

La chloritisation supergène zincifère des phlogopites de Canoas (PR, Brésil)

Alain Blot, Sonia Maria Barros de Oliveira et Philippe Magat

C.R. Acad. Sci. Paris,
t. 321, série II a,
p. 651 à 658,
1995

A. B. : ORSTOM, 32, avenue Varagnat,
93143 Bondy Cedex, France ;

S. M. de O. : Instituto de Geociencias,
USP, CP 20899, 01498 Sao Paulo,
Brésil ;

P. M. : ORSTOM-USP, CP 20899,
01498 Sao Paulo, Brésil.

Résumé Dans l'altération superficielle de la mine de Pb-Zn-Ba de Canoas, les chlorites apparaissent en pseudomorphose des phlogopites avec un faciès et une composition tout à fait particuliers et sont très fortement zincifères (de 15 à 20 % ZnO). Cette chlorite se substitue aux phlogopites du gisement. La chloritisation supergène est transitoire, avec une altération de la chlorite en smithsonite. La chlorite zincifère, $(Zn_{3,48} Mg_{5,11} Fe_{3,71} Al_{0,48} Ti_{0,08}) (Si_{5,67} Al_{2,33}) O_{20} (OH)_{16}$, est de genèse et de composition différentes de celles de la baileychlore.

Mots-clés : Gisements Pb-Zn, chlorite Zn, Manteau d'altération, Phlogopite, Smithsonite, Transformation, Chapeau de fer.

Abstract Chloritization and Zn enrichment of phlogopites
in the Canoas Mine (State of Parana, Brazil)

In the weathering zone of the Pb-Zn-Ba Canoas mine, phlogopites change into chlorites with Zn enrichment, resulting in true Zn-chlorites with 15 to 20% ZnO. This chlorite takes the place of phlogopite in the ore. The further weathering transformation is the corrosion or the substitution of chlorite crystals by smithsonite. Zn-chlorite $(Zn_{3,48} Mg_{5,11} Fe_{3,71} Al_{0,48} Ti_{0,08}) (Si_{5,67} Al_{2,33}) O_{20} (OH)_{16}$ is very different from the baileychlore.

Keywords: Pb-Zn ore, Zn-chlorite, Weathering blanket, Phlogopite, Smithsonite, Gossan.

**Abridged
English
Version**

1. INTRODUCTION

THE Pb-Zn-Ag-Ba Canoas deposit is situated 24 km south of the city of Adrianopolis, in the State of Parana, southern Brazil. It is included in a Proterozoic carbonatic metapelitic sequence that is made up of Ca-silicates, carbonates and micas—mainly phlogopite, biotite and sericite. The mineralization consists of a lenticular body of about 20 m thick, containing disseminated sulphides (galena, sphalerite, pyrite, chalcopyrite and pyrrothite) associated with barite (Daitx and Venusso, 1992). Capping the deposit there is a weathering blanket containing the following secondary minerals: smithsonite, cerussite, jarosite, Pb-jarosite, pyromorphite, Zn-chlorite and goethite. In the most weathered levels of the blanket, goethite predominates, resulting in a true gossan.

This paper aims to describe some unusual features of the Zn-chlorites, to discuss the problem of their classification and to propose a hypothesis concerning their genesis.

2. GENERAL CHARACTERIZATION OF THE Zn-CHLORITES

Chlorites occur in the weathering mantle either as groups of close-packed crystals evenly distributed among other minerals or concentrated in more or less continuous levels.

Microscopic observation shows strong anisotropic green layers (chlorite), alternating with colourless layers (phlogopite) following the cleavage planes. The green colour can predominate, even resulting in an entirely green crystal pseudomorphically replacing phlogopite. There are also xenomorphic crystals of chlorite with gentle gradation of the green colour through the crystals.

Fonds Documentaire ORSTOM
Cote: B * M552 Ex: 1

Note

présentée par
Georges Pedro.

remise le 5 mai 1995,
acceptée après révision
le 2 août 1995.

651

Fonds Documentaire ORSTOM



010011552

Table I shows the chemical composition of chlorites and phlogopites determined by EDS. Chlorites are very rich in ZnO, amounting to 22%. The presence of K_2O is due to the relicts of phlogopite. Analyses of phlogopites have been made in order to evaluate the degree of chloritization of phlogopites as a reference for correcting the chemical formula of the chlorite.

From the phlogopites to the pseudomorphic chlorites and then to the xenomorphic chlorites there is a gradual change in composition, with decrease in MgO , SiO_2 and K_2O , and increase of FeO and ZnO . Figure 1 shows the opposite behaviour of K_2O and ZnO . Among other pairs of elements there are also significant correlation coefficients, confirming the idea of a progressive change in composition from phlogopites to chlorites. This is very well illustrated by EDS mapping of K, Zn, Al and Fe in a mixed phlogopite-chlorite crystal (**photo. A**).

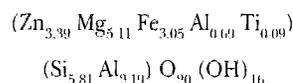
As a further step of the weathering process, microscopically carbonates can be observed invading the corroded crystals of chlorite, at their edges or even in their centres (**photo. B**). They can also replace chlorites isomorphically following the cleavage planes (**photo. C**).

3. STRUCTURAL FORMULA AND CLASSIFICATION OF THE Zn-CHLORITES

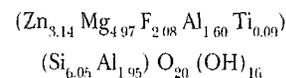
The structural formula has been calculated on the basis of 28 O, after correction for phlogopite (**table II**). The chlorites of Canoas are true Zn-bearing minerals, with the number of Zn atoms ranging between 2.7 and 3.7.

The main significant positive correlations among the structural elements of pure chlorite are $Fe-Al_{tet}$ and $Si-Al_{oct}$. Zn, Ti and Mg do not present any significant correlation with other structural elements.

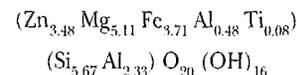
According to the degree of chloritization, there is a trend in the composition of the chlorites, affecting the pairs $Si-Al_{tet}$ and $Al_{oct}-Fe$, and to a lesser extent the pair $Mg-Zn$. The average structural formula for the Zn-chlorites can be written ($n = 40$):



For a degree of chloritization $< 90\%$, Al_{oct} is more than 1.5 and chlorites are not rich in iron ($n = 14$):



For a complete chloritization, Al_{oct} is less 0.5, and chlorites are richer in iron ($n = 14$):



This kind of behaviour for the composition of chlorites, mainly concerning the iron, has already been observed at Rammelsberg (Brockamp and Renner, 1988) and at Othris (Valsani *et al.*, 1994), although in the opposite sense since in these cases the most evolved chlorites are the poorer in iron.

Characterization of well crystallized Zn-chlorites by means of X-ray powder method showed the following data:

d_{obs}	14.44-14.55	7.18-7.20	4.78-4.79	3.58-3.59	2.85-2.88
i_{obs}	2-10	100	50-80	65-85	5-10

The high intensity of the reflections corresponding to 002, 003 and 004, compared to 001 and 005, even higher than those reported for iron rich chlorites.

References about Zn-chlorites are quite rare and except for the franklinfurnaceite of New Jersey (Dunn *et al.*, 1987), there is only the description of Rule and Radke (1988) in Chillagoe, Australia. These chlorites, the baileychlores, occur in association with a Zn-chamosite, and form an isomorphous series from the Mg-member corresponding to the clinocllore to the Zn-member. The average composition of the Zn-chamosite and the baileychlore are in table II.

The Zn-chlorites of Canoas are very different in composition from the baileychlore and the Zn-chamosites mentioned, being richer in Fe and Mg and poorer in Al_{oct} . Figure 2 illustrates these differences through the Hey diagram (Deer, Howie and Zussman, 1960) and suggests that they should be considered a new variety within the group. The conditions of formation are also very different, although both Zn-chlorites are products of weathering. The baileychlore is considered to have been formed by precipitation in veinlets from a solution derived from the alteration of an

andesite. The Zn-chlorite of Canoas is the product of pseudomorphic-transformation of phlogopites. This is a further reason for considering them as belonging to a new category.

4. CONCLUSIONS

The Zn-chlorites found in the weathering mantle that covers the mineralization in the Canoas mine are formed through the incorpo-

ration of Zn derived from the oxidation of sphalerite by phlogopites in the process of alteration into chlorites. They are transitory phases in the weathering environment, changing into smithsonite associated with goethite, with loss of Si, Al and Mg. Smithsonite finally dissolves, releasing Zn once more, which is finally trapped by goethite in the most evolved products of weathering, the gossans.

1. INTRODUCTION

Des mines de Pb-Zn-Ag-Ba sont exploitées par la Plumbum SA, à Canoas, dans la région de Vale de Ribeira, à 25 km SE de Adrianópolis (État du Paraná, Sud du Brésil). La minéralisation est encaissée dans une formation métapélitique carbonatée à carbonates, silicates calciques (trémolite, diopside) et micas (phlogopite, biotite, séricite). Le corps minéralisé est sulfuré et barytique et les principaux minéraux de la minéralisation et de son encaissant sont : galène, sphalérite, pyrite, barytine, chalcopirite, pyrrhotite, amphibole, phlogopite, feldspath K Ba, quartz, carbonates, chlorites, talc (Daitx et Venusso, 1992).

L'altération supergène de ces formations minéralisées et de leur encaissant présente une coupe de ces altérations jusqu'à un chapeau de fer affleurant. Il y a une zonation de l'altération superficielle et les principaux minéraux secondaires sont : smithsonite, cérussite, jarosite, plumbojarosite, pyromorphite, goethite et hématite, avec malgré tout une certaine conservation de minéraux silicatés primaires. Dans ces altérations, la chlorite présente des caractéristiques tout à fait particulières et se développe alors que les micas sont absents de la zone d'altération, ce qui induit un problème de filiation.

2. CARACTÉRISATION DES CHLORITES, LEUR GENÈSE ET LEUR DEVENIR

Dans toute la galerie d'accès à la minéralisation primaire de la mine Canoas I, et jusqu'à l'affleurement, la chlorite a pu être observée, sous forme de paillettes micacées

dispersées ou en accumulation en lits plus ou moins continus. Les paillettes sont sombres et fréquemment mordorées.

La plupart des paillettes observées au microscope ont des couleurs vertes fortement anisotropes (vert bleu - incolore légèrement jauneâtre), alternant avec des plages incolores, suivant le clivage : cette interstratification est fréquente. Cependant, la couleur verte peut envahir toute la paillette, tout en conservant un clivage bien marqué. D'autres paillettes présentent un faciès plus original, souvent xénomorphe, avec un effacement des clivages et une répartition irrégulière de la couleur verte très vive. En lumière polarisée, les teintes vives du mica sont fréquentes, elles sont remplacées par des teintes de faible biréfringence dans les paillettes nettement pseudomorphiques des micas. Enfin, dans les faciès les plus éloignés des micas, la couleur naturelle verte peut masquer la teinte de polarisation qui est alors tout à fait atypique. Fréquemment, les chlorites sont bordées et envahies par la smithsonite.

La composition de ces chlorites a été établie à la microsonde EDS (tableau I). Elle se marque d'abord par des teneurs en zinc atteignant 22 % ZnO, qui en font des chlorites zincifères, quels que soient la morphologie, le faciès ou la couleur de la paillette analysée. La présence de potassium témoigne d'un mica relictuel à composition de phlogopite (tableau I) et le degré de chloritisation est l'expression de la teneur inverse en potassium. On observe un certain gradient de composition entre les faciès pseudomorphiques des micas, et les paillettes plus xénomorphes : les premières contiennent plus fréquemment du potassium, alors que les secondes apparaissent plus riches en fer et

Tableau I Composition des chlorites de la zone d'altération et des phlogopites fraîches de Canoas.
Chemical composition (weight %) of phlogopites and chlorites.

	Phlogopites														
	$n = 16$	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	Mn ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	ZnO	BaO	CuO	PbO	Cl ₂ O
Min	39,20	12,12	5,15	0	22,78	0	0	8,81	0	0	0	0	0	0	0
Max	42,59	13,88	9,93	0,32	26,57	0,18	0,98	9,59	2,43	0,82	1,19	0	0	0	0
Moyenne	41,14	12,85	7,76	0,02	25,05	0,01	0,55	9,15	1,74	0,05	0,31	0	0	0	0
E _c type	1,06	0,53	1,10	0,08	1,02	0,05	0,45	0,23	0,65	0,21	0,51	0	0	0	0
Coef. var	3	4	14	400	4	400	81	3	38	400	167	0	0	0	0
Médiane	41,46	12,85	7,52	0	24,95	0	0,78	9,23	1,92	0	0	0	0	0	0

	Chlorites														
	$n = 40$	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	Mn ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	ZnO	BaO	CuO	PbO	Cl ₂ O
Min	22,11	9,50	8,08	0	12,02	0		0	0	7,47	0	0	0	0	0
Max	34,07	14,14	22,28	0,42	19,07	0,33		4,88	1,63	22,38	0,50	0,93	0,75	0,34	0,34
Moyenne	26,49	11,11	14,88	0,01	15,78	0,07	nd	0,93	0,70	16,83	0,03	0,26	0,06	0,06	0,06
E _c type	3,14	1,44	4,13	0,07	1,73	0,12		1,25	0,40	3,67	0,12	0,38	0,19	0,11	0,11
Coef. var	12	13	28	632	11	159		134	57	22	400	146	307	187	187
Médiane	25,23	10,45	15,44	0	15,56	0		0,28	0,74	17,45	0	0	0	0	0

en zinc. Une véritable famille se dessine entre la composition de la phlogopite et d'une chlorite zincifère, illustrée par la corrélation entre ZnO et K₂O (fig. 1).

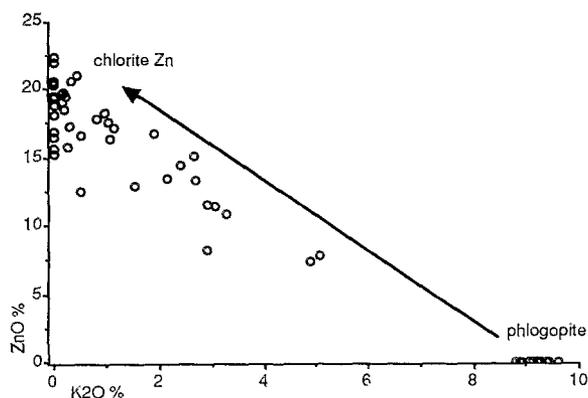
La transformation des biotites ou des phlogopites en chlorites est un phénomène banal (Eggleton et Banfield, 1985 ; De Parseval *et al.*, 1994). Ici, la phlogopite a été observée dans le minerai frais et sa composition établie à la microsonde EDS : c'est un mica magnésien exempt de zinc (tableau I). L'origine des chlorites apparaît comme une transformation du mica, avec incorporation du zinc, ce qui est assez rare. A partir des observations optiques et des analyses microsituées, nous avons établi la répartition des éléments

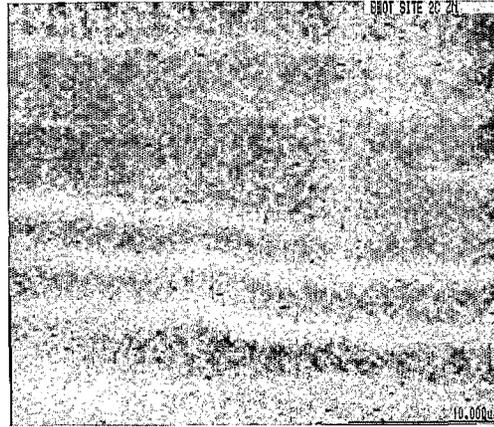
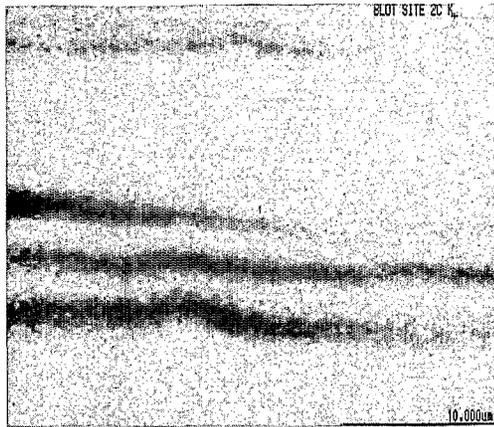
à l'échelle des paillettes de chlorite (μ -mm). Tout d'abord, les analyses effectuées à la microsonde sont typiquement celles d'un mélange chlorite-mica. La répartition des éléments est ordonnée : les plus fortes valeurs de Si, Al et Mg sont associées à K, dans un pôle phlogopite, et les plus fortes valeurs de Fe associées à Zn, dans un pôle chlorite. La répartition des teneurs a été suivie par cartographie des éléments de différentes paillettes dont l'aspect le plus important est le remplacement de K par Zn (photo. A). Là, les faciès pseudomorphiques des micas présentent une alternance des teneurs par paquets de feuillets de 10-100 μ m d'épaisseur, alors que lorsque la texture micacée est effacée, les îlots micacés sont lenticulaires et de faible extension. Tous les stades intermédiaires ont pu être observés.

Au microscope, on observe fréquemment des carbonates en périphérie, voire au cœur de la chlorite suivant des golfes de corrosion (photo. B). La diffraction des rayons X et la cartographie à la sonde EDS montrent une association intime de la chlorite avec la smithsonite, qui apparaît comme un minéral d'altération de la chlorite. La smithsonite peut prendre également un faciès pseudomorphique de la chlorite (photo. C). Suivant

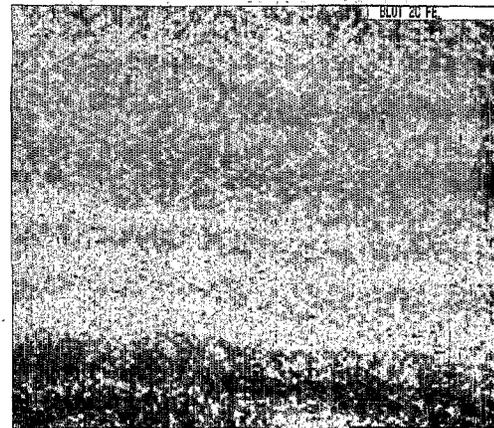
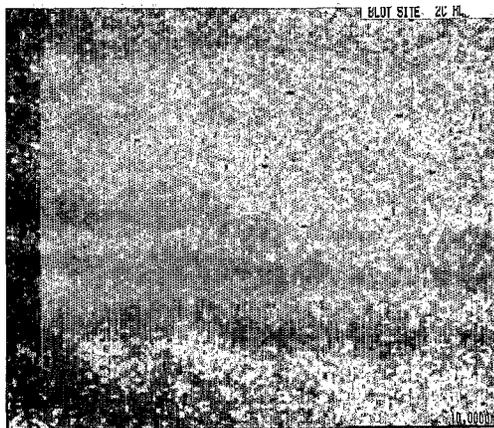
Fig. 1 Teneurs en potassium et zinc des phlogopites et chlorites de Canoas.

K₂O vs ZnO for phlogopites and chlorites.





K Zn



Al Fe 10 µm

Photo. A Cartographie EDS des éléments d'une paillette de phlogopite en voie de chloritisation.

K, Zn, Al and Fe image (EDS) of a phlogopite crystal changing into chlorite.

Photo. B Altération de la chlorite Zn (1) en smithsonite (2). Microscopie optique (LN).

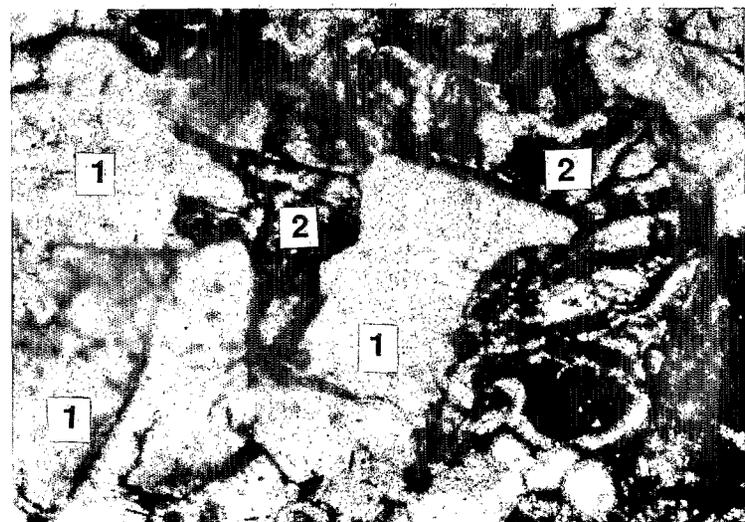
Alteration of Zn-chlorite into smithsonite (optical microscopy):

les clivages de ce carbonate, le fer forme un réseau distinct de la localisation du zinc. Ainsi, la chlorite est un minéral transitoire : Zn est recyclé en carbonate, Fe contribue à la formation de goéthite associée à la smithsonite, alors que le sort de Si, Al et Mg semble être l'évacuation du système de transformation.

3. STRUCTURE ET PLACE DES CHLORITES

Le calcul de la formule structurale de la chlorite a été réalisé, après correction des teneurs en mica, sur la base de 28 O. La population apparaît plus homogène, surtout pour Si, Mg, Zn et Al tétraédrique ; par contre, Al octaédrique et Fe sont très fluctuants, mais la somme (Fe + Al_{oc}) a un coefficient de variation voisin de ceux de Mg ou

100 µm



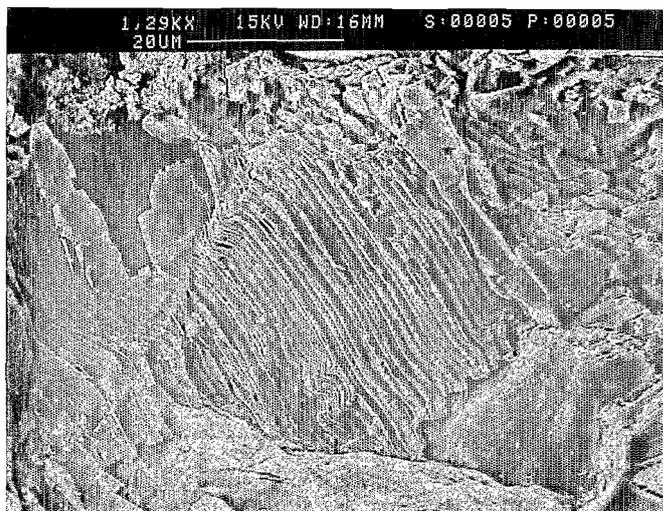
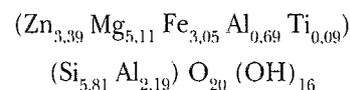
20 μ m

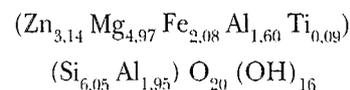
Photo. C
Pseudomorphose
d'une chlorite en smithsonite (MEB)
Smithsonite pseudomorphous after
chlorite (SEM)

Zn. La chlorite de Canoas est bien zincifère avec un contenu de 2,7 à 3,7 atomes de Zn par maille (**tableau II**). Relativement au taux de chloritisation atteint par le mica, il se dessine un gradient dans la composition de la chlorite affectant essentiellement les sites $\text{Si-Al}_{\text{tet}}$ et Al_{oc} -Fe, et relativement peu le site Mg-Zn : tout se passe comme s'il y avait envahissement uniforme par le zinc, indépendamment du degré de transformation en chlorite.

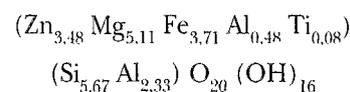
La formule structurale médiane ($n = 40$) de la chlorite zincifère de Canoas est la suivante :



Suivant le degré de chloritisation, il y a des variations entre la chloritisation incomplète,



et une chloritisation complète,



Cette évolution de la composition des chlorites, principalement liée à la place du fer, est une observation fréquente dans des systèmes variés comme à Rammelsberg (Brockamp et Renner, 1988) ou avec le pipe d'Othris (Valsami *et al.*, 1994), mais avec une évolution qui est inverse à ce qui est observé ici, et donc un appauvrissement en fer du centre vers la périphérie. A Canoas, les chlorites les plus évoluées sont les plus ferrifères.

Cette chlorite zincifère a été caractérisée par diffraction des RX, *in situ* sur les lames minces, et sur poudre après extraction des

Tableau II Composition structurale des chlorites Zn, calculée sur la base de 28 oxygènes.
Structural composition of chlorites on the basis of 28 oxygens.

	Chlorite de la zone d'altération de Canoas				Ec type	Coef. var	Chamosite Zn	Bailey-chlore
	Min	Max	Médiane	Moyenne			Moyenne	Moyenne
Si	5,49	6,38	5,82	5,85	0,21	4	5,97	7,05
Al_{tet}	1,62	2,51	2,18	2,15	0,21	10	2,04	0,95
Al_{oct}	0,33	2,42	0,69	0,94	0,56	59	2,56	2,30
Fe^*	1,65	4,49	3,05	3,03	0,8	26	4,56	2,51
Mn	0	0,08	0	0	0,01	632	0,03	0,03
Mg	3,45	6,28	5,14	5,10	0,49	10	1,94	1,50
Ti	0	0,27	0,09	0,1	0,06	65	0,05	
Ca	0	0,14	0	0,03	0,04	165	0,08	0,23
Zn	2,65	3,72	3,35	3,27	0,31	10	2,39	4,75
oct	11,74	12,93	12,64	12,5	0,36	3	11,71	11,33
$\text{Fe} + \text{Al}_{\text{oct}}$	3,18	5,13	3,99	3,97	0,51	13	7,12	4,81

$\text{Fe}^* = \text{Fe}^{2+}$ (fer total)

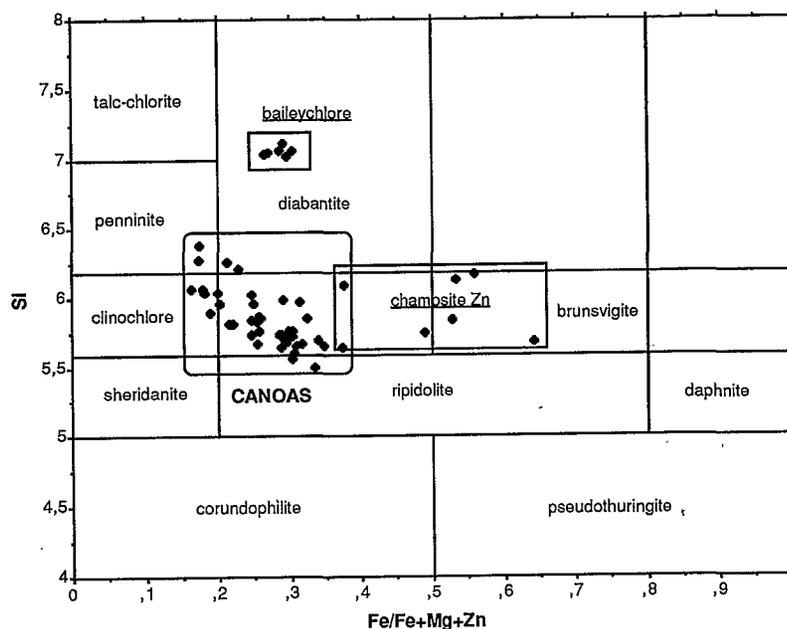
lamelles micacées. Seuls les plans (002), (003), (004) sont bien marqués, alors que les plans (001) et (005) sont très faibles, plus faibles mêmes que pour les chlorites ferrières :

d_{obs}	14,44-14,55	7,18-7,20	4,78-4,79	3,58-3,59	2,85-2,88
i_{obs}	2-10	100	50-80	65-85	5-10

Remarquons ici que, quel que soit le degré de chloritisation, le mica n'a jamais pu être mis en évidence en association avec la chlorite : la transformation structurale s'effectue donc dès le début des transferts d'éléments, et avant qu'ils ne soient complètement réalisés.

Les références aux chlorites Zn sont assez rares : franklinfurnaceite du New Jersey (Dunn *et al.*, 1987), chamosite Zn et baileychlore de Chillagoe (Australie) (Rule et Radke, 1988). La baileychlore, associée à une chamosite Zn, est une variété d'une famille de chlorites, avec un premier terme magnésien (clinocllore) et un dernier terme zincifère (**tableau II**). Les chlorites de Canoas ont incontestablement une composition voisine de celles de Chillagoe pour Zn, mais elles sont à la fois riches en Zn, Fe et Mg et présentent un fort déficit en Al_{oct} . En fait c'est une famille différente de la baileychlore avec notamment un déficit en silice et en alumine et seul le site tétraédrique est bien pourvu en Al. De plus, le fer présente des teneurs notables, voire essentielles dans les chlorites Zn de Canoas. Les conditions de formation, dans le domaine supergène, sont différentes ; la baileychlore est issue d'une chloritisation néogénétique, alors qu'à Canoas les chlorites Zn sont une altération pseudomorphique des phlogopites.

La place des chlorites d'altération dans la classification de Hey (*in* Deer *et al.*, 1960) et leur comparaison avec des chlorites de référence ont été précisées et représentées sur la figure 2 : la chloritisation initiale est plus magnésienne, et proche des clinochlores, et les formes les plus évoluées de la chlorite sont les plus riches en fer, et en tout cas assez éloignées des chamosites Zn et des baileychlores. Il existe de toute évidence un gra-



dient de composition de la chlorite au fur et à mesure de la croissance de la chloritisation, avec peu d'incidence sur la charge en Zn.

4. CONCLUSIONS

L'altération des phlogopites dans la zone d'altération superficielle est une chloritisation caractérisée par l'incorporation de zinc libéré par l'altération du minerai et une élimination progressive et simultanée du potassium. Cette chlorite zincifère peut donc être considérée comme le produit de l'altération d'un sulfure et d'un silicate. Cette chloritisation supergène, zincifère, forme une famille de chlorites assez différente de la famille baileychlore proposée par Rule et Radke (1988). L'évolution ultérieure, après une altération de la chlorite en smithsonite et goëthite, conduira à un nouveau recyclage partiel du zinc dans les oxyhydroxydes de fer du chapeau de fer. La chlorite zincifère de Canoas est donc un minéral transitoire, et évolutif dans sa composition, entre le gisement de sulfures et le chapeau de fer, pris comme terme ultime des transformations supergènes.

Fig. 2 Place des chlorites Zn de Canoas et de Chillagoe d'après la classification de Hey (1954).

Zn-chlorites from Canoas and from Chillagoe in the Hey classification diagram.

Remerciements : Ce travail a été réalisé dans le cadre du programme « chapeaux de fer » ORSTOM-CNPq-USP au Laboratoire de Minéralogie-Pétrographie de l'ORSTOM Bondy grâce à Annie Bouleau et Ginette Millot.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BAILEY, S. W., 1988. Chlorites : Structures and crystal chemistry. In *Hydrous Phyllosilicates (Exclusive of Micas)*, *Review in Mineralogy*, 19, BAILEY, S. W., éd., Washington, DC, Mineralogical Society of America, p. 347-453.
- BROCKAMP, O. et RENNER, T., 1988. The hydrothermal aureole beneath the Rammelsberg ore deposit (Harz Mtns, FRG), *N. Jb. Miner. Mh.*, H. 4, p. 179-187.
- DAITX, E. C. et VENUSSO, G. C., 1992. Geologia preliminar da jazida Canoas (Pb-Zn-Ag-Ba) Vale do Ribeira, PR Boletim de Resumos Expandidos, p. 253-255, *37 Congresso Brasileiro de Geologia Sao Paulo*.
- DEER, W. A., HOWIE, R. A. et ZUSSMAN, J., 1962. *Rock-forming minerals*, 3, Sheet Silicates, 270 p., Longmans, London.
- DE PARSEVAL, P., AMOURIC, M., BARONNET, A., FORTUNÉ, J.-P., MOINE, B. et FERRET, J., 1994. HRTEM study of the chloritization of micas in the talc-chlorite deposit at Trimouns (Pyrenees, France), *Eur. J. Mineral.*, 6, p. 123-132.
- DUNN, P. J., PEACOR, D. R., RAMIK, R. A., SHU-CHUN SU et ROUSE, R. C., 1987. Franklinfurnaceite, a Ca-Fe²⁺-Mn²⁺ zincosilicate isotopic with chlorite, from Franklin, New Jersey, *American Mineralogist*, 72, p. 812-815.
- EGGLETON, R. A. et BANFIELD, J. P., 1985. The alteration of granitic biotite to chlorite, *American Mineralogist*, 70, p. 902-910.
- RULE, A. C. et RADKE, F., 1988. Baileychlorite, the Zn end member of the trioctahedral chlorite series, *American Mineralogist*, 73, p. 135-139.
- VALSAMI, E., CANN, J. R. et RASSIOS, A., 1994. The mineralogy and geochemistry of a hydrothermal alteration pipe in the Othris ophiolite, *Greece Chemical Geology*, 14, p. 235-266.