

LA HOLMQUISTITE DES PEGMATITES DE VOLTA GRANDE PRES DE SÃO JOÃO DEL REI, MINAS GERAIS, BRESIL: CARACTERISTIQUES CHIMIQUES ET MINERALOGIQUES

J. Quéméneur (*) & M. Lagache (**)

ABSTRACT

The Volta Grande pegmatites occur near the town of São João del Rei in the south of Minas Gerais state. They are associated with Early Proterozoic (Transamazonian) granites. These granites and pegmatites are hosted by gneisses and amphibolites of the Archean *greenstone belt* of the Rio das Mortes Valley. The pegmatites, very rich in Li, develop a large metamorphic aureole in the amphibolites with holmquistite and zinnwaldite.

The holmquistite forms acicular or fibrous, purple coloured crystals. Individual crystals were analysed by electron-microprobe and wet chemistry. The structural formula $(Li,Na)_2(Mg,Fe)_3(Al^{VI},Fe)_2(Si,Al^{IV})_8O_{22}(OH,F)$, is very similar to that proposed by London & Burt (1982). The Volta Grande holmquistite is characterized by a particularly high Fe/Mg ratio. A good correlation of Fe/Mg ratios of the holmquistite and of the hornblende is observed in Volta Grande and Edison (Walker *et al.* 1989). We suggest that the holmquistite has been formed by substitution of the hornblende of the wall-rock, caused by a Li-rich solution.

The unit cell parameters calculated with 25 peaks are comparable to those of Barraute (Nickel *et al.* 1960) and Greenbushes (Frost *et al.* 1987).

RESUMO

Os pegmatitos transamazônicos de Volta Grande ocorrem na região de São João del Rei, Minas Gerais, onde eles estão encaixados em anfíbolitos do *greenstone belt* arqueano do vale do Rio das Mortes. Estes pegmatitos, muito ricos em lítio, desenvolvem uma auréola de metamorfismo de contato caracterizada pela formação de holmquistita e de Mg-zinnwaldita. A holmquistita aparece na forma de cristais fibrosos de cor violeta. A sua composição química foi determinada por microsonda eletrônica e química clássica, ela corresponde à fórmula $(Li,Na)_2(Mg,Fe)_3(Al^{VI},Fe)_2(Si,Al^{IV})_8O_{22}(OH,F)$, muito parecida com a fórmula proposta por London & Burt (1982).

A holmquistita de Volta Grande é caracterizada por seu alto teor em Fe e o alto valor da relação Fe/Mg sendo assim parecida como a de Edison no Dakota do Sul (Walker *et al.* 1989). Geneticamente a holmquistita parece ter sido formada por substituição, às expensas da hornblenda, por ação de soluções oriundas dos pegmatitos. Pode-se notar a boa correlação entre as relações Fe/Mg das holmquistitas e das hornblendas encaixantes tanto em Volta Grande como em Edison. A presença simultânea de holmquistita e Mg-zinnwaldita sugere que as soluções eram ricas em Li, K, Rb e H₂O.

Os parâmetros de malha calculados sobre 25 picos estão em conformidade com os dados mais recentes tais como os de Greenbushes na Austrália (Frost *et al.* 1987).

INTRODUCTION

Il existe à Volta Grande près de São João del Rei, au sud de l'état de Minas Gerais (Fig. 1), un groupe de grandes pegmatites du type à albite et spodumène (Cerny 1990) caractérisées par leur richesse en Li (1,5%Li₂O), Rb (0,8%Rb₂O) (Quéméneur & Lagache 1994 et Lagache & Quéméneur, sous presse), Sn et Ta. Elles sont actuellement exploitées pour Li, Sn et Ta.

Ces pegmatites sont associées à un complexe granitique du Précambrien Inférieur ou Transamazonien (Fig. 2) daté, par la méthode Rb/Sr, de 1932±20 Ma (Quéméneur & Vidal 1989). Granites et pegmatites sont intrusifs dans un ensemble de type *greenstone belt* formé d'amphibolites, ultrabasites et gneiss d'âge probablement Archéen (Fig. 3).

Les pegmatites de Volta Grande forment de grandes lentilles allongées parallèlement à la foliation des amphibolites encaissantes (Fig. 4). Les dimensions de ces corps sont de l'ordre de 1000 x 100 x 20m (par exemple le corps A, Fig.4). Les amphibolites

correspondent à des basaltes tholéitiques métamorphisés pendant l'Archéen Supérieur. Elles contiennent de fines intercalations d'origine sédimentaire riches en silicates de manganèse (spessartite) et graphite qui représentent d'anciens niveaux sédimentaires intercoulés.

Les pegmatites sont constituées par une bordure aplitique irrégulière d'albite microcristalline et d'une masse principale granitoïde formée de spodumène (20-45%), quartz (30-40%), albite (10-20%), microcline (10-20%) et de muscovite (2-10%) selon Quéméneur (1987). Les pegmatites développent une importante auréole de métamorphisme de contact dont l'épaisseur peut atteindre 3m. Cette auréole commence par un liseré (0-1m) de glimmérite massive à zinnwaldite et, parfois, holmquistite au contact de la pegmatite. Puis vient une zone plus large (1-3m) d'amphibolite métamorphisée à holmquistite et zinnwaldite. L'amphibolite de cette dernière zone conserve sa trame originale avec les minéraux du métamorphisme régional, tels que hornblende, labrador et quartz, non transformés.

(*) Centro de Pesquisa Professor Manoel Teixeira da Costa - IGC - UFMG

(**) Laboratoire de Géologie de l'Ecole Normale Supérieure - Paris, France



Figure 1: Localisation.
Figure 1: Localization sketch.

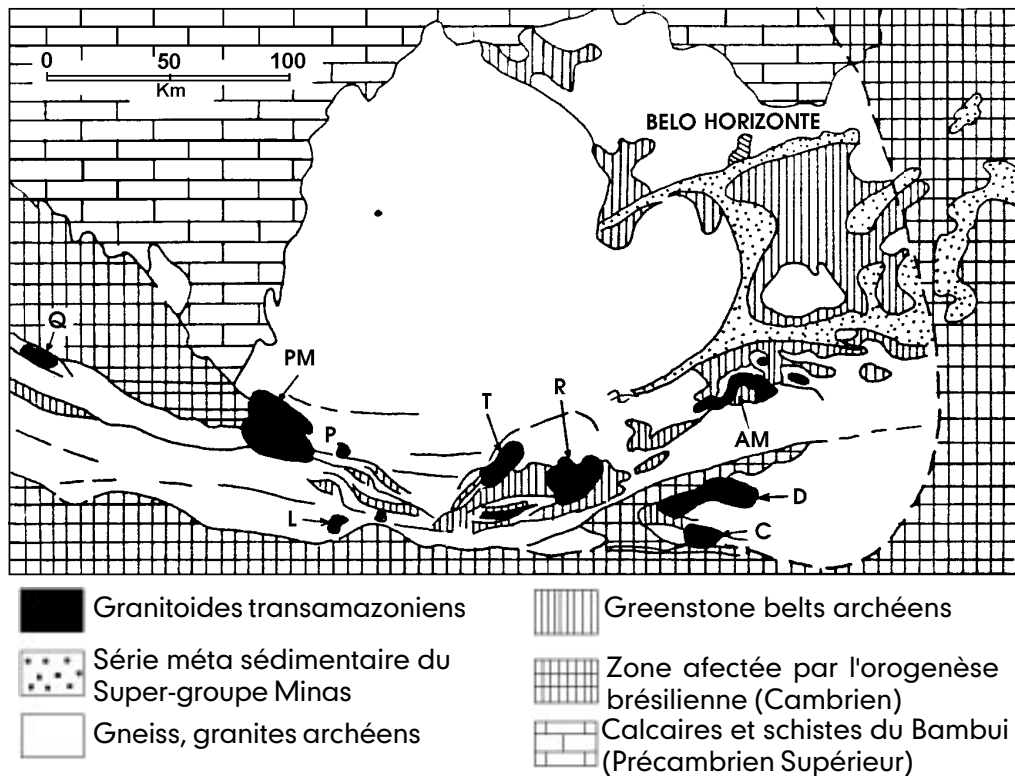


Figure 2: L'arc magmatique transamazonien du sud de Minas Gerais.
Figure 2: The Transamazonian magmatic arc of southern Minas Gerais.

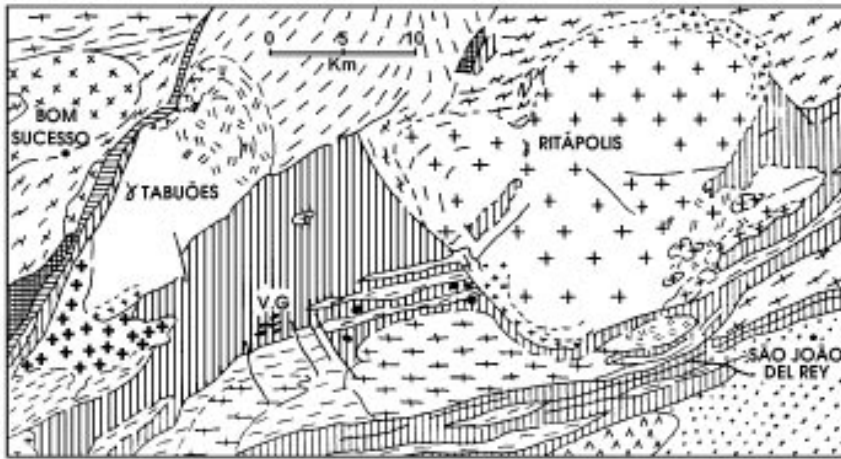


Figure 3: Géologie de la région de São João del Rei.

Figure 3: The geology of São João del Rei region.

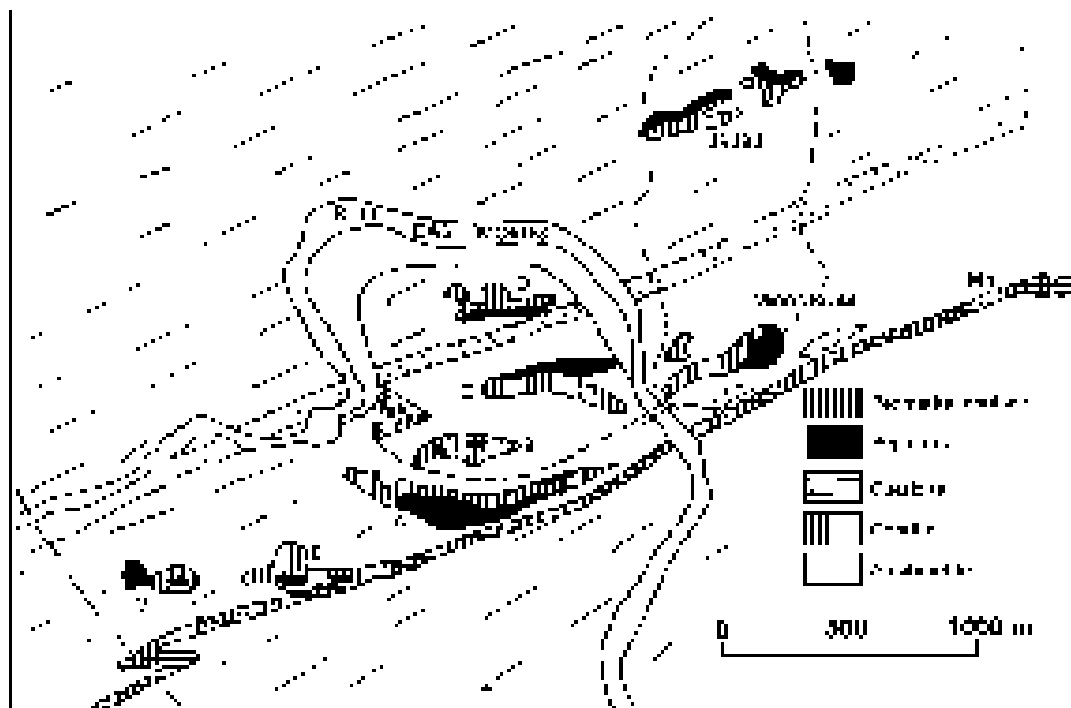
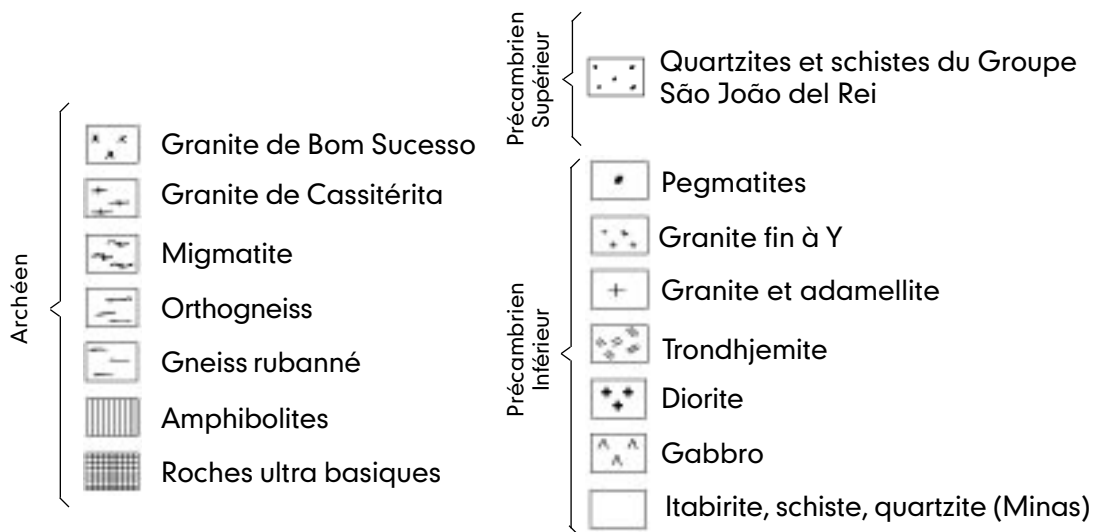


Figure 4: Les pegmatites de Volta Grande.

Figure 4: The Volta Grande pegmatites.

MORPHOLOGIE DE LA HOLMQUISTITE

La holmquistite forme des cristaux de plusieurs cm de long, non orientés et surimposés à la texture de la roche; sa proportion varie de 10 à 30%. Les cristaux aciculaires de section losangique ou lenticulaire ont une longueur qui varie de quelques mm à 30cm pour un diamètre de 0,005 à 3mm. Ils présentent une couleur bleu-violet, particulièrement visible dans les quartz filoniens qui recoupent les amphibolites de l'auréole de contact. En effet, les cristaux de quartz de ces filons contiennent de très fines aiguilles de holmquistite (quelques mm de diamètre) leur donnant une teinte lilas et un aspect chatoyant (Karfunkel *et al.* 1994). Dans les zones pédogénétiquement altérées la holmquistite, minéral relativement résistant, forme une sorte de laine mauve.

COMPOSITION CHIMIQUE

Cinq échantillons provenant d'amphibolite à holmquistite et de glimmérite à zinnwaldite et holmquistite ont été analysés par microsonde électronique de type CAMEBAX à l'Université Paris 6 et au laboratoire de pétrographie de l'Université Clermont II. Un échantillon d'holmquistite a été analysé par voie chimique au laboratoire de géologie de l'Ecole Normale Supérieure. Les résultats de ces analyses sont rassemblés dans le tableau 1.

Il apparait que la composition des différents échantillons analysés par microsonde électronique varie

peu. Les plus fortes différences s'observent pour les teneurs en Fe, Mg et Mn mais la somme Fe+Mn+Mg exprimée en atomes reste pratiquement constante et est égale à 3 dans une formule à 24 oxygènes. La composition atomique moyenne de ces holmquistites, calculée à partir du tableau 1, est la suivante:

Si	7,953
Al ^{IV}	0,047
Al ^{VI}	1,993
Fe	1,614
Ti	0,066
Mn	0,033
Mg	1,392
Na	0,105
F	0,060
Li	1,8

Elle correspond donc à la formule théorique: $(Li,Na)_2(Mg,Fe,Mn)_3(Al^{VI},Fe)_2(Si,Al^{IV})_8O_{22}(OH,F)_2$ telle qu'elle est proposée par London & Burt (1982).

Les analyses obtenues dans ce travail sont également voisines de celles publiées dans la littérature (Tab. 2). On peut toutefois noter qu'elles sont plus basses pour le magnésium et corrélativement plus hautes pour le fer. Les holmquistites de Volta Grande paraissent, par ailleurs, être légèrement plus riches en sodium que la moyenne. Dans l'ensemble les holmquistites étudiées présentent une composition chimique voisine de celles de Tanco, Manitoba, Canada (Morgan & London 1987), Edison, Black Hills, South Dakota, (Walker *et al.* 1989) et de celles de Green Bush en Australie occidentale (Frost *et al.* 1987).

Echant.	V154	V158	V158	V159	V183	MB5(c)
Si ₂ O	5 9 ,	5 9 ,	5 8 ,	5 7 ,	5 9 ,	5 9 ,
Al ₂	1 2	1 2	1 2	1 2	1 2	1 2 ,
Fe ₂						3 , 6 6
FeO	1 4	1 5	1 5	1 5	1 4	1 0 ,
MnO	0 , 3	1 ,	0 , 2	0 , 2	0 , 2	N . D
MgO	6 , 8	6 ,	6 , 3	5 , 5	7 ,	5 , 6
CaO	0 ,	0 ,	0 ,	0 ,	0 ,	0 , 5 6
Na ₂	0 ,	0 ,	0 ,	0 , 2	0 , 3	0 , 2
K ₂	0 ,	0 , 2	0 ,	0	0	0 , 0
Ti ₂ O	0 ,	0 ,	0 ,	0 ,	0 ,	0 , 1
Li ₂	3 , 2	1 ,	3 , 4	3 , 4	3 ,	2 , 6
F			0 , 2			N . D
T o t a	9 6 ,	9 7	9 6 ,	9 5 ,	9 7	9 4 ,

*: Fe total exprimé en FeO

** : Valeurs calculées pour boucler la formule structurale

(ch): Analyse par voie chimique.

Tableau 1: Composition (poids %) de holmquistites de Volta Grande, MG.

Table 1: Composition (in weight %) of holmquistites from Volta Grande, Minas Gerais, Brazil.

	V.G.	Tanc	G.B.	Ed.	Azov	Bar.	Mt.Ma	Mt.Be	Kola	Utö
Si ₂ O	5 8 ,	5 5 ,	5 9 ,	5 9 ,	5 8 ,	5 9 ,	5 9 ,	5 9 ,	5 8	6 0 ,
Al ₂ O ₃	1 2	1 2	1 2	1 2	1 3	1 1	1 2 ,	1 2	1 3	7 ,
Fe ₂ O ₃	3 , 6		1 ,	4 , 4	1 ,	2 , 9	1 ,	2 , 3	2 ,	9 , 6
FeO	1 1		1 2	9 , 6	6 , 6	8 ,	9 , 2	1 0	8 ,	4 , 3
Fe ₃ O ₄	1 6	1 9	1 4	1 4	8 , 6	1 2	1 2 ,	1 4	1 2	1 4
MnO	0 ,	0 ,	0 ,	0 ,	0 ,	0 ,	0 ,	0 , 2	0 ,	
MgO	6 , 4	6 , 6	8 , 3	7 , 6	1 1	1 0	1 0	8 , 8	9 ,	1 2
CaO	0 ,	0 ,	0 ,	0 ,	0 ,	0 , 5	0 ,	0 , 2	1	
Na ₂ O	0 ,	0 ,	0 ,	0 ,	0 ,	0 ,	0 ,	0 ,	0 ,	1 ,
K ₂ O	0 ,	0 ,	0	0	0 ,	0 ,	0 , 3	0 ,	0	0 , 5
Li ₂ O	2 , 6		3 ,	2 , 9	3 , 5	3 , 5	3 , 7	3 , 3	2 ,	2 ,
F	0 ,	0 ,	0		0 ,	0 ,	0 ,	0 ,	0 ,	0 ,
OH	2 , 4		1 ,		2 , 4	2 ,	2 , 0	2 ,	1	2 , 5

Tableau 2: Composition (poids %) de quelques holmquistites.

Table 2: Composition (in weight %) of some holmquistites.

V.G.= Volta Grande, (this paper) - Tanco, Manitoba, Canada (Morgan & London 1987) - G.B.= Greenbushes, Australia, (Frost et al. 1987). - Ed= Edison pegmatite, South Dakota, (Walker et al. 1989). - Azov, Ukraina, (Stolyarova, 1989). - Bar.= Barraute, Québec, (Nickel et al. 1960). - Mt Ma= Mt. Marion, Australia, (Willkins et al. 1970). - Mt Be= Mt. Benson, Zimbabwe, (Knorring & Hornung 1961). Kola, Russia, (Ginsburg 1960). Utö, Sweden, (Osann 1913 et Palache et al. 1930).

PARAMÈTRES DE MAILLE

Les valeurs ont été calculées sur 25 pics en utilisant le diagramme Cu Ka; on obtient les résultats suivants (en Å):

$$\begin{aligned}
 a &= 18,284 \pm 0,020 \text{ \AA} \\
 b &= 17,691 \pm 0,020 \text{ \AA} \\
 c &= 5,276 \pm 0,002 \text{ \AA} \\
 V &= 1706,725 \text{ \AA}^3
 \end{aligned}$$

	V.G.	G.B.	Bar.	Utö	Kola	Wein.
a	18,284	18,2827	18,3	18,36	18,27	18,26
b	17,691	17,6958	17,69	17,75	17,71	17,679
c	5,2763	5,2705	5,3	5,29	5,3	5,2753

Tableau 3: Paramètres de maille de quelques holmquistites en Å.

Table 3: Lattice parameters of some holmquistites.

V.G., G.B., Bar., Utö, Kola: idem tableau 2, Wein = Weinebene, Autriche (Göd 1978).

CONCLUSION

Bien que relativement rare, la holmquistite a été rencontrée dans les pegmatites du monde entier (London 1986):

- En Europe avec les gisements de Utö en Suède

(Osann 1913), de la péninsule de Kola (Ginsburg 1960), d'Azov (Bayrakov 1968) et de Weinebene en Carinthie (Walter & Walitzi 1985);

- En Asie avec les pegmatites de l'Altai (Zang Ru Bo et al. 1986) et de Tarynnak dans le bouclier de l'Aldan en Sibérie Orientale (Gorelov et al. 1983).

- En Afrique avec les gisements de Kirengo au Ruanda (Van Wambeke 1970), de Mt. Benson au Zimbabwe (Knorring & Hornung 1961) et celui de Morrua au Mozambique (Barros 1972).

- En Australie occidentale avec les gisements de Mt. Marion (Willkins et al. 1970) et de Greenbushes (Frost et al. 1987).

- En Amérique du Nord on peut citer, entre autres, les pegmatites de Barraute au Québec (Karpoff 1960), celle de Tanco au Manitoba (Morgan & London 1987), celle de Edison au Dakota du Sud (Shearer & Papike, 1988; Walker et al. 1989).

- En Amérique du Sud les pegmatites de Volta Grande (présent travail).

Il apparaît qu'à de rares exceptions près (par exemple les pegmatites de l'Altai encaissées dans des quartzites ferrifères à amphiboles), toutes ces pegmatites sont encaissées dans des roches basiques ou ultrabasiques de l'Archéen ou du Protérozoïque Inférieur. Il semble qu'en second lieu la holmquistite ne se développe qu'à partir d'autres amphiboles : hornblende, actinolite ou trémolite; on ne cite pas d'exemple de holmquistite formée aux dépens de

pyroxènes. La composition des holmquistites reflète, en général, celle des amphiboles substituées. Ainsi, dans la région d'Azov, la holmquistite, qui s'est développée au sein d'une roche à trémolite-actinolite, présente t-elle un rapport Fe/Mg bas (0,383) ; alors que celles de Edison et surtout de Volta Grande et de Tanco ont des rapports Fe/Mg beaucoup élevés (respectivement 0,93-1,08; 2,37-3,51 et 3,22-3,54) car elles se forment aux dépens de hornblendes ferrifères (tab.4). Des analyses détaillées montrent à Edison et Volta Grande, une excellente corrélation dans chaque échantillon, entre les valeurs des rapports Fe/Mg des holmquistites et des hornblendes.

Ces résultats confirment l'hypothèse selon laquelle la holmquistite se forme par substitution des amphiboles des roches encaissantes sous l'action de solutions hydrothermales provenant d'un "magma"

pegmatitique riche en lithium. Un tel magma est aussi, en général, riche en K et Rb, ce qui explique l'association très fréquente de l'holmquistite avec la zinnwaldite ou la biotite lithinifère; ces micas présentent souvent de fortes teneurs en Rb et Cs comme, par exemple à Volta Grande (Quémeneur & Lagache 1994; Lagache & Quémeneur, sous presse) et à Urubu au NE de l'état de Minas Gerais (Quémeneur *et al.* 1993).

REMERCIEMENTS

Ce travail a été réalisé grâce à l'appui financier et analytique du projet CAPES-COFECUB 87/81 et de la FAPEMIG. Nous tenons aussi à remercier la direction de la MIBRA pour les facilités accordées sur le terrain.

Fe/Mg	Tanc	V159	V15	V18	Ed.1	Ed.2	Ed.3
Horblen	3, 2	3, 3	3,	2,	1	1	1
Holmquis	3, 5	3, 5	2,	2,	0,	1	1

Tableau 4 : Rapports Fe/Mg des hornblendes et des holmquistites de Tanco, Volta Grande et de Edison (Ed.1, 2 et 3)

Table 4: Fe/Mg ratios of hornblendes and holmquistites from Tanco; Volta Grande, Minas Gerais, Brazil (V159, 158, 183) and Edison, Black Hills, USA (Ed.1, 2, 3).

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BARROS, R.F. de 1972. Nota sobre uma ocorrência de holmquistite na bordadura do pegmatito Morrua (Zambezia), Mozambique. *Rev. Univ., Fac. Ciênc. Lisboa*, Ser. 26 (Ciênc. Nat.). **17**: 175-186.
- BAYRAKOV, V.V. 1968. Kholmkvistite-asbest iz Priazov'ya (holmquistite-asbeste de la région d'Azov). *Dokl. Akad. Nauk USSR.* **178**: 420-423.
- CERNY, P. 1990. Distribution, affiliation and derivation of rare-element granitic pegmatites in the Canadian Shield. *Geol. Rundschau*. **79**: 183-226.
- FROST, M.T.; TAMBOURAKIS, G. & DAVIS, J. 1987. Holmquistite-bearing amphibolite from Greenbushes, western Australia. *Mineral. Mag.* **51**: 585-591.
- GINSBURG, I.V.; ROGACHEV, D.L. & BONDAREVA, A.M. 1958. New data on holmquistite. *Dokl. Akad. Nauk USSR.* **119**: 1013-1016.
- GÖD, R. 1978. Vorläufige Mitteilung über einen Spodumen-Holmquistite führenden Pegmatit aus Kärnten. *Österreich. Akad. Wiss. Math.-Natur. Wiss. Kl. Anz.* **115**: 161-165.
- GORELOV, G.F.; GORB, A.M.; KOSUKHINA, I.G.; SAFONOV, A.F. & SHESTOKOV, A.V. 1983. A holmquistite from the Tarynnak ore deposit of ferruginous quartzites in the Chara-Toko area of the Aldan Shield. *Soviet Geol. & Geophys.* **24**: 129-131.
- KARFUNKEL, J.; QUEMENEUR, J. & WEGENER, R. 1994. Quartz-holmquistite cat's eye from Brazil. *Can. Gemmologist*. (sous presse).
- KARPOFF, B. 1960. Holmquistite occurrences in the mining property of Québec Lithium Corporation, Barraute, Québec. In: INTERN. GEOL. CONG., 21. Copenhagen, 1960. Rept. **17**: 7-14.
- KNORRING, O. Von & HORNUNG, G. 1961. On the lithium amphibole holmquistite, from Benson mine, Mokto, Southern Rhodesia. *Mineral. Mag.* **32**: 731-735.
- LAGACHE, M. & QUEMENEUR, J. (sous presse). The Volta Grande pegmatites (Minas Gerais, Brazil): an example of rare-element pegmatites exceptionally enriched in lithium and rubidium. *Can. Mineral.*
- LITVIN, M.A. & PATRONOV, A.N. 1984. The use of the optical absorption spectra for the refinement of Fe(+3) ions distribution in the holmquistite structure. *Mineralogicheskii -Sbornik- (L'vov)*. **38**: 27-32.
- LONDON, D. & BURT, D.M. 1982. Lithium minerals in pegmatites. *MAC short course handbook*. **8**: 93-133.
- LONDON, D. 1986. Holmquistite as guide to pegmatite rare metal deposits. *Economic Geology*. **81**: 704-712.
- MORGAN, G. & LONDON, D. 1987. Alteration of amphibolitic wallrocks around the Tanco rare-element pegmatite, Bernic Lake, Manitoba. *Amer. Mineral.* **72**: 1097-1121.
- NICKEL, E.H.; MAXWELL, J.H. & ROWLAND, J.F. 1960. Holmquistite from Barraute, Québec. *Can. Mineral.* **6**: 504-512.
- OSANN, A. 1913. Über Holmquistit, einen Lithiumglaukophan von der Insel Utö. *Sitzungber. Heidelberger Akad. Abh. A.* **23**: 1-16.
- PALACHE, C.; DAVIDSON, S.C. & GORANSON, E.A. 1930. The Hiddenite deposit in Alexander County, North Carolina. *Am. Mineral.* **15**: 280-302.
- QUEMENEUR, J. 1987. Petrography of the pegmatites from the Rio das Mortes Valley, southeast Minas Gerais, Brasil. *Proc. ISGAM. Rev. Bras. Geoc.* **17**: 595-600.
- QUEMENEUR, J.; LAGACHE, M. & CORREIA NEVES, J.M. 1993. La pegmatite Urubu, Araçuaí, Minas Gerais (Brésil), exemple de pegmatite complexe à péralite: zonalité minéralogique et géochimie des micas et des tourmalines. *C.R. Acad. Sci. Paris*. **317**, II: 1425-1431.
- QUEMENEUR, J. & LAGACHE, M. 1994. The Volta Grande pegmatites (Minas Gerais, Brazil): granitic pegmatites rich in Rb and rare elements. GENERAL MEETING, INTERN. MINERAL. ASSOC., 16. *Proceedings...* 342.
- QUEMENEUR, J. & VIDAL, P. 1989. Primeira datação radiométrica dos granitos da região de São João del Rei (MG). In: SIMP. GEOL. MINAS GERAIS, 4. Belo Horizonte-MG, 1989. *Anais...* **7**, 135-148.
- SHEARER, C.K. & PAPIKE, J.J. 1988. Holmquistite-bearing amphibolite, Edison Pegmatite, Black Hills, South Dakota. *Amer. Miner.* **73**: 324-337.
- STOLYAROVA, T.A.; PORITSKAYA, L.G. & KOTOV, N.V. 1989. Thermodynamic study of holmquistite. *Geokhimiya*. **2**: 313-318.
- VOGT, T.; BASTIANSSEN, O. & SKANCKE, P. 1958. Holmquistite as rhombic amphibole. *Amer. Mineral.* **43**: 981-982.
- WALTER, F. & WALITZI, E.M. 1985. Holmquistite von Brandrücken (Weinebene) Koralpe/Kärnten; ein Vorbericht. *Landesmus. Abt. Mineral. A-8010 Gratz, Die Karinthin.* **92**: 245-248.

- WALKER, R.J.; HANSON, G.N. & PAPIKE, J.J. 1989. Trace element constraints on pegmatites genesis; Tin Mountain Pegmatite, Black Hills, South Dakota. *Contrib. Mineral. Petrol.* **101**: 290-300.
- WAMBEKE, (Van) L. 1970. Contribution à l'étude de l'holmquistite bleue de Kirengo, république du Ruanda. *Ruanda Serv. Geol. Bull.* **6**: 15-23.
- WILLKINS, R.W.T.; DAVIDSON, L.R. & ROSS, J.R. 1970. Occurrence and infrared spectra of holmquistite and hornblende from Mt. Marion, near Kalgoorlie, western Australia. *Beitrag Mineral. Petrol.* **28**: 280-287.
- ZANG RU BO. 1986. The lithium minerals of China's Li pegmatites. In: GENERAL MEETING OF THE IMA., 14. Stanford, 1986. *Proceedings...*, CA. p.280.

