

PETROLOGIE DES PRODUITS DE L'ALTERATION DES ROCHES ULTRABASIQUES A CHROMITES DE CAMPO FORMOSO. ETAT DE BAHIA - BRESIL.

H. BOUKILI¹, A. NOVIKOFF², Y. BESNUS¹, F. SOUBIES³ et C. QUEIROZ⁴.

1. Institut de Géologie, 1 Rue Blessig, 67084 STRASBOURG, FRANCE.
2. O.R.S.T.O.M., actuellement affecté à l'Institut de Géologie de STRASBOURG.
3. O.R.S.T.O.M., actuellement Dépt. Geol. Instituto de Geociencias U.S.P. CP 20899 SAO PAULO (S.P.) BRESIL.
4. COMEGEO SENHORDO BONFIM, Etat de BAHIA, BRESIL.

RESUME

L'altération hydrothermale des ultrabasites chromifères de Campo Formoso est caractérisée par une serpentinitisation, puis une chloritisation et enfin par une stéatitisation et une carbonatation. Un hydroxycarbonate chromifère (type stichtite) apparaît souvent au contact des chromites. Opale à cristobalite-trydymite et quartz sont trouvés épisodiquement. Les eaux superficielles altèrent en premier la stichtite en smectite chromifère, puis les serpentines et les chlorites en formant des saponites et des nontronites. Ces smectites sont détruites en surface, remplacées par des kaolinites et des hydroxydes de fer. Les chromites subissent des dissolutions et des transformations soulignées par la perforation de leurs bords dont le matériel s'oxyde et se dissout en surface.

I. INTRODUCTION

Ce travail représente une partie d'une étude plus vaste portant sur la pétrologie et la géochimie des produits de l'altération, tant hydrothermale que superficielle, des roches ultrabasiques à chromite exploitées près de Campo Formoso (Etat de Bahia-BRESIL), par 11°30' de latitude Sud et 40°20' de longitude Ouest. Le climat est semi-aride avec une pluviosité annuelle moyenne de l'ordre de 600 mm certainement supérieure sur les gisements étudiés.

O.R.S.T.O.M. Fonds Documentaire⁹

N° : 28799, ex 1.

Cpte : B

Un certain nombre de travaux effectués dans la région ont porté, au moins partiellement, sur les problèmes que nous traitons (HEDLUND et al., 1974; BESNUS et al., 1975; MESTRINHO et al., 1979/80). Nous allons présenter ici, tout d'abord, les principaux minéraux rencontrés, puis leurs modes d'association et enfin, leur évolution

II. GEOLOGIE

La géologie régionale (INDA et al., 1978) montre un socle ancien formé par les roches du groupe Caraiba, du Précambrien moyen à inférieur.

On y trouve des migmatites, des ectinites, des amphibolites, des leptynites, des gneiss, des intrusions granitiques et des corps basiques et ultrabasiques minéralisés en chromite. Ces roches sont recouvertes par les matériaux du groupe Jacobina, essentiellement détritiques. De nombreux pointements granitiques existent, le plus important étant celui de Campo Formoso. Ce granite daté 1900 ± 13 M.A. (TORQUATO et al., 1978), injecte les quartzites de la base du groupe Jacobina qui surmontent les ultrabasites au sommet desquelles on observe des poches de quartzites à chromite, vestiges de chromite alluvionnaire. Le corps ultrabasique de Campo Formoso, large de quelques centaines de mètres peut être suivi sur une quinzaine de kilomètres. Ces gisements ont été décrits comme stratiformes par THAYER (1970). Ils sont représentés par une succession de strates de serpentinites chromifères dont 3 à 4 d'épaisseur métrique sont exploitées. Entre ces bancs on trouve des serpentinites stériles ou des gabbros. L'ensemble est fortement tectonisé. Des fractures contiennent des diabases relativement fraîches.

III. LES MINÉRAUX

A. La chromite

La chromite est le seul minéral primaire constamment rencontré. Sous ce nom nous trouvons des spinelles composés de Cr, Fe, Al et Mg où Cr est généralement l'élément le plus abondant. Automorphe ou xénomorphe, la chromite présente pratiquement toujours des traces d'altération. En lumière transmise, on observe de nombreux golfes de corrosion sur les bords, alors qu'en réflexion, apparaît une frange carriée, caractérisée par la présence de petits trous plus ou moins abondants. Cette altération existe aussi le long des microfissures parcourant les grains de chromite (photo 1). Ces trous peuvent s'agrandir et envahir l'ensemble du spinelle, dont l'aspect devient spongieux alors que ses formes initiales restent parfois parfaitement reconnaissables (photo 2).

Dans les couches d'ultrabasites pauvres en spinelles certains grains sont fortement corrodés. La transformation de la frange altérée en nouveaux minéraux (chlorite, serpentine, talc, hydroxycarbonates, oxyhydroxydes) gagne vers le centre des cristaux, laissant derrière elle des débris de ceux-ci, dessinant des formes très diverses. La photographie 3 nous montre une structure en atoll (BLISS et al., 1975).

Le pouvoir réflecteur du matériel constituant la frange altérée est souvent plus élevé que celui du matériel formant le cœur du spinelle (photo 1), mais cela n'est pas obligatoire. Certains spinelles sont soudés (celui du milieu et ceux du bas de la photographie 1) par un matériel dont le pouvoir réflecteur peut être plus élevé que celui du reste des chromites. La liaison entre la variation du chimisme et celle du pouvoir réflecteur est nette. Quand il ne varie pratiquement pas dans les différentes parties de spinelles, même si les traces d'altération sont évidentes comme dans le cas des chromites spongieuses (photo 2), on constate que le chrome augmente de façon notable dans les zones altérées. Cette augmentation du chrome est accompagnée dans une moindre mesure, par celle du fer alors que l'alumine et le magnésium diminuent. Ce phénomène relativement courant ici, a été assez rarement observé (GOLDING et al., 1968).

Quand le pouvoir réflecteur est plus élevé sur les bords (photo 1) cela signifie que le fer y augmente beaucoup, le chrome peut diminuer, rester stable ou augmenter légèrement, le premier cas étant le plus commun. Aluminium et magnésium diminuent considérablement. Dans ce cas, le matériel appelé "ferritchromite" est

défini par SPANGENBERG (1943) in BEESON et al., (1969) comme "une substance opaque dont les propriétés physico-chimiques sont intermédiaires entre la chromite et la magnétite". De bonnes observations sur ce type d'altération ont été faites par BEESON et al. (1969), BLISS et al., (1975) et PANAYIOTOU (1978).

Il est à noter que les spinelles qui s'altèrent en donnant des formes très découpées, comme dans le cas de la structure en atoll, possèdent en général un cœur riche en fer, parfois en aluminium, titane et vanadium.

En approchant de la surface, dans la zone d'oxydation où se matérialise la goëthite, les grains de chromite, préalablement fortement altérés (large frange carriée et "ferritchromite") évoluent vers les hydroxydes de fer et de chrome dans lesquels on retrouve de petits débris de spinelle. Quand la frange altérée est mince, on aboutit à la formation de spinelles arrondis couverts par une très mince pellicule de matériel brun rouge trop mince pour être analysée.

Nous voyons donc que les études pétrologiques nous permettent de distinguer deux grands groupes de spinelles : Ceux qui s'altèrent rapidement en se fractionnant en petits débris et ceux qui s'altèrent beaucoup plus difficilement et forment souvent des cristaux bien reconnaissables dans les sols. A cela correspond, du point de vue de la composition, des spinelles relativement pauvres en chrome et parfois riches en aluminium qui évoluent en perdant de ces deux éléments, remplacés par du fer et des spinelles plus riches en chrome qui s'altèrent lentement en conservant cet élément. Il s'agit ici d'un schéma, souvent vérifié.

B. La magnétite

Elle existe parfois en grande quantité, en placage sur les chromites (photo 1), ou les cimentant ou remplissant des microfissures accompagnant de la chlorite, de la silice ou des carbonates. Il s'agit dans ce cas d'un matériel secondaire, provenant de la précipitation de fer originellement contenu dans des minéraux dissouts lors de diverses phases d'altération hydrothermales. Dans les grandes plages de magnétite, on peut voir un réseau d'aiguilles, à aspect de matériel exsudé, dont le pouvoir réflecteur est plus élevé que celui de la magnétite : il s'agit d'hématite. Ces dépôts secondaires de fer, sont parfois enrichis en nickel.

C. La serpentine.

En profondeur, c'est le minéral le plus commun. Les trois espèces minérales, lizardite, chrysotile et antigorite qui composent cette famille ont été observées. Leur nature a été vérifiée au M.E.T. par l'observation d'images en transmission et en diffraction. Dans notre cas, la lizardite, souvent cryptocristalline, associée à du chrysotile s'observe en présence de microtextures maillées qui rappellent celles des olivines (photos 5 et 6) dont elles proviennent. La serpentinisation des pyroxènes, avec microtextures conservées, qui donne de la bastite, est bien visible. Avec l'antigorite, qu'elle soit formée par de petits cristaux en mosaïque, des aiguilles (faciès aciculaire) ou des cristaux en forme de plumes, les microtextures primaires sont effacées (photos 9 et 10). Le chrysotile est pauvre en fer et aluminium, mais la lizardite et l'antigorite peuvent en contenir des quantités importantes. Une antigorite contient 8% de Fe_2O_3 , 0,4% de Cr_2O_3 et un peu d' Al_2O_3 et NiO une autre, au contact de chromite se compose de 9% de Fe_2O_3 , 1,8% d' Al_2O_3 , 1,1% de Cr_2O_3 et 0,6% de NiO

D. La chlorite.

On trouve très souvent du clinocllore chromifère, minéral déjà signalé dans la région par HEDLUND et al., (1974) et BESNUS et al., (1975). Il contient généralement plus de 2% de Cr_2O_3 en position octaédrique et peut être appelé kämmererite (LAPHAM, 1958). D'une belle couleur rose à violette, on y trouve jusqu'à 7,8% de Cr_2O_3 , de 1,2 à 2,5% de FeO, 0,3 à 0,6% de Fe_2O_3 et souvent un peu de NiO (0,2 à 0,4%). Elle montre des formes variables, rarement en lamelles centimétriques, plus souvent millimétriques ou en petits vermicules agrégés ou isolés (photos 4, 5, 6, 7, 8).

La chlorite verte, plus rare, contient jusqu'à 6,6% de FeO et 1,6% de Fe_2O_3 et nettement moins de Cr_2O_3 . TiO_2 peut y être relativement abondant sous forme de petites inclusions d'ilménite. Ce clinocllore se présente souvent en grandes lamelles centimétriques.

E. Le talc

Il ne présente pas de caractères minéralogiques particuliers. Il contient souvent un peu de fer (FeO jusqu'à 2,7%), d'aluminium et de chrome (moins de 1%), et parfois de nickel. On le trouve souvent près de fractures, envahissant la serpentine, en particulier l'antigorite (photo 9) ou la chlorite (photo 10). Certaines couches, pauvres en spinelles, sont très riches en talc et il semble que cette richesse soit liée à l'altération d'une roche localement riche en pyroxènes.

F. Les carbonates

La dolomite est plutôt rare, on la rencontre dans des fissures en rhomboédres de plusieurs centimètres ou en petits cristaux, dans des microfractures recoupant d'autres carbonates. Elle peut contenir des quantités mineures de fer, aluminium, nickel et très faibles de chrome.

La magnésite est plus commune et par endroits très abondante. Dans la mine de Campinas, toute la serpentine séparant des lits centrimétriques de chromite, peut être remplacée par de la magnésite qui peut contenir jusqu'à 2,2% de FeO et 0,4% de NiO, Al₂O₃ et Cr₂O₃, sont rares. De très petits flots de ce minéral sont quelquefois observés, isolés dans des plages de serpentine.

G. L'hydroxycarbonate de chrome.

Assez souvent, en compagnie d'un peu de magnésite et de talc, on trouve autour des chromites un hydroxycarbonate de chrome violet (plus sombre que la kämmererite) dont les caractéristiques cristallographiques sont très proches de celles de la stichtite citée par BRINDLEY et al., (1980). Les analyses à la microsonde ont permis de préciser sa composition et sa position. La composition en a été vérifiée sur un échantillon moyen, séparé par centrifugation dans une liqueur dense. Le carbone a été dosé par coulométrie. Sa formule converge vers celle proposée par Frondel (1941), Mg (Cr, Fe, Al)₂OH₁₆CO₃4H₂O. Cr₂O₃, toujours abondant peut représenter jusqu'à 25% du poids du minéral alors que Fe₂O₃ et Al₂O₃ restent peu abondants. Les traversées à la microsonde permettent d'observer les variations de composition de l'hydroxycarbonate et de constater qu'il n'y a pas de mélange d'espèces de compositions différentes comme la stichtite et la pyroaurite où le fer est plus abondant que le chrome. Cet hydroxycarbonate dont la présence est indiquée par HEDLUND et al., (1974) dans la région, n'a pas été isolé. Traversées à la microsonde et dissolutions ménagées ont aidé à localiser l'hydroxycarbonate, systématiquement situé autour ou près des chromites. Au microscope, on le trouve sous forme de groupements de fibres flexueuses se développant normalement aux parois des chromites ou un peu plus loin de ces grains en amas cryptocristallins (photos 6, 7 et 8). Son relief est supérieur à celui des chlorites ou des serpentines qui l'entourent et sa biréfringence, élevée, rappelle celle des micas.

Ce minéral n'est pas rare dans la région et, dans la mine de Pedrinhas, il peut représenter jusqu'à 30% d'échantillons d'un volume de plusieurs centaines de litres.

H. L'opale

On trouve quelquefois, un mélange de tridymite de basse température et de cristobalite épigénisant une serpentine à chromite et à chlorite. Il s'agit d'une roche verte, cireuse, dure, formant des passées atteignant une dizaine de centimètres d'épaisseur sur un mètre de long dans des bancs de serpentinites argilisées. A l'intérieur de ce matériel, on trouve des dépôts de serpentine secondaire et d'oxydes de manganèse dans des fissures et des plages de chromites éparses dans le matériel vert. Parfois on observe de grandes lamelles à aspect de chlorite. Les diffractogrammes de rayons X correspondent à un mélange de tridymite et de cristobalite avec des pics mineurs absents. JONES et al., (1971), ont appelé ce matériel de l'opale C-T (cristobalite-tridymite), appellation pratique. BALAKIREV et al., (1976) estiment qu'il s'agit de tridymite fortement désordonnée. Comme l'avait déjà signalé FLOERKE (1961), la présence d'ions étrangers provoque un grand désordre dans la cristallisation de la tridymite. Le fait important est l'existence de tridymite de basse température, certainement mal cristallisée.

L'observation microscopique (photo 11) montre la présence de plages de minéraux cryptocristallins et d'agrégats de fines fibres flexueuses disposées le long des parois des spinelles, et rappelant les formes de la stichtite. De l'analyse à la microsonde, il ressort que ce matériel est un mélange d'argile et de silice. Parmi les composants de l'opale et en l'absence d'argile, il y a jusqu'à 4% de Cr₂O₃, un peu de Fe₂O₃, MgO, Al₂O₃ et parfois de NiO. Les traversées montrent une très grande variabilité dans la répartition du chrome ce qui laisse à penser qu'il se trouve en dehors des structures jouant là, le rôle de perturbateur de cristallisation dont parle FLOERKE (1961). Cette opale a été rencontrée aussi près de failles remplissant des microfissures recoupant les serpentines et c'est en général ce faciès qui est le plus habituel pour ce matériau assez rare, alors que le quartz est très rare dans les ultrabasites altérées.

I. Les smectites.

Les smectites représentent la plus grande partie des produits de l'altération superficielle. Elles forment une masse, en général verdâtre, allant des serpentines à une trentaine de mètres de profondeur, jusqu'à quelques mètres de la surface où tout se rubéfie. Parmi ces smectites, on rencontre des volkonskoïtes riches en chrome (autour de 15% de Cr₂O₃) fortement colorées en vert, des smectites plus jaunâtres, proches des saponites (magnésiennes et peu alumineuses) et des nontronites vertes, d'un vert plus clair que celui des volkonskoïtes. Il ne s'agit là, évidemment, que de séparations très exagérées car, on a observé à l'analyse de nombreux intermédiaires entre ces trois pôles. Les smectites les moins chromifères et les moins alumineuses s'avèrent souvent les plus riches en NiO (jusqu'à 4%). Il arrive que l'on trouve dans une même lame des volkonskoïtes au contact des chromites et des saponites, dans des zones éloignées des spinelles, mais dans chacun de ces groupes, on retrouve de grandes variations de composition comme l'avaient constaté PAQUET et al., (1981), sur un exemple assez proche du nôtre.

J. La goethite

La goethite apparaît, mêlée à de la smectite, à quelques mètres de la surface, souvent il s'agit de chlorites altérées tardivement. Très près de la surface, la smectite disparaît et on trouve plus de goethite ainsi que de la kaolinite mal cristallisée. Ces phénomènes d'oxydation, accompagnés d'une destruction probable de smectites ainsi que de la "ferritchromite" ont été encore peu étudiés, mais certains spinelles présentent une auréole de "ferritchromite" partiellement transformée en goethite contenant de l'aluminium et du chrome (5 à 6%).

IV. LES ASSOCIATIONS MINÉRALES

Il sera question des principales associations de minéraux plutôt que de paragenèses successives qu'il n'est pas toujours possible de séparer.

Deux groupes d'associations existent : celui dont les minéraux proviennent de l'altération hydrothermale et celui où ils dérivent de l'altération météorique. La séparation entre les deux types de minéraux est basée sur les observations de terrain. On constate qu'à partir d'une profondeur de 30 à 40 mètres commence une smectianisation des minéraux. Les premières smectites se forment à partir de stichtite (fig. 12), puis en allant vers la surface, de serpentine et enfin de chlorite. Il s'agit là, nettement, de produits de l'altération météorique. A quelques mètres de la surface, l'ensemble brunit et de la goethite se forme par altération de certains minéraux opaques comme la magnétite, la chlorite et peut-être par la destruction de quelques smectites. En surface, la smectite disparaît et on trouve un peu de kaolinite mal cristallisée, beaucoup de goethite et du talc résiduel. Tout indique qu'il y a eu destruction des smectites. Ces phénomènes se produisent sans variation notable de volume, tant que les structures géologiques restent reconnaissables.

A. Associations liées à des phénomènes hydrothermaux.

Associations chromite-serpentine.

Ce cas est rare, la matrice est formée de serpentine aciculaire (antigorite) entourant des chromites altérées. Il faut noter que le cœur des chromites est ici riche en fer.

Association chromite-serpentine-chlorite

C'est l'association la plus commune, la serpentine est représentée par de la lizardite et du chrysotile ou de la batiste, les textures maillées sont courantes. La kämmererite entoure les spinelles et remplit des microfissures qui recoupent les plages serpentines et joignent les fl ts de chlorite entre eux (photos 4 et 5).

On trouve aussi des dépôts filoniens d'opale formée postérieurement à la chlorite. Les chromites sont altérées et les franges de "ferritchromite" sont importantes.

Trois générations de minéraux peuvent être distinguées : celle des serpentines, celle des chlorites et celle des opales.

Association chromite-serpentine-chlorite-talc

La serpentine est une antigorite présentant une structure aciculaire, en gerbe ou cryptocristalline. Les structures maillées disparaissent et du talc se forme aux dépens de la chlorite et de l'antigorite (photos 9 et 10). Les spinelles sont altérées sans que l'on puisse parler de "plus altérées" que précédemment. Nous observons deux générations de minéraux, celle de la chlorite et antigorite et celle du talc.

Association chromite-chlorite-hydroxycarbonate-magn s te

A cette association, relativement commune, correspond l'apparition de stichtite autour des spinelles. Les ilôts de lizardite et de chrysotile à texture maillée sont bien conservés, entre la serpentine et la stichtite, on trouve des lamelles de chlorite à aspect fluidal (photos 6 et 8). La magn s te, peu abondante, remplit des microfissures recoupant les serpentines et vient se noyer dans la stichtite. Les chromites présentent deux caractères particuliers. Elles sont souvent petites et de formes squelettiques (photo 6). Leurs bords, bien que très découpés, sont rarement piquet s ou cari s, il y a généralement peu de "ferritchromite". Ceci tend à prouver qu'il y a eu dissolution des bords altérés des spinelles sans élargissement d'une zone altérée du type "ferritchromite". Trois générations de minéraux se retrouvent ici, celle des serpentines, la chlorite et celle de la stichtite et magn s te avec, peut-être de nouvelles chlorites.

Association chromite-magn s te-talc-chlorite

Dans certains échantillons de chromite litée presque tous les silicates sont pratiquement remplacés par de la magn s te. De rares échantillons contiennent un peu de quartz. Les relations magn s te, talc et chlorite ne sont pas toujours claires. On observe la dissolution de chlorite (photo 10), des néoformations de chlorite : vermicules isolés, cimentés par du talc ou pris dans du carbonate. Du talc paraît parfois se n oformer près de la magn s te et d'autres fois, être remplacé par elle. Dans ce cas, nous distinguons trois générations de minéraux, celle de la serpentine, celle de la chlorite résiduelle et celle de la magn s te, du talc et de la chlorite néoformée.

Association chromite-chlorite-dolomite

Il s'agit d'un cas rare, où une grande partie de la chromite est remplacée par de la kämmererite vermiculaire qui englobe quelques cristaux millimétriques, bien formés, de dolomite. On l'observe aussi dans des microfissures recoupant de la stichtite ce qui laisse à penser qu'elle lui est postérieure.

B. ASSOCIATIONS LIÉES   DES PHENOMENES D'ALTERATION METEORIQUE

Association chromite-smectites

Elle est très commune. Les chromites paraissent s'altérer assez peu.

Association chromite-kaolinite-go thite

Elle est typique de l'horizon de surface. Les chromites présentent des marques d'altération caractérisées soit par la dissolution de "ferritchromite" soit par la transformation de cette "ferritchromite" en go thite.

DISCUSSION ET CONCLUSIONS

Des données précédentes ainsi que de celles de terrain, il ressort que trois phases hydrothermales ont marqué les ultrabasites, phases dont les minéraux sont compl tement transformés aujourd'hui par l'altération météorique.

A. Les phénomènes hydrothermaux

La première phase hydrothermale correspond à une serpentinisation généralisée des ultrabasites provoquée par un métamorphisme de faible degré. L'altération des olivines en lizardite et chrysotile à texture maillée et des pyroxènes en bastite, est complète.

La deuxième phase est marquée par l'apparition de kämmererite et d'un peu d'antigorite après une dissolution partielle de serpentine et de chromite. Dissolution partielle et incongruente pour les chromites, qui se traduit dans leurs bords altérés par un changement dans leur composition.

La troisième phase est caractérisée par une carbonatation, une st atization et une silicification. Sans observer sur le terrain les belles zonations à carbonates et talc d'ECKSTRAND (1975), nous trouvons une intercroissance de talc et de carbonates. Il se forme du talc qui peut être déstabilisé par des carbonates qui peuvent être resili fi s, ceci, en fonction de la variation du front de st atization et de carbonatation. Ceci explique la complexité relative des associations impliquant du talc, des carbonates et de la silice et l'apparition de différentes générations de chlorite. La formation de stichtite est intéressante car ce minéral, riche en Cr provenant de la dissolution, parfois importante, de chromite va servir de réservoir de Cr pour les néoformations à venir car il est facilement altérable. Il faut noter que cette dissolution des chromites, même s'il ne s'agit que de leur bord d j   altéré, donc plus fragile, nécessite la présence de solutions corrosives dont la nature ne nous est pas connue. L'importance des hydroxycarbonates dans les dernières phases d'altération hypogène a été souligné par NOACK et MAHON (1982) et marines (CROVISIER et al. 1983).

A ces trois stades d'altération hypogène sont liés trois phénomènes géologiques. Au métamorphisme régional correspond l'enfouissement des ultrabasites sous les séries détritiques du Protérozoïque. La chloritisation pourrait être le résultat d'un métamorphisme de contact provoqué par la mise en place des granites qui sont très proches. La carbonatation proviendrait, elle, du métamorphisme de contact lié à la montée de diabases à une époque plus récente. La présence de tridymite, minéral inconnu dans les séries anciennes, confirmerait cette hypothèse.

B. L'altération météorique

Le dernier  v nement, d'origine supergène, conduit à la formation d'une série de smectites plus ou moins chromifères et dont la diversité tient à leur position par rapport aux différents minéraux qui s'altèrent. Plus haut dans les profils apparaissent hydroxydes de fer et kaolinite. L'étude de ces deux types de minéraux n'a pas pu être approfondie, mais il est sûr que les bords précédemment altérés des chromites s'altèrent en hydroxydes partiellement dissous comme le montre l'observation des grains de chromite dans les sols.

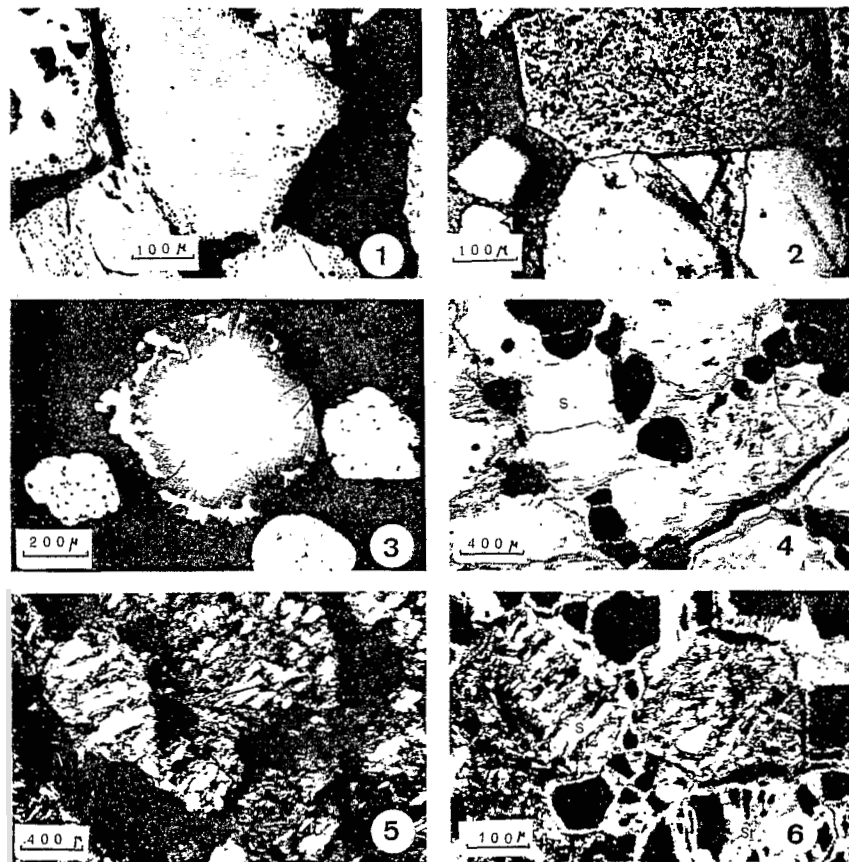
REFERENCES

- BALAKIREV V.G., TSINOBER L.I., KOVALENKO V.S., SVIRDENKO A.F. et AYEROV G.D. (1977) - Electron microscopy of cristobalite-tridymite opal. Dokl. Akad. Nauk. SSSR, trad., Scripta Publishing Co, Washington, 233, p. 136-138.
- BEESON M.H. et JACKSON E.D. (1969) - Chemical composition of chromite from Stillwater complex. Am. Mineral., 54, p. 1084-1100.
- BESNUS Y., FUSIL G., JANOT C., PINTA M. et SIEFFERMANN G. (1975) - Characteristics of some weathering products of chromitic ultrabasic rocks in Bahia State, Brazil. Proc. 5th Int. Clay Conf., Tokyo, Applied Publishing Ltd, Wilmette Illinois, p. 27-34.
- BLISS N.W. et MACLEAN W.H. (1975) - The paragenesis of zoned chromite from central Manitoba. Geoch. Cosmoch. Acta, 39, p. 973-990.
- BRINDLEY G.W. et BROWN G. (1980) - Crystal structures of clay minerals and their X-Ray identification. Mineralogical Soc. Monograph 5, 495 pp.
- CROVISIER J.L., THOMASSIN J.H., JUTEAU T., EBERHART J.P., TOURAY J.C. et BAILLIF P. (1983) - Experimental seawater-basaltic glass interaction at 50 C : study of early developed phases by electron microscopy and X-ray photoelectron spectrometry. Geoch. Cosmoch. Acta, 47, p. 377-387.
- FLOERKE O.W. (1961) - A discussion of the tridymite-cristobalite problem. Silicates Industrie, 26, p. 415-418.

- FRONDEL C. (1941) - Constitution and polymorphism of the pyroaurite and sjögrenite groups. *Am. Mineral.*, 26, p.295-315.
- GLASS J.J., VLISDIS A.C. et PEARREN C. (1959) - Chromian antigorite from the Wood's mine, Lancaster County, Pennsylvania. *Am. Mineral.*, 44, p.651-656.
- GOLDING H.G. et BAYLISS P. (1963) - Altered chrome ores from the Coalac Serpentine Belt, N.S.Wales, Australia. *Am. Mineral.*, 53, p.162-183.
- GROVES D.I. et KEAYS R.R. (1979) - Mobilization of ore-forming elements during alteration of dunites, Mt. Keith-Betheno, Western Australia. *Canad. Mineral.*, 17, p.373-390.
- HEDLUND D.C., COUZO MOREIRA J.F., FERRAZ PINTO A.C., DA SILVA J.C. et SOUZA G.V.V. (1974) - Stratiform chromitite at Campo Formoso, Bahia, Brazil. *Jour. Research U.S. Geol. Survey*, 2, p.551-562.
- INDA H.A.V. et BARBOSA J.F. (1978) - Mapa Geologico do Estado da Bahia, C.P.M. Governo do Estado Bahia, Brésil, 137 p.
- JONES J.B. et SEGNIET E.R. (1971) - The nature of opal I Nomenclature and constituent phases. *Journal. Geol. Soc. Australia*, 18, p.57-68.
- LAPHAM D.M. (1958) - Chromium chlorites. *Am. Mineral.*, 43, p.921-956.
- MESTRINHO S.S.P. et NOVIKOFF A. (1979-1980) - Comparaison géochimique des chromites d'Andorinha et de Campo Formoso, Bahia (Brésil). *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Géol.* XI, p.75-94.
- NOACK Y. et NAHON D. (1982) - Sur une association serpentine-carbonate (lizardite-pyroaurite) dans l'altération hypogène de l'olivine des massifs ultrabasiques de Sipiion (Ouest de la Côte d'Ivoire). *C.R. Acad. Sci., Paris*, 295, série II, p.1129-1134.
- PANAYIOTOU A. (1978) - The mineralogy and chemistry of the podiform chromite deposits in the serpentinite of the Limassol Forest, Cyprus. *Mineral. Deposita*, 13, p.259-274.
- PAQUET H., DUPLAY J. et NAHON D. (1981) - Variations in the composition of phyllosilicates monocrystals in a weathering profile of ultrabasic rocks. *Proc. 7th Int. Clay Conf. Bologna, Elsevier*, p.595-603.
- THAYER T.P. (1970) - Cité dans BACELLAR G.A. et LEAL G.R.N. (1973) - Perfil analítico da cromita. *Boletim n°10, DNP, Rio de Janeiro*, 55 p.
- TORQUATO J.R., OLIVEIRA M.A.F. et BARTELS R.L. (1978) - Idade radiométrica do granito de Campo Formoso (Ba). *Rev. Bras. Geoc.*, 8, p.171-179.

Remerciements

Les auteurs remercient les directions et le personnel, du CNP, de la FERBASA, de l'Institut de Geociencias de l'UFBA, au Brésil, de l'O.R.S.T.O.M., des laboratoires de Minéralogie, de Géochimie et de Pédologie de l'Université Paul Sabatier de Toulouse et de l'Institut de Géologie de Strasbourg, pour leur aide. L'assistance de M.M. SIEFFERMANN, initiateur de ces travaux, VERDONI de l'O.R.S.T.O.M., de M.M. SEMPERE et HAUTEFAGE (laboratoire de Minéralogie et I.N.S.A. de Toulouse) nous a été précieuse.



ABSTRACT

Hydrothermal alterations of chromiferous ultramafic rocks of Campo Formoso are characterized by a serpentinization, then a chloritization and finally a carbonatation and steatization. A stichtite like chromiferous hydroxycarbonate appears often surrounding the chromites. Cristobalite-tridynite opal and quartz are sometimes found. Weathering firstly affects stichtite giving a chromiferous smectite, then serpentines and chlorites giving saponites and nontronites. Near soil surface smectites are broken and replaced by kaolinites and iron hydroxides. Chromites suffer dissolutions and transformations underlined by border reaction; in the upper part of the alteration profile the border material will be partially oxidized and dissolved.

Planche I

Photo 1. Lumière réfléchie. Altération à aspect piqueté des bords des microfissures ou de chromite avec parfois, soudure des grains. Matériel piqueté ayant un pouvoir réflecteur supérieur à celui du coeur de la chromite. En haut, à droite, placage de magnétite sur chromite altérée.

Photo 2. Lumière réfléchie. Chromite du bas : phénomène identique au précédent, au-dessus : chromite spongieuse à forme conservée. Le pouvoir réflecteur ne varie pratiquement pas.

Photo 3. Lumière réfléchie. Chromite altérée, à structure en "atoll".

Photo 4. L.N. et Photo 5 L.P. Chromite entourée par de la kämmererite qui remplit aussi des microfissures recoupant des filots de serpentine maillée.

Photo 6 L.P. Les chromites sont cimentées par de la stichtite. Des filots de serpentine maillée subsistent, séparés de l'hydroxycarbonate par de la chlorite.

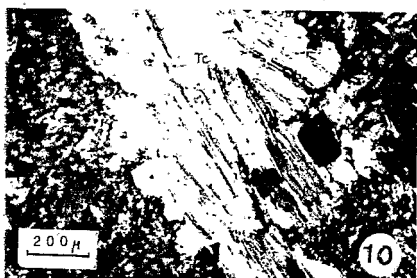
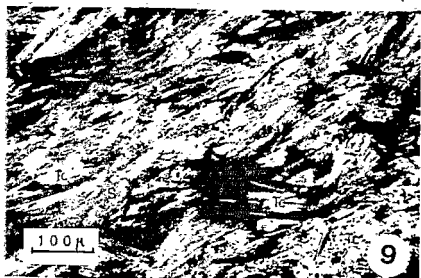


Planche II

Photo 7 L.N. Chromite, stichtite radiée, chlorite à aspect fluidal, serpentine.

Photo 8 L.P. Lamelles de stichtite bien visibles au contact des chromites. Une frange de chlorite à aspect fluidal les sépare de la serpentine.

Photo 9 L.P. Transformation de serpentine aciculaire en talc.

Photo 10 L.P. Stéatitisation de kämmererite et de serpentine cryptocristalline.

Photo 11 L.P. Silicification (tridymite et calcédoine) avec épigénie apparente de stichtite et de serpentine.

Photo 12 L.N. Altération superficielle de stichtite en volkonskoïte, avec épigénie apparente de l'hydroxycarbonate.

St : stichtite, S : serpentine, K : kämmererite, Tc : talc.