

# MICROMORPHOLOGIE DES ALTERATIONS SUPERGENES DE LA LUJAURITE DU MASSIF ALCALIN DE POCOS DE CALDAS, MINAS GERAIS, BRÉSIL

DELVIGNE J.<sup>1</sup>, SOUBIES F.<sup>2</sup> et SARDELA I.<sup>3</sup>

## ABSTRACT

*The ferrallitic weathering of the Lujaurite (nepheline syenite containing accessory minerals with titanium and zirconium) of Poços de Caldas (MG, Brazil), produces iron-poor undisturbed saprolites. Petrographic study of successive weathered crusts permits identification of the mineralogical and microstructural transformations of the aluminous minerals (nepheline, natrolite, sericite and orthoclase), the ferriferous minerals (aegyrine and arfvedsonite) and the accessory minerals (rinkite and eudyalite). The secondary microstructures, particularly the gibbsitic pseudomorphs after the aluminous minerals, are very characteristic, differing only in accordance with the primary minerals species from which they were derived by isovolumetric weathering processes.*

## MOTS CLES :

Altération ferrallitique – Syénite néphélinique – Brésil.

## INTRODUCTION

Les roches éruptives alcalines, peu fréquentes ailleurs dans le monde, sont largement représentées au Brésil : elles s'étagent du Nord au Sud du Pays et se localisent à la périphérie de l'immense bassin du Parana. Leur mise en place s'étale sur tout le Crétacé et semble liée aux déformations de la lithosphère qui ont entraîné l'ouverture de l'Atlantique Sud. Par leurs structures et leurs compositions minéralogiques, les roches alcalines du Brésil ne se différencient que très peu des roches des massifs alcalins étudiées dans d'autres parties du monde telles que la presqu'île de Kola ou le Groenland (FERGUSON, 1970 ; SORENSEN, 1970 ; HEINRICH, 1980). Au Brésil, ASHRY (1962) en a donné une première description.

Les roches alcalines, généralement très pauvres en quartz et en fer et riches en alumine concentrée dans des minéraux souvent très altérables, ont tendance, dès que le climat et les conditions topographiques s'y prêtent, à former directement des altérites bauxitiques. Les roches alcalines étudiées n'échappent pas à cette règle (MELFI et CARVALHO, 1983).

Ce travail a pour but d'étudier l'altération supergène d'une roche alcaline, la lujaurite du massif de Poços de Caldas. Il n'est pas possible de comprendre les transformations supergènes sans étudier auparavant l'altération hydrothermale, en effet rares sont les échantillons qui ne portent pas, à des degrés divers, la trace des activités hydrothermales. Il nous a donc semblé intéressant d'analyser le comportement de certains minéraux d'origine hydrothermale vis à vis de l'altération superficielle et en particulier celui de la natrolite. Ce dernier minéral, dans les échantillons peu transformés, provient exclusivement de la transformation de la néphéline.

## LE MATERIEL ETUDIE ET SON ENVIRONNEMENT

Le massif alcalin de Poços de Caldas est situé à la limite des Etats de Sao Paulo et du Minas Gerais (21–22°S, 46–47°W), à environ 300 km au nord de Sao Paulo. Il se présente sous forme d'une caldera d'environ 30 km de diamètre. L'anneau périphérique, correspondant à un ensemble de ring-dikes, a une altitude absolue comprise entre 1500 et 1700 m, surmonte d'environ 350 m la partie centrale déprimée de la caldera et d'environ 600 m la région environnante constituée de gneiss et de roches sédimentaires d'âge crétacé. Les pentes sont relativement fortes dans l'anneau périphérique alors que le plateau central présente une topographie plus régulière dont les reliefs peu accusés correspondent aux différences lithologiques.

Le climat est du type tropical d'altitude avec une pluviosité moyenne annuelle de 1.700 mm concentrée dans une saison humide qui s'étend d'octobre à mars. La température moyenne annuelle est de 18°C. La végétation naturelle a été pratiquement éliminée pour les besoins de l'élevage et des cultures. Les lambeaux de végétation naturelle comportent de petites forêts tropicales subcaducifoliées mêlées d'espèces de zone plus tempérée (*Araucaria angustifolia*) faisant place vers les sommets à une steppe à graminées.

1 – O.R.S.T.O.M., Instituto de Goeciencias, Universidade de Sao Paulo, Caixa Postal 20899, CEP 05508 SAO PAULO, BRASIL.

2 – O.R.S.T.O.M., Instituto Astronomica e Geofisico, Universidade de Sao Paulo, SAO PAULO, BRASIL.

3 – Instituto Astronomico e Geofisico, Universidade de Sao Paulo, SAO PAULO, BRASIL.

A Poços de Caldas, les roches les plus fréquentes appartiennent au groupe appaïtique des syénites néphéliniques : on y trouve des microsyérites néphéliniques (tinguaïtes), des phonolites et des syénites grossières (foyaïtes). Dans la partie nord du massif, on y rencontre des syénites néphéliniques particulières à zirconosilicates (Lujaurites et Chibinites). Une partie importante du massif alcalin a été l'objet d'une fénitisation tardive et d'une altération hydrothermale intense (métasomatose potassique). La mise en place des Chibinites et Lujaurites appartient à la dernière phase de construction du massif alcalin de Poços de Caldas (D.N. P.M., 1978 ; ULBRICH et al, 1979 ; ULBRICH, et GOMES, 1981 ; ULBRICH, 1984).

Les lujaurites de Poços de Caldas sont peu différentes des roches étudiées par BROEGER (1890) dans la presque île de Kola. Ce sont des roches mésocrates, de texture grossière et à structure planaire nettement orientée rappelant l'aspect de gneiss ocellés ; elles sont riches en feldspath alcalin et ne contiennent pas de sphène mais de nombreux minéraux accessoires dans lesquels se concentrent le titane et/ou le zirconium. La structure est due d'une part à l'orientation planaire de la plupart des feldspaths (très accessoirement des néphélines) et, d'autre part, au feutrage des aiguilles d'aegyrine qui, suivant des plans onduleux, contournent ou enveloppent les autres minéraux. Cette disposition régulière en feuillets sub-parallèles influence fortement la progression des altérations supergènes ultérieures.

La distribution très inégale de l'eudyalite sous forme de plages centimétriques ou décimétriques d'agrégats polyminéraux, ainsi que la granulation grossière de la lujaurite rendent difficile l'estimation de la composition modale de la roche. Toutefois, on peut estimer que la roche est composée d'environ 40 % de feldspath potassique, de 25 % de néphéline et de 35 % d'aegyrine. Dans certains échantillons le pourcentage d'eudyalite peut dépasser 10 %. Les minéraux accessoires, pour la plupart des minéraux dans lesquels se concentrent le titane, le zirconium et les terres rares, ne se rencontrent que sporadiquement et leurs pourcentages moyens ne dépassent pas plus de 1 à 2 % du volume total de la roche. Parmi les principaux, citons l'arfvedsonite, la lamprophyllite, l'astrophyllite, la mosandrite-rinkite, les minéraux opaques et l'apatite.

Le feldspath potassique,  $KAlSi_3O_8$ , très peu sodique, se présente en cristaux de taille centimétrique, automorphes, placoïdes et maclés. Les cristaux sont bien orientés dans le sens de la foliation générale de la roche. Les inclusions sont relativement rares et surtout constituées d'aegyrine ou d'apatite.

La néphéline,  $(Na,K)AlSi_3O_8$ , se présente en cristaux isolés ou groupés, hypidiomorphes, associés au feldspath alcalin et, comme lui, entourés de feuillets d'aiguilles d'aegyrine. Les cristaux sont courts et de taille inférieure à celle du feldspath. Les inclusions, nombreuses, sont constituées de fragments d'aiguilles d'aegyrine et de petits prismes de rinkite.

Le pyroxène aegyrine,  $NaFe_3Si_2O_6$  se présente en faisceaux d'aiguilles, de taille millimétrique à centimétrique, assemblées entre elles pour former un feutrage irrégulier mais continu qui contourne les autres minéraux de la roche. Le pyroxène est sporadiquement associé à certains minéraux accessoires titanifères tels que la rinkite  $(Na,Ca,Ce)_3Ti_3(SiO_4)_2F$ , l'astrophyllite  $(K,Na)_3(Fe,Mn)_7Ti_2Si_8O_{24}(O,OH)_7$ , la lamprophyllite  $Na_2(Sr,Ba)_2Ti_3(SiO_4)_4(OF,F)_2$ , et les minéraux opaques.

L'eudyalite forme des plages irrégulières, de forme ovoïdes et de taille décimétrique, de couleur rose à violacée à l'affleurement. En plaque mince elle apparaît assemblée en agrégats de grains interstitiels avec de nombreuses inclusions d'aegyrine. Ces grains sont en fait eux-mêmes des agrégats de grains de composition chimique variable : l'eudyalite fait partie d'une série continue dans laquelle elle forme un pôle de composition  $Na_4(Ca,Ce,Fe)_2ZrSi_6O_{17}(OH,Cl)_2$ . Incolore en plaque mince, elle présente une biréfringence très basse et irrégulière avec taches et bandes isotropes. Chaque grain est entouré d'un liseré ou traversé par un réseau irrégulier de bandes de couleur rose violacé, fortement pléochroïque, polarisant dans les teintes beige-chatain. Ces liserés violacés sont particulièrement bien développés autour des inclusions d'aegyrine et au contact des autres minéraux de la roche. D'autres agrégats sont presque exclusivement composés d'eucolite, membre de la série de l'eudyalite contenant du Niobium, minéral incolore en plaque mince mais qui polarise dans les teintes bleues. Les agrégats mixtes à eudyalite et eucolite ne se rencontrent que dans les plages de grande taille. Par contre, la mésodyalite, terme intermédiaire de la série, se présente indifféremment associée à l'un ou l'autre des membres extrêmes de la série.

Les minéraux accessoires, silicates riches en titane et parfois en terres rares, sont très inégalement répartis dans la roche : la lamprophyllite et l'astrophyllite sont souvent associées aux aiguilles d'aegyrine tandis que la rinkite se rencontre le plus souvent en petits prismes courts inclus dans la néphéline. L'arfvedsonite est relativement fréquente et se présente sous forme de cristaux centimétriques, poecilittiques, incluant des cristaux isolés d'aegyrine et parfois de petites plages d'eudyalite rose riches en mésodyalite.

Sur le site de la lujaurite où l'érosion est intense et les affleurements nombreux, on n'observe pas de bauxites exploitables par manque d'épaisseur de l'altérite. Toutefois, l'altération des composants essentiels de la lujaurite conduit à la formation d'une altérite gibbsitique poreuse comparable à celles qui se développent sur les tinguaïtes et foyaïtes situées à proximité.

Les sols de cette région sont des sols de transition entre les sols ferrallitiques et les sols brunifiés. Ils sont acides, moyennement à fortement désaturés et leur fraction argile, surtout

kaolinitique, est fréquemment mêlée à de la gibbsite et de la séricite héritées des roches et altérites. On y trouve aussi de l'halloysite 7–10 Å.

## ALTERATION HYDROTHERMALE

### Distribution des altérations hydrothermales et supergènes

Les boules de roches saines recouvertes de cortex d'altération récoltées en affleurement ou dans les puits, ont toutes des formes allongées et aplaties visiblement imposées par la structure planaire de la roche saine ; elles sont comparables aux boules et cortex provenant de l'altération des gneiss. En coupe, on n'aperçoit que le noyau de roche saine, la dislocation des feuillets d'aegyrine étant responsable de la pénétration privilégiée suivant ces plans de l'altération supergène.

En plaque mince, on observe que non seulement l'altération supergène suit préférentiellement la direction de ces plans, mais que la transformation de certains minéraux par des processus hydrothermaux antérieurs, suit la même distribution, avec toutefois une répartition plus étendue. Ainsi, dans le noyau de roche saine, la néphéline, encore intacte dans la partie centrale de l'échantillon, se voit transformée progressivement en natrolite  $\text{Na}_2\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{10}\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , d'abord le long des feuillets riches en aegyrine, ensuite, au fur et à mesure que l'on se rapproche du cortex altéré, dans leur quasi totalité. Cependant les deux réseaux de pénétration ne sont pas entièrement superposables et l'altération supergène peut atteindre des minéraux de la roche qui n'ont pas été transformés par les processus hydrothermaux. On voit très bien par là que le passage de la néphéline à la gibbsite ne se fait pas nécessairement par l'intermédiaire de la natrolite et que les deux transformations observées sont totalement indépendantes l'une de l'autre.

### Altération de la néphéline en natrolite

La néphéline de la lujaurite est le minéral le plus sensible à l'altération hydrothermale. La transformation en natrolite est la plus fréquemment observée bien que, dans certains cas, on voit aussi apparaître l'analcite ou la sodalite. La transformation en natrolite débute généralement dans la partie périphérique du cristal de néphéline et, de préférence du côté le plus proche des feuillets riches en aegyrine qui apparaissent ainsi comme les voies préférentielles de pénétration des processus hydrothermaux bien que le pyroxène lui-même ne soit pas atteint par ces processus. Par contre, les minéraux accessoires titanifères, généralement associés aux pyroxènes, sont alors transformés en minéraux secondaires titanifères (leucoxène).

Dans certains cas, la transformation en natrolite suit le réseau sinueux de fissures qui parcourent la néphéline et l'on voit apparaître des taches irrégulières de natrolite, en forme de méats ou de rosettes, polyminéraliques, parfois entourées d'une couronne diffuse de minuscules inclusions gris brunâtre titanifères.

La natrolite se présente en agrégats mésogrenus de grains bien engrainés, sans orientation préférentielle. Dans le cas d'échantillons fortement transformés, la totalité de la néphéline est remplacée par la natrolite mais les limites originelles s'estompent car la natrolite néoformée a tendance à s'insinuer entre les cristaux voisins d'aegyrine, d'eudyalite ou d'orthose alors partiellement séricitisés. Les inclusions de rinkite ou d'aegyrine disparaissent souvent des plages de natrolite et semblent être à l'origine de petits nuages d'inclusions microcristallines, grises ou brunes, régulièrement répartis dans la pseudomorphose.

### Altération de la néphéline en séricite

Les processus métasomatiques potassiques sont responsables de la transformation d'une partie des minéraux de la lujaurite dont la néphéline peut être totalement remplacée par la séricite. Les autres minéraux essentiels, orthose, aegyrine et eudyalite, semblent peu affectés par la métasomatose. La séricite qui remplace la néphéline est généralement très bien orientée et forme des pseudomorphoses finement poreuses dans lesquelles les reliques de néphéline sont rares. Par contre, les inclusions de rinkite et d'aegyrine sont fréquentes, comme dans la néphéline originale, et ne sont pas transformées.

### Transformation des minéraux titanifères et zirconifères

Dans les roches même partiellement transformées par les processus hydrothermaux, tous les minéraux accessoires titanifères sont remplacés par des agrégats microcristallins, non orientés, de couleur blanche à beige, pratiquement opaques, présentant beaucoup de ressemblance avec le leucoxène. Le fer contenu en quantités variables dans les minéraux originels se fixe séparément en taches ou en amas microcristallins ou isotropes, brun foncé, répartis en bordure ou au centre des plages de leucoxène.

L'eudyalite est partiellement et très irrégulièrement altérée en un mélange d'hydroxydes de fer, plus ou moins bruns et opaques, formant un réseau irrégulier de taches et de bandes sinueuses, et d'un minéral incolore, de très petite taille, rappelant la cancrinite. La catapléite  $\text{Na}_2\text{ZrSi}_3\text{O}_9\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , en grains irréguliers de couleur brun rouge, a été rencontrée assez fréquemment.

## ALTERATION SUPERGENE

Tous les minéraux primaires de la lujaurite sont altérables mais ils le sont avec un certain décalage dans le temps et dans l'espace. La néphéline, déjà très sensible aux processus d'altération hydrothermale, est encore une fois le minéral le plus altérable vis à vis des processus superficiels ; les pyroxènes et amphiboles s'altèrent après la néphéline alors que l'orthose, moins altérable, tend à ne disparaître que dans les cortex extérieurs des roches altérées. Soumises aux conditions climatiques et topographiques qui prévalent dans la partie montagneuse du massif alcalin de Poços de Caldas, les roches s'altèrent principalement selon un processus ferrallitique qui conduit à la formation de gibbsite à partir des minéraux titanifères à partir des minéraux accessoires. Les altérations de ce type sont toujours isovolumétriques avec conservation des structures originelles.

### Altération de la néphéline en gibbsite (Fig. 1)

Le feldspathoïde sodique, s'il n'a pas été transformé antérieurement en natrolite ou en séricite, est le premier minéral à s'altérer en gibbsite. L'altération est rapide et complète dès que le minéral est atteint par le front d'altération. Elle débute dans la partie périphérique du minéral ou en suivant le réseau de clivages et de fractures. On aboutit rapidement à un agrégat de cristaux de gibbsite, arrangés d'une manière lâche et très poreuse, formant des alignements irréguliers de cristaux entourant des alvéoles remplies d'un matériau optiquement isotrope de couleur jaunâtre qui disparaît rapidement sans être remplacé par des cristallisations secondaires. Le réseau gibbsitique apparaît ainsi comme une fine dentelle de cristaux de gibbsite. La transformation est isovolumétrique et les limites originelles sont évidemment bien respectées puisque les minéraux voisins, à ce stade de l'altération, sont encore intacts.

Les inclusions de rinkite et d'aegyryne de la néphéline ne sont pas altérées en même temps que celle-ci et persistent longtemps au sein des plages de gibbsite. Elles ne s'altéreront que durant une phase ultérieure en donnant de petits agrégats microcristallins d'hydroxydes de fer et de minéraux titanifères disséminés en taches à limites diffuses dans les plages de gibbsite formées antérieurement.

### Altération de la natrolite en gibbsite (Fig. 2)

La natrolite  $\text{Na}_2\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{10}\cdot 2\text{H}_2\text{O}$  s'altère également en gibbsite et plus rapidement encore que la néphéline dont elle provient. Il n'est pas rare en effet de rencontrer, en couronne périphérique ou en taches et méats à l'intérieur de la néphéline, des plages polycristallines de gibbsite dont la taille et les formes rappellent exactement celles de la natrolite. Avec la progression de l'altération, les reliques de néphéline disparaissent à leur tour et la pseudomorphose est alors composée de deux ensembles de cristaux de gibbsite bien discernables l'un de l'autre : le premier, formé de cristaux de gibbsite de taille moyenne, arrangés en réseaux alvéolaires avec des résidus d'inclusions étrangères, dérivé de l'altération directe de la néphéline, le second, formé de cristaux de gibbsite, de taille supérieure aux précédents, arrangés en agrégats compacts, non poreux et sans inclusions, correspondant à l'altération de la natrolite (voir Fig. 2).

### Altération de la séricite en gibbsite (Fig. 3)

La séricite, formée par métasomatose potassique de la néphéline, s'altère également en gibbsite mais plus tardivement, dans un stade d'altération où les mouvements du fer, libéré des pyroxènes, diffusent et imprègnent les minéraux secondaires originellement non ferrifères. Ainsi la séricite s'imprègne d'abord d'hydroxydes de fer avant de s'altérer elle-même en gibbsite, non orientée et en structure rubanée mais cette fois, sous forme de très petits cristaux de taille nettement inférieure aux cristaux de gibbsite formés par altération de la néphéline et de la natrolite. Ces microagrégats de gibbsite apparaissent, en lumière naturelle, sous forme de plages brunâtres par suite de la présence des hydroxydes de fer antérieurement piégés dans les plages de séricite. La gibbsite est parfois accompagnée de kaolinite (voir Fig. 3).

### Altération de l'orthose en gibbsite (Figs. 4 et 5)

Le feldspath potassique, très peu affecté par les processus hydrothermaux et métasomatiques, est le dernier minéral à s'altérer et, dans la lujaurite de Poços de Caldas, on y observe fréquemment des cristaux intacts d'orthose entièrement entourés de plages de gibbsite et d'hydroxydes de fer. Dans les cortex altérés de la roche, l'orthose commence à se fracturer et l'on observe alors des alignements, parfois orientés, de cristaux de gibbsite remplissant les plans de fracture, de clivage ou de macle du feldspath. Ces fractures sont généralement perpendiculaires au grand axe du feldspath. Dans un stade ultérieur, les fragments d'orthose diminuent de volume et perdent leur

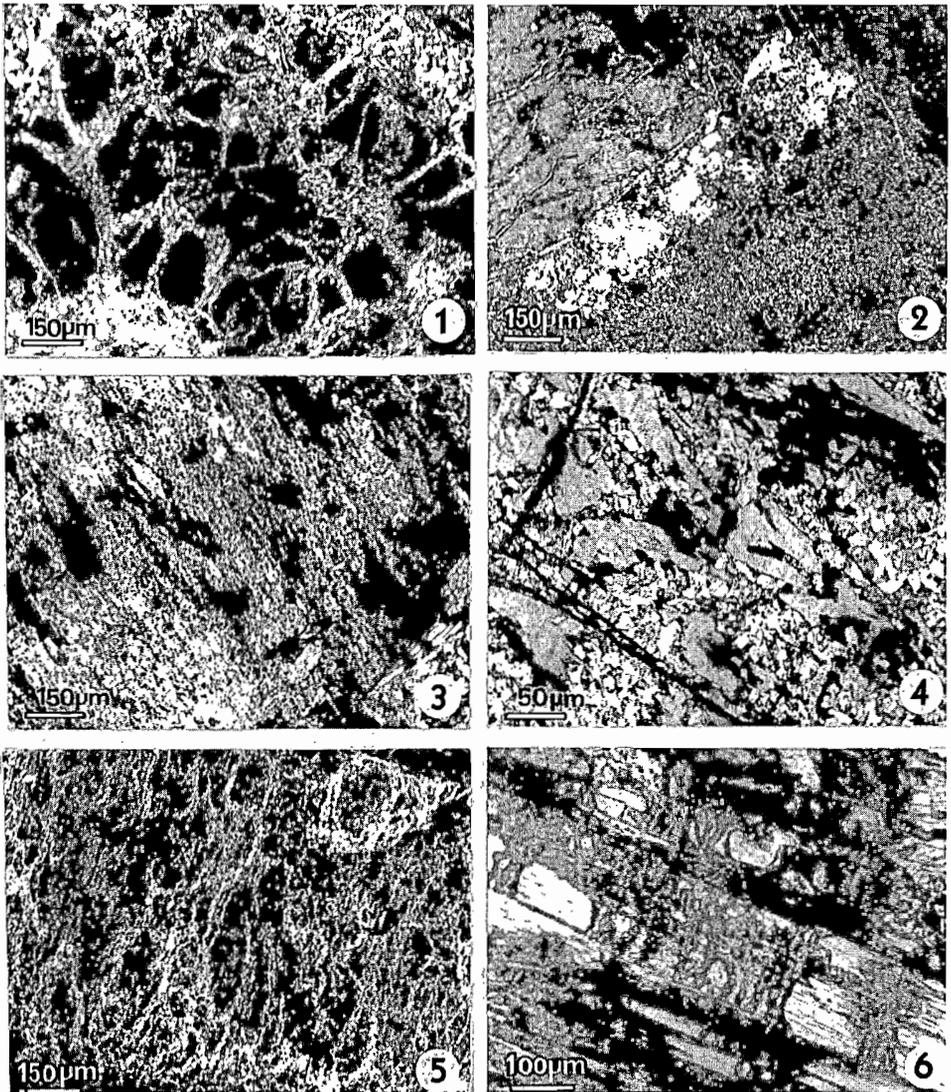


Fig. 1 – Altération complète de la néphéline en gibbsite organisée en réseau irrégulier et fortement poreux de cristaux mésogrenus (LPA).  
 Fig. 2 – Altération complète de la natrolite en gibbsite macrogranue (au centre), de la néphéline en gibbsite mésogrenue (à droite) et début de l'altération de l'orthose (à gauche). (LPA).  
 Fig. 3 – Altération complète de la néphéline séricitisée en gibbsite microgranue organisée en réseau nettement orienté et irrégulièrement coloré par les hydroxydes de fer (LPA).  
 Fig. 4 – Début de l'altération de l'orthose en gibbsite : formation de résidus irréguliers caverneux entourés de gibbsite mésogrenue non orientée (LPA).  
 Fig. 5 – Altération complète de l'orthose en gibbsite mésogrenue organisée en réseau rubané sub- parallèle et très fortement poreux (LPA).  
 Fig. 6 – Début de l'altération de l'aegyrine : fracturation, formation de résidus denticulés et cristallisation d'hydroxydes de fer aux épontes des fractures.

orientation originelle ; l'espace vide qui se développe entre les fragments augmente progressivement à leurs dépens ; s'y déposent des gibbsitanes, probablement d'origine allochtone, et des hydroxydes de fer apportés par les fractures transminérales. En fin d'altération, l'orthose est remplacée par une pseudomorphose de gibbsite arrangée en alignements sub-parallèles de cristaux rappelant par leur disposition la structure du feldspath originel clivé, fracturé et maclé. Dans les cortex extérieurs soumis à la lixiviation on aboutit dans les pseudomorphoses feldspathiques à un feuilletage alterné de rangées de cristaux de gibbsite, de feuilletés d'hydroxydes de fer et de pores allongés orientés presque perpendiculairement au grand axe du feldspath originel.

### Altération des pyroxènes en hydroxydes de fer (Fig. 6)

L'aégyrine s'altère plus tardivement que la néphéline mais avant l'orthose. En début d'altération, seules les limites entre cristaux aciculaires et quelques fractures éventuelles sont soulignées par des dépôts d'hydroxyde de fer. Avec le développement de l'altération, les fractures transversales se multiplient et se garnissent d'hydroxyde de fer mal cristallisé, brun foncé, presque opaque au microscope. Un vide périnucléaire se forme rapidement autour des petits fragments de pyroxène qui acquièrent des extrémités finement denticulées sans contact apparent avec les hydroxydes de fer néoformés. La taille des noyaux denticulés diminue plus rapidement que n'augmente l'épaisseur des dépôts d'hydroxyde. En fin d'altération, on aboutit ainsi à une structure complexe composée d'un feutrage de pseudomorphoses composées chacune d'un pore vide, très allongé, régulier, dont les bords sont soulignés par des hydroxydes de fer, minces le long des parois qui correspondent aux faces des prismes originels, épais perpendiculairement à ceux-ci et correspondant aux fractures qui ont divisé le cristal en début d'altération. Dans les cortex extérieurs, soumis aux transferts transminéraux, de la gibbsite allochtone peut apparaître dans les pores de la structure cloisonnée obtenue par altération des pyroxènes et éventuellement des amphiboles.

Roche saine	Hydrothermalisme Métagénèse	Roche peu altérée	Roche très altérée	Structures Pseudomorphoses
Néphéline	Natrolite - Séricite	Gibbsite Gibbsite Séricite + Ox Fe	Gibbsite Gibbsite Gibbsite + (K) + Ox Fe	Macrogrenue, compacte Mésogrenue, très poreuse Microgrenue, rubanée colorée
Min. Titane	Leucoxène -	- Leucoxène	- Leucoxène	Microcristallines Cryptocristallines
Rinkite	Oxyhydroxydes Fe-Ti -	- -	- Oxyhydroxy- des Fe-Ti	Tache diffuse microgrenue Tache diffuse microgrenue
Eudyalite	Cancrinite + Ox Fe -	- Catapléite + Ox Fe	Gibbsite + Ox Fe Oxyhydroxy- des de fer	Microgrenue, irrégulière Cryptocrist., rubanée, irrég.
Aégyrine	-	Hydroxydes de fer	Goethite + (Gibbsite)	Feutrage boxworks poreux
Orthose	-	-	Gibbsite + Fe-argilan.	Mésogrenue, rubanée, parallèle

## CONCLUSIONS

L'étude pétrographique des roches saines, des roches transformées partiellement par les processus hydrothermaux ou métasomatiques et des roches altérées de surface a permis de suivre les différentes étapes de ces transformations et de souligner, dans les phases résiduelles, l'importance des héritages minéraux et structuraux issus des phases antérieures de transformation. L'étude détaillée des structures présentées par les plages de gibbsite par exemple, (Tab. 1), a permis de distinguer facilement leurs différentes origines : structures alvéolaires, très poreuses, de la gibbsite dérivée de la néphéline, structure plus compacte de la gibbsite dérivée de la natrolite, structure feuilletée et très poreuse des plages dérivées de l'orthose, structure finement feuilletée et riche en fer des plages dérivées de la néphéline séricitisée, structures particulières des agrégats de gibbsite allochtone fixée dans les structures cloisonnées, ferrugineuses dérivées de l'altération des pyroxènes.

Ces observations pétrographiques ont pu être faites sur la lujaurite et ses produits d'altération parce qu'il s'agit d'une roche de granulation grossière. Sur les tinguaïtes et pholonites voisines, les observations sont beaucoup plus difficiles car la taille des minéraux secondaires est très proche de celle des minéraux primaires, ce qui tend à effacer les limites de pseudomorphoses et rend difficile les identifications minérales et structurales ainsi que la recherche des filiations minéralogiques entre les roches fraîches et altérées.

## REMERCIEMENTS

*Les auteurs remercient le Professeur Mabel N.C. ULBRICH du Département de Pétrographie de l'Institut de Géosciences de l'Université de Sao Paulo, pour l'aide précieuse qu'elle leur a accordée dans la détermination optique de certains minéraux accessoires rencontrés dans la lujaurite de Poços de Caldas.*

## BIBLIOGRAPHIE

- ASHRY, M.M., 1962. *Studies of three rock samples from Brazil. Bol. Soc. Braz. Geol.*, 11, 1 : 89-116.
- BROGGER, H., 1890. *Die Mineralien der Syenitpegmatitgänge der südnorwegischen Augit - und Nephelinsyenite. Zeits. Krist. und Min.*, 16-101.
- D.N.P.M., 1970. *Anais do 1º Simposio Internacional de Carbonatitos. Poos de Caldas, MG, Brasil*, 324 p.
- FERGUSON, J., 1970. *The differentiation of apgaitic magmas : the Ilimaussaq intrusion, South Greenland. Can. Miner.*, 10, 3 : 335-349.
- HEINRICH, E.W., 1980. *The geology of carbonatites. R.E. Frieger Publ. Co., Ed., New York*, 585 p. (2nd ed.).
- MELFI, A. et CARVALHO, A., 1983. *Bauxitization of alkaline rocks in southern Brazil. Sc. Géol., Univ. de Strasbourg*, 71, 3 : 161-172.
- SORENSEN, H., 1970. *Internal structures and geological setting of the three apgaitic intrusions : Khibina and Lovozera of the Kola peninsula and Ilimaussaq South Greenland. Can. Miner.*, 10 : 299- 334.
- ULBRICH, H.H.G.J., ULBRICH, M.N.C., KAHN, H., VLACH, S. et BAGNOLI, E., 1979. *Estrutura e petrologia dos nefelina sienitos do macio alcalino de Poços de Caldas (MG-SP) : nota preliminar. Bol. Miner., Recife*, 6 : 31 - 40.
- ULBRICH, H.H.G.J. et GOMES, C.B., 1981. *Alkaline rocks from continental Brazil. Earth Sc. Rev.*, 17 : 135-154.
- ULBRICH, M.N.C., 1983. *Aspectos mineralogicos e petrologicos de nefelina sienitos do macio alcalino de Poços de Caldas (MG-SP). Thèse Univ. São Paulo*, 369 p.
- ULBRICH, H.H.G.J., 1984. *A petrografia, a estrutura e o quimismo de nefelina sienitos do macio alcalino de Poços de Caldas (MG-SP). Thèse Univ. São Paulo*, 455 p.

# MICROMORPHOLOGIE DES SOLS



## SOIL MICROMORPHOLOGY

*Édité par :*

**N. FEDOROFF, L.M. BRESSON et M.A. COURTY**

Association Française



pour l'Étude du Sol

ISBN 2 903643 15-7

Sous-commission de Micromorphologie des Sols de l'Association Internationale de la Science du Sol.

Actes de la VII<sup>e</sup> Réunion Internationale  
de Micromorphologie des Sols  
Paris - Juillet 1985

# MICROMORPHOLOGIE DES SOLS

*Édité par/Edited by*  
N. FEDOROFF, L.M. BRESSON  
Institut National Agronomique Paris-Grignon  
et  
M.A. COURTY  
Institut du Quaternaire, Université de BORDEAUX 1

# SOIL MICROMORPHOLOGY

Proceedings of the VIIth International  
Working Meeting on Soil Micromorphology  
Paris - July 1985

Sub-Commission of Soil Micromorphology of International Society of Soil Science

# 1987

Association Française



pour l'Étude du Sol