

GÉOCHIMIE DE LA BIOTITE ASSOCIÉE À CERTAINS GISEMENTS D'OR DE VAL D'OR, MALARTIC ET CHIBOUGAMAU, QUÉBEC*

MEHMET F. TANER†, PIERRE TRUDEL ET GUY PERRAULT

Département de Génie minéral, École Polytechnique, Case postale 6079, Succursale A, Montréal, Québec H3C 3A7

SOMMAIRE

La composition chimique de la biotite de certains gisements d'or (Val d'Or, Malartic et Chibougamau) a été déterminée à la microsonde électronique. Les échantillons étudiés proviennent de la mine Sigma, Val d'Or; Sigma-2, Louvicourt; zone South Briar, propriété Goldstack, Malartic; zone P, propriété Canadian Malartic, Malartic; lac Bachelor, Desmaraisville et du stock monzonitique de East Sullivan, à l'est de Val d'Or. La composition chimique de la biotite semble refléter les caractéristiques du milieu dans lequel elle a été formée. La biotite de Sigma-2, associée à la pyrite et la pyrrhotite, est riche en Fe. La biotite de la zone South Briar, associée à une chlorite magnésienne, est riche en Mg. La biotite du lac Bachelor, associée à la fluorine, est riche en F. La teneur en Cl de la biotite associée à la minéralisation aurifère est faible ($< 0.06\%$), comparativement à celle ($> 0.1\%$) de la biotite des systèmes porphyriques Cu-Mo et du stock monzonitique de East Sullivan. Sa teneur en F varie de 0.1 à 1.6%, avec une exception à 4.5% (lac Bachelor). Dans les sites octaédriques, Ti (de 0.12 à 0.22 atome) est moins abondant et Al (de 0.5 à 0.8 atome) plus abondant que dans la biotite magmatique; cette caractéristique peut être reliée à la température de cristallisation de la biotite ($< 500^{\circ}\text{C}$). Les données chimiques ne permettent pas d'établir de distinction nette entre biotite d'origine métamorphique et biotite hydrothermale. Cette similitude de composition pourrait signifier que les processus métamorphiques et hydrothermaux sont intimement associés et que les solutions minéralisantes sont d'origine métamorphique. Malgré la diversité de composition chimique selon le milieu de formation, il existe une relation étroite entre la présence de biotite et la minéralisation aurifère dans plusieurs mines de la ceinture volcanique de l'Abitibi. Dans la zone South Briar, la minéralisation d'or est intimement associée à la biotitisation résultant d'un métasomatisme potassique. La biotite de la mine d'or du lac Bachelor indique une altération potassique hydrothermale similaire à celle des systèmes porphyriques Cu-Mo; en outre, sa composition coïncide avec celle de la biotite de la mine Henderson, au Colorado. Dans certains cas, la biotite (ou biotitisation) est donc importante pour la minéralisation aurifère (e.g., South Briar, Sigma-2).

Mots-clés: biotite, gisements d'or, altération hydrothermale, Abitibi, Val d'Or, Malartic, Chibougamau, Québec.

*Contribution 85-04 de l'Institut de Recherche en Exploration Minérale (IREM-MERIT), C.P. 6079, Succursale A, Montréal, Québec H3C 3A7.

†Adresse actuelle: 3190, rue Edouard-Montpetit, #510, Montréal, Québec H3T 1K2.

ABSTRACT

The chemical composition of biotite from selected gold deposits (Val d'Or, Malartic, and Chibougamau) has been determined by electron microprobe. The specimens come from the following deposits: Sigma, Val d'Or; Sigma-2, Louvicourt; South Briar zone, Goldstack Property, Malartic; P ore zone, Canadian Malartic Property, Malartic; Bachelor Lake, Desmaraisville; and from the East Sullivan monzonitic stock, east of Val d'Or. The chemical composition of the biotite seems to reflect the character of the environment in which it was formed. Biotite from Sigma-2, which is associated with pyrite and pyrrhotite, is rich in Fe. Biotite from the South Briar zone, associated with magnesian chlorite, is rich in Mg; that from Bachelor Lake, which is associated with fluorite, is rich in F. The Cl content of the biotite that is associated with gold mineralization is low ($< 0.06\%$), compared to that in most Cu-Mo porphyry systems ($> 0.1\%$) and the East Sullivan monzonitic stock. The F content varies from 0.1 to 1.6% with one exception at 4.5% (Bachelor Lake). In octahedral sites, Ti (0.12 to 0.22 atom) is lower and Al (0.5 to 0.8 atom) higher than in most cases of magmatic biotite; this may be related to the temperature of crystallization of the biotite ($< 500^{\circ}\text{C}$). Chemical data on biotite do not reveal a clear distinction between metamorphic and hydrothermal origins. This similarity in composition could mean that metamorphic and hydrothermal processes were closely related to each other and that mineralizing solutions were here of metamorphic origin. In spite of chemical diversity stemming from the environment at the time of formation, a close relationship exists between biotite and gold mineralization in many deposits of the Abitibi greenstone belt. Gold mineralization is closely associated to the biotitization that results from potassium metasomatism in the South Briar zone. The biotite at Bachelor Lake gold mine indicates a potassic hydrothermal alteration similar to that in Cu-Mo porphyry systems; its composition, moreover, coincides with that of biotite from the Henderson mine, Colorado. In some cases, biotite (or biotitization) is important for gold mineralization (e.g., South Briar, Sigma-2).

Keywords: biotite, gold deposits, hydrothermal alteration, Abitibi, Val d'Or, Malartic, Chibougamau, Quebec.

INTRODUCTION

L'association directe ou indirecte de la biotite avec certaines zones minéralisées aurifères de la ceinture volcanique de l'Abitibi, dans le Nord-Ouest du Québec, a attiré notre attention. Nous avons donc entrepris une étude systématique de la géochimie de la bio-

TABLEAU 1. ÉCARTS TYPES DES ANALYSES DE BIOTITE* À LA MICROSONDE ÉLECTRONIQUE

	Pourcentage Poids		
	Minimum	Moyen	Maximum
SiO ₂	0.07%	0.53%	1.04%
TiO ₂	0.02	0.13	0.21
Al ₂ O ₃	0.12	0.36	0.51
FeO	0.06	0.59	1.89
MnO	0.01	0.03	0.09
MgO	0.10	0.44	1.35
CaO	0.01	0.01	0.02
Na ₂ O	0.01	0.02	0.05
K ₂ O	0.10	0.44	0.83
F	0.03	0.21	0.48
Cl	0.01	0.03	0.08

* dans une même préparation pétrographique

tite dans différentes mines d'or des camps miniers de Val d'Or, Malartic et Chibougamau.

Au cours des dernières années, l'étude des micas a fait l'objet d'un nombre croissant de publications (Bailey 1984). La biotite a spécialement fait l'objet d'études dans les systèmes de Cu-Mo porphyriques (Lowell et Guilbert 1970, Kesler *et al.* 1975, Parry et Jacobs 1975, Jacobs et Parry 1976, 1979, Moore et Czamanske 1973, Le Bel 1979, Gunow *et al.* 1980, Munoz et Swenson 1981, Taylor 1983, Speer 1984, Munoz 1984). Les travaux expérimentaux sur les variations de composition chimique de la biotite ont été utilisés pour estimer ses conditions physico-chimiques de formation dans les systèmes magmatiques et hydrothermaux (Wones et Eugster 1965, Munoz et Ludington 1974, Beane 1974). La teneur

en halogènes (fluor et chlore) de la biotite magmatique a été utilisée afin de distinguer les roches intrusives fraîches des roches intrusives altérées, ces dernières étant minéralisées ou non (Kesler *et al.* 1975, Jacobs et Parry 1976, 1979, Parry et Jacobs 1975, Gunow *et al.* 1980, Munoz et Swenson 1981, Smith *et al.* 1981, Taylor 1983, Munoz 1984). Cependant, il existe relativement peu de données sur la biotite dans les roches métamorphiques (Guidotti 1984, Ferry 1984).

Les buts de notre étude étaient essentiellement pratiques, soit: 1) d'établir une distinction chimique entre les compositions de biotite métamorphique ou magmatique et celles d'origine hydrothermale, 2) de vérifier si la biotite associée à la minéralisation aurifère possède des caractéristiques chimiques particulières, 3) de comparer ces compositions avec celles de la biotite associée aux systèmes de Cu-Mo porphyriques, 4) d'appliquer ces résultats à l'exploration des métaux précieux, en tenant compte de la paragenèse minérale associée.

MÉTHODE ANALYTIQUE

Les échantillons de biotite ont été analysés à l'aide de la microsonde électronique CAMEBAX à l'Université McGill, Montréal. Les étalons utilisés sont: andradite pour Fe, albite pour Na, orthose pour Al, Si et K, diopside pour Mg et Ca, LiF pour F et vanadinite pour Cl. Le fer total est exprimé sous forme de FeO, et le nombre d'ions a été calculé sur une base de 22 atomes d'oxygène.

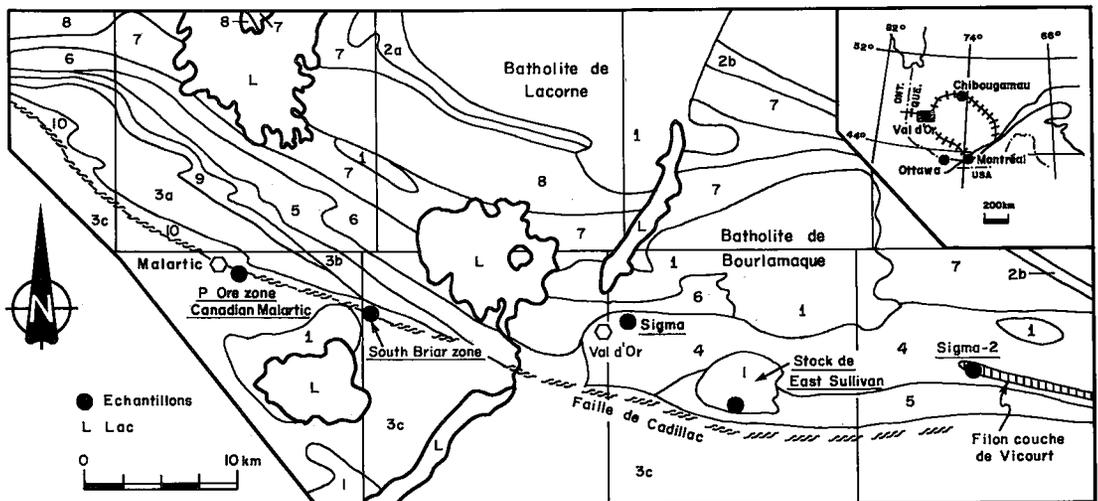


FIG. 1. Carte géologique de la région de Malartic - Val d'Or montrant la localisation des sites étudiés, modifiée de la compilation des cartes géoscientifiques du MERQ et d'Imreh (1984). Légende: 1. Roches intrusives. Roches sédimentaires: 2a Caste, 2b Garden Island, 3a Cadillac, 3b Kewagama, 3c Pontiac). Roches volcaniques: Malartic supérieur (4. Val d'Or, 5. Héva), Malartic inférieur (6. Jacola, 7. Dubuisson, 8. La Motte - Vassan), groupe de Blake River (9), groupe de Piché (10).

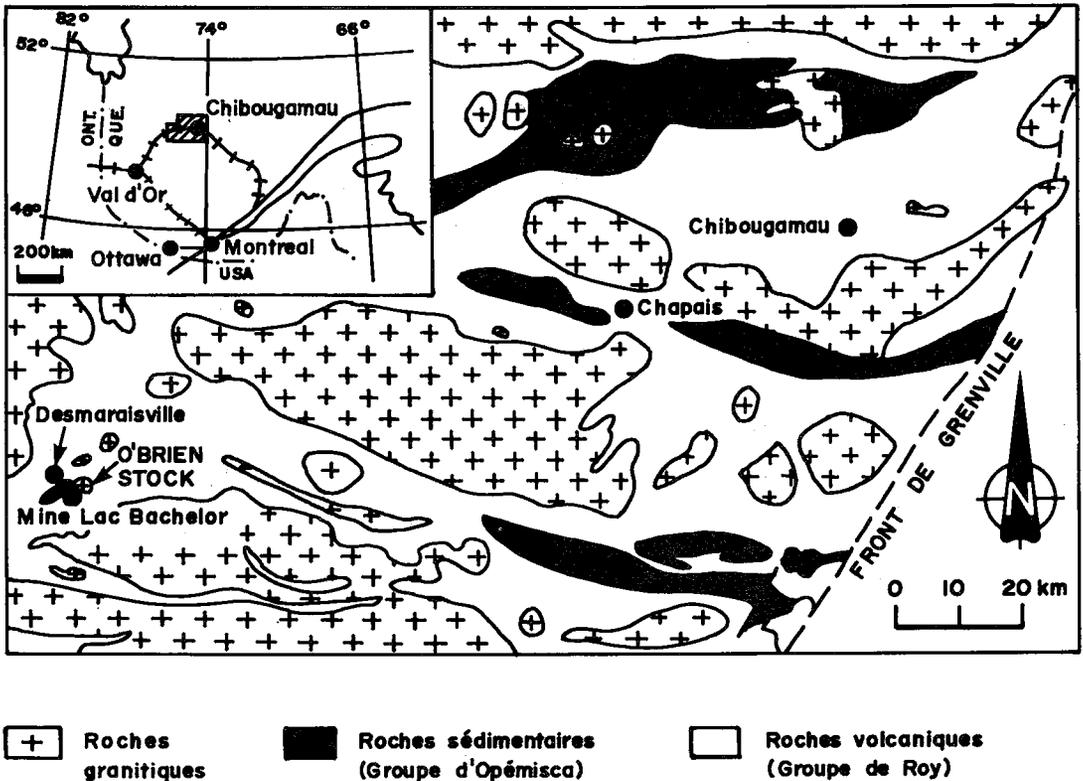


FIG. 2. Carte géologique de la région de Chibougamau montrant la localisation de la mine d'or du lac Bachelor (modifié d'Allard 1976).

D'un à onze grains de biotite ont été analysés dans chaque échantillon, dépendant de leur abondance et de leur taille. Le Tableau 1 présente les écarts-types minimum, moyen et maximum pour tous les grains de biotite analysés dans un même échantillon pour chacun des éléments analysés. La précision analytique pour chaque élément correspond vraisemblablement à une valeur intermédiaire entre les écarts-types minimum et moyen. La somme des données analytiques varie entre 93.52 et 98.09%, avec une moyenne à 95.64%; le reste correspond aux groupes OH (ca. 1.5 à 4.5% H₂O) et les autres éléments non-analysés. Nous concluons que la justesse des analyses est probablement raisonnable et certainement suffisante pour étayer nos conclusions géochimiques.

CADRE GÉOLOGIQUE ET CARACTÉRISTIQUES DE LA BIOTITE DES SITES ÉTUDIÉS

Nous donnons ci-après le cadre géologique de chacun des sites étudiés (Figs. 1,2) avec la description et la composition chimique de la biotite et des minéraux associés.

Mine Sigma

La mine Sigma, à Val d'Or, est un gisement d'or filonien typique, ayant produit plus de 103.7 tonnes d'or depuis son ouverture en 1937. La partie Sud de la ceinture volcanique de l'Abitibi, où se trouve la mine Sigma, est constituée d'ensembles volcaniques et sédimentaires d'âge archéen recoupés par plusieurs masses intrusives (Fig. 1). Selon Robert (1983), les principales unités lithologiques qui constituent la mine Sigma sont les suivantes: 1) des laves mafiques de composition andésitique, qui représentent la lithologie la plus abondante, 2) des masses irrégulières de diorite porphyrique recoupant les andésites, 3) un essaim de dykes de porphyre feldspathique qui recoupent les andésites et les diorites. Toutes ces roches ont subi des déformations et un métamorphisme régional dont l'intensité se situe au faciès des schistes verts. Robert (1983) à la mine Sigma et Daigneault (1983) sur la propriété voisine, la mine Lamaque, ont noté une augmentation du degré de métamorphisme en profondeur; il en résulte la formation de biotite aux dépens de la chlorite à partir d'environ 800

TABLEAU 2. COMPOSITION* DE LA BIOTITE DE LA MINE SIGMA

Éch. No	11	12	25	26	27	28
n	6	4	2	4	3	4
SiO ₂	36.18	36.19	35.41	36.78	34.67	36.26
TiO ₂	1.74	1.76	1.95	1.89	1.99	1.85
Al ₂ O ₃	17.76	18.42	17.48	17.04	17.62	17.56
FeO (1)	20.20	19.36	19.69	20.28	23.06	20.88
MnO	0.16	0.09	0.17	0.08	0.10	0.14
MgO	9.82	9.94	10.61	10.62	8.34	9.55
CaO	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Na ₂ O	0.12	0.19	0.05	0.08	0.08	0.07
K ₂ O	9.07	9.20	9.79	9.72	10.02	9.65
F	0.16	0.16	0.09	0.29	0.11	0.16
Cl	0.04	0.06	0.02	0.07	0.02	0.02
O = F, Cl	95.25	95.37	95.26	96.85	96.01	96.14
	0.07	0.08	0.03	0.13	0.07	0.06
	95.18	95.29	95.23	96.72	95.94	96.08
FORMULES POUR 22 (O)						
Si ^{iv}	5.53	5.52	5.43	5.54	5.37	5.48
Al	2.47	2.48	2.57	2.46	2.63	2.52
	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00
Al ^{vi}	0.73	0.79	0.59	0.56	0.59	0.65
Ti	0.19	0.20	0.22	0.21	0.23	0.21
Fe	2.58	2.46	2.52	2.55	2.99	2.68
Mn	0.02	0.01	0.02	0.01	0.01	0.02
Mg	2.24	2.25	2.43	2.44	1.93	2.18
	5.76	5.71	5.78	5.77	5.75	5.75
Na ^{xi}	0.03	0.04	0.01	0.02	0.02	0.02
K	1.77	1.79	1.92	1.87	1.98	1.89
	1.80	1.83	1.93	1.89	2.00	1.91
F	0.078	0.077	0.044	0.142	0.053	0.078
Cl	0.009	0.017	0.005	0.018	0.006	0.009
XMg (2)	0.46	0.48	0.48	0.48	0.39	0.44
	H	H	M	M	M	M

n.d.: non détecté

H: hydrothermale

(1): Fe tot. exprimé en FeO

M: métamorphique

(2): XMg = Mg/(Mg+Fe+Mn)

n: nombre d'analyses

* Les données sont obtenues à la microsonde électronique

mètres. A la mine Sigma, la minéralisation aurifère se limite à des veines de quartz et à leur éponte immédiate.

Nous avons analysé des échantillons de biotite provenant de trois milieux différents à la mine Sigma (Tableau 2):

Biotite dans les veines de quartz subhorizontales au niveau 1395 mètres (échantillon 11). La biotite se présente en petites paillettes de 200 à 400 µm de longueur, distribuées d'une façon aléatoire dans la veine de quartz. La roche-hôte de la veine est une diorite porphyrique à matrice fortement silicifiée. La silicification, qui s'accompagne du développement de biotite dans les veines et d'apatite dans leurs épontes, semble appartenir à une phase hydrothermale. Les veines riches en biotite sont pauvres en sulfures, qui sont surtout la pyrrhotite et la chalcopryrite.

Biotite en bordure d'une veine de quartz au niveau 1530 mètres (échantillon 12). La biotite se présente en grandes paillettes d'aspect pegmatitique de 1 à 2 cm de longueur en bordure d'une veine de quartz. La biotite est associée à andésine (An₄₀), épidote (Ca_{2,0}Fe_{0,6}Al_{2,6}Si_{3,0}O₁₂[OH]), chlorite (Mg_{4,7}Al_{2,9}Fe_{4,2}

(Al_{2,9}Si_{5,1})O₂₀(OH)₁₆, ilménite, quartz, tourmaline, pyrrhotite et chalcopryrite. L'association de la biotite avec un plagioclase relativement calcique (An₄₀) indiquerait une température de formation plus élevée pour cet assemblage que celle du faciès des schistes verts qui caractérise les roches dans la partie supérieure de la mine.

Biotite dans les roches hôtes des veines de quartz (Tableau 1, échantillons 25 à 28 des niveaux 28, 37, 42 et 43). Dans ces diorites porphyriques qui sont les roches hôtes, la biotite est associée à un plagioclase dont la composition varie avec la profondeur (An₁₁₋₁₆ au niveau 28 et An₃₅₋₅₄ au niveau 43), une hornblende ferropargasitique (Leake 1978) [(K_{0,07}Na_{0,42})(Ca_{1,85}Mn_{0,03}Fe_{0,12})(Fe_{2,64}Mg_{1,26}Ti_{0,05}Al_{1,11})(Al_{1,86}Si_{6,14})O₂₂(OH)₂] et de l'ilménite. [Huit grains d'amphibole dans trois échantillons différents ont été analysés. La somme des alcalis (Na + K) varie entre 0.46 et 0.52, et le Si entre 6.12 et 6.43. Cette amphibole a une teinte de pléochroïsme vert bleuté. Il nous semble que ce pléochroïsme indique une tendance alcaline pour l'amphibole. Pour cette raison, nous préférons la considérer hornblende ferropargasitique, car la valeur de (Na + K) chevauche la limite de subdivision de Leake (1978) entre la hornblende ferropargasitique et la ferro-tschemmakite.] On observe un paragenèse secondaire qui se superpose sur cet assemblage: quartz-séricite-carbonate-chlorite-pyrite. Il est probable qu'elle soit due à une activité hydrothermale correspondant à des conditions de métamorphisme rétrograde.

Mine Sigma-2

La mine Sigma-2 est localisée dans le canton de Louvicourt (Fig. 1) à environ 25 kilomètres à l'est de Val d'Or. Il s'agit d'une exploitation à ciel ouvert d'un minerai à faible teneur (3.03 g/t Au). Sur cette propriété, le filon-couche de métagabbro de Vicourt fait intrusion dans des roches volcaniques felsiques à intermédiaires. Le métagabbro est surmonté par un granophyre à texture micrographique caractérisé par l'intercroissance d'albite et de quartz.

La minéralisation se localise dans des veines subhorizontales de quartz-tourmaline contenant des quantités accessoires de pyrite, pyrrhotite, arsénopyrite, or natif et, localement, biotite. Les veines aurifères se concentrent principalement dans le granophyre.

La biotite se présente sous forme de grandes paillettes (2 à 3 cm) disséminées dans une veine de quartz minéralisée. Il s'agit de toute évidence d'une biotite d'origine hydrothermale. Elle est très riche en Fe (Tableau 3, éch. 13) et associée à la pyrrhotite et à la pyrite.

Zone South Briar de la propriété Goldstack

La zone South Briar de la propriété Goldstack est

située à 10 km à l'est de Malartic, dans le canton de Dubuisson (Fig. 1). La minéralisation aurifère se localise dans le groupe métavolcanique de Piché, situé au nord de la faille de Cadillac. Ce groupe consiste localement en une mince bande de laves ultramafiques fortement altérées contenant des dykes et des filons-couches de diorite, ces deux lithologies étant recoupées par des intrusions de porphyre (Halet 1948, Eakins 1962). La minéralisation aurifère est localisée essentiellement dans les diorites fortement biotitisées. Selon Eakins (1962), le développement de la biotite dans les roches de la région de Malartic est principalement contrôlé par la structure; les roches biotitisées se sont formées par suite du passage de solutions contenant du potassium à travers des zones de cisaillement.

Parmi les six échantillons étudiés (Tableau 4), il y a deux types de roches hôtes: un porphyre feldspathique et une roche intensément cisailée, biotitisée et minéralisée. Halet (1948) considérait cette dernière comme une diorite altérée, mais la déformation et l'altération de cette roche rendent son identification incertaine. La présence de reliques de feldspath biotitisé (paillettes de 30 à 50 μm) constitue le seul indice en faveur d'une diorite altérée. De plus, l'abondance de chlorite magnésienne associée à la biotite fait penser à une dérivation à partir d'une roche mafique riche en Mg. À cause de leur origine incertaine, nous préférons nommer ces roches des schistes à biotite, carbonate, chlorite et sulfures. La biotite présente dans les deux types de roches de la zone South Briar peut être décrite comme suit:

Biotite associée au porphyre feldspathique (échs. 16 et 19). Cette roche contient de 10 à 15% de phénocristaux d'albite (An_{2-7}) dans une matrice silicifiée localement riche en biotite et en carbonate. La biotite d'un échantillon (éch. 16, Tableau 4) est riche en Mg et s'est développée à partir d'une chlorite.

Biotite associée aux schistes à biotite, carbonate, chlorite et sulfures (échs. 14, 15, 17 et 18). Dans la zone South Briar, la plus grande partie de la minéralisation aurifère est concentrée dans des schistes à biotite (3 à 30%), carbonate (5 à 20%), chlorite (5 à 60%) et sulfures (8 à 15%). Dans ces schistes, des laminations riches en biotite alternent avec des laminations riches en quartz, carbonate et chlorite.

Le carbonate associé à la biotite est de l'ankérite ($\text{Ca}_{0.49}\text{Mg}_{0.36}\text{Fe}_{0.15}\text{CO}_3$) qui a été formée après la biotite. La chlorite est magnésienne ($\text{Mg}_{6.7}\text{Al}_{2.4}\text{Fe}_{2.6}(\text{Si}_{5.7}\text{Al}_{2.3})\text{O}_{20}(\text{OH})_{16}$), et s'est développée avant la biotite, le carbonate et les sulfures. Les sulfures sont la pyrite, la pyrrotite, la chalcopyrite et, exceptionnellement, l'arsénoopyrite. L'or natif, en particules mesurant jusqu'à 25 μm de diamètre, avec parfois de rares minéraux de tellure et de bismuth, est associé à la pyrite. Le graphite est parfois présent dans la zone minéralisée.

Zone P de la mine Canadian Malartic et sédiments du Pontiac

La zone P de la mine Canadian Malartic est située à 2 km au sud-est de Malartic, dans le canton de Fournière (Fig. 1). La minéralisation aurifère se trouve dans une zone tabulaire subhorizontale à l'intérieur de grauwackes silicifiées, carbonatisées, chloritisées et séricitisées appartenant au groupe métasédimentaire de Pontiac, situé au sud de la faille de Cadillac (R. Sansfaçon, communication personnelle). Ces grauwackes minéralisées sont recoupées par des intrusions de porphyre. Dans la zone minéralisée, la pyrite disséminée est le sulfure le plus abondant; elle s'accompagne généralement de chalcopyrite, quartz, chlorite, biotite et magnétite.

Pour fins de comparaison, nous avons également analysé des grains de biotite d'origine nettement métamorphique dans les métasédiments non minéralisés du groupe de Pontiac (éch. 9, Tableau 5). Ces sédiments (généralement appelés "grauwackes") sont des grès lithiques. Ils ont été métamorphosés au faciès des schistes verts et contiennent parfois du graphite.

Sur la propriété de la mine Canadian Malartic, la

TABLEAU 3. COMPOSITION DE LA BIOTITE DE LA MINE SIGMA-2 ET DE BACHELOR LAKE

Éch. No	10	
	Sigma-2	Bachelor Lake
n	6	4
SiO_2	33.59	38.20
TiO_2	2.23	1.55
Al_2O_3	17.39	14.24
FeO (1)	26.68	15.72
MnO	0.05	0.08
MgO	4.53	14.26
CaO	0.01	n.d.
Na_2O	0.05	0.04
K_2O	9.22	9.63
F	0.08	4.34
Cl	0.02	0.03
	93.85	98.09
O = F, Cl	0.03	1.83
	93.82	96.26
FORMULES POUR 22 (O)		
Si^{iv}	5.42	5.81
Al	2.58	2.19
	8.00	8.00
Al^{vi}	0.72	0.36
Ti	0.27	0.18
Fe	3.59	2.00
Mn	0.00	0.01
Mg	1.09	3.23
	5.67	5.78
Na^{xii}	0.02	0.01
K	1.89	1.88
	1.91	1.89
F	0.043	2.088
Cl	0.006	0.008
XMg (2)	0.22	0.62
	H	H

Symboles et renvois: voir Tableau 2

TABLEAU 4. COMPOSITION DE LA BIOTITE DE LA SOUTH BRIAR ZONE, MALARTIC

Lithologie	Porphyres		Schistes			
	16	19	14	15	17	18
Éch. No	16	19	14	15	17	18
n	4	1	4	8	4	4
SiO ₂	39.19	36.31	35.87	36.03	35.53	35.14
TiO ₂	1.37	1.84	1.35	1.74	1.60	1.48
Al ₂ O ₃	15.74	18.59	18.54	17.13	16.22	17.76
FeO (1)	9.32	15.87	15.14	17.47	18.33	19.24
MnO	0.12	0.07	0.08	0.11	0.04	0.20
MgO	18.40	12.04	13.76	12.68	13.15	13.66
CaO	n.d.	n.d.	n.d.	0.03	n.d.	n.d.
Na ₂ O	0.07	0.05	0.06	0.04	0.06	0.05
K ₂ O	8.67	9.05	8.75	8.05	7.64	7.22
F	1.52	0.75	0.43	0.34	0.46	0.33
Cl	0.02	0.06	0.03	0.05	0.03	0.04
O = F, Cl	94.42	94.63	94.01	93.67	93.06	95.12
	0.64	0.33	0.18	0.15	0.19	0.14
	93.78	94.30	93.83	93.32	92.87	94.98
FORMULES POUR 22 (O)						
Si ^{iv}	5.75	5.49	5.43	5.44	5.51	5.33
Al	2.25	2.51	2.57	2.56	2.49	2.67
	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00
Al ^{vi}	0.49	0.81	0.76	0.53	0.46	0.49
Ti	0.15	0.21	0.15	0.20	0.19	0.16
Fe	1.15	2.01	1.92	2.24	2.37	2.43
Mn	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.02
Mg	4.04	2.71	3.11	2.89	3.04	3.08
	5.84	5.75	5.95	5.87	6.06	6.17
Na ^{xii}	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	0.02
K	1.63	1.75	1.69	1.57	1.51	1.39
	1.65	1.76	1.71	1.58	1.53	1.14
F	0.711	0.357	0.207	0.166	0.229	0.159
Cl	0.006	0.016	0.007	0.014	0.008	0.010
X _{Mg} (2)	0.78	0.57	0.62	0.56	0.56	0.56
	H	H	H	H	H	H

Symboles et renvois: voir tableau 2

biotite est omniprésente dans les sédiments du Groupe de Pontiac et fait partie de l'assemblage métamorphique. Cependant, dans la zone minéralisée proprement dite, on observe le développement d'une deuxième génération de biotite, d'origine hydrothermale, qui s'accompagne d'une intense silicification de la matrice du grauwaacke. La biotite hydrothermale se distingue de la biotite métamorphique par sa taille plus faible (30 à 50 µm contre 100 à 300 µm) et sa teinte de pléochroïsme brun verdâtre par opposition à brun rougeâtre. Les compositions chimiques (Tableau 5) font ressortir des teneurs légèrement supérieures en Mg pour les échantillons de biotite hydrothermale (éch. 21 à 23) par rapport à ceux de biotite métamorphique (éch. 9).

La biotite d'un dyke de porphyre feldspathique de la zone minéralisée (éch. 24, Tableau 5) est d'origine hydrothermale et montre une composition tout à fait semblable à celle de la biotite hydrothermale dans les grauwaackes. L'or natif a été observé sous forme de petits grains (10 à 15 µm) dans la pyrite ou dans la matrice silicifiée du grauwaacke.

Mine d'or du lac Bachelor, Desmaraisville

La mine d'or du lac Bachelor est située dans le sil-

lon de roches vertes Matagami-Chibougamau (Allard et Gobeil 1984). La mine est localisée à environ 160 km au sud-ouest de la ville de Chibougamau, près de Desmaraisville, dans le canton de Lesueur (Fig. 2). Les unités lithologiques sont des roches volcaniques, le stock de composition granodioritique O'Brien, ainsi que de nombreux dykes de gabbro et de lamprophyre (Buro 1984).

La minéralisation aurifère est localisée dans une zone de cisaillement silicifiée et hématisée qui recoupe les coulées volcaniques à angle droit, traverse les dykes de gabbro et se poursuit un peu à l'intérieur du stock O'Brien, qui limite la zone minéralisée vers l'Est. Les veines minéralisées aurifères contiennent, par ordre d'abondance décroissante: quartz, hématite, carbonate, épidote, chlorite, fluorine, mica blanc, biotite, pyrite, magnétite et molybdénite. L'or natif est associé à la pyrite à grains fins (Buro 1984).

Dans l'échantillon étudié (niveau 3) de la mine d'or du lac Bachelor, la biotite s'est développée dans la matrice d'un porphyre feldspathique intensément silicifié. Le porphyre est composé de 7% de phénocristaux de plagioclase (An₆₋₁₁) dans une matrice forte-

TABLEAU 5. COMPOSITION DE LA BIOTITE DE LA ZONE P, CANADIAN MALARTIC ET DES SÉDIMENTS PONTIAC

Lithologie	Grauwaackes minéralisés			Intrusifs	Grauwaackes
	21	22	23	24	9
Éch. No	21	22	23	24	9
n	3	3	3	4	4
SiO ₂	38.29	37.66	37.71	37.85	37.71
TiO ₂	2.21	2.26	1.79	2.18	1.81
Al ₂ O ₃	16.35	16.52	17.85	16.46	18.21
FeO (1)	15.11	16.89	17.08	15.32	17.72
MnO	0.11	0.23	0.18	0.07	0.19
MgO	14.06	12.91	12.83	14.07	11.93
CaO	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Na ₂ O	0.05	0.04	0.07	0.07	0.10
K ₂ O	9.44	8.44	7.23	8.91	9.53
F	0.57	0.29	0.35	0.71	1.04
Cl	0.01	0.01	n.d.	0.02	0.02
O = F, Cl	96.20	95.25	95.09	95.66	98.26
	0.24	0.12	0.15	0.30	0.44
	95.96	95.13	94.94	95.36	97.82
FORMULES POUR 22 (O)					
Si ^{iv}	5.67	5.64	5.60	5.63	5.52
Al	2.33	2.36	2.40	2.37	2.48
	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00
Al ^{vi}	0.52	0.55	0.68	0.52	0.70
Ti	0.24	0.25	0.20	0.24	0.20
Fe	1.87	2.11	2.12	1.91	2.19
Mn	0.01	0.02	0.02	0.01	0.20
Mg	3.10	2.88	2.84	3.12	2.64
	5.74	5.81	5.86	5.80	5.75
Na ^{xii}	0.01	0.01	0.02	0.01	0.03
K	1.78	1.61	1.37	1.69	1.80
	1.79	1.62	1.39	1.70	1.83
F	0.266	0.173	0.165	0.335	0.492
Cl	0.004	0.002	—	0.005	0.005
X _{Mg} (2)	0.62	0.57	0.57	0.62	0.54
	H	H	H	H*	H

Symboles et renvois: voir tableau 2

ment silicifiée (45% de quartz) contenant également biotite (5%), pyrite (10%), ankérite (3%) $[Ca_{0.47}(Mg_{0.25}Fe_{0.28})CO_3]$ et des quantités accessoires de feldspath potassique, séricite, rutile, magnétite, chalcopyrite et molybdénite. L'or natif est associé à la pyrite ou disséminé dans la matrice du porphyre.

Dans cette zone minéralisée, le développement de la biotite s'accompagne du remplacement du plagioclase par un feldspath potassique. L'assemblage minéralogique quartz - biotite - feldspath potassique - carbonate - rutile - pyrite est identique à celui de la zone d'altération potassique des systèmes de Cu-Mo porphyriques. De plus, la biotite de la mine du lac Bachelor est riche en F (Tableau 3), ce qui est en accord avec la présence de fluorine dans la zone minéralisée.

Stock monzonitique East Sullivan

Le stock East Sullivan est situé à 8 km au sud-est de Val d'Or, dans le canton de Bourlamaque (Fig. 1). Ce petit stock presque circulaire, d'environ 5 km de diamètre, est situé juste au nord de la faille de Cadillac et recoupe les roches volcaniques des formations de Val d'Or et de Héva (Imreh 1984). L'ancienne mine de East Sullivan (Cu, Zn, Ag, Au) est localisée dans les roches volcaniques situées dans la bordure Ouest de ce stock.

Le stock est composé surtout de roches monzonitiques. On peut y distinguer trois faciès, selon leur texture, soit la monzonite *sensu stricto*, la monzonite porphyrique et la micromonzonite porphyrique. Malgré leur texture variable, les trois faciès possèdent à peu près la même composition minéralogique et chimique. Ces roches sont constituées essentiellement de plagioclase, d'orthose perthitique, de biotite et de hornblende. L'apatite, l'ilménite, la magnétite, la titanite et le zircon sont les minéraux accessoires. Nous avons observé aussi des dykes de porphyre feldspathique situés dans l'auréole de métamorphisme de contact de cette intrusion.

Deux types de biotite ont été observés dans le stock de East Sullivan: une biotite magmatique primaire et une biotite secondaire. La biotite magmatique primaire se présente sous forme de phénocristaux et de microphénocristaux subidiomorphes mesurant jusqu'à 1 mm de longueur. La biotite secondaire se présente sous forme de petites paillettes de 100 à 200 μm , disséminées dans la matrice ou remplissant les fractures ou remplaçant les minéraux ferromagnésiens préexistants. Cette biotite secondaire appartient probablement au métamorphisme régional, qui est caractérisé par l'assemblage minéralogique biotite - épidote - séricite - albite - quartz. On observe ici et là une biotite hydrothermale avec rutile, pyrite, chalcopyrite et molybdénite (éch. 5, Tableau 6).

INTERPRÉTATION DES DONNÉES ANALYTIQUES

Le diagramme triangulaire (Fig. 3) montre les variations de Al + Ti, Fe et Mg dans les sites octaédriques. Ce diagramme démontre que la somme de Al + Ti est relativement constante pour les échantillons de biotite analysés, tandis que les proportions de Fe et de Mg sont très variables. Gilzean et Brimhall (1983) et Brimhall (1984) ont démontré que la biotite d'origine hydrothermale est plus riche en Mg que la biotite magmatique primaire. Cette règle n'est pas vérifiée dans nos observations. La biotite de la mine du lac Bachelor et celle de certains porphyres feldspathiques du camp minier de Malartic sont riches en Mg (Tableaux 3 à 5); par contre, la biotite associée à la pyrite et à la pyrrhotite dans les veines de quartz de la mine Sigma-2 est riche en Fe (Tableau 3).

Dans la biotite, on observe une corrélation négative correspondant à une légère diminution du K avec l'augmentation du X_{Mg} dans les sites octaédriques (Fig. 4). Aussi, la biotite de la zone South Briar est nettement plus pauvre en K que les autres échantillons analysés. La diminution du potassium entraînerait un manque dans les sites de coordination XII et une diminution de la somme partielle (sans H₂O) des données chimiques (Tableau 4). Ce phénomène est intéressant car la zone South Briar constitue le seul exemple où nous avons observé l'or en associa-

TABLEAU 6. COMPOSITION DE LA BIOTITE DU STOCK MONZONITIQUE EAST SULLIVAN

Lithologie	Monzonite		Monzonite porphyrique		Micromonzonite porphyrique		Porphyre feldspathique	
	1	2	5	3	4	6	8	
Ech. No	11	10	5	5	4	3	5	
n	11	10	5	5	4	3	5	
SiO ₂	38.16	37.98	37.69	37.61	39.24	35.13	36.75	
TiO ₂	1.33	1.44	1.17	2.02	1.24	1.53	1.45	
Al ₂ O ₃	15.20	15.50	15.78	16.34	14.70	15.36	16.85	
FeO (1)	17.62	17.09	16.84	19.68	15.35	25.08	21.20	
MnO	0.29	0.54	0.43	0.39	0.46	0.35	0.31	
HgO	14.22	14.65	14.61	11.43	15.77	7.99	10.38	
CaO	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.03	0.05	0.05	
Na ₂ O	0.02	0.04	0.03	0.05	0.03	0.08	0.03	
K ₂ O	9.52	9.28	9.09	9.21	9.31	9.71	9.75	
F	1.90	1.87	0.72	1.16	2.32	0.06	0.56	
Cl	0.08	0.21	0.12	0.24	0.25	0.27	0.15	
O = F, Cl	98.34*	98.50	96.48	98.13	98.70	95.61	97.48	
	0.82	0.94	0.32	0.52	0.95	0.09	0.27	
	97.52	97.76	96.16	97.59	97.75	95.52	97.21	
FORMULES POUR 22 (O)								
Si ^{IV}	5.69	5.65	5.63	5.63	5.78	5.66	5.56	
Al	2.31	2.35	2.37	2.37	2.22	2.34	2.44	
	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	
Al ^{VI}	0.36	0.36	0.42	0.51	0.34	0.52	0.53	
Ti	0.14	0.16	0.13	0.23	0.14	0.18	0.17	
Fe	2.20	2.12	2.11	2.46	1.89	3.32	2.68	
Mn	0.03	0.06	0.05	0.05	0.06	0.04	0.04	
Mg	3.16	3.24	3.26	2.55	3.49	1.88	2.34	
	5.89	5.94	5.97	5.80	5.92	5.94	5.76	
Na ^{XII}	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	
K	1.81	1.76	1.73	1.76	1.75	1.96	1.88	
	1.82	1.77	1.74	1.77	1.76	1.98	1.89	
F	0.896	0.879	0.338	0.548	1.082	0.041	0.271	
Cl	0.021	0.054	0.030	0.061	0.062	0.074	0.038	
X _{Mg} (2)	0.58	0.60	0.60	0.50	0.64	0.36	0.46	
	M	M	H	M	H	M	H	

Symboles et renvois: voir tableau 2

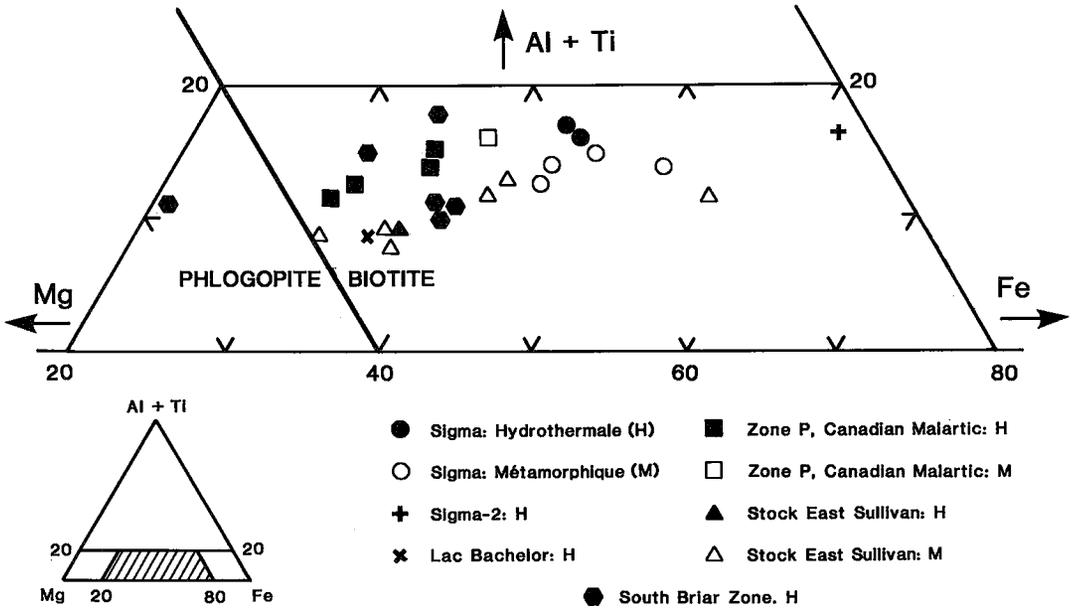


FIG. 3. Diagramme montrant la distribution de Mg, Al + Ti et Fe dans les sites octaédriques des échantillons de biotite analysés. La ligne de séparation phlogopite-biotite suit la définition de Bailey (1984). Les mêmes symboles sont utilisés pour les Figures 4 à 6.

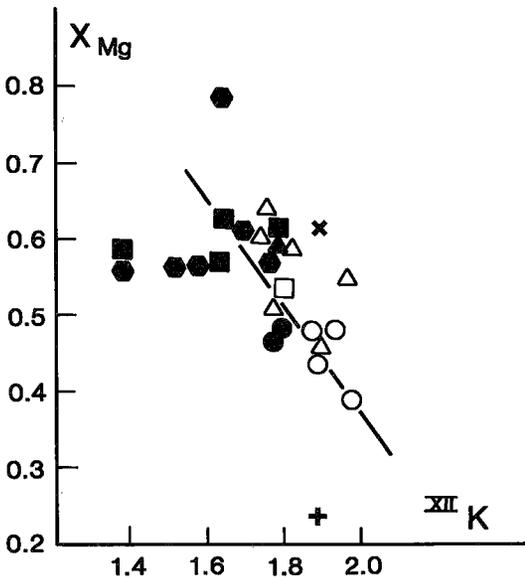


FIG. 4. Distribution de K en fonction de X_{Mg} dans la formule structurale des échantillons de biotite analysés [$X_{Mg} = Mg / (Mg + Fe + Mn)$].

résultat d'une altération potassique superposée à des roches magnésiennes. Dans ce cas, la quantité de potassium disponible n'aurait pas été suffisante pour procéder à une biotitisation complète de la chlorite, ce qui pourrait expliquer le manque de potassium dans les sites de coordinance XII.

L'importance des halogènes est bien connue dans le processus de formation des gisements métallifères. Le diagramme F versus Cl (% poids) est particulièrement intéressant (Fig. 5). On note tout d'abord que la biotite associée à la minéralisation aurifère a une teneur en Cl inférieure à 0.06% et une teneur en F généralement inférieure à 1.0% (deux exceptions). Par contre, la biotite du stock de East Sullivan montre une grande variabilité en F et en Cl, avec une teneur en Cl généralement supérieure à 0.10%. Pour fins de comparaison, nous avons rapporté sur ce diagramme les teneurs en F et en Cl de la biotite du porphyre cuprifère de Bakırçay, en Turquie (Taylor 1983).

Il s'établit une nette distinction entre le contenu en Cl plus élevé de la biotite associée à la minéralisation de type Cu-Mo porphyrique (Bakırçay, Turquie) et celui, beaucoup plus faible, de la biotite associée à la minéralisation aurifère en Abitibi. Cette différence est corroborée par l'étude des inclusions fluides dans ces deux environnements (Roedder 1984). En effet, les inclusions fluides dans les gisements d'or ont généralement des salinités inférieures à 10% poids d'équivalent NaCl, tandis que celles des gisements de Cu-Mo porphyriques sont très

tion directe avec la biotite. À cause de l'association de la biotite avec une chlorite magnésienne, nous interprétons la biotitisation à South Briar comme

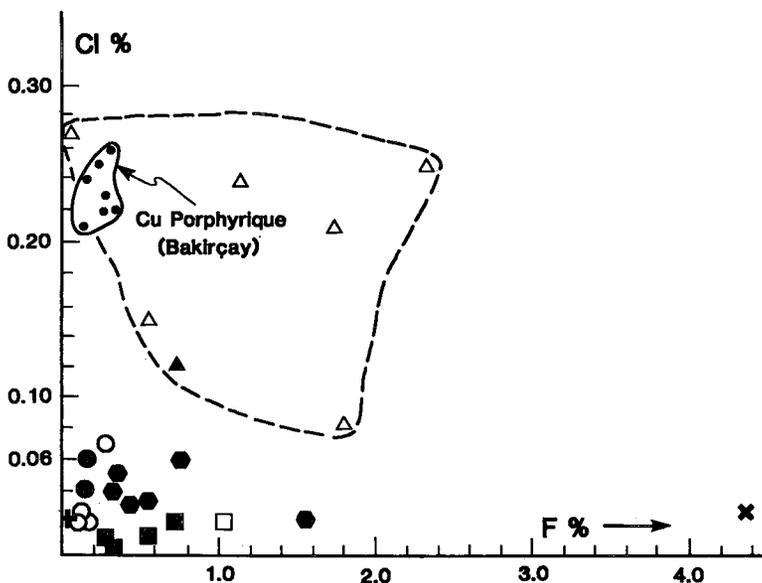


FIG. 5. Variation de F en fonction de Cl (% poids) des compositions de biotite analysée et du système de Cu-Mo porphyrique de Bakırçay (Taylor 1983).

salines (40% à plus de 60% poids d'équivalent NaCl; Roedder 1984). Enfin, on observe que la biotite de la mine Lac Bachelor est riche en F (Fig. 5) et elle est associée à de la fluorine.

Gilzean et Brimhall (1983) ont démontré que la biotite associée à la minéralisation aurifère à Silverton, Colorado ressemble à celle du porphyre cuprifère de Santa Rita, Nouveau-Mexique sur le diagramme $\log (X_F/X_{Cl})$ versus X_{Mg} (Fig. 6). Ces compositions montrent des rapports F/Cl nettement plus faibles que dans la biotite associée au gisement de Mo de Henderson (Munoz et Swenson 1981).

Sur un tel diagramme (Fig. 6), la biotite de la zone South Briar coïncide avec le champ de la biotite de Santa Rita et de Silverton, tandis que celle du stock de East Sullivan montre aussi une concordance avec la biotite de Santa Rita. Les compositions de biotite des grauwackes minéralisés de la mine Canadian Malartic et des sédiments non minéralisés du groupe de Pontiac forment un groupe distinct à cause de leur faible teneur en Cl. La biotite de la mine Sigma possède un rapport F/Cl faible, mais le diagramme ne permet pas de distinguer la biotite hydrothermale associée aux veines de quartz de la biotite métamorphique présente dans la roche hôte des veines. À cause de sa teneur exceptionnellement élevée en Fe, la biotite de la mine Sigma-2 se distingue nettement de tous les autres échantillons analysés. Enfin, la biotite de la mine du lac Bachelor est tout à fait comparable à celle du gisement de Mo de Henderson, Colorado (Gunow *et al.* 1980) et il est intéressant de

noter que la biotite et la minéralisation aurifère sont associées à de la fluorine et à de la molybdénite.

Le Bel (1979) a étudié la cristallogénèse de la biotite primaire et de la biotite néoformée dans un environnement de porphyre cuprifère; ses travaux ont montré qu'en passant du faciès primaire magmatique au faciès altéré (hydrothermal ou autre), la teneur en Al augmente tandis que la teneur en Ti diminue dans les sites octaédriques. Ainsi, les teneurs en Al et en Ti de la biotite montrent une corrélation directe avec la température. La solubilité du Ti, suivant la stabilité expérimentale de la phlogopite titanifère (Robert 1976), est fonction de la température de cristallisation, ce qui permet de calibrer une courbe de solubilité (Le Bel 1979). Nos données, rapportées sur cette courbe, indiquent une température de cristallisation inférieure à 500°C pour les compositions étudiées, les teneurs en Ti variant entre 0.1 et 0.3 atome (Fig. 7). Par contre, les teneurs en ^{VI}Al sont très élevées (0.3 à 0.8 atome; Tableaux 2 à 6) par rapport à celles de la biotite primaire (0.15 atome; Le Bel 1979). Guidotti (1984) a également démontré que la teneur en Ti de la biotite augmente avec l'augmentation du degré de métamorphisme.

DISCUSSION

Cette étude documente l'association directe de la biotite avec certaines zones minéralisées aurifères de la ceinture volcanique de l'Abitibi dans le Nord-Ouest du Québec. Une situation similaire se présente

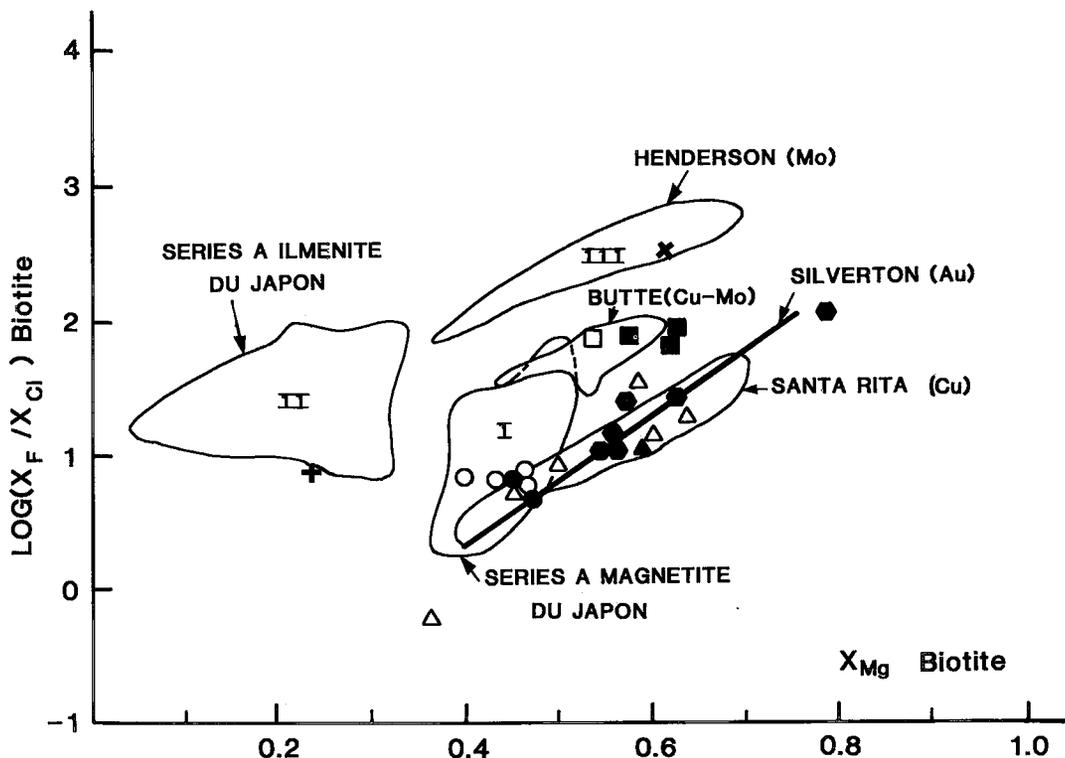


FIG. 6. Diagramme X_{Mg} versus $\log(X_F/X_{Cl})$ pour les échantillons de biotite étudiée. Ce diagramme est modifié de Gilzean et Brimhall (1983). Pour fins de comparaison, ces auteurs ont reporté les champs de biotite appartenant à trois groupes principaux de roches granitoïdes et leurs minéralisations associées: séries à magnétite et massifs de type "I" associés avec la minéralisation de Cu; série à ilménite et roches granitoïdes de type "S" associés avec la minéralisation de Sn; les systèmes à rapport F/Cl élevé et riches en Mo (e.g., Henderson).

à la mine Hunt, à Kambalda, Australie (Phillips et Groves 1984), où les roches-hôtes adjacentes aux veines de quartz aurifères ont subi une altération métasomatique que caractérise le développement de nouveaux minéraux, notamment la biotite. L'altération est plus évidente que dans les gisements étudiés et se traduit par le développement de zones de 1 à 2 mètres d'épaisseur, riches en biotite et en pyrite (Phillips et Groves 1984, Fig. 8). Dans cet exemple, les conditions (T,P) des assemblages d'altération sont inférieures à celle du métamorphisme régional. Phillips et Groves (1984) en concluent que la minéralisation aurifère à la mine Hunt était synchrone avec les conditions du métamorphisme rétrograde, plutôt qu'avec les conditions maximales du métamorphisme régional. Également, on a décrit la présence de biotite dans la zone d'altération phyllique des gisements d'or de Hemlo, Ontario (Sheehan et Valliant 1983).

À la mine Sigma, Val d'Or, Robert (1983), Robert *et al.* (1983) et Robert et Brown (1984) ont démontré que la mise en place des veines de quartz aurifère était tardive et que les veines ne sont pas affectées

par la déformation ou le métamorphisme après la minéralisation aurifère. La biotite se développe en profondeur avec l'augmentation du degré de métamorphisme. Elle se présente dans les veines riches en pyrrhotite et en chalcopryrite à des profondeurs supérieures à 1300 mètres. Avec l'augmentation de la profondeur, une zonalité tourmaline-biotite s'accompagne d'une zonalité des sulfures. Les veines situées près de la surface sont riches en tourmaline et en pyrite qui est le sulfure dominant, tandis que dans les veines riches en biotite situées en profondeur, la pyrrhotite et la chalcopryrite sont beaucoup plus abondantes que la pyrite.

Deux types de biotite ont donc été reconnus à la mine Sigma:

- 1) une biotite hydrothermale dans les veines de quartz ou au contact de ces dernières: l'assemblage observé au contact des veines indique une température de formation supérieure à celle des veines minéralisées aurifères.
- 2) Une biotite métamorphique dans la matrice des roches encaissantes, en association avec une hornblende ferropargasitique (Leake 1978). La biotite et l'amphibole sont en équilibre avec un plagi-

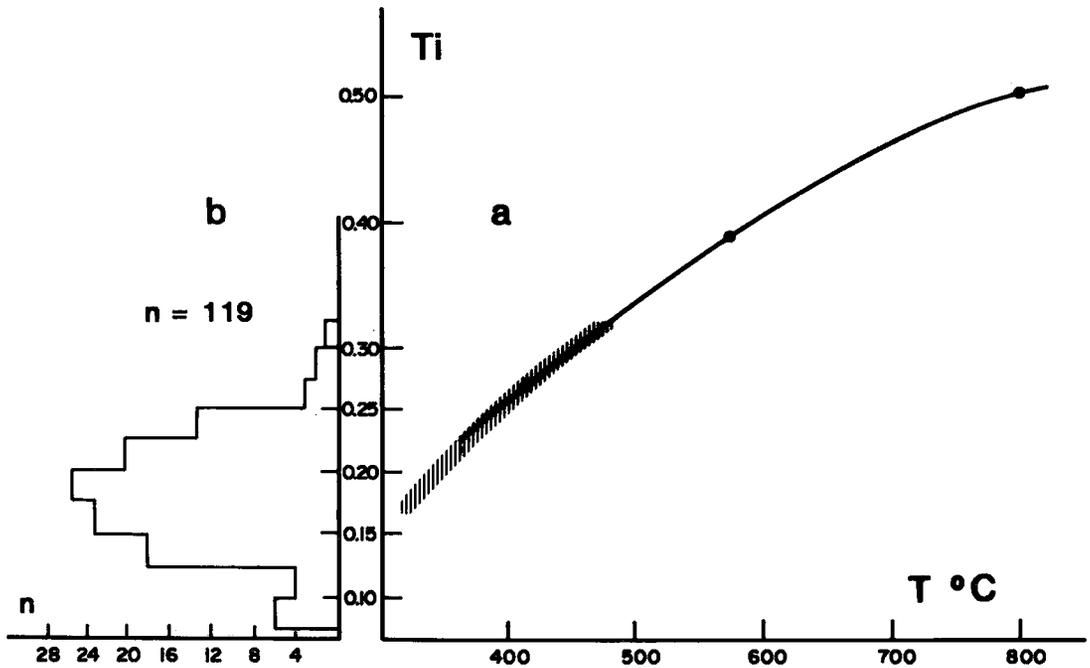


FIG. 7. Solubilité du Ti dans les échantillons de biotite analysés en fonction de la température. a) La courbe de calibration (●) est celle de Le Bel (1979). Le Ti est exprimé en nombre d'atomes par unité stoechiométrique, calculé sur la base de 22 atomes d'oxygène (Tableaux 2 à 6). Nos compositions se distribuent dans la zone hachurée. b) Diagramme de fréquence du Ti des échantillons de biotite analysés.

clase calcique. L'association hornblende ferropargasitique - plagioclase calcique peut s'expliquer de deux façons: a) le métamorphisme du faciès amphibolite (Miyashiro 1973) a été réalisé en profondeur, et la biotite persiste dans les conditions de ce faciès; b) cette association serait le résultat d'un métamorphisme de contact correspondant au faciès cornéenne à hornblende (Miyashiro 1973). Dans ce cas, il faudrait supposer la présence d'une intrusion quelconque en profondeur. D'ailleurs, nos résultats analytiques pour l'amphibole et la biotite se situent bien dans la zone à grenat-oligoclase ou andésine (An_{22-37}) sur les diagrammes établis par Laird et Albee (1981) et, en outre, le caractère chimique de l'amphibole correspond à un métamorphisme de basse pression [$100Na/(Na+Ca)$: 18 à 20 et $100Al/(Al+Si)$: 28 à 32].

Selon Daigneault (1983), à la mine Lamaque, on a atteint le faciès amphibolite avec l'apparition de hornblende dans l'unité dioritique, vers 1500 mètres; il est probable que cet assemblage soit le résultat du métamorphisme de contact.

Bien que les deux types de biotite se distinguent facilement à l'examen pétrographique et par leurs milieux différents, elles montrent pratiquement la même composition chimique. En effet, la biotite

hydrothermale (Tableau 2, éch. 11 et 12) est à peine plus riche en Al et Na, et plus pauvre en Ti et K que la biotite métamorphique (Tableau 2, éch. 25 à 28). Cette similitude de composition pourrait signifier que les processus métamorphiques et hydrothermaux sont intimement associés, et que les fluides responsables de la minéralisation aurifère sont d'origine métamorphique.

De même, bien que les distinctions s'établissent clairement lors de l'examen pétrographique, la biotite primaire et la biotite secondaire n'ont montré aucune différence significative de composition selon le faciès du stock monzonitique de East Sullivan dans lequel elles ont été analysées (Tableau 6). Nous pensons que la composition chimique semblable de la biotite magmatique et métamorphique dans le stock de East Sullivan est due à une rééquilibration lors du métamorphisme régional et que la composition de la biotite magmatique a été considérablement modifiée à cette occasion.

Mentionnons en terminant que les échantillons de la mine Sigma métamorphisés au faciès amphibolite montrent une association minérale secondaire qui se superpose sur celle formée à plus haute température. Cet assemblage secondaire se caractérise par une silification qui s'accompagne du développement de séri-

cite, carbonate, pyrite et rutile et qui représenterait une phase hydrothermale tardive ou une phase rétrograde du métamorphisme antérieur. La minéralisation aurifère serait associée à cette dernière phase.

CONCLUSIONS

Cette étude sur la composition chimique de la biotite associée à la minéralisation aurifère en Abitibi a permis de démontrer que la composition chimique semble plutôt refléter les caractéristiques du milieu dans lequel la biotite a été formée. Ainsi, la biotite de la mine Sigma-2 associée à la pyrite et la pyrrhotite est riche en Fe, la biotite de la zone South Briar associée à une chlorite magnésienne est riche en Mg, et la biotite de la mine du lac Bachelor associée à la fluorine est riche en F. Les teneurs en halogènes des échantillons de biotite étudiée montrent certaines spécialisations. La teneur en Cl d'une biotite directement associée à la minéralisation aurifère est faible (<0.06%) comparativement à celle (>0.1%) d'une biotite des systèmes de Cu-Mo porphyriques et celle du stock monzonitique East Sullivan. Cette faible teneur en Cl résulte probablement de la faible salinité des solutions aurifères, telle que révélée par l'étude des inclusions fluides. D'autre part, la teneur en F est variable, entre 0.1 et 1.6% en poids, sauf une exception à 4.5% pour la biotite de la mine du lac Bachelor.

Les teneurs élevées en Al et faibles en Ti dans les sites octaédriques suggèrent, suivant le diagramme de Le Bel (1979), des températures de cristallisation plus basses que celles généralement admises pour les roches magmatiques. Nos données indiquent, pour les échantillons étudiés, des températures de cristallisation inférieures à 500°C.

La composition de la biotite magmatique primaire du stock de East Sullivan démontre qu'elle a été affectée par le métamorphisme régional. Les compositions chimiques ne permettent pas d'établir une distinction nette entre biotite d'origine métamorphique et une autre d'origine hydrothermale. Cette similitude de composition pourrait signifier que les processus métamorphiques et hydrothermaux sont intimement associés, et que les solutions minéralisantes sont d'origine métamorphique.

Malgré la diversité chimique résultant des différents milieux de formation, il existe une relation étroite entre la présence de biotite et la minéralisation aurifère dans plusieurs mines ou gisements de la ceinture volcanique de l'Abitibi, dans le Nord-Ouest du Québec. Dans la zone South Briar, la minéralisation d'or est intimement associée à la biotitisation résultant d'un métasomatisme potassique. Dans ce cas, les solutions qui ont transporté l'or étaient riches en K, CO₂ et S, provoquant une biotitisation, une carbonatation et une sulfurisation des roches encaissantes. La biotite riche en Fe de la mine

Sigma-2 est en équilibre avec les sulfures de fer (pyrite, pyrrhotite et arsenopyrite). Dans la mine d'or du lac Bachelor, la présence de biotite avec un assemblage minéralogique: quartz - biotite - feldspath potassique - carbonate - rutile - pyrite, suggère une altération hydrothermale potassique similaire à celle des systèmes de Cu-Mo porphyriques. La molybdénite et la fluorine accompagnent la minéralisation aurifère et la biotite de la mine du lac Bachelor, riche en F, est comparable à celle du porphyre Mo de Henderson, Colorado.

Enfin, dans certains cas, la biotite (ou biotitisation) est importante pour la minéralisation aurifère (e.g., South Briar, Sigma-2). Pour cette raison, nous avons voulu mettre en relief l'importance pratique de l'association entre la biotite et la minéralisation aurifère dans la ceinture volcanique de l'Abitibi. Nous n'avons pas abordé ici la relation entre la biotite et la déposition de l'or dans les processus hydrothermaux. Cet aspect du problème fait présentement l'objet de recherches.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier le Dr. P. Smith, consultant pour la propriété Goldstack; A. Audet, A.-J. Beauregard et F. Viens de la mine Sigma, Val d'Or; Y.A. Buro de la mine d'or du lac Bachelor et R. Sansfaçon de Minerais Lac pour leur contribution appréciable. Nous remercions le Dr Moyra Mackinnon pour l'aide avec les analyses à la microsonde électronique et Line Parisien pour la dactylographie. Ce travail a été réalisé avec l'aide des octrois du CRSNG à G. Perrault (A-1180) et à P. Trudel (A-0635), de l'octroi CRP-2063 du groupe de FCAR et de la convention de recherche IREM-MERI P-83-21 avec le MERQ.

RÉFÉRENCES

- ALLARD, G.O. (1976): Dore Lake complex and its importance to Chibougamau geology and metallogeny. *Ministère Rich. Nat. Québec*. DP-368.
- _____ & GOBEL, A. (1984): General geology of the Chibougamau region. In Chibougamau - Stratigraphy and Mineralization (J. Guha & E.H. Chown, eds.). *Can. Inst. Mining Metall., Spec. Vol.* 34, 5-19.
- BAILEY, S.W., ed. (1984): Micas. *Mineral. Soc. Amer., Rev. Mineral.* 13.
- BEANE, R.E. (1974): Biotite stability in the porphyry copper environment. *Econ. Geol.* 69, 241-256.
- BRIMHALL, G.H. (1984): Alteration phase equilibria in porphyries and related epithermal vein systems. In Recent Advances in the Geochemistry of Ore Deposits. *Mineral. Expl. Res. Inst.* (IREM-MERI, Montréal), 8-18 (extended abstr.).

- BURO, Y.A. (1984): Geology of the Bachelor Lake gold mine, Desmaraisville, Abitibi-East, Quebec. In Chibougamau - Stratigraphy and Mineralization (J. Guha & E.H. Chown, eds.). *Can. Inst. Mining Metall., Spec. Vol. 34*, 385-392.
- DAIGNEAULT, R. (1983): *Géologie et Géochimie du Gisement d'Or de la Mine Lamaque, Val d'Or, Québec*. Thèse M.Sc.A., École Polytechnique, Montréal, Québec.
- EAKINS, P.R. (1962): Geological settings of the gold deposits of the Malartic district, Abitibi-East County, *Que. Dep. Nat. Resources, Geol. Rep. 99*.
- FERRY, J.M. (1984): A biotite isograd in south-central Maine, U.S.A.: mineral reactions, fluid transfer, and heat transfer. *J. Petrology* **25**, 871-893.
- GILZEAN, M.N. & BRIMHALL, G.H. (1983): Alteration biotite chemistry and nature of deep hydrothermal system, Silverton district, Colorado. *Geol. Soc. Amer., Abstr. Programs* **15**, 581.
- GUIDOTTI, C.V. (1984): Micas in metamorphic rocks. In Micas (S.W. Bailey, ed.). *Mineral. Soc. Amer., Rev. Mineral.* **13**, 357-467.
- GUNOW, A.J., LUDINGTON, S. & MUNOZ, J.L. (1980): Fluorine in micas from Henderson molybdenite deposit, Colorado. *Econ. Geol.* **75**, 1127-1137.
- HALET, R.A. (1948): Malartic Gold Fields mine. In Structural Geology of Canadian Ore Deposits. *Can. Inst. Mining Metall. Spec. Vol.*, 868-875.
- IMREH, L. (1984): Sillon de La Motte - Vassan et son avant-pays méridional: synthèse volcanologique, lithostratigraphique et gîtologique. *Min. Énergie et Ressources Québec*, **MM82-04**.
- JACOBS, D.C. & PARRY, W.T. (1976): A comparison of the geochemistry of biotite from some Basin and Range stocks. *Econ. Geol.* **71**, 1029-1035.
- _____ & _____ (1979): Geochemistry of biotite in the Santa Rita porphyry copper deposit, New Mexico. *Econ. Geol.* **74**, 860-887.
- KESLER, S.E., ISSIGONIS, M.J., BROWNLOW, A.H., DAMON, P.E., MOORE, W.J., NORTHCOLE, K.E. & PRETO, V.A. (1975): Geochemistry of biotites from mineralized and barren intrusive systems. *Econ. Geol.* **70**, 559-567.
- LAIRD, J. & ALBEE, A.L. (1981): Pressure, temperature, and time indicators in mafic schist: their application to reconstructing the polymetamorphic history of Vermont. *Amer. J. Sci.* **281**, 127-175.
- LEAKE, B.E. (1978): Nomenclature of amphiboles. *Can. Mineral.* **16**, 501-520.
- LE BEL, L. (1979): Micas magmatiques et hydrothermaux dans l'environnement du porphyre cuprifère de Cerro Verde - Santa Rosa, Pérou. *Bull. Minéral.* **102**, 35-41.
- LOWELL, J.D. & GUILBERT, J.M. (1970): Lateral and vertical alteration-mineralization zoning in porphyry ore deposits. *Econ. Geol.* **65**, 373-408.
- MIYASHIRO, A. (1973): *Metamorphism and Metamorphic Belts*. George Allen & Unwin, London.
- MOORE, W.J. & CZAMANSKE, G.K. (1973): Compositions of biotites from unaltered and altered monzonitic rocks in the Bingham mining district, Utah. *Econ. Geol.* **68**, 269-274.
- MUNOZ, J.L. (1984): F-OH and Cl-OH exchange in micas with applications to hydrothermal ore deposits. In Micas (S.W. Bailey, ed.). *Mineral. Soc. Amer., Rev. Mineral.* **13**, 469-493.
- _____ & LUDINGTON, S.D. (1974): Fluoride-hydroxyl exchange in biotite. *Amer. J. Sci.* **274**, 396-413.
- _____ & SWENSON, A. (1981): Chloride-hydroxyl exchange in biotite and estimation of relative HCl/HF activities in hydrothermal fluids. *Econ. Geol.* **76**, 2212-2221.
- PARRY, W.T. & JACOBS, D.C. (1975): Fluorine and chlorine in biotite from Basin and Range plutons. *Econ. Geol.* **70**, 554-558.
- PHILLIPS, G.N. & GROVES, D.I. (1984): Fluid access and fluid - wall rock interaction in the genesis of the Archean gold-quartz vein deposit at Hunt mine, Kambalda, Western Australia. In Gold 82: The Geology, Geochemistry, and Genesis of Gold Deposits (R.P. Foster, ed.). *Geol. Soc. Zimbabwe, Spec. Publ.* **1**, 389-416.
- ROBERT, F. (1983): *Étude du Mode de Mise en Place des Veines Aurifères de la Mine Sigma, Val d'Or, Québec*. Thèse Ph.D., École Polytechnique, Montréal, Québec.
- _____ & BROWN, A.C. (1984): Progressive alteration associated with gold-quartz-tourmaline veins at the Sigma mine, Abitibi greenstone belt, Quebec. *Econ. Geol.* **79**, 393-399.
- _____, _____ & AUDET, A.J. (1983): Structural control of gold mineralization at the Sigma mine, Val d'Or, Quebec. *Can. Inst. Mining Metall. Bull.* **76(850)**, 72-80.
- ROBERT, J.-L. (1976): Titanium solubility in synthetic phlogopite solid solutions. *Chem. Geol.* **17**, 213-227.
- ROEDDER, E. (1984): Fluid-inclusion evidence bearing on the environments of gold deposits. In Gold 82: The Geology, Geochemistry, and Genesis of Gold Deposits (R.P. Foster, ed.). *Geol. Soc. Zimbabwe, Spec. Publ.* **1**, 129-163.

- SHEEHAN, D.G. & VALLIANT, R.I. (1983): Exploration, discovery and description of an Archean, stratiform, pyritic gold deposit. *Can. Inst. Mining Metall. Bull.* 76(851), 86-87.
- SMITH, J.V., DELANEY, J.S., HERVIG, R.L. & DAWSON, J.B. (1981): Storage of F and Cl in the upper mantle: geochemical implications. *Lithos* 14, 133-147.
- SPEER, J.A. (1984): Micas in igneous rocks. In Micas (S.W. Bailey, ed.). *Mineral. Soc. Amer., Rev. Mineral.* 13, 299-356.
- TAYLOR, R.P. (1983): Comparison of biotite geochemistry of Bakırçay, Turkey, and Los Pelambres, Chile, porphyry copper systems. *Trans. Inst. Mining Metall., Appl. Earth Sci.* 92, B16-B22.
- WONES, D.R. & EUGSTER, H.P. (1965): Stability of biotite: experiment, theory and application. *Amer. Mineral.* 50, 1228-1272.

Reçu le 27 juin, 1985, manuscrit révisé accepté le 20 janvier, 1986.