

DISTRIBUTION MINÉRALOGIQUE DE L'ARGENT DANS LES REJETS DE LA MINE NEW CALUMET, QUÉBEC

MARC-ANDRÉ BÉRUBÉ, DANIEL BERNARD ET JACQUES LOCAT

Département de Géologie, Université Laval, Sainte-Foy, Québec G1K 7P4

SOMMAIRE

Les rejets de la mine New-Calumet (Québec) contiennent environ 30 grammes d'argent par tonne, métal que l'on envisage de récupérer. Les phases argentifères, analysées par microsonde électronique, sont la tétraédrite (contenu moyen d'environ 27.4% Ag), la chalcopryrite (0.088% Ag) et la galène (0.085% Ag). En combinant ces résultats à ceux d'analyses chimiques conventionnelles, on a pu estimer l'abondance de chacune de ces phases et sa contribution au contenu d'argent du "minerai" et à celui des différents produits d'essais de concentration par flottation (concentrés primaire, secondaire et tertiaire, rejet). Dans chaque échantillon examiné, la tétraédrite rend compte de près de 85% de l'argent total, comparativement à environ 6 et 9%, respectivement, pour la chalcopryrite et la galène. La tétraédrite est donc de loin la phase argentifère la plus importante, celle qui contrôle en somme la récupération du métal précieux. Pour l'ensemble des trois concentrés, elle est d'ailleurs récupérée à près de 77%, tandis que la récupération de l'argent est de 76%.

Mots-clés: rejets miniers, phases argentifères, flottation, libération minérale, microsonde électronique, New-Calumet (Québec).

ABSTRACT

The tailings at the now abandoned New Calumet mine, Quebec, contain about 30 grams of potentially recoverable silver per tonne. The mineral phases containing silver, as analyzed by electron microprobe, are tetrahedrite (averaging about 27.4% Ag), chalcopryrite (0.088% Ag) and galena (0.085% Ag). These results, combined with those from bulk chemical analyses, are used to estimate the concentrations of these phases and their respective contributions to the total silver content of this potential ore as well as of the various products of flotation batch-tests (primary, secondary and tertiary concentrates, tailings). In each sample, about 85% of the silver content comes from tetrahedrite, compared to 6 and 9%, respectively, from chalcopryrite and galena. Therefore, tetrahedrite is by far the most important silver-bearing phase; it controls the recovery of this precious metal. Indeed, for the three concentrates taken together, the recovery of tetrahedrite approaches 77%, whereas that of the total silver is 76%.

Keywords: mine tailings, silver-bearing minerals, flotation, mineral liberation, electron microprobe, New Calumet (Quebec).

INTRODUCTION

Les rejets de l'ancienne mine New-Calumet, située

au Québec sur l'île Calumet dans la rivière des Outaouais, contiennent environ 30 grammes d'argent par tonne, que l'on envisage de récupérer. Cette étude avait pour objectifs d'identifier les phases minérales contenant l'argent, de déterminer leur contenu respectif en ce métal, d'évaluer leur abondance et leur contribution respective à la teneur totale en argent des rejets de la mine, d'estimer leur récupération et leur degré de libération dans les produits d'essais préliminaires de concentration par flottation en discontinu, et d'interpréter sur ces bases les résultats obtenus lors de ces essais.

PRÉPARATION DES ÉCHANTILLONS ET ANALYSES CHIMIQUES

Les essais de flottation ont été effectués dans les laboratoires du Centre de Recherche Minérale du Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec. Le traitement du "minerai" est schématisé à la Figure 1. Des échantillons de trois concentrés, primaire, secondaire et tertiaire (C1, C2 et C3), et du rejet final de flottation (R) ont été analysés pour leurs contenus respectifs en Cu, Pb, Zn, S et Ag. On a pu alors calculer par sommation les teneurs correspondant à l'alimentation (A). La distribution des éléments analysés dans chacun des produits de flottation a pu ensuite être établie. Tous les résultats sont présentés au Tableau 1. On remarquera que les récupérations des éléments Cu, Pb, Zn et Ag sont respectivement de 80, 65, 90 et 76% pour l'ensemble des trois concentrés (C1 + C2 + C3). Enfin, des sections polies représentatives du concentré primaire, du rejet final de flottation et de toute une série de tranches granulométriques de l'alimentation ont été fabriquées.

COMPOSITION MINÉRALOGIQUE

Le gisement de New-Calumet est situé dans des horizons de calcaires cristallins intercalés dans des gneiss à biotite et des amphibolites (Hak & Tupper 1979). Minéralogiquement, cela se traduit principalement par de la calcite, du quartz, de la biotite et de la hornblende en abondance. En ce qui concerne les phases métalliques, Hak & Tupper (1979) ont observé dans le minerai, sur un total de 55 sections polies, pyrrhotine, pyrite, sphalérite, galène, chalcopryrite, marcassite et arsénopyrite, deux variétés

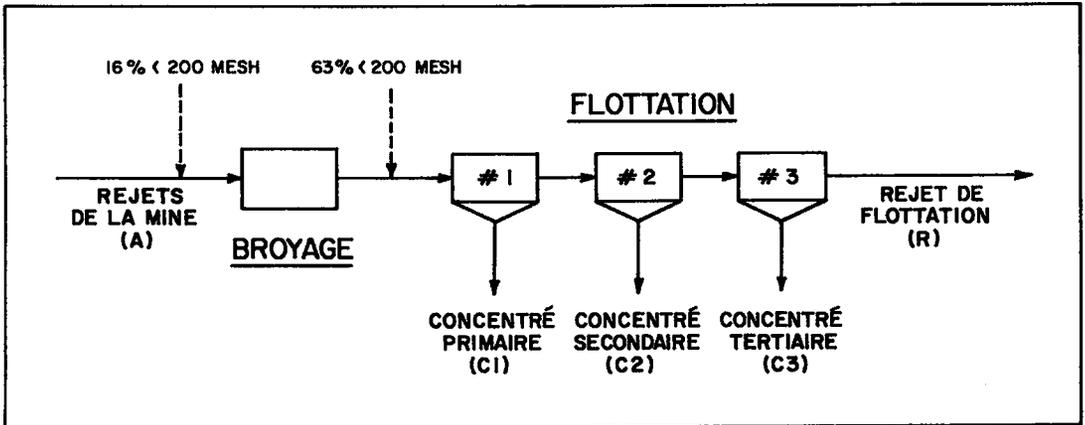


FIG. 1. Schématisation des essais de flottation et de la provenance des échantillons.

distinctes de tétraédrite titrant respectivement environ 24 et 34% Ag, un seul grain de pyrargyrite Ag_3SbS_3 et des traces de boulangérite $\text{Pb}_3\text{Sb}_4\text{S}_{11}$ contenant en moyenne 2.5% Ag. La tétraédrite et la boulangérite se retrouvent toujours intimement associées à la galène, en petites plages d'exsolution. D'autre part, l'analyse chimique conventionnelle de grains de galène a révélé des teneurs très variables, pouvant atteindre 5% Ag (Hak & Tupper 1979). Deux autres études ont donné, pour la galène de New-Calumet, d'une part des teneurs en argent de 1200 à 2200 ppm (Sangster 1967), et d'autre part une teneur moyenne de 100 ppm (Colwell 1963). De si grandes différences peuvent nous laisser perplexes, mais les techniques d'analyses n'étaient pas comparables (analyses par microsonde, analyses chimiques conventionnelles de grains de galène pouvant contenir bien sûr des "impuretés" de phases plus riches en argent, comme la tétraédrite et la boulangérite, par exemple).

L'observation minutieuse au microscope optique à réflexion de 16 sections polies a permis de retrouver la plupart des phases métalliques citées plus haut, à l'exception de l'arsénoopyrite, de la boulangérite et de la pyrargyrite. Dans les deux derniers cas, c'est probablement en raison de l'abondance encore plus

faible de ces phases dans les rejets de la mine par rapport au minerai original. Nous avons en plus observé un peu d'hématite et deux grains de pyrophanite $(\text{Mn},\text{Fe})\text{TiO}_3$, minéral possédant la structure cristalline de l'ilménite.

ANALYSE PAR MICROSONDE ELECTRONIQUE

Nous avons utilisé une microsonde ARL (modèle 121,000-SEM-EMX) pour l'analyse du contenu en argent de la tétraédrite et des sulfures des rejets de New-Calumet. Les mesures ont été réalisées sous un voltage de 20 kV dans le cas de la tétraédrite et de 25 kV dans le cas des sulfures, sous un faisceau d'électrons de 0.1 microampère et à l'aide de spectromètres à dispersion de longueur d'onde (cristaux LIF et ADP).

Analyse de la tétraédrite

Dans tous les échantillons polis examinés, seulement trois plages de tétraédrite étaient d'un diamètre supérieur à 10 micromètres, suffisant pour permettre leur analyse quantitative à la microsonde électronique. Nous avons utilisé un étalon de tétraédrite (CANMET, Dutrizac 1584) pour l'analyse des éléments Cu, Sb, Fe et S, un étalon de miargyrite (AgSbS_2 : CANMET, Chen 501) pour le dosage de l'argent, et un étalon de sphalérite (CANMET, Cabri 21) pour le zinc. Les trois grains analysés ont présenté des compositions chimiques très semblables et, en moyenne, une teneur en argent de 27.4% et un rapport atomique Ag/Cu de 0.98, ce qui correspond presque à une freibergite.

Analyse du contenu en argent des sulfures

On s'intéresse déjà depuis de nombreuses années

TABLÉAU 1. TENEURS ET RECUPERATIONS DE CERTAINS ELEMENTS CHIMIQUES DANS LES PRODUITS DE FLOTTATION

PRODUIT	POIDS No.	%	ELEMENTS CHIMIQUES									
			Cu		Pb		Zn		S		Ag	
			%	Réc	%	Réc	%	Réc	%	Réc	g/t	Réc
A*	100	0.08	100	0.26	100	0.72	100	3.61	100	31.1	100	
C1	6.0	0.81	61	1.48	34	9.74	80	20.00	33	261.0	50	
C2	8.2	0.13	13	0.65	21	0.58	7	10.00	23	70.0	18	
C3	5.1	0.09	6	0.51	10	0.43	3	8.16	12	46.8	8	
R	80.7	0.02	20	0.11	35	0.09	10	1.46	33	9.2	24	

* Toutes les données relatives à l'alimentation sont calculées par sommation à partir des résultats correspondant aux divers produits de flottation.

TABLEAU 2. ANALYSES PAR MICROSONDE ELECTRONIQUE DU CONTENU EN ARGENT DE SULFURES APPARTENANT A D'AUTRES MINERAIS

MINERAIS	REFERENCE	MINERAL	Ag* (PPM)
Caribou, N.B.	Jambor et Laflamme (1978)	galène	1020
Heath Steele Mines, N.B.	Chen et Petruk (1980) Chen et Petruk (1978)	galène	1480
Brunswick Mining and Smelting, N.B.	Owens (1980) Petruk et Schnarr (1981)	galène	840
Porte-aux-Moines, France	Bejon <i>et al.</i> (1982)	galène	450
Izok Lake, T.N.O.	Harris <i>et al.</i> (1984) Cabri <i>et al.</i> (1984)	galène chalcoppyrite	1500 270-650
Hilton Mine, Australie	Harris <i>et al.</i> (1984)	chalcoppyrite	1610-2900

* Teneurs moyennes rapportées dans les travaux mentionnés.

à la présence d'éléments traces en solution solide dans des sulfures (Fleischer 1955, Hawley & Nichol 1961). Jusqu'à ces dix dernières années environ, toutes les déterminations étaient toutefois fondées sur l'analyse chimique conventionnelle de concentrés ou de grains des sulfures à doser, considérés comme très purs. Il y a là encore une forte probabilité que les éléments traces analysés ne soient pas en solution solide dans les sulfures dosés mais plutôt sous la forme d'autres phases minérales en inclusions. La microsonde électronique permet toutefois de reconnaître la présence de ces inclusions et d'analyser *in situ* des phases aussi fines que quelques micromètres cubes. Les seuils de détection varient entre 100 et 500 ppm, selon l'élément analysé, la phase dosée et la microsonde utilisée. Des chercheurs de CANMET (EMR, Canada) se sont particulièrement intéressés au domaine (Jambor & Laflamme 1978, Chen & Petruk 1978, 1980, Petruk & Schnarr 1981, Owens 1980, Harris *et al.* 1984, Cabri *et al.* 1984). À titre de comparaison, on trouvera rassemblés au Tableau 2 quelques résultats obtenus pour d'autres minerais.

Très récemment, certains chercheurs ont également mis à contribution une microsonde protonique dans l'analyse de traces d'argent dans la chalcoppyrite (Harris *et al.* 1984, Cabri *et al.* 1984). En raison d'un seuil de détection beaucoup plus bas, moins de 10 ppm, il s'agit là d'un instrument tout à fait exceptionnel, mais malheureusement très peu répandu et fort peu accessible. La microsonde protonique utilisée est d'ailleurs située en Allemagne de l'Ouest.

Conditions d'analyse et considérations statistiques

Un certain nombre de grains de chalcoppyrite (50), galène (44), sphalérite (40), pyrite (40) et pyrrhotine (40) ont été dosés pour leur contenu respectif en argent. La galène a été analysée dans les rejets originaux et le concentré primaire de flottation (C1), alors que toutes les autres mesures ont été effectuées sur ce dernier échantillon. La raie $AgL\alpha$ fut celle utilisée pour le dosage, et le spectromètre était bloqué en position de cette raie pour toutes les mesures

(analyse des grains, mesure du fond continu, étalonnage de l'argent). Les temps de mesure étaient de 100 secondes pour chaque grain analysé. Pour la détermination du fond continu, nous disposions d'étalons stériles en argent, obtenus de CANMET (chalcoppyrite naturelle de Western Mines Ltd.; galène artificielle Cabri 477; sphalérite artificielle Cabri 25; pyrite naturelle d'Elba; pyrrhotine artificielle Cabri 241). Une vingtaine de mesures du fond continu d'une durée de 100 secondes ont été effectuées pour chacune des phases étudiées, la moitié avant l'analyse des grains de la phase et l'autre moitié après, de façon à vérifier la stabilité de l'appareil. Pour le dosage de l'argent dans la galène, nous disposions d'un étalon de galène artificielle contenant 0.4% Ag (CANMET, Chen C-2). Pour l'analyse des autres sulfures, nous avons utilisé un étalon de miargyrite (CANMET, Chen 501) contenant 36.72% Ag. Une correction ZAF a été appliquée pour tenir compte des différences de composition entre cet étalon et les sulfures dosés.

Le seuil de détection (MDL, pour "minimum detection limit") correspond à une intensité équivalente à $\overline{BG} + 3\sqrt{\overline{BG}}$ (Goldstein *et al.* 1981, Cabri *et al.* 1984, Harris *et al.* 1984), où \overline{BG} (pour "background") est le fond continu moyen correspondant au temps de mesure, c'est-à-dire à 100 secondes. Dans notre cas, ce seuil de détection correspondait à environ 600 ppm d'argent dans le cas de la galène et à près de 500 ppm pour les autres sulfures (Tableau 3). Ces seuils peuvent paraître élevés, mais notre microsonde n'est pas d'un modèle très récent et présente une sensibilité plus faible et un fond continu plus élevé que les appareils les plus modernes. Ils se comparent néanmoins à ce que l'on rapporte dans certains travaux (Chen & Petruk 1980).

L'erreur statistique correspondant aux teneurs obtenues est égale à la somme des erreurs sur le fond continu et sur les mesures réalisées dans les grains à doser. Ces erreurs dépendent toujours du nombre total d'impulsions mesurées. Par exemple, dans le cas d'un bruit de fond moyen (\overline{BG}) de 1500 impulsions (sur une base de 100 secondes) et de 20 répétitions de la mesure, l'erreur statistique sur le bruit

TABLEAU 3. ANALYSES PAR MICROSONDE ELECTRONIQUE DU CONTENU EN ARGENT DES SULFURES DES REJETS DE NEW CALUMET

RESULTAT	MINERAL				
	CHALCOPPYRITE	GALÈNE	SPHALÉRITE	PYRITE	PYRRHOTITE
Nombre de grains analysés	50	44	40	40	40
Seuil de détection par grain (ppm)	480	630	480	540	500
Nombre de grains de teneur supérieure	28	28	0	1	0
Teneur moyenne (ppm)	880±180	850±240	10±185	50±205	70±190
Teneur maximale (ppm)	4200	2600	380	570	390
Phase argentifère ?	oui	oui	peu probable	peu probable	peu probable

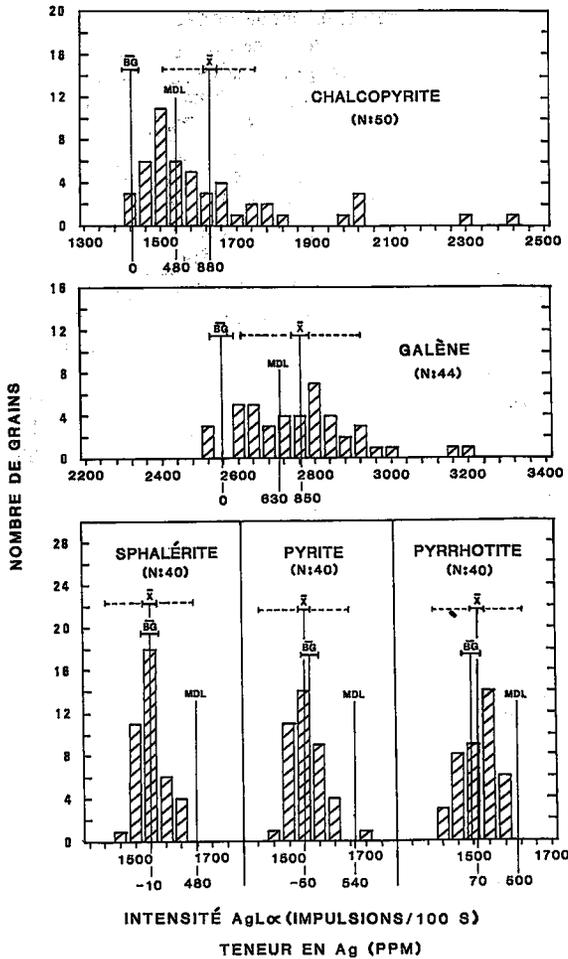


FIG. 2. Distribution des résultats d'analyses par microsonde électronique du contenu en argent des sulfures de New Calumet (\overline{BG} intensité du fond continu moyen, MDL intensité correspondant au seuil de détection, \bar{X} moyenne des intensités mesurées dans les grains).

de fond correspondant à un degré de certitude de 95% ($\pm 3\sigma$) est de ± 26 impulsions ($\pm 3\sqrt{20 \times 1500/20}$) (Goldstein *et al.* 1981). D'autre part, l'erreur statistique sur la moyenne \bar{X} des intensités mesurées correspondant à N grains d'une phase donnée peut être calculée de façon analogue. Par exemple, si cette moyenne est de 1600 impulsions (sur une base de 100 secondes par mesure) et que 50 grains sont analysés, l'erreur statistique est égale à ± 17 impulsions. L'erreur sur la teneur moyenne correspondant à la phase est égale à la somme des deux erreurs. Dans notre cas, elle variait entre ± 180 et ± 240 ppm, selon la phase analysée (Tableau 3).

Résultats et discussion

Les résultats d'analyse sont présentés au Tableau 3 et à la Figure 2. Pour chaque phase étudiée, on peut observer sur cette figure l'intensité du fond continu \overline{BG} moyen et son imprécision, l'intensité correspondant à la limite de détection de l'argent et la moyenne arithmétique des intensités mesurées dans les grains analysés \bar{X} et son imprécision.

Compte tenu des seuils de détection donnés au Tableau 3, 56% des grains analysés de chalcopyrite et 64% de ceux de galène se sont révélés argentifères, pour des moyennes respectives de 880 et de 850 ppm. Ces résultats se situent à peu près au milieu du domaine des teneurs rapportées ailleurs dans la littérature (Tableau 2). Précisons que toutes les teneurs moyennes apparaissant au Tableau 3 sont établies à partir de l'écart entre la valeur du fond continu moyen \overline{BG} et la moyenne arithmétique \bar{X} des intensités telles que mesurées dans les grains. On remarque également à la Figure 2 que la chalcopyrite n'est pas homogène en argent (de nombreuses analyses ne respectent pas en effet le critère d'homogénéité voulant que toutes les analyses se retrouvent à l'intérieur du champ limité par $\bar{X} \pm 3\sqrt{\bar{X}}$ (Goldstein *et al.* 1981, Yakowitz *et al.* 1966), que sa teneur en argent ne respecte plus une loi normale et qu'elle pourrait même présenter plusieurs populations de teneurs en argent. La galène est toutefois plus homogène, et sa teneur en argent présente une distribution plus normale. On se serait attendu au contraire, étant donné que la galène de New-Calumet contient de très petites plages d'exsolution de tétraédrite et de boulangérite, ce qui risquait de donner à l'occasion des valeurs anormalement plus élevées. Cette hétérogénéité de la chalcopyrite ne peut s'expliquer par la présence à la surface du minéral d'un mince film d'acanthite Ag_2S formé par diffusion de l'argent présent dans des phases argentifères en contact avec la chalcopyrite, et en particulier de l'argent natif (Thorpe *et al.* 1976, Chen & Petruk 1978, Chen *et al.* 1980, Remond *et al.* 1982), phénomène également observé par l'auteur principal dans le minerai aurifère de Montauban-les-Mines (Québec). En effet, même après une longue exposition à l'air ambiant, la chalcopyrite des rejets de New-Calumet n'a pas montré de ternissure caractéristique due à ce phénomène. D'ailleurs, par mesure de précaution, tous les échantillons étaient repolis immédiatement avant leur analyse à la microsonde. Notons enfin que les seules phases "riches" en argent reconnues à la mine New-Calumet, la tétraédrite, la pyrrargyrite et la boulangérite, sont intimement associées à la galène et non à la chalcopyrite (Hak & Tupper 1979).

Pour les trois autres sulfures que sont la sphalérite, la pyrite et la pyrrhotite, nous avons cette fois obtenu des teneurs statistiquement trop faibles pour être significatives (Fig. 2, Tableau 3). Seul un grain

de pyrite a révélé une teneur très légèrement supérieure au seuil de détection. Même si ce seuil est aussi élevé que 500 ppm, les moyennes obtenues suite à l'analyse d'une quarantaine de grains sont certes statistiquement plus révélatrices (Goldstein *et al.* 1981). Étant donné: 1) que l'analyse de 40 grains d'une même phase équivaut en somme à une mesure de 4000 secondes et que la limite de détection correspondant à une aussi longue mesure équivaldrait dans notre cas à environ 80 g/t d'argent, 2) que les moyennes obtenues pour la sphalérite, la pyrite et la pyrrotine sont comparables aux bruits de fond correspondants, compte tenu de l'imprécision sur la détermination de ces bruits de fond (Fig. 2), et 3) que, pour chacune de ces phases, toutes les mesures sont groupées autour de ces moyennes à l'intérieur du domaine d'homogénéité ($\bar{X} \pm 3\sqrt{X}$), il est permis de penser que ces phases ne contiennent pas du tout d'argent. Dans ce qui suit, nous considérerons donc que seules la tétraédrite, la chalcopryrite et la galène contiennent de l'argent en solution solide. Précisons toutefois que la pyrite et la pyrrotine sont beaucoup plus abondantes que les trois phases argentifères reconnues, et que, si elles contenaient par exemple des teneurs de l'ordre de 100 ppm d'argent en solution solide, quantités évidemment non détectables par microsonde, leur contribution à l'argent total des échantillons serait certes non négligeable.

DISTRIBUTION MINÉRALOGIQUE DE L'ARGENT

Nous nous sommes servis des résultats des analyses chimiques données au Tableau 1 afin d'évaluer l'abondance de la chalcopryrite et de la galène dans les échantillons. Les calculs ont été effectués en supposant que tout le cuivre est sous forme de chalcopryrite, de composition CuFeS_2 , qui contient stoechiométriquement 34,6% Cu, et que tout le plomb est sous forme de galène, de composition PbS , qui contient stoechiométriquement 86,6% Pb. La part du cuivre sous forme de tétraédrite est considérée comme négligeable en raison de la rareté de cette phase relativement à la chalcopryrite. Les résultats

de ces calculs sont présentés au Tableau 4. À partir de ces teneurs minérales, on peut facilement calculer les récupérations des deux phases dans les produits de flottation. Les résultats apparaissent également au Tableau 4. Toutes les valeurs correspondant à la tétraédrite ont cependant été obtenues par différence en attribuant à cette phase (titrant 27,4% Ag) tout le solde de l'argent non justifié par la chalcopryrite et la galène. Cette hypothèse est raisonnable car il est peu probable que d'autres phases que celles retenues contribuent de façon importante au contenu global en argent. Nous sommes néanmoins bien conscients qu'un dosage en antimoine aurait permis de vérifier la validité de cette hypothèse en nous permettant d'estimer également l'abondance de cette phase dans les échantillons, en supposant bien sûr qu'elle soit le seul porteur d'antimoine.

Connaissant l'abondance de la chalcopryrite et de la galène dans les échantillons, de même que leurs contenus respectifs en argent, il est alors aisé de calculer la teneur en argent due à la présence de chacune de ces phases dans les divers produits de flottation. Par exemple, la chalcopryrite constitue 0,058% des rejets de flottation R et elle contient en moyenne 880 ppm (ou g/t) d'argent; la teneur calculée en argent due à cette phase est donc d'environ 0,5 g/t dans cet échantillon ($0,00058 \times 880$). Les résultats de ces calculs sont présentés au Tableau 5. Tel que mentionné plus haut, la part de l'argent attribuée à la tétraédrite dans chaque produit a été obtenue par différence par rapport à la totalité de l'argent mesurée par analyse chimique conventionnelle. On peut alors estimer l'abondance de cette phase dans les échantillons. Par exemple, on obtient une teneur de 0,0097% de tétraédrite dans l'alimentation, sachant que cette phase contient 27,4% d'argent (analyse par microsonde) et qu'elle représente environ 26,6 g/t d'argent dans cet échantillon ($26,6 \times 10^{-6}/0,274$).

RÉCUPÉRATIONS MINÉRALES ET DEGRÉ DE LIBÉRATION

L'examen des résultats présentés aux Tableaux 4 et 5 permet de constater que la tétraédrite justifierait près de 85% de l'argent dans chacun des produits de flottation (83 à 87% selon l'échantillon). On remarque également que la récupération des phases pour l'ensemble des trois concentrés est de 80% pour la chalcopryrite, de 65% pour la galène et de 77% pour la tétraédrite (Tableau 4), alors que l'argent semble aussi bien récupéré (76%) que cette dernière (Tableau 5). L'examen optique des sections polies du concentré primaire et du rejet final de flottation permet d'apporter les éclaircissements suivants:

- 1) La chalcopryrite est presque toujours bien libérée ou associée à d'autres sulfures comme la pyrrotine

TABLEAU 4. ABONDANCE ET RECUPERATION DES PHASES ARGENTIFÈRES DANS LES PRODUITS DE FLOTTATION

PRODUIT No.	POIDS %	MINÉRAL					
		CHALCOPRYRITE		GALENE		TETRAEDRITE *	
		%	Réc	%	Réc	%	Réc
A	100	0.230	100	0.296	100	(0.0097)	(100)
C1	6.0	2.341	61	1.709	34	(0.0824)	(61)
C2	8.2	0.376	13	0.751	21	(0.0220)	(19)
C3	5.1	0.260	6	0.589	10	(0.0144)	(8)
R	80.7	0.058	20	0.127	35	(0.0028)	(23)

* Toutes les données relatives à la tétraédrite sont calculées par différence en lui attribuant tout l'argent non justifié par la chalcopryrite et la galène.

TABLEAU 5. DISTRIBUTION MINÉRALOGIQUE DE L'ARGENT DANS LES PRODUITS DE FLOTTATION

MINÉRAL	PRODUIT DE FLOTTATION									
	ALIMENTATION		CONCENTRÉ C1		CONCENTRÉ C2		CONCENTRÉ C3		REJET FINAL R	
	g/t	%	g/t	%	g/t	%	g/t	%	g/t	%
Chalcopryrite	2.0	6	20.6	8	3.3	5	2.3	5	0.5	6
Galène	2.5	8	14.5	6	6.4	9	5.0	11	1.1	12
Tétraédrite *	(26.6)	(86)	(225.9)	(87)	(60.3)	(86)	(39.5)	(84)	(7.6)	(83)
Total analysé	31.1	100	261.0	100	70.0	100	46.8	100	9.2	100
% de l'argent	100		50		18		8		24	

* Toutes les données relatives à la tétraédrite sont calculées par différence en lui attribuant tout l'argent non justifié par la chalcopryrite et la galène.

et la sphalérite. Elle a donc pu être récupérée à près de 80% par flottation. Dans le rejet final, elle forme généralement moins de 10% de particules très majoritairement constituées de gangue ou de pyrrhotine altérée en limonite.

2) Dans le concentré primaire, la galène est généralement bien libérée ou associée à la sphalérite. Dans le rejet de flottation, elle n'est pas du tout libérée de la gangue. De granulométrie plus étendue et plus fine en moyenne que la chalcopryrite, elle est moins bien récupérée que cette dernière (65%).

3) La tétraédrite, très peu abondante, se retrouve en petites plages de dimension rarement supérieure à 10 micromètres, dans ou immédiatement en bordure de plages de galène. Elle est plus fortement récupérée que la galène (77% environ comparativement à 65%). Cela peut paraître étonnant à prime abord puisqu'elle n'est jamais libérée de cette dernière, mais nous avons remarqué qu'elle était de préférence associée aux plus grandes plages de galène, évidemment plus facilement libérées de la gangue par broyage et donc plus fortement récupérées par flottation.

Un broyage plus poussé aurait certainement un effet bénéfique sur la récupération de la chalcopryrite et surtout de la galène, ces deux phases argentifères étant insuffisamment libérées dans le rejet final de flottation, et par le fait même sur la récupération de la tétraédrite, de loin la plus importante phase argentifère, laquelle est intimement associée à la galène.

CONCLUSION

Ce travail met fortement à contribution une technique de plus en plus utilisée en minéralurgie, soit la microanalyse par sonde électronique, et démontre clairement son importance dans l'étude de la distribution minéralogique des éléments précieux présents dans les minerais. Dans le cas étudié, on a pu constater que la chalcopryrite contient autant sinon plus d'argent en solution solide que la galène. L'examen statistique des résultats d'analyse suggère toutefois que les autres sulfures présents, soit la sphalérite, la pyrite et la pyrrhotine, sont stériles en

argent. Cependant, en raison d'une limite de détection relativement élevée d'environ 500 ppm d'argent, force nous est de préciser que, même en présentant des teneurs de l'ordre de 50 à 100 ppm d'argent en solution solide, ces phases, beaucoup plus abondantes que la chalcopryrite et la galène, pourraient malgré tout contribuer de façon significative au contenu total en argent des rejets de la mine New-Calumet. Le doute ne peut être levé qu'en faisant appel à la microsonde protonique, un instrument permettant d'atteindre des limites de détection beaucoup plus basses, mais malheureusement encore très peu répandu.

Également, si la simple combinaison d'analyses par microsonde électronique et d'analyses chimiques conventionnelles permet ici d'établir la distribution minéralogique de l'argent, il faut mentionner que le cas étudié s'y prêtait fort bien car les phases reconnues comme argentifères étaient chimiquement fort distinctes des autres phases minérales. Par exemple, si la pyrite et la pyrrhotine étaient argentifères, leur abondance dans les échantillons ne saurait être estimée à partir des seules analyses chimiques conventionnelles (en fer et en soufre) et exigerait le recours additionnel à une technique de microscopie quantitative (comptage de points, analyse automatique d'image, etc.).

REMERCIEMENTS

Nous remercions tout particulièrement Jean-Pierre Tremblay, technicien responsable de la microsonde électronique du département de Mines et Métallurgie de l'Université Laval, Michel Therrien, du Centre de Recherches Minérales (C.R.M.) du Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec, responsable de l'organisation des essais de concentration, des analyses chimiques conventionnelles et de la préparation des sections polies, et messieurs John MacLachy et Maurice Lamarche, co-détenteurs des installations minières, qui ont bien voulu autoriser la publication de ces résultats. Merci enfin à Louis Cabri et aux lecteurs de l'article pour leurs commentaires judicieux et leurs remarques constructives.

RÉFÉRENCES

- BAJON, P.H., GATEAU, C., JACQUIN, J.P., LAFORET, C., MORIZOT, G. & POLGAIRE, J.L. (1982): The contribution of quantitative mineralogy in the beneficiation of ores containing silver. *Preprints XIVth Int. Mineral Processing Congress (Toronto), Paper VIII-9*.
- CABRI, L.J., HARRIS, D.C. & NOBILING, R. (1984): Trace silver analyses by proton microprobe in ore evaluation. In *Precious Metals: Mining, Extraction and Processing* (V. Kudryk, D.A. Corrigan & W.W. Lang, eds.). *Proc. 113th AIME Ann. Meet. (Los Angeles), Conf. Proc. Metall. Soc. AIME*, 93-100.
- CHEN, T.T., DUTRIZAC, J.E., OWENS, D.R. & LAFLAMME, J.H.G. (1980): Accelerated tarnishing of some chalcopyrite and tennantite specimens. *Can. Mineral.* **18**, 173-180.
- _____ & PETRUK, W. (1978): Electron microprobe analyses of silver-bearing minerals in samples collected from the Heath Steele mill, New Brunswick, in March 1977. *CANMET, Energy, Mines and Resources, Rep. MRP/MSL 78-23* (IR).
- _____ & _____ (1980): Mineralogy and characteristics that affect recoveries of metals and trace elements from the ore at Heath Steele mines, New Brunswick. *Can. Inst. Mining Metall. Bull.* **73**(823), 167-179.
- COLWELL, J.A. (1963): *Trace Elements in Sphalerite, Galena and Associated Sulphides from Eastern Canadian Deposits*. M.Sc. thesis, Queen's Univ., Kingston, Ontario.
- FLEISCHER, M. (1955): Minor elements in some sulfide minerals. *Econ. Geol., 50th Anniversary Vol.*, 971-1024.
- GOLDSTEIN, J.I., NEWBURY, D.E., ECHLIN, P., JOY, D.C., FIORI, C. & LIFSHIN, E. (1981): *Scanning Electron Microscopy and X-Ray Microanalysis; a Text for Biologists, Material Scientists, and Geologists*. Plenum Press, New York.
- HAK, J. & TUPPER, W.M. (1979): Silver-rich tetrahedrite and associated sulphides from New Calumet deposit, Quebec, Canada. *Vestník Ustředního Ústava Geologického* **54**(5), 267-275.
- HARRIS, D.C., CABRI, L.J. & NOBILING, R. (1984): Silver-bearing chalcopyrite, a principal source of silver in the Izok Lake massive sulfide deposit: confirmation by electron- and proton-microprobe analyses. *Can. Mineral.* **22**, 493-498.
- HAWLEY, J.E. & NICHOL, I. (1961): Trace elements in pyrite, pyrrhotite and chalcopyrite of different ores. *Econ. Geol.* **56**, 467-487.
- JAMBOR, J.L. & LAFLAMME, J.H.G. (1978): The mineral sources of silver and their distribution in the Caribou massive sulphide deposit, Bathurst area, New Brunswick. *CANMET, Energy, Mines and Resources, Rep. 78-14*.
- OWENS, D.R. (1980): Silver distribution in mill products from Brunswick Mining and Smelting Corporation Limited, Bathurst, New Brunswick. *CANMET, Energy, Mines and Resources, Rep. MRP/MSL 80-43* (IR).
- PETRUK, W. & SCHNARR, J.R. (1981): An evaluation of the recovery of free and unliberated mineral grains, metals and trace elements in the concentrator of Brunswick Mining and Smelting Corp. Ltd. *Can. Inst. Mining Metall. Bull.* **74**(833), 132-159.
- REMOND, G., HOLLOWAY, P.H., HOVLAND, C.T. & OLSON, R.R. (1982): Bulk and surface silver diffusion related to tarnishing of sulfides. *Scanning Electron Microscopy III*, 995-1011.
- SANGSTER, A.L. (1967): *Metamorphism of the New Calumet Sulphide Deposit, Quebec*. M.Sc. thesis, Carleton Univ., Ottawa, Ontario.
- THORPE, R.I., PRINGLE, G.J. & PLANT, A.G. (1976): Occurrence of selenide and sulphide minerals in boronite ore of the Kidd Creek massive sulphide deposit, Timmins, Ontario. *Geol. Surv. Can. Pap.* **76-1A**, 311-317.
- YAKOWITZ, H., VIETH, D.L., HEINRICH, K.F.J. & MICHAELIS, R.E. (1966): Homogeneity characterization of NBS spectrometric standards: II. Cartridge brass and low-alloy steel. *Advan. X-ray Anal.* **9**, 289-303.

Reçu le 9 janvier, 1985, manuscript révisé accepté le 12 mai, 1985.