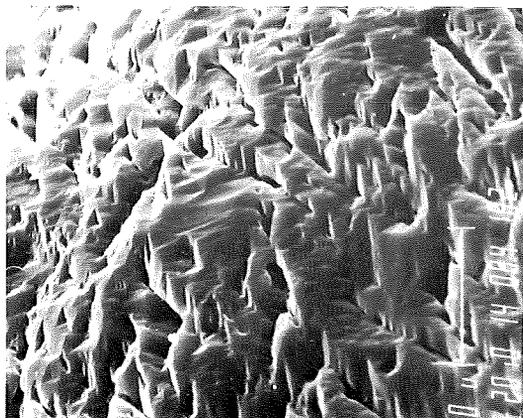


Photo 13.

Cuirasse ancienne (Kibwe wa Sanga). Grain de quartz arrondi après déferrisation. Le burinage est cantonné sur les parois de V alignés. Les cavités polygonales dues aux stries se situent le long des creux formés par les V successifs. Échelle : 10  $\mu\text{m}$ .



Photo 16.

Cuirasse très ancienne (Kibwe wa Sanga) : vue d'ensemble de différentes couches d'un enduit ferrugineux ainsi que des grains de quartz qui y sont inclus. Stries parallèles (à droite de la petite flèche). Échelle : 100  $\mu\text{m}$ .

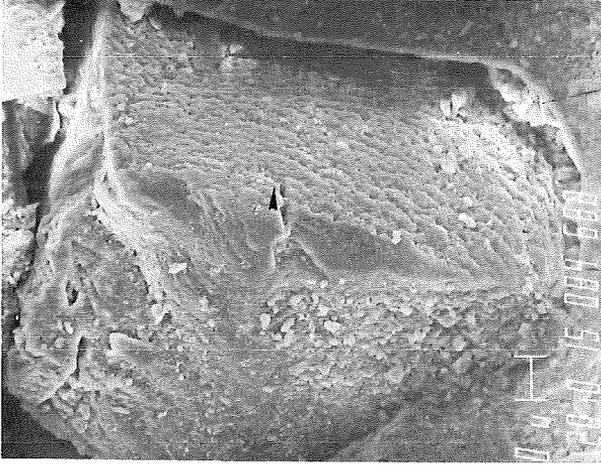


Photo 17.

Grain de quartz (petite flèche sur la photo 16). Les stries structurales sont perturbées par une attaque mécanique par la cataclase. Échelle : 10  $\mu\text{m}$ .



Photo 18.

Démantèlement quasi total d'un grain de quartz (photo 16, grande flèche). Action combinée de la cataclase et de la corrosion chimique. Il ne subsiste du grain de quartz qu'un chaos de microfragments. Porosité secondaire. Échelle : 10  $\mu\text{m}$ .

(1971), LEPRUN & NAHON (1973), LEVEQUE (1975 *in*: NAHON 1976, p. 61). Par ailleurs, certains travaux vont jusqu'à évoquer l'épigénie du quartz par les oxydes de fer (NAHON 1976, MULLER *et al.* 1980-1981).

### 2.3.2.2. Interprétation des observations faites sur les cuirasses du Haut-Shaba.

Contrairement aux grains de quartz des horizons rubéfiés, ceux qui ont été emprisonnés dans les cuirasses latéritiques, surtout les plus anciennes, ont subi une attaque chimique puissante.

Toutes les stries parallèles sont liées à la structure cristalline interne des quartz. Les unes correspondent aux plans de séparation de la face la plus dense (qui se développe le plus facilement) des individus structuraux proches du polyèdre élémentaire, les autres, en marches d'escalier, font suite au développement des figures triangulaires de dissolution qui par coalescence se transforment en dents de scie, la base des triangles étant située sur une même droite.

Pour certaines stries, l'aspect indenté n'apparaît que sur l'une des deux lèvres, l'autre étant caractérisée par la présence de bords droits. Il faut toutefois noter que la lèvre à aspect indenté peut se transformer à son tour en bord droit, dès que les zones intertriangulaires (les dents étant des triangles dont l'un des sommets est dirigé vers la lèvre opposée) seront éliminées par une nouvelle corrosion. Ce processus conduit à la formation des stries dont les deux lèvres perdent leur aspect indenté. La totalité, sinon la plupart des cavités polygonales serait nées d'une telle évolution.

Au sein des cuirasses, il apparaît peu probable que le pH soit le facteur déterminant de cette agression chimique. Le diagramme de KRAUSKOPF ne peut pas y être appliqué dans sa totalité, parce que les cuirasses latéritiques, surtout les plus anciennes, ont dû subir de fortes élévations de température, probablement brusques et multiples. L'occurrence de ces dernières serait due à des oscillations climatiques qui, plus particulièrement au Tertiaire, ont dû comprendre des phases climatiques arides au cours desquelles les cuirasses étaient en affleurement (ALEXANDRE-PYRE 1971).

En outre, des observations sur des sections polies taillées dans les cuirasses du Shaba, ont montré que les oxydes de fer avaient subi de multiples transformations minérales, liées à des mécanismes successifs de déshydratation et d'hydratation. Ces changements qui se sont produits la plupart du temps *in situ*, concernent les minéraux plus ou moins hydratés des groupes de la goethite et de l'hématite.

Par ailleurs, les études thermodynamiques et les observations de terrain faites par GAMERMANN (1979) et FRITZ (1981) nous paraissent, à ce sujet,

très révélatrices sur la solubilité du quartz. En effet, on sait maintenant, grâce à leurs travaux que :

- la solubilité du quartz augmente fortement avec la température, faiblement avec la pression et le pH des solutions ;
- l'équilibre quartz-solution est d'autant plus probable que la température est élevée.

D'autre part, la sursaturation des solutions, par rapport au quartz, très fréquente à basse température ne s'observe pas dans les zones plus profondes de la croûte terrestre (FOURNIER & ROWE 1966 *in* : FRITZ 1981).

En ce qui concerne les cuirasses latéritiques, l'augmentation de la température est d'autant plus fréquente que les recristallisations des minéraux comme la goethite pour atteindre leur équilibre, sont quasi permanentes (LEPRUN 1979). La déshydratation des minéraux importants, s'accompagnerait du dégagement de vapeurs d'eau, susceptibles de provoquer des corrosions superficielles de grains de quartz.

Les plans de séparations structurales qui constituent à présent des zones creuses, mais qui sont en fait des plans de discontinuité au sein du minéral, seraient la cible privilégiée des attaques. Le caractère agressif de ces solutions agit en profondeur, à telle enseigne que toute trace de paléo-environnement subsiste difficilement, surtout sur les cuirasses les plus anciennes. Inversement, la structure cristalline interne apparaît ici aussi. Aussitôt, les arêtes et les sommets des polyèdres subissent eux-mêmes la corrosion et donnent à la surface un aspect chagriné.

Il semble très peu probable que les oxydes de fer aient joué un rôle direct dans cette dissolution, comme en atteste l'absence quasi totale de matrice ferrugineuse dans les diverses cavités et figures de dissolution. Les minéraux les plus hydratés seraient cependant capables de produire de tels effets. En effet, dans les profils où le fer se présente uniquement sous forme d'hématite (horizons rubéfiés), la dissolution du quartz est absente. En revanche, il s'y produit des dépôts superficiels de silice amorphe, voire de quartz.

La silice résultant de cette dissolution aurait été adsorbée par les oxydes de fer, les complexes ferri-siliciques étant très instables (TRICHET 1963). Il faut imaginer une adsorption totale pour que ces vapeurs d'eau soient sous-saturées en silice et continuent ainsi à assurer la dissolution.

Pour arriver à une corrosion aussi intensive que celle observée sur la photo 13, il conviendrait d'évoquer des phénomènes lents et surtout répétitifs, à l'abri de substances étrangères, en l'occurrence l'aluminium (MILLOT 1960).

Les photos 14 et 15 montrent à quel point l'attaque chimique sélective peut contribuer à la mise en évidence de la structure cristalline interne des grains quartzeux. Pour ces photos précises, cette attaque s'est opérée quasi exclusivement le long des plans limitant les polyèdres «élémentaires» sans beaucoup altérer leur structure initiale. Ce fait montre que le stade de corrosion est peu avancé pour ce grain.

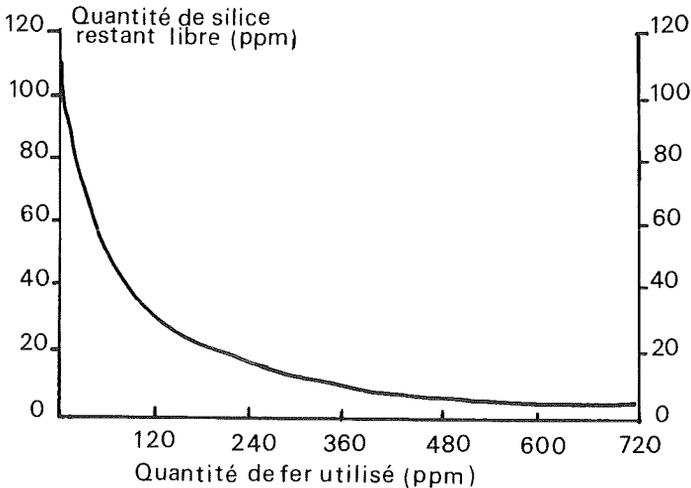


Fig. 2. — Bilan de l'adsorption de la silice par l'oxyde de fer (d'après LEAF 1948 *in* : TRICHET 1963).

La mise en relief de la structure cristalline interne du quartz par attaque chimique en milieu confiné et en présence de minéraux ferrugineux, n'est pas exceptionnelle en régions tropicales. D'autres chercheurs y ont déjà fait allusion, même si leur analyse n'a pas été suffisamment poussée dans le domaine qui nous occupe.

- Utilisant une méthode simple d'immersion des grains de quartz dans du baume de Canada, avant leur observation au microscope optique, ALEXANDRE-PYRE (1971, p. 60-b) signale déjà, pour un matériau de même origine que le nôtre, des mécanismes chimiques sélectifs aboutissant au dégagement de structure cristalline.
- De magnifiques photos dans ESWARAN & STOOPS (1979, fig. 2 b et c) montrent un impressionnant ensemble de polyèdres dans un état de fraîcheur remarquable. Cette fraîcheur, très différente de la surface de la plupart de nos grains, montre l'opposition entre un milieu plus évolué

(surfaces cuirassés anciennes du Haut-Shaba) et celui plus récent où les grains de quartz sont soumis à une attaque beaucoup plus faible (nodules de plinthite). De même, le stade avancé de la corrosion (fig. 2 f et g) décrit par ces auteurs, rappelle notre photo 9.

- Les figures 10 et 11, Planche II de LEPRUN (1979) font également apparaître l'état de dissolution avancé de la surface des grains de quartz au sein des cuirasses de l'Afrique occidentale sèche. Les grains structuraux y apparaissent moins bien émoussés et sont assez comparables à ceux observés au sein de la plinthite (ESWARAN & STOOPS 1979).

Les photos 16, 17 et 18 révèlent une action conjuguée d'une cataclase des grains de quartz et d'une dissolution sélective ultérieure. Une telle action entame profondément les éléments quartzeux avec l'élimination physique des fragments résultant de la cataclase. L'évolution du quartz est plus rapide sous l'effet conjugué des deux processus (photos 17 et 18). Sur cette dernière, il ne subsiste plus que des fragments emplissant l'emplacement du grain détruit (création de la porosité secondaire).

### 3. Conclusion

#### 3.1. *Dans les horizons ferrugineux hématitiques.*

- 3.1.1. Le développement des cassures conchoïdales crée des plans de moindre résistance, préjudiciable à la stabilité mécanique des grains de quartz.
- 3.1.2. Le manchon ferrugineux hématitique autour des grains de quartz n'empêche pas le processus de microsilicification de se produire. La silice formée sera surtout du type amorphe, du moins les premières phases, il ne se produit aucune dissolution du quartz préexistant, pas plus que celle de la silice de néoformation cependant amorphe. Aucun phénomène d'épigénie du quartz détritique par un composant ferrugineux n'a été observé.
- 3.1.3. La microtexture superficielle héritée tend à être masquée par un dépôt siliceux. L'aspect chagriné de la surface résulte, dans ce cas, de microsilicifications successives (trois phases – voir photo 6).

#### 3.2. *Au sein des cuirasses.*

- 3.2.1. L'action chimique se traduit, non pas par des dépôts siliceux, mais par une dissolution des grains de quartz détritiques. Les stries ainsi produites sont uniquement d'origine structurale au sens cristallographique du terme. Les vapeurs d'eau liées aux transformations miné-

- rales (déshydratation de certains minéraux ferrugineux) sous l'effet thermique pourraient être à la base de cette dissolution.
- 3.2.2. La structure cristalline des grains apparaît grâce à une dissolution sélective le long des plans limitant les polyèdres «élémentaires». La surface grenue généralisée est compatible avec un tel mode de dissolution qui élimine complètement les traces héritées de paléo-environnements.
  - 3.2.3. Pour les cuirasses plus anciennes (qui ont connu plusieurs oscillations climatiques, avec surtout des climats très arides), les grains connaissent un stade très avancé de corrosion. Le burinage intensif serait l'apanage des grains inclus dans les cuirasses encore beaucoup plus anciennes.
  - 3.2.4. L'action combinée de l'attaque chimique sélective et de la cataclase des grains provoque des démantèlements profonds des structures cristallines. Grâce à cette action, la destruction des grains devient même plus rapide et provoque une porosité secondaire importante.
  - 3.2.5. L'intervention directe du fer sur cette dissolution est incompatible avec l'absence de matrice ferrugineuse au contact avec les figures de corrosion.

#### REMERCIEMENTS

L'analyse au microscope électronique à balayage ainsi que la réalisation des photos présentées dans cet article, n'ont été possible que grâce à l'aide du professeur G. Goffinet de l'Institut de Zoologie de l'Université de Liège.

#### BIBLIOGRAPHIE

- ALEXANDER, G. B. 1953. Preparation of monosilicic acid. — *J. Amer. Chem. Soc.*, **75** : 2887-2888.
- ALEXANDRE-PYRE, S. 1971. Le plateau des Bianco (Katanga). Géologie et géomorphologie. — *Mém. Acad. r. Sci. Outre-Mer*, Cl. Sci. nat. et méd., nouv. sér. in-8°, **18** (3), 151 pp.
- ALEXANDRE, J. & TSHIDIBI, N. YA B. 1984. Les enduits ferrugineux associés aux cuirasses latéritiques successives du Haut-Shaba. — *In* : Journée d'étude «Les Processus de Latéritisation» (Bruxelles, 22 mai 1984). Académie royale des Sciences d'Outre-Mer, Bruxelles. Pp. 37-46.
- ALIMEN, A. & DEICHA, G. 1958. Observations pétrographiques sur les meulières pliocènes. — *Bull. Soc. Géol. France*, sér. 6, **8** (2) : 77-90.
- BECKWITH, R. C. & REEVE, R. 1963. Soluble silica in soils. 1. The sorption of silicic acid by soils and minerals. — *Aust. J. Soil Res.*, **1** : 157-158.

- DEMOLON, A. & BASTISSE, E. M. 1938. Sur quelques complexes colloïdaux du fer et de l'aluminium. — *Ann. Agron.*, Paris, **8** : 6-33.
- DEMOLON, A. & BASTISSE, E. M. 1944. Rôle vecteur de la silice dans les phénomènes géochimiques et physiologiques : Application au traitement de la chlorose ferrique. — *Ann. Agron.*, Paris, **11** : 265-297.
- DE PLOEY, J., LEPERSONNE, J. & STOOPS, G. 1968. Sédimentologie et origine des sables de la Série des sables ocre et de la Série des «Grès polymorphes» (système du Kalahari) au Congo occidental. — *Ann. Mus. r. Afr. centr.* (Tervuren), Série in-8°, Sci. géol., **61**, 72 pp.
- DOUGLAS, L. A. & PLATT, D. W. 1977. Surface morphology of quartz and age of soils. — *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, **41** : 641-645.
- ESWARAN, H. & STOOPS, G. 1979. Surface textures of quartz in tropical soils. — *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, **43** : 420-424.
- FLAGEOLET, J. C. 1980-1981. Aspects morphoscopiques et exoscopiques des quartz dans quelques sols ferrallitiques de la région de Cechi (Côte d'Ivoire). — *Cah. O.R.S.T.O.M.*, Sér. Pédol., **18** (2) : 111-121.
- FRITZ, B. 1981. Étude thermodynamique et modélisation des réactions hydrothermales et diagenétiques. — *Mém. Sci. Géol.*, **65**, 197 pp.
- GARMERMAN, N. 1979. Contribution à l'étude de la diagenèse des grès : couleur rouge, argiles authigènes et induration. Formations d'Estrada Nova, de Rosario do Sul et de Botucatu (Brésil) et Buntsandstein de Vosges (France). — *Mém. Sci. Géol.*, **59**, 121 pp.
- HAZEL, F., SCHOCK, R. U. & MAXWELL, G. 1949. Interaction of ferric ions with silicic acid. — *J. Amer. Chem. Soc.*, **71** : 2256-2257.
- JONES, L. H. P. & HADDRECK, K. A. 1963. Effects of iron and aluminium oxides on silica in solution in soils. — *Nature*, **198** : 852-853.
- KRAUSKOPF, K. B. 1956. Dissolution and precipitation of silica at low temperature. — *Geochim. et Cosmochim. Acta*, **10** : 1-26.
- KRAUSKOPF, K. B. 1959. The geochemistry of silica in sedimentary environments. — *Soc. Econ. Paleont. Min., Spec. public.*, **7** : 4-19.
- KRINSLEY, D. H. & TAKAHASHI, T. 1962. The surface textures of sand grains : an application of electron microscopy. — *Science*, **135** : 923-925.
- KRINSLEY, D. H., BISCAYE, P. R. & TUREKIAN, K. K. 1973. Argentine bassin sediment sources as indicated by quartz surface textures. — *J. Sedim. Petrol.*, **43** : 251-257.
- KRINSLEY, D. H. & DOORNKAMP, J. C. 1973. Atlas of quartz sand surface textures. — Cambridge University Press, 91 pp.
- KRINSLEY, D. H. & WELLENDORF, W. 1980. Wind velocities determined from the surface texture of sand grains. — *Nature*, **283** : 372-373.
- LENEUF, N. 1973. Observations stéréoscopiques sur les figures de corrosion du quartz dans certaines formations superficielles. — *Cah. O.R.S.T.O.M.*, Sér. Pédol., **11** (1) : 43-51.

- LEPRUN, J. C. & NAHON, D. 1973. Cuirassements ferrugineux autochtones sur deux types de roches. — *Bull. Soc. Géol. France*, **15** (3-4) : 356-361.
- LEPRUN, J. C. 1979. Les cuirasses ferrugineuses des pays cristallins de l'Afrique occidentale sèche. Genèse — Transformations — Dégradations. — *Mém. Sci. Géol.*, **58**, 224 p.
- LINDE, K. & MYCIELSKA-DOWGIALLO, E. 1980. Some experimentally produced microtextures on grain surfaces of quartz sand. — *Geogr. Ann.*, **62A** (3-4) : 171-184.
- LY, C. K. 1978. Grain surface features in environmental determination of late quaternary deposits in New South Wales. — *J. Sedim. Petrol.*, **48** : 1219-1226.
- MARGOLIS, S. V. 1968. Electron microscopy of chemical solution and mechanical abrasion features on quartz sand grains. — *Sedim. Geol.*, **2** : 243-256.
- MILLOT, G. 1960. Silice, silex, silicifications et croissance des cristaux. — *Bull. Serv. Carte Géol. Als. Lorr.*, **13** (4) : 129-146.
- MULLER, D., BOCQUIER, G., NAHON, D. & PAQUET, H. 1980-1981. Analyse des différenciations minéralogiques et structurales d'un sol ferrallitique à horizons nodulaires du Congo. — *Cah. O.R.S.T.O.M.*, Sér. Pédol., **18** (2) : 87-109.
- NAHON, D. 1976. Cuirasses ferrugineuses et encroûtements calcaires au Sénégal occidental et en Mauritanie. Systèmes évolutifs : Géochimie, structures, relais et coexistence. — *Mém. Sci. Géol.*, **44**, 232 pp.
- NORDSTROM, C. E. & MARGOLIS, S. V. 1972. Sedimentary history of central California shelf sands as revealed by scanning electron microscopy. — *J. Sedim. Petrol.*, **42** : 527-536.
- OKAMOTO, G., OKURA, T. & GOTO, K. 1957. Properties of silica in water. — *Geochim. et Cosmochim. Acta*, **12** : 123-132.
- PITTMAN, E. D. Diagenesis of quartz in sandstones as revealed by scanning microscopy. — *J. Sedim. Petrol.*, **42** : 507-519.
- RIBAUT, L. 1971. Comportement de la pellicule de silica amorphe sur les cristaux de quartz en fonction des différents milieux évolutifs. — *C. R. Acad. Sci., Paris*, Sér. D, **272** : 2649-2652.
- RIBAUT, L. 1977. L'exoscopie — méthode de détermination de l'histoire géologique des quartz détritiques. — *Kwartalnik Geologiczne*, **21** : 175-193.
- SCHMITT, J. G. & BOYD, D. W. 1981. Patterns of silicification in Permian pelecypods and brachiopods from Wyoming. — *J. Sedim. Petrol.*, **51** (4) : 1297-1308.
- SOYER, J. 1969. Aspects de surface de sables quartzueux au microscope électronique à balayage. — *Ann. Soc. géol. Belg.*, **92** : 215-227.
- SUBRAMANIAN, V. 1975. Origin of surface pits on quartz as revealed by scanning electron microscopy. — *J. Sedim. Petrol.*, **45** : 530-534.
- TRICHET, J. 1963. Première étude de quelques complexes du fer et de la silice. — *Rev. Géogr. et Géol. dyn.*, **5** (4) : 327-332.
- TSHIDIBI, N. YA B. 1985. Les cuirasses latéritiques du Haut-Shaba. Structure et composition. — Thèse de doctorat, Fac. Sciences, Univ. de Liège, 553 pp.
- VAN OOSTERWYCK-GASTUCHE, M. C. 1977. Sur les processus de silicification des

- calcaires dans le milieu supergène avec mention au processus de genèse des silicates de cuivre. — *Bull. Soc. belge Géol.*, **86** (2) : 67-90.
- VEBLEN, D. R., KRINSLEY, D. H. & THOMPSON, M. 1981. Transmission electron microscope study of quartz microstructures produced by aeolian bombardment. — *Sediment.*, **28** (6) : 853-858.
- WILLETTS, B. B., RICE, M. A. & SWAINE, S. E. 1982. Shape effects in aeolian grain transport. — *Sediment.*, **29** : 409-417.
- WILSON, P. 1979. Experimental investigation of etchpit formation on quartz sand grains. — *Geol. Mag.*, **116** (6) : 477-482.

## DISCUSSION

**M. C. Van Oosterwyck-Gastuche.** — Je me demande si les formations d'oxyde de fer et les corrosions que vous observez pour les quartz des cuirasses latéritiques du Haut-Shaba ne pourraient pas être mises en relation avec le pH des eaux qui les ont percolées.

Nous avons pu montrer dans des travaux déjà anciens que le mode de vieillissement des gels diffèrait considérablement selon qu'il se produisait en milieu confiné (cas de la plupart des expériences de laboratoire) ou en milieu de renouvellement constant des solutions (cas observé dans la nature et sur lequel le présent colloque a de nouveau insisté).

En imitant ce renouvellement des solutions (expériences de dialyse) nous avons obtenu un très grand nombre de cristallisations qui nous ont paru être précisément celles qu'on observe dans la nature.

En ce qui concerne les oxydes de fer, on constate que l'hématite apparaît à un pH inférieur à celui de la goethite <sup>(1)</sup>. Aussi, si vos quartz à goethite sont corrodés, c'est peut-être par l'action d'une solution faiblement alcaline et non d'une solution acide ?

Durant une étude visant à reproduire les silicifications en silicate de cuivre au Shaba, et notamment les remplacements du carbonate par les silicates qui y sont fréquemment observés, nous avons été amenés à conclure que ce phénomène était le fait non de solutions acides comme on le dit généralement, mais bien de solutions alcalines très diluées <sup>(2)</sup>.

En faisant vieillir certains gels de silice en milieu dialysé j'ai obtenu un quartz fibreux, comme vous l'avez montré. Ce résultat n'a pas été publié.

J'ajoute que ces expériences ont été menées en ignorant volontairement les influences organiques et biochimiques qui jouent un rôle encore difficile à apprécier et qui ont été mises en évidence notamment au cours de la présente journée d'étude.

(1) GASTUCHE, M. C., BRUGGENWERT, T. & MORTLAND, M. M. 1964. Crystallization of mixed iron and aluminium gels. — *Soil. Sci.*, **5** : 281-289.

(2) VAN OOSTERWYCK-GASTUCHE, M. C. 1977. Sur le processus de silicification des calcaires dans le milieu supergène avec mention au processus de genèse des silicates de cuivre. — *Bull. Soc. belge Géol.*, **86** (2) : 67-90.