

MB 89-16

MICROTHERMOMETRIE ET GEOCHIMIE DES INCLUSIONS FLUIDES A LA MINE CAMFLO - REGION DE MALARTIC

Documents complémentaires

Additional Files



Licence



Licence

Cette première page a été ajoutée
au document et ne fait pas partie du
rapport tel que soumis par les auteurs.

Énergie et Ressources
naturelles

Québec 



SÉRIE DES MANUSCRITS BRUTS

**Microthermométrie et géochimie des
inclusions fluides à la mine Camflo**

- Région de Malartic -

**Kheang Lao
Pierre Trudel
Pierre Sauvé**

IREM - MERI

Ce document est une reproduction fidèle du manuscrit tel que soumis par l'auteur sauf pour une mise en page sommaire destinée à assurer une qualité convenable de reproduction

Le présent projet est financé par le ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources du Canada et le ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec dans le cadre de l'entente auxiliaire Canada - Québec sur le développement minéral.

TABLE DES MATIERES

Page titre.	i
Table des matières.	ii
Liste des figures	iii
Liste des tableaux.	vi
1 Introduction	1
2 Techniques analytiques	4
3 Echantillons étudiés	5
4 Veines de quartz dans le minerai de monzonite.	8
4.1 Types d'inclusions	8
4.2 Tf et salinité équivalente	12
4.3 Température d'homogénéisation des phases fluides	14
4.4 Paramètres des inclusions riches en CO ₂	16
4.5 Analyses chimiques	19
5 Inclusions localisées à l'extérieur de la zone de minerai dans la monzonite	23
5.1 Veines de quartz dans la diorite, le sédiment. et la formation de fer minéralisés	23
5.2 Quartz magmatique dans la monzonite.	27
6. Interprétation du fluide minéralisateur	32
6.1 Salinité et température du fluide.	32
6.2 Considérations chimiques	39
7. Discussion.	44
7.1 Phases riches en CO ₂ et en S	44
7.2 Relation entre la minéralisation et. l'altération sodique	48
7.3 Comparaison avec d'autres gisements.	53
7.4 Origine des fluides minéralisateurs.	58
Résumé	62
Références	66



LISTE DES FIGURES

Figure 1	- Cadre géologique de la mine Camflo, Malartic, Québec (modifié d'après Imreh, 1984)	2
Figure 2	- a) Quartz très fracturé dans une veine avec de courtes traînées d'inclusions fluides et b) quartz magmatique dans la monzonite de la mine Camflo	6
Figure 3	- Inclusions fluides aqueuses (H ₂ O) l + v (a, b ₁ et b ₂). . . et inclusions aquacarboniques (H ₂ O)l + (CO ₂)l (b ₃) dans des veines de quartz et sulfures	10
Figure 4	- a) Inclusion aquacarbonique (H ₂ O)l + (CO ₂)l + (CO ₂)v, . . (b ₁) inclusion carbonique (CO ₂)l et (b ₂ , b ₃) inclusions aqueuses (H ₂ O) l + v dans des veines de quartz et sulfures	11
Figure 5	- Températures de fusion de la glace pour les inclusions . fluides aqueuses dans les veines de quartz-pyrite provenant de la monzonite	13
Figure 6	- Salinité des inclusions aqueuses et aquacarboniques . . dans les veines de quartz-pyrite du minerai de la cheminée de monzonite	13
Figure 7	- Températures de fusion de l'hydrate pour les inclusions aquacarboniques dans les veines de quartz - pyrite du minerai de la cheminée de monzonite	15
Figure 8	- Températures d'homogénéisation des inclusions aqueuses dans les veines de quartz-pyrite du minerai de la cheminée de monzonite	15
Figure 9	- Températures d'homogénéisation des phases H ₂ O-CO ₂ . . . des inclusions aquacarboniques dans les veines de quartz-pyrite du minerai de la cheminée de monzonite	17
Figure 10	- Températures de fusion de la phase CO ₂ dans les inclusions carboniques et aquacarboniques dans les veines de quartz-pyrite du minerai de la cheminée de monzonite	17
Figure 11	- Températures d'homogénéisation de la phase CO ₂ dans . . les inclusions carboniques et aquacarboniques des veines de quartz-pyrite du minerai de la cheminée de monzonite	18
Figure 12	- Quantités relatives de Na, K, Ca et Ba par rapport. . . au total des alcalis dans les inclusions fluides des	20

veines de quartz de la cheminée de monzonite

Figure 13	- Quantités relatives de Mn, Fe, Mg et Al par rapport	21
	au total des alcalis dans les inclusions fluides des	
	veines de quartz du minerai de la cheminée de monzonite	
Figure 14	- Quantités relatives de S et de Cl par rapport au.	22
	total des alcalis dans les inclusions fluides des veines	
	de quartz du minerai de la cheminée de monzonite	
Figure 15	- Températures d'homogénéisation des inclusions aqueuses.	25
	dans les veines de quartz-pyrite de la diorite, le	
	sédiment et la formation de fer minéralisés	
Figure 16	- Températures de fusion des inclusions aqueuses.	25
	dans les veines de quartz-pyrite de la diorite, du	
	sédiment et de la formation de fer	
Figure 17	- Salinité des inclusions fluides des veines de quartz.	26
	de la diorite pyritisée, du sédiment et de la	
	formation de fer	
Figure 18	- Températures de fusion de la phase CO ₂ dans les	26
	inclusions carboniques et aquacarboniques des veines de	
	quartz-pyrite de la diorite et de la formation de fer	
Figure 19	- Quantités relatives de Na, K, Ca, Mg, Mn et Fe.	28
	par rapport au total des alcalis dans les inclusions	
	fluides des veines dans la diorite et la formation de fer	
Figure 20	- Quantités relatives de Cl et de S par rapport au.	29
	total des alcalis dans les inclusions fluides des veines	
	dans la diorite et la formation de fer	
Figure 21	- Températures d'homogénéisation des inclusions aqueuses.	30
	dans le quartz magmatique de la monzonite	
Figure 22	- Températures de fusion des inclusions aqueuses.	30
	dans le quartz magmatique de la monzonite	
Figure 23	- Salinité des inclusions aqueuses et aquacarboniques	32
	dans le quartz magmatique de la monzonite	
Figure 24	- Températures d'homogénéisation des inclusions	32
	aquacarboniques dans le quartz magmatique de la	
	monzonite	
Figure 25	- Températures de fusion de la phase CO ₂ dans les	33
	inclusions fluides carboniques et aquacarboniques du	

quartz magmatique de la monzonite

Figure 26	- Salinité et température d'homogénéisation des	34
	inclusions aqueuses et aquacarboniques dans les veines de quartz-pyrite du minerai de la cheminée monzonitique	
Figure 27	- Salinité et température d'homogénéisation des inclusions	37
	aqueuses et aquacarboniques dans les veines de quartz- pyrite de la diorite, du sédiment et de la formation de fer	
Figure 28	- Salinité et température d'homogénéisation des inclusions	38
	primaires aqueuses et aquacarboniques dans le quartz magmatique de la monzonite	
Figure 29	- Variation des rapports $Na/(Na + K)$ et $Cl/(Na+K)$	40
	des inclusions fluides des veines de quartz-pyrite de la zone de minerai de la cheminée monzonitique	
Figure 30	- Variation des rapports $Cl/(Na + K)$ et $S/(Na + K)$	42
	des inclusions fluides des veines de quartz-pyrite de la zone de minerai de la cheminée monzonitique	
Figure 31	- Variation de l'or en fonction du rapport.	46
	$S/(S + CO_2)$ dans la cheminée monzonitique	
Figure 32	- Variation du CaO et du CO_2 dans la cheminée monzonitique	47
Figure 33	- Quantité relative de Na_2O par rapport au total.	49
	des alcalis dans la cheminée monzonitique	
Figure 34	- Diagramme $S/(S+CO_2)$ versus $Na_2O/(Na_2O + K_2O)$	51
	dans la cheminée monzonitique	
Figure 35	- Variation de l'or en fonction du rapport $Na_2O/$	52
	(Na_2O+K_2O) dans la cheminée monzonitique	
Figure 36	- Diagramme salinité versus température d'homogénéisation. .	55
	pour les gisements aurifères de la région de Val d'Or - Cadillac	
Figure 37	- Diagramme $S/(Na + K)$ versus $Cl/(Na + K)$ pour.	57
	les gisements aurifères de la région de Val d'Or - Cadillac	
Figure 38	- Variation de la salinité en fonction du rapport	59
	$Cl/(Cl + S)$ pour les gisements aurifères de la région de Val d'Or - Cadillac	

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1	- Quantités relatives des éléments dans les inclusions. . . fluides de la mine Camflo, d'après les analyses à la microsonde	43
Tableau 2	- Résumé des caractéristiques thermométriques et chimiques. des inclusions fluides aqueuses de la mine Camflo	63

MICROTHERMOMETRIE ET GEOCHIMIE DES INCLUSIONS

FLUIDES A LA MINE CAMFLO, MALARTIC, QUEBEC

1 INTRODUCTION

La géologie de la mine Camflo a été décrite par Sauvé et Makila (1987). Rappelons simplement qu'environ 90% du minerai aurifère provient d'un petit stock de monzonite quartzifère en forme de cheminée cylindrique intrusive dans les métasédiments du Groupe de Kewagama. L'autre 10% de la production provient de zones de failles qui s'étendent hors du stock et recoupent les filons-couches de diorite de la Formation de Héva et, dans une moindre mesure, les métasédiments et les formations de fer du Groupe de Kewagama (figure 1).

Toute la cheminée de monzonite est fracturée, altérée (carbonatisée et pyritisée) et parcourue de veinules de quartz. Cependant, seulement une partie de cette intrusion constitue du minerai aurifère (5 à 6 ppm Au), tandis que l'autre partie donne une forte anomalie géochimique en or, tout en étant de teneur sub-économique (médiane de 300 ppb Au; Chainey, 1983).

Les 120 premiers mètres du stock sont stériles; entre 120 et 900 mètres de profondeur, la proportion du stock qui constitue du minerai peut atteindre environ 20% sur les meilleurs niveaux, mais est beaucoup moindre en général. A plus grande profondeur la teneur du minerai diminue sensiblement. On peut donc estimer que dans la partie qui a été explorée jusqu'à maintenant, moins de 5% du volume du stock constitue du minerai aurifère.

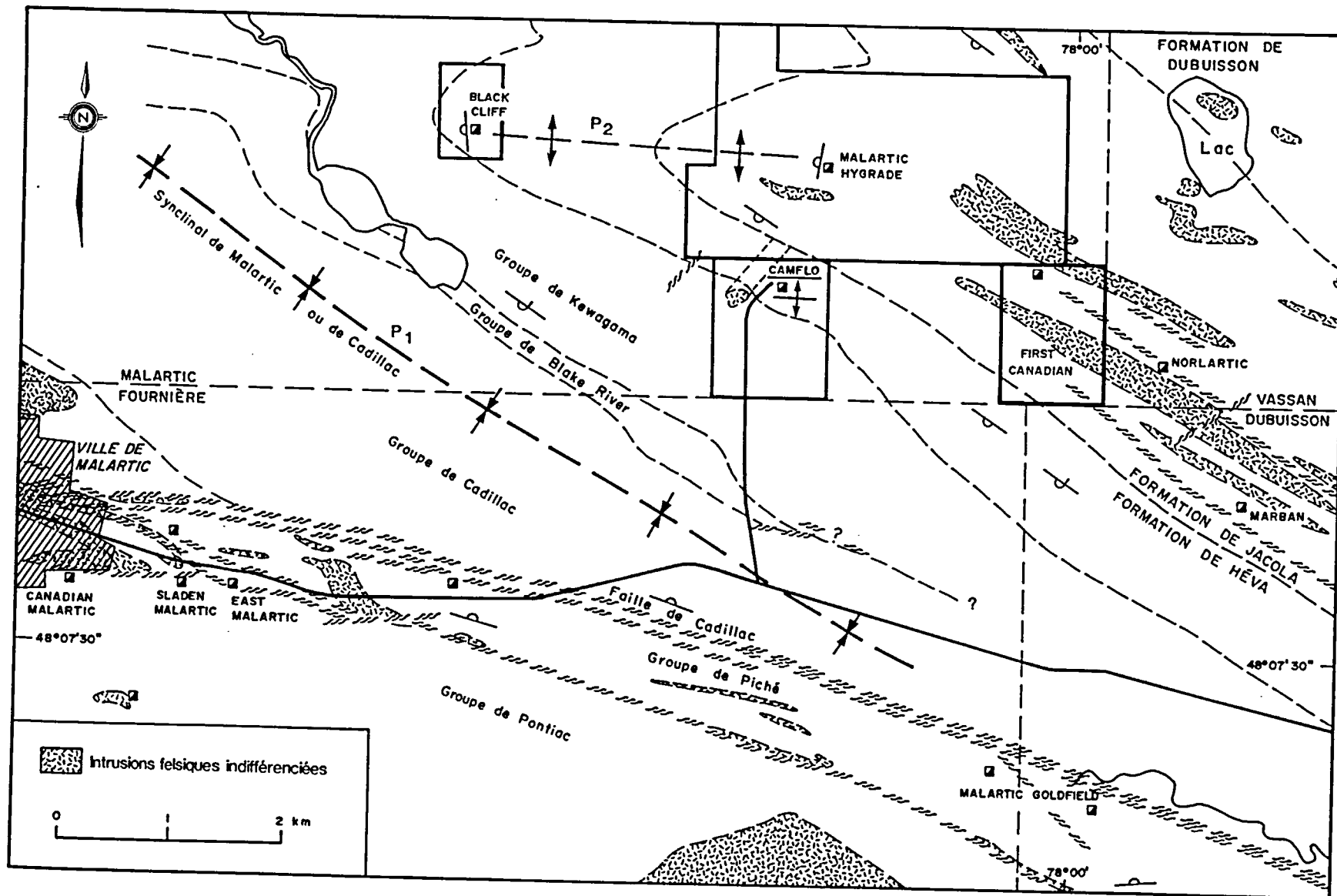


Figure 1 - Cadre géologique de la mine Camflo Malartic, Québec (modifiée d'après Imreh, 1984).

Visuellement, le minerai ne se distingue pas nettement de la monzonite stérile, et l'exploitation est basée essentiellement sur les résultats d'analyses chimiques. Cependant, Meikle (1970) rapporte que le minerai de monzonite contient généralement plus de veinules de quartz et plus de pyrite que la monzonite stérile.

Une multitude de veines d'attitude, de minéralogie et d'enveloppe d'altération différentes recourent le stock de Camflo. Elles peuvent être regroupées en trois grandes familles: les veines stériles pré-minéralisation, les veines associées à la minéralisation et les veines stériles post-minéralisation. Malgré cette diversité, il ne fait aucun doute qu'une bonne partie de ces veines sont directement associées à la minéralisation, comme le démontre le fait que certaines veines contiennent des quantités spectaculaires d'or visible et que les veines de quartz sont plus abondantes dans les secteurs où la minéralisation en or et en pyrite est plus riche.

Conséquemment, nous croyons que les inclusions fluides des veines de quartz que nous avons échantillonnées dans le minerai de monzonite de la mine Camflo représentent le fluide à partir duquel la minéralisation aurifère fut déposée. Nous verrons plus loin que c'est probablement le cas pour quatre des cinq échantillons prélevés.

En raison de l'importance des zones minéralisées dans la cheminée de monzonite, cette étude des inclusions fluides est centrée surtout sur cette intrusion. Des échantillons de la diorite pyritisée, du sédiment et de la formation de fer ont également été examinés afin de comparer leurs données avec celles de la cheminée de monzonite. Nous avons également étudié des échantillons de monzonite stérile provenant de la

cheminée afin de caractériser le fluide magmatique résiduel présent lors de la cristallisation du quartz dans la monzonite.

2 TECHNIQUES ANALYTIQUES

Les inclusions fluides sont étudiées dans des sections polies sur les deux surfaces. L'épaisseur des sections polies varie de 200 microns dans les veines de quartz à approximativement 100 microns dans la monzonite. Afin de minimiser la contamination de surface, les sections polies sont nettoyées dans un bain aux ultrasons pour que toute la poudre de roche et d'alumine provenant de la boue de polissage soit enlevée.

Les mesures thermométriques sont effectuées à l'aide d'une platine Chaixmeca réchauffante-refroidissante. Pour cette platine, les variations de température sont de -180 à $+600^{\circ}$ C. La précision de la platine est vérifiée régulièrement en comparant avec des standards dont la température de fusion (T_f) est bien établie, soit l'eau pure ($T_f = 0^{\circ}$ C), le tétrachlorure de carbone ($T_f = -22,8^{\circ}$ C), le CO_2 pur ($T_f = -56,6^{\circ}$ C), le toluène ($T_f = -95^{\circ}$ C) et les produits Merck (T_f de 70 à 398° C). Les mesures peuvent être répétées avec une exactitude de $0,1$ à $0,3^{\circ}$ C pour des températures de -100 à $+100^{\circ}$ C, et de $0,3$ à 1° C pour des températures de 100 à 400° C.

Des analyses chimiques semi-quantitatives des constituants non-volatils des inclusions fluides sont exécutées à l'aide de la microsonde. La microsonde fonctionne à 15 KV avec un courant moyen de 20 nA. Le faisceau d'électrons est élargi pour couvrir toute la surface de la cavité de l'inclusion éclatée. Une sonde pourvue d'un

système à énergie dispersive est appropriée pour ce type d'analyses. Toutes les analyses sont effectuées sur les résidus "in situ" produits par l'évaporation des phases volatiles à des températures d'environ 100 à 150°C (Metzger et al., 1977) ou aux températures de décrépitation (Eadington, 1974). Les éléments plus légers que le Na ne peuvent être détectés par cette méthode. Des analyses expérimentales exécutées sur des précipités de NaCl pur démontrent que les rapports atomiques de Na/Cl sont corrects à l'intérieur d'une marge d'erreur de 5% (Na/Cl = 1 ± 0,05).

3 ECHANTILLONS ETUDIÉS

Les échantillons utilisés pour cette étude ont été recueillis par Pierre Sauvé (1986) et Daniel Chainey (1980 et 1981) dans le cadre de leurs études sur la métallogénie aurifère à la mine Camflo. Etant donné que les zones minéralisées se trouvent dans plusieurs types de roches hôtes, le choix des échantillons s'est basé sur l'importance des zones minéralisées et des différents types de lithologie. Trois groupes d'échantillons ont été choisis:

- (1) cinq échantillons de veines de quartz et sulfures provenant du minerai de la cheminée monzonitique (DC24-20, DC-B, DC-P1, 16-24-66 et 16-7-232) ont été choisis sur différents niveaux de la mine. L'épaisseur des veines de quartz varie approximativement de 2 à 10 mm. Les veines sont composées essentiellement de quartz très fracturé (figure 2 a) avec des quantités mineures de sulfures et de carbonate. Une monzonite pyritisée (3 à 5% de pyrite) est la roche-hôte de toutes ces veines. Ces échantillons contiennent des

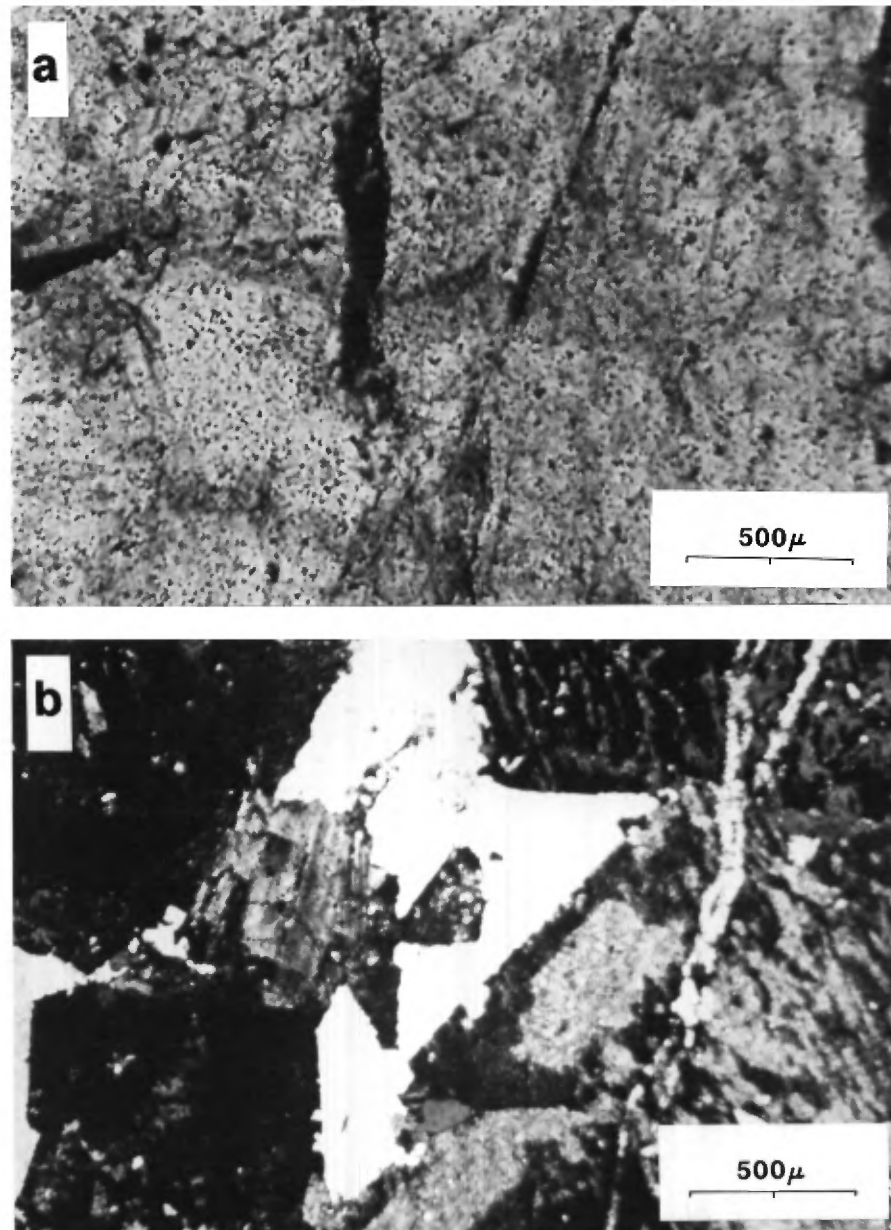


Figure 2 – (a) Quartz très fracturé dans une veine avec de courtes traînées d'inclusions fluides et (b) quartz magmatique dans la monzonite de la mine Camflo.

- inclusions fluides que nous interprétons comme intimement reliées au fluide impliqué dans la formation des zones minéralisées à l'intérieur de la cheminée de monzonite.
- (2) Trois échantillons provenant des zones minéralisées situées à l'extérieur de la cheminée: des veines de quartz dans la diorite pyritisée (24-168-1655), dans le sédiment minéralisé (DC21-30) et dans la formation de fer pyritisée (CM-201). La diorite et le sédiment sont fortement altérés et contiennent de 5 à 7% de pyrite. Ces échantillons contiennent des inclusions fluides reliées aux saumures qui se propagèrent à l'extérieur de la cheminée de monzonite.
- (3) Afin de connaître les paramètres du fluide magmatique résiduel dans le quartz primaire de la monzonite, trois échantillons de monzonite stérile ont été choisis (4-51-70, 16-13-251 et CM-104). Ces échantillons contiennent moins de 0,5% de sulfures finement disséminés. Pétrographiquement, la monzonite est moyennement altérée et contient des minéraux primaires tels que l'albite, le feldspath potassique et le quartz accompagnés d'une quantité de minéraux secondaires tels que la séricite, la biotite, la chlorite et le carbonate. Le quartz dans ces échantillons est d'origine magmatique (figure 2 b) et se retrouve dans les interstices entre les cristaux de feldspath. Ce quartz contient des inclusions fluides primaires reliées au fluide magmatique.

4 VEINES DE QUARTZ DANS LE MINÉRAI DE MONZONITE

4.1 TYPES D'INCLUSIONS

Les inclusions fluides peuvent être génétiquement divisées en deux catégories: (1) les inclusions primaires formées à la même époque que les minéraux-hôtes et (2) les inclusions secondaires formées dans des fractures tardives (Roedder, 1984). A la mine Camflo, cette distinction entre les inclusions primaires et secondaires n'est pas pratique parce que le matériel de veine est fortement fracturé et quelquefois recristallisé. Nous considérons que la plupart de ces inclusions sont secondaires. En général, les inclusions utilisées pour cette étude sont distribuées sous forme de courtes traînées à l'intérieur des grains de quartz. Les traînées plus longues et tardives passant à travers plusieurs grains de quartz contiennent des inclusions trop petites pour être étudiées.

Les inclusions fluides dans les veines et veinules de quartz provenant des cinq échantillons étudiés dans le minerai de monzonite sont divisées en trois groupes selon leur rapport H_2O/CO_2 : les inclusions aqueuses, aquacarboniques et carboniques. Les inclusions aqueuses contiennent essentiellement une solution saline alors que la quantité de CO_2 est minime. En général, le CO_2 dans les inclusions aqueuses ne peut être détecté à la température de la pièce. Toutefois, la présence de CO_2 peut quelquefois être détectée aux températures en-dessous de $0^\circ C$. Les inclusions aqueuses dans les veines de quartz et sulfures constituent à peu près 65% du nombre total des inclusions. En général, leur longueur est inférieure à 10 microns. La variété la plus commune est composée de

deux phases: H_2O liquide et H_2O vapeur (figures 3 a, b₁ et b₂; 4 b₂ et b₃). La boule de vapeur occupe moins d'un tiers du volume total de l'inclusion. Toutes les inclusions aqueuses ont une salinité moyenne; c'est-à-dire qu'à la température de la pièce aucun cristal de NaCl n'est présent dans les phases fluides. Toutefois, des cristaux de carbonate, observés dans le quartz-hôte, sont également présents dans certaines inclusions aqueuses. En général, les inclusions aqueuses montrent des formes simples telles que ovale, tubulaire ou sphéroïde.

Les inclusions aquacarboniques contiennent deux phases principales (H_2O et CO_2) dont les proportions varient entre riches en H_2O et riches en CO_2 . Ces inclusions constituent à peu près 10% du nombre total des inclusions. A la température de la pièce, les inclusions à deux phases (H_2O) l + (CO_2) l (figure 3 b₃) sont plus abondantes que les inclusions à trois phases (H_2O) l + (CO_2) l + (CO_2) v (figure 4 a). Toutes les inclusions aquacarboniques ont une salinité moyenne et contiennent quelquefois un petit cristal de carbonate.

Les inclusions carboniques sont plus abondantes que les inclusions aquacarboniques et constituent approximativement 25% du nombre total des inclusions. Dans ces inclusions, la phase fluide principale est le CO_2 . La plupart des inclusions carboniques contiennent une quantité minime de H_2O qui est généralement piégée contre la paroi de l'inclusion (figure 4 b₁). A la température de la pièce, les inclusions à une phase (CO_2) l sont les plus abondantes tandis que les inclusions à deux phases (CO_2) l + (CO_2) v sont observées moins souvent. Les cristaux de carbonate sont rarement présents dans les inclusions carboniques.

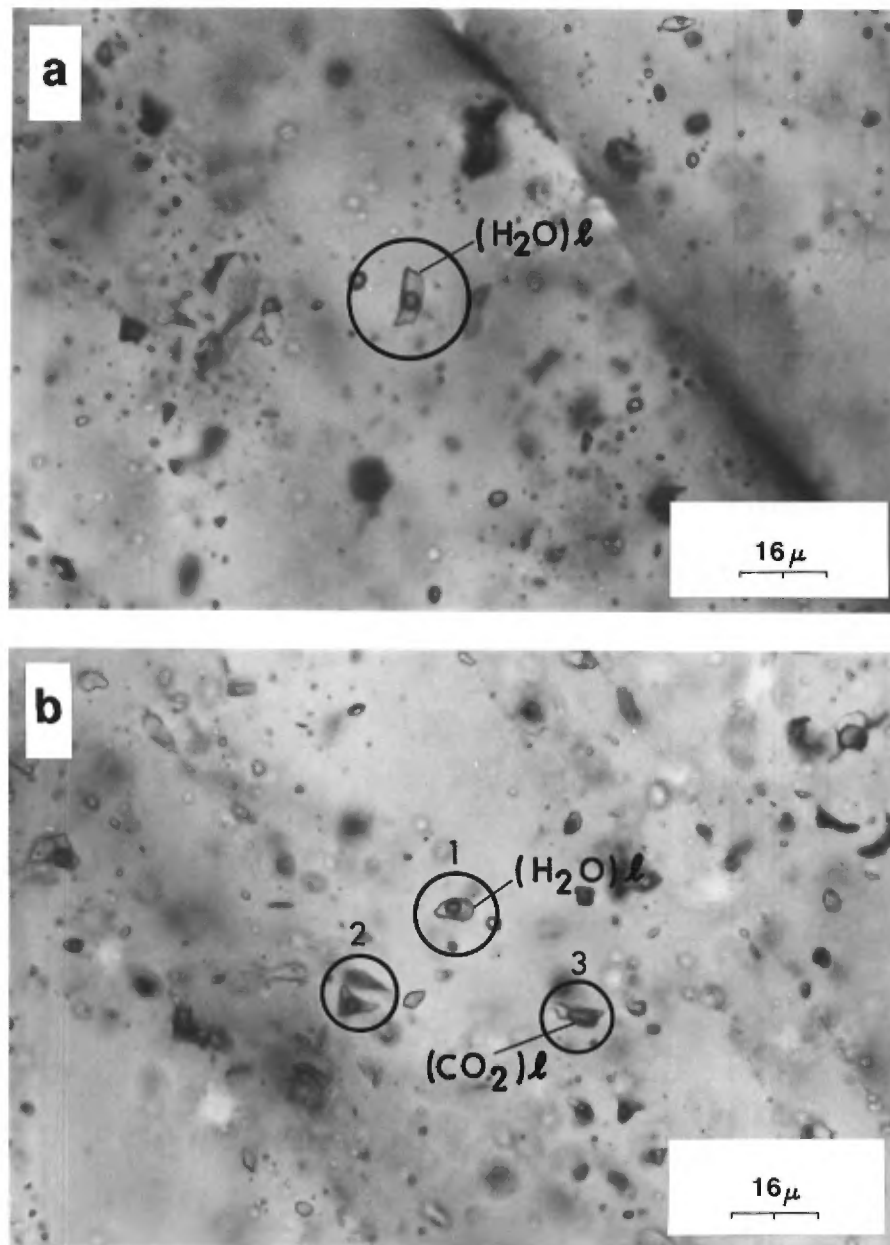


Figure 3 – Inclusions fluides aqueuses $(\text{H}_2\text{O})_l+v$ (a, b_1 et b_2) et inclusions aquacarboniques $(\text{H}_2\text{O})_l + (\text{CO}_2)_l$ (b_3) dans les veines de quartz-sulfures de la mine Camflo.

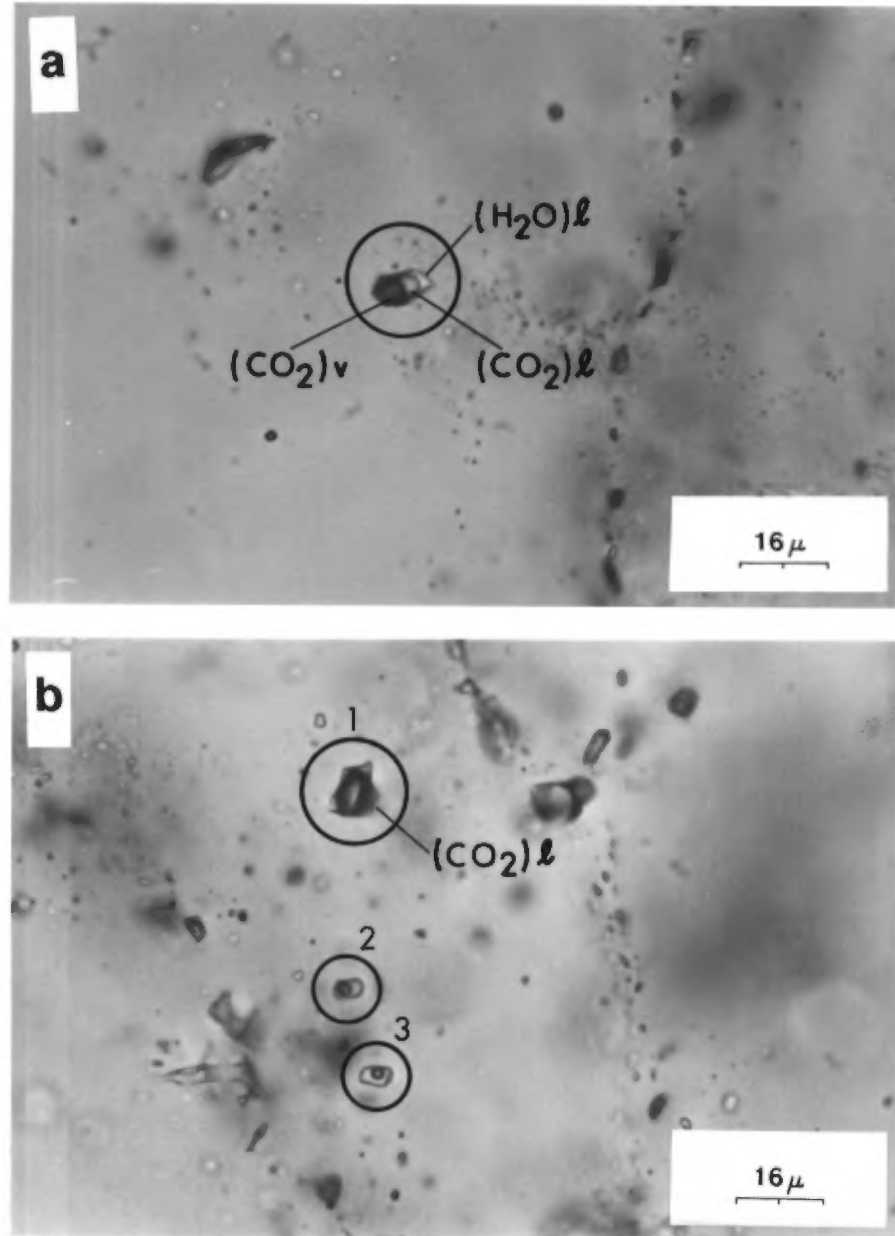


Figure 4 - (a) Inclusions aquacarboniques (H₂O) l + (CO₂) l + (CO₂) v, (b₁) inclusions carboniques (CO₂) l et (b₂, b₃) inclusions aqueuses (H₂O) l + v dans les veines de quartz-sulfures de la mine Camflo.

4.2 TF ET SALINITE EQUIVALENTE

La "Tf" fait référence à la température de fusion de la glace formée par refroidissement des inclusions dans de l'azote liquide. Cette Tf est une caractéristique de la solution et varie en fonction de la salinité et de la nature du sel dissout dans le fluide. En pratique, nous utilisons une salinité équivalente correspondant au système NaCl-H₂O (Roedder, 1962) si la Tf est supérieure à -21,1° C (température eutectique du système, correspondant à 23,3% poids de NaCl). Dans les cas où la Tf est inférieure à -21,1°C, le système CaCl₂ - H₂O est plutôt utilisé. Ce système possède une température eutectique de -49,9°C lorsque la solution contient 30,2% poids de CaCl₂ (Crawford, 1981).

Dans le cas des inclusions aquacarboniques, nous déduisons leur salinité à l'aide de la température de fusion de l'hydrate gazeux (Tfhy) dans le système H₂O + CO₂ + NaCl (Collins, 1979).

La figure 5 représente la Tf des inclusions aqueuses dans les cinq échantillons provenant des veines de quartz dans la monzonite. Deux groupes se distinguent sur l'histogramme:

- (a) le premier groupe a une Tf qui varie de -1 à -13°C et comprend des inclusions de quatre échantillons (DC-B, DC-24-20, 16-7-232 et 16-24-66). Ce groupe a un mode bien défini à -6° C. La salinité équivalente varie de 1 à 13% poids éq. NaCl et le mode correspondant est de 7% poids éq. NaCl (figure 6).
- (b) Le deuxième groupe a une Tf qui varie de -14 à -23°C et est constitué uniquement d'inclusions aqueuses provenant de l'échantillon DC-P1 (figure 5). Seulement sept inclusions ont une Tf comprise entre -13 et -10°. Le mode de ce groupe est à peu près

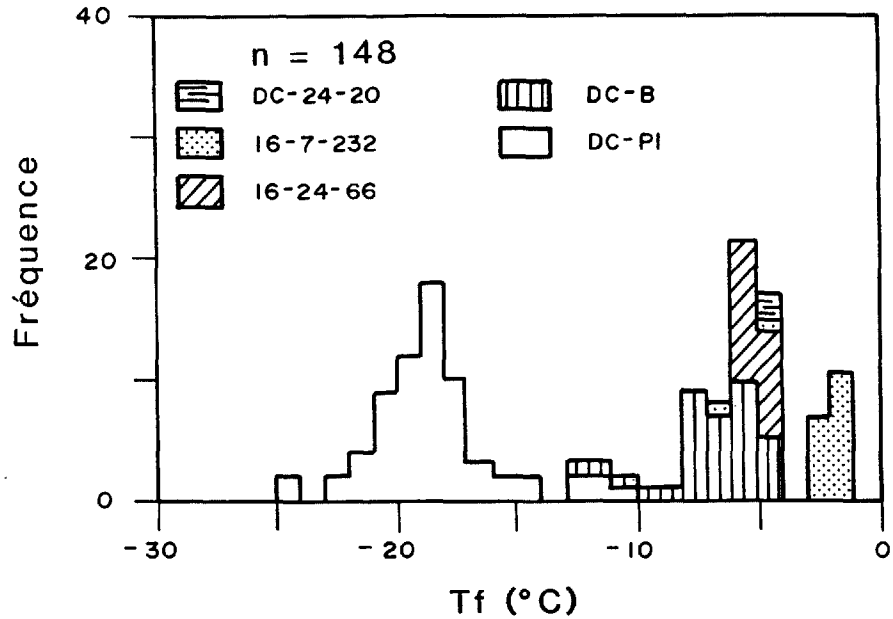


Figure 5 -Températures de fusion de la glace pour les inclusions fluides aqueuses dans les veines de quartz - pyrite provenant de la monzonite.

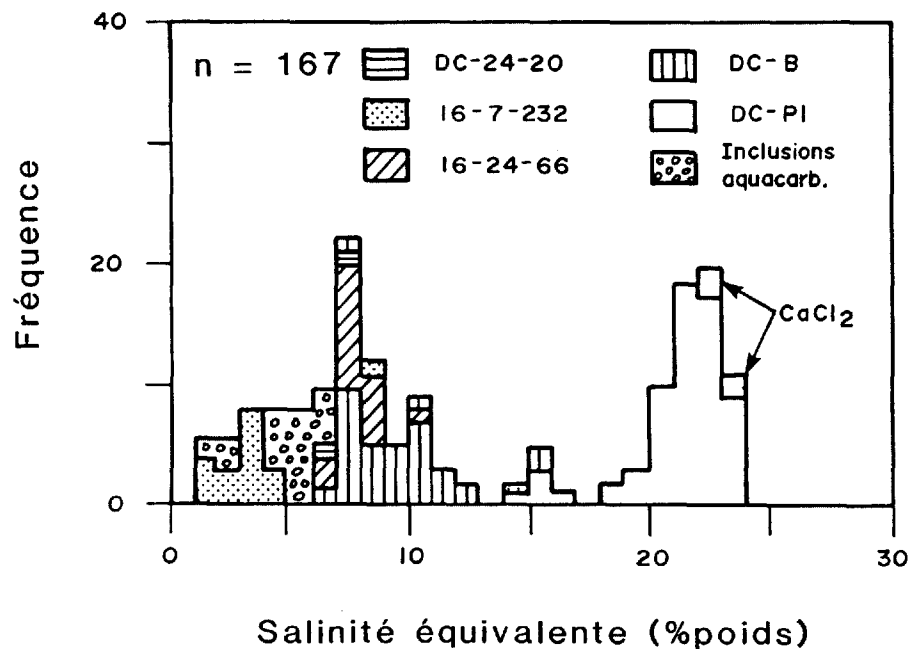


Figure 6 -Salinité (% poids éq. NaCl) des inclusions aqueuses et aquacarboniques dans les veines de quartz - pyrite du minerai de la cheminée de monzonite. La salinité équivalente pour quatre inclusions est donnée en %poids de CaCl_2 .

de -18°C . La salinité correspondante pour ce deuxième groupe varie de 18 à 24% poids éq. NaCl (figure 6) et la valeur modale est de 22% poids éq. NaCl.

Un nombre restreint d'inclusions aquacarboniques provenant des mêmes échantillons ont été utilisées afin de déduire leur salinité. La température de fusion de l'hydrate (T_{fhy}) varie de $+6$ à $+10^{\circ}\text{C}$ (figure 7) et le mode de l'histogramme est de $+7^{\circ}\text{C}$. La salinité correspondante varie de 1 à 7% poids éq. NaCl avec un mode de 6% (figure 6).

En conclusion, les inclusions fluides dans les veines de quartz et sulfures provenant du minerai de monzonite montrent une grande variation de salinité. Cette variation peut être reliée à différents fluides, comme nous en discuterons plus loin dans le texte.

4.3 TEMPERATURE D'HOMOGENEISATION DES PHASES FLUIDES

Les températures d'homogénéisation (T_h) des phases fluides dans les inclusions aqueuses varient de 100 à 360°C (figure 8). Toutes les inclusions s'homogénéisent en une phase liquide. Ce type d'homogénéisation suggère que ces inclusions ont été piégées à l'état liquide. Sur l'histogramme de la figure 8, les températures d'homogénéisation se divisent en deux groupes:

- a) le premier groupe possède une T_h qui varie de 100 à 200°C et est composé essentiellement d'inclusions provenant de l'échantillon DC-P1. Seulement quelques inclusions provenant d'autres échantillons sont présentes dans ce groupe. Le mode de ce premier groupe est de $120 - 130^{\circ}\text{C}$;
- b) le deuxième groupe possède une T_h qui varie de 240 à 360°C et

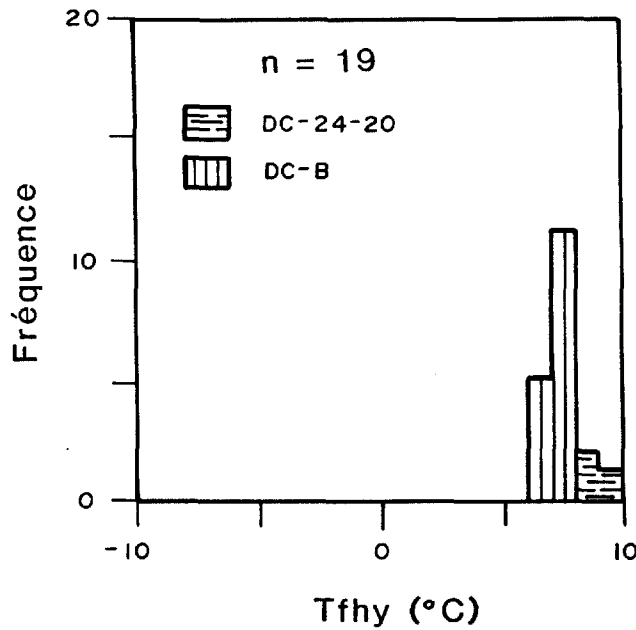


Figure 7 -Températures de fusion de l'hydrate (Tfhy) pour les inclusions aquacarboniques dans les veines de quartz - pyrite du minerai de la cheminée de monzonite.

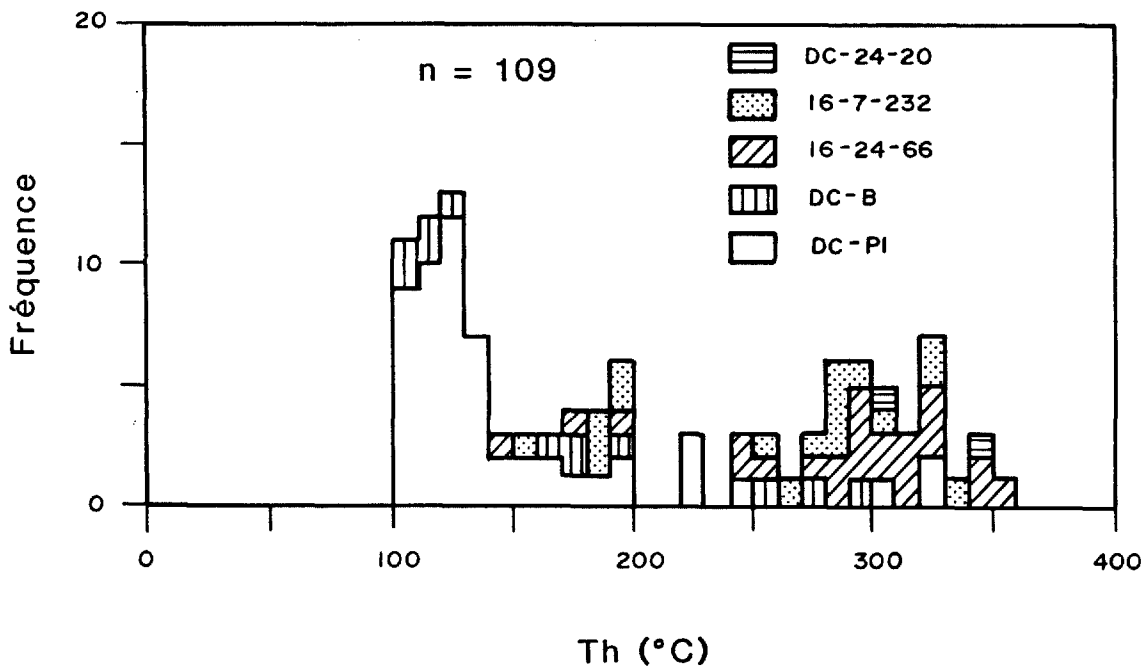


Figure 8 -Températures d'homogénéisation des inclusions aqueuses dans les veines de quartz - pyrite du minerai de la cheminée de monzonite.

comprend des inclusions provenant surtout de quatre échantillons (figure 8). Seulement quatre inclusions provenant de l'échantillon DC-P1 se trouvent dans ce groupe. Le mode de ce deuxième groupe est approximativement de 300°C.

Encore une fois, les inclusions de l'échantillon DC-P1 semblent se distinguer de celles des autres échantillons. Toutefois, la basse Th de l'échantillon DC-P1 n'indique pas nécessairement une basse température de formation, parce que la Th est aussi une fonction de la composition du liquide et de la pression.

Quant aux inclusions aquacarboniques, quelques mesures ont été effectuées sur l'homogénéisation des phases H_2O-CO_2 et les Th sont présentées à la figure 9. Ce paramètre peut servir de guide pour l'estimation de la température du système en conjonction avec les Th des inclusions aqueuses. Les Th (H_2O-CO_2) forment un seul groupe variant entre 220 et 350°C et le mode est de 290 à 300°C. Ce mode est comparable à celui obtenu pour le deuxième groupe d'inclusions aqueuses.

4.4 PARAMETRES DES INCLUSIONS RICHES EN CO_2

Les températures de fusion de la phase CO_2 ($TfCO_2$) dans les inclusions carboniques et aquacarboniques provenant de la mine Camflo varient entre -57 et -56,4°C (figure 10). Le mode de l'histogramme est de -56,6°C, ce qui correspond au CO_2 pur. La présence d'autres phases telles que CH_4 dans ces inclusions n'est donc pas significative.

D'autre part, les températures d'homogénéisation de la phase CO_2 ($ThCO_2$) dans les inclusions carboniques et aquacarboniques montrent une grande variation, entre +1 et +32° C (figure 6.11). Seulement cinq

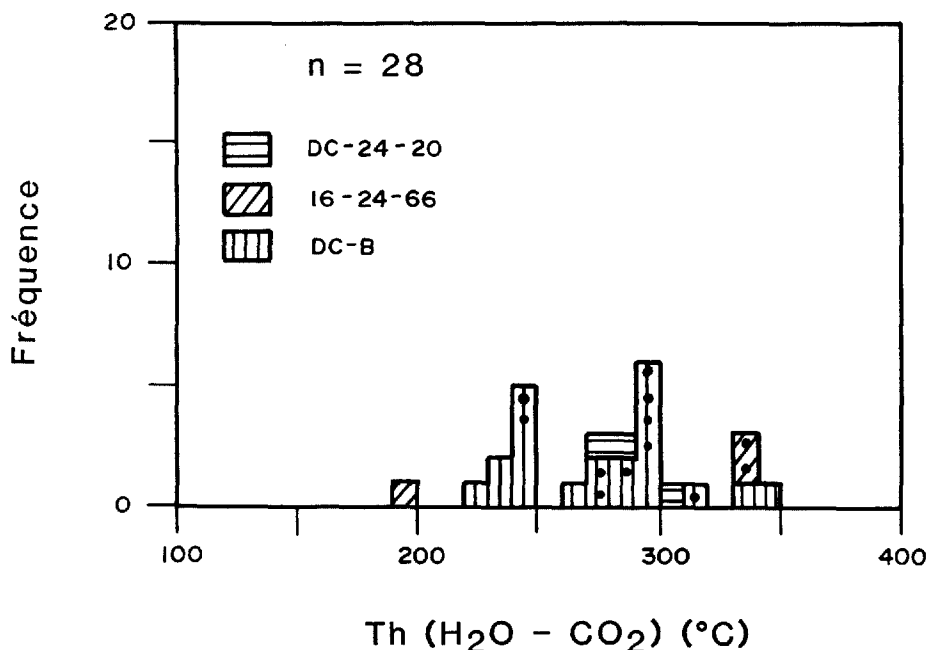


Figure 9 - Températures d'homogénéisation des phases $H_2O - CO_2$ ($T_{H_2O-CO_2}$) des inclusions aquacarboniques dans les veines de quartz - pyrite du minerai de la cheminée de monzonite. Les points noirs indiquent l'homogénéisation en la phase CO_2 , tandis que le reste est homogénéisé en la phase H_2O .

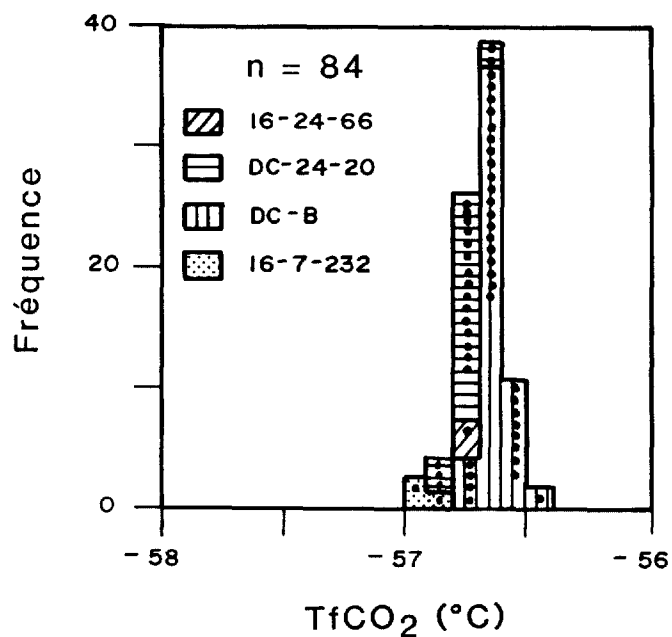


Figure 10 - Températures de fusion de la phase CO_2 ($T_f CO_2$) dans les inclusions carboniques (points noirs) et aquacarboniques dans les veines de quartz - pyrite du minerai de la cheminée de monzonite.

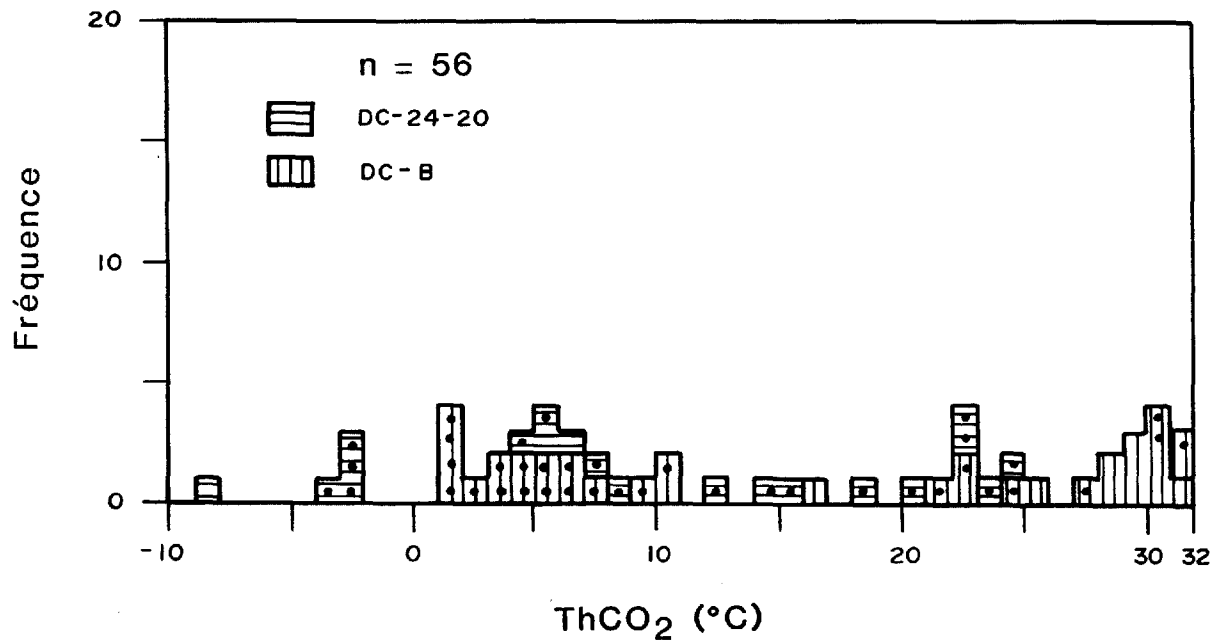


Figure 11 -Températures d'homogénéisation de la phase CO₂ (ThCO₂) dans les inclusions carboniques (points noirs) et aquacarboniques des veines de quartz - pyrite du minerai de la cheminée de monzonite.

mesures de la ThCO_2 se trouvent entre -9 et -22°C . Les valeurs de la ThCO_2 peuvent être divisées en trois groupes, leurs modes étant de 5 , 22 et 30°C respectivement. Cette grande variation indique que la densité de CO_2 varie de $0,47$ pour $\text{ThCO}_2 = 31,1^\circ\text{C}$ à $0,91$ pour $\text{ThCO}_2 = 1^\circ\text{C}$.

4.5 ANALYSES CHIMIQUES

Des analyses à la microsonde ont été effectuées sur un nombre restreint de résidus d'inclusions dans les veines de quartz provenant du minerai de la cheminée de monzonite. Les dix éléments détectés sont: Na, Mg, Al, K, Ca, Mn, Fe, Ba, S et Cl. Les abondances relatives (rapports poids) de ces éléments par rapport aux alcalis totaux (Na + K) sont indiquées aux figures 12, 13 et 14.

Le Na est l'élément alcalin le plus abondant dans ces inclusions. La plupart des rapports $\text{Na}/(\text{Na} + \text{K})$ se situent entre $0,85$ et 1 (figure 12 a). Ce groupe est constitué principalement d'inclusions provenant de l'échantillon DC-P1 et de quelques autres échantillons. Les rapports de quelques autres inclusions sont éparpillés entre 0 et $0,8$ sans tendance bien définie. Ces rapports indiquent que le fluide relié aux veines de quartz est riche en Na plutôt qu'en K.

L'abondance relative du Ca est de beaucoup inférieure à celle du Na. La plupart des inclusions ont un rapport $\text{Ca}/(\text{Na} + \text{K})$ inférieur à $0,2$ (figure 12 c). Les autres éléments présents en quantités mineures sont: $\text{Ba} < 0,05$ (figure 12d), $\text{Mn} < 0,02$ (figure 13 a), $\text{Fe} < 0,02$ en général (figure 13 b) et $\text{Al} < 0,01$ (figure 13 d). Mg est également présent en quantités minimales montrant une grande variation entre 0 et $0,075$ (figure 13 c).

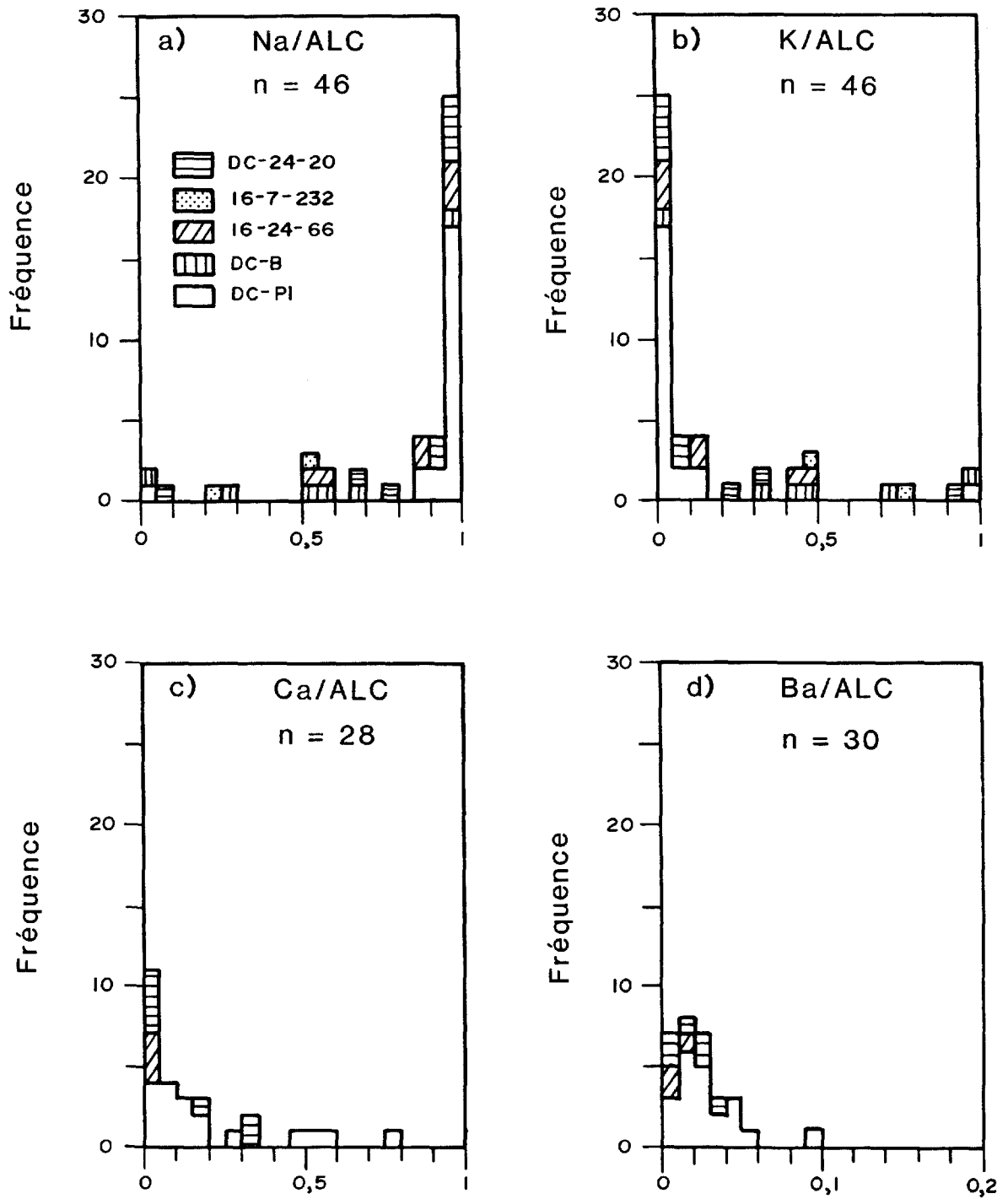


Figure 12 - Quantités relatives de Na, K, Ca et Ba par rapport au total des alcalis (ALC = Na + K) dans les inclusions fluides des veines de quartz du minerai de la cheminée de monzonite.

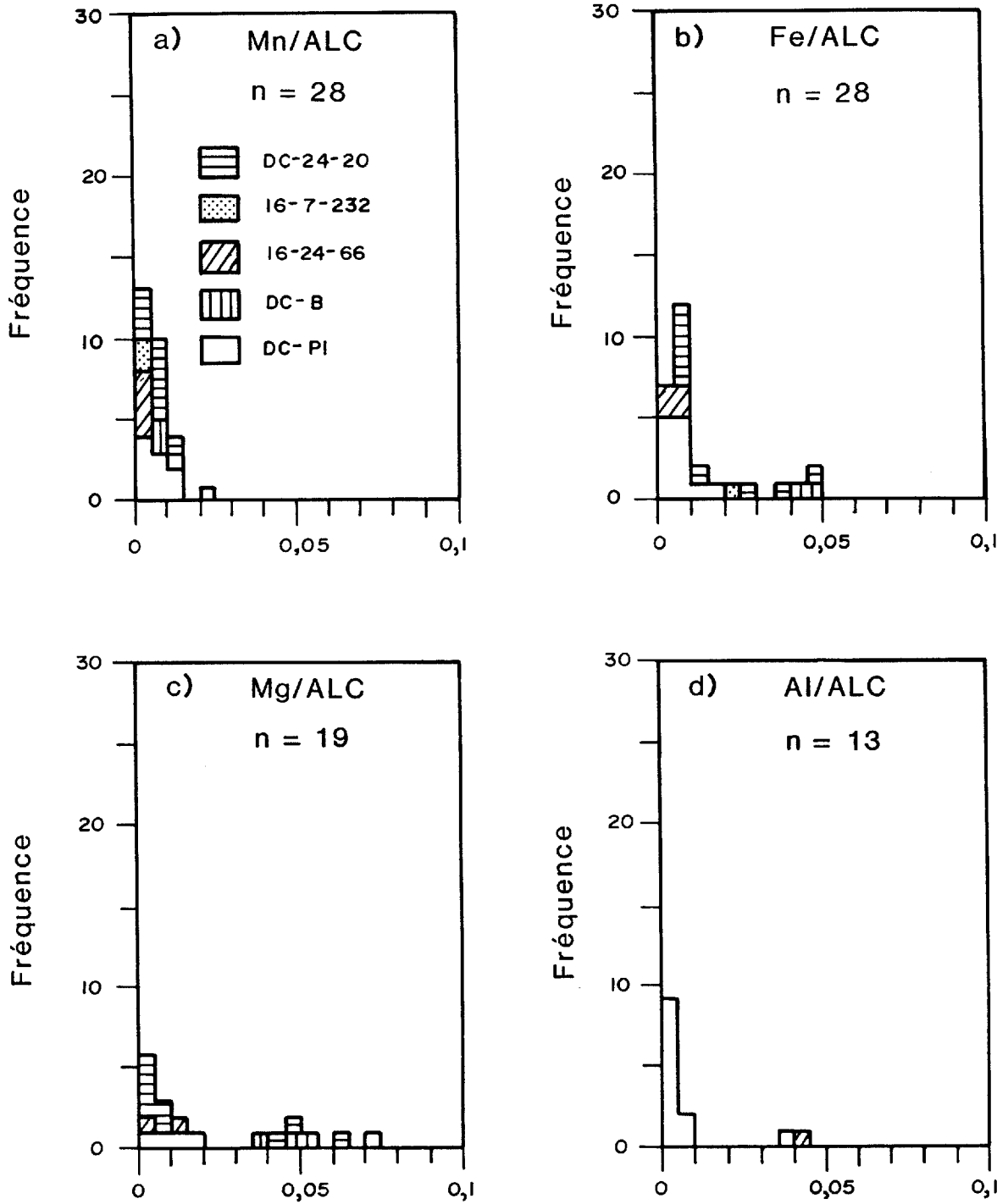


Figure 13 - Quantités relatives de Mn, Fe, Mg et Al par rapport au total des alcalis (ALC = Na + K) dans les inclusions fluides des veines de quartz du minerai de la cheminée de monzonite.

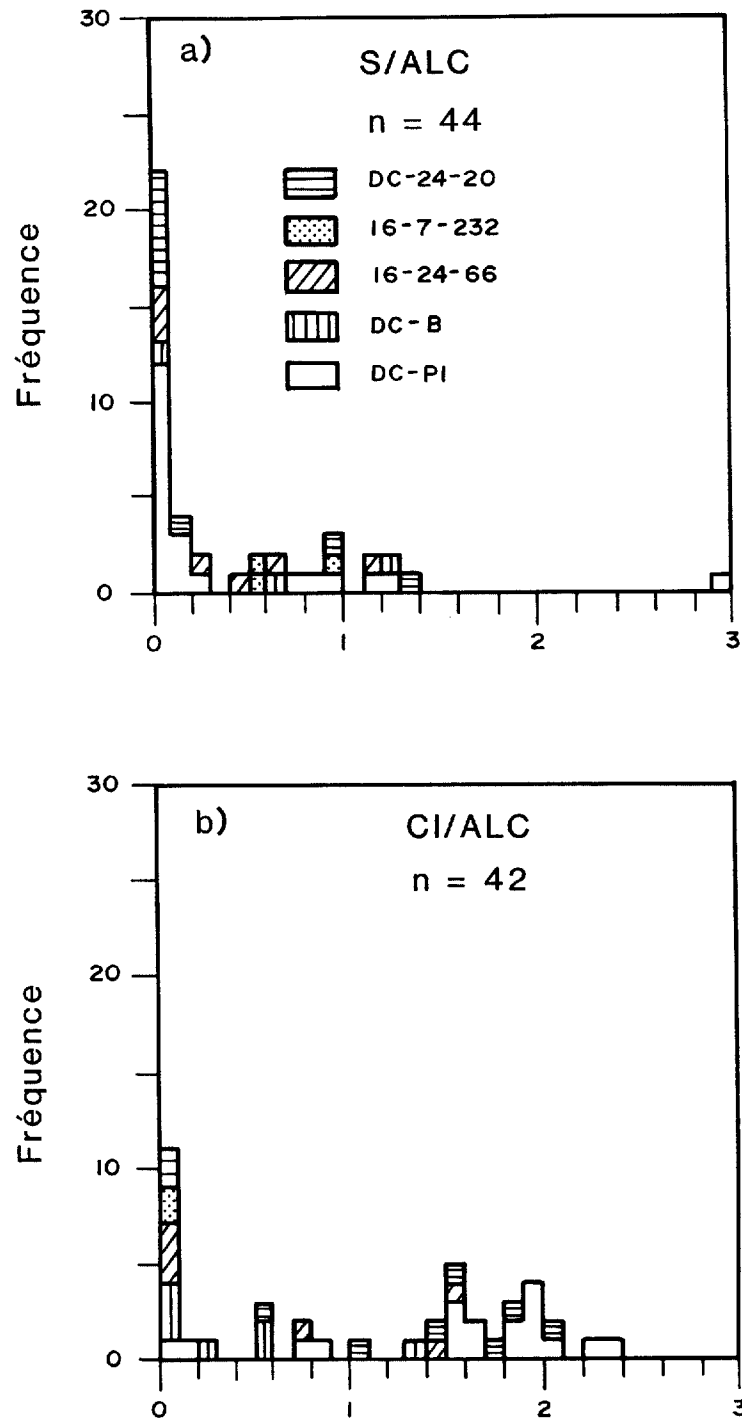


Figure 14 - Quantités relatives de S et de Cl par rapport au total des alcalis (ALC = Na + K) dans les inclusions fluides des veines de quartz du minerai de la cheminée de monzonite.

Le Cl et le S présentent une grande variation de leurs abondances relatives. Le chlore varie de 0 à 2,4 (figure 14 b) et définit trois groupes: (1) < 0,15; (2) entre 0,25 et 0,90 et (3) entre 1,3 et 2,4. Le soufre varie de 0 à 1,4 (figure 14 a) et forme deux groupes: (1) entre 0 et 0,3 et (2) entre 0,4 et 1,4.

L'abondance relative des éléments principaux tels que Cl, S, Na et K démontre que les fluides reliés aux veines de quartz et sulfures provenant du gisement Camflo possédaient une grande variation de composition.

5 INCLUSIONS LOCALISEES A L'EXTERIEUR DE LA ZONE DE MINERAI DANS LA MONZONITE

En plus des inclusions dans des veines de quartz provenant de la zone de minerai dans la cheminée de monzonite, nous avons aussi examiné: (1) des inclusions dans des veines de quartz provenant de la diorite, du sédiment et de la formation de fer minéralisés et (2) des inclusions dans du quartz magmatique provenant de la monzonite stérile. Cet examen nous permettra de comparer ces données avec celles de la zone de minerai dans la cheminée de monzonite.

5.1 VEINES DE QUARTZ DANS LA DIORITE, LE SEDIMENT ET LA FORMATION DE FER MINERALISES

Dans les veines de quartz et sulfures trouvées à l'extérieur de la cheminée de monzonite, les inclusions fluides peuvent aussi être divisées en trois types: aqueuses, aquacarboniques et carboniques. Les inclusions aqueuses sont les plus abondantes dans ces échantillons et en

général, elles ont une longueur de 8 microns. Pour les inclusions aqueuses, le rapport vapeur/liquide varie beaucoup, soit de 1/6 à 1/3. Du point de vue thermique, la T_h correspondante varie entre 100 et 360°C (figure 15) dans tous les types de roche. Toutes les inclusions aqueuses ont une salinité modérée et se caractérisent par une variation restreinte de leur T_f , qui se situe entre 0 et -6°C (figure 16). La salinité correspondante est de moins de 8% poids éq. NaCl (figure 17). Sur ce diagramme, les inclusions de chaque type de roche-hôte définissent leur propre champ de salinité: (1) de 6 à 8% poids pour les inclusions dans des veines encaissées dans un sédiment, (2) de 4 à 7% poids pour celles encaissées dans une diorite et (3) < 2% pour celles encaissées dans une formation de fer. Quelques inclusions aqueuses contiennent un cristal de carbonate comme phase solide.

Les inclusions aquacarboniques (H_2O-CO_2) ne sont pas abondantes dans les échantillons mentionnés ci-haut et, en général, sont dominées par le type riche en H_2O . Trois inclusions provenant de veines encaissées dans une formation de fer ont été analysées pour leur salinité (0,2, 0,2 et 0,4% poids). Ces valeurs sont comparables à celles des inclusions aqueuses associées (figure 17).

Les inclusions carboniques (CO_2) sont beaucoup plus abondantes que les inclusions aquacarboniques. A la température de la pièce, ce type consiste surtout en inclusions à une seule phase (CO_2)₁. A partir de la T_fCO_2 (figure 18), on peut conclure que le fluide carbonique varie de CO_2 pur dans les veines encaissées dans une diorite, à un mélange de CO_2 accompagné d'autres phases dans les veines encaissées dans une formation de fer.

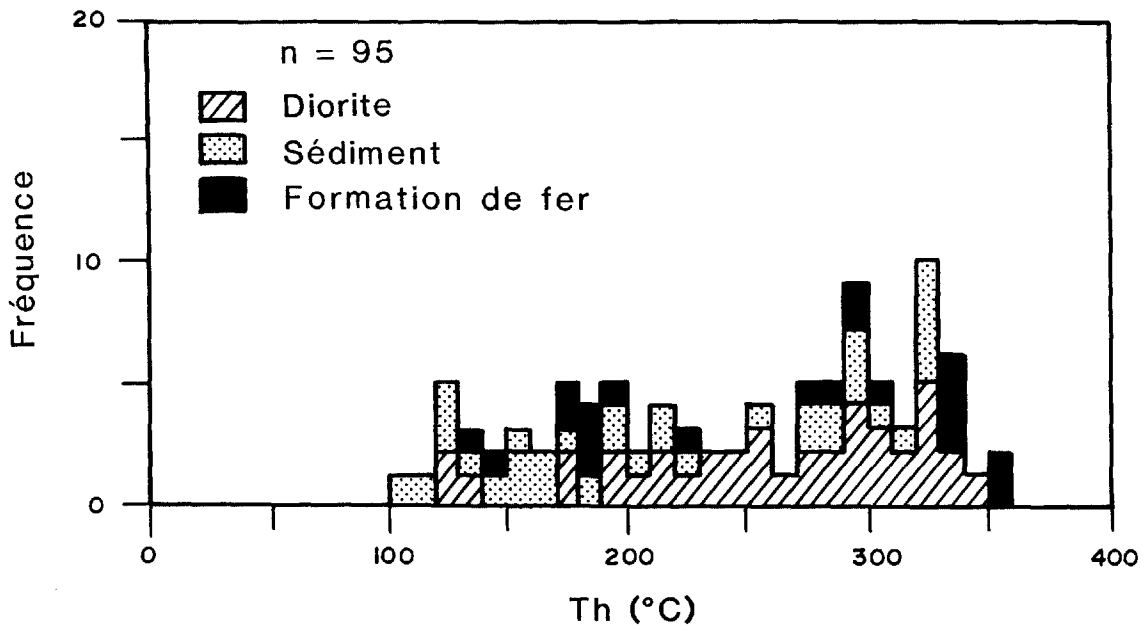


Figure 15 - Températures d'homogénéisation des inclusions aqueuses des veines de quartz dans la diorite, le sédiment et la formation de fer minéralisés.

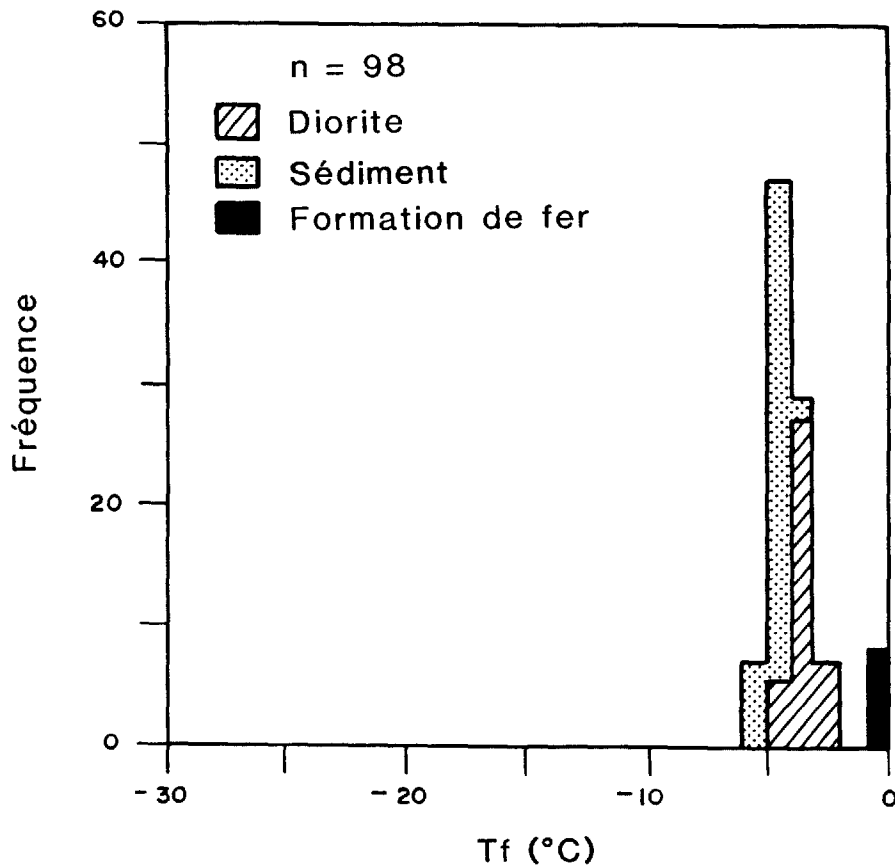


Figure 16 - Températures de fusion des inclusions aqueuses dans les veines de quartz - pyrite de la diorite, du sédiment et de la formation de fer.

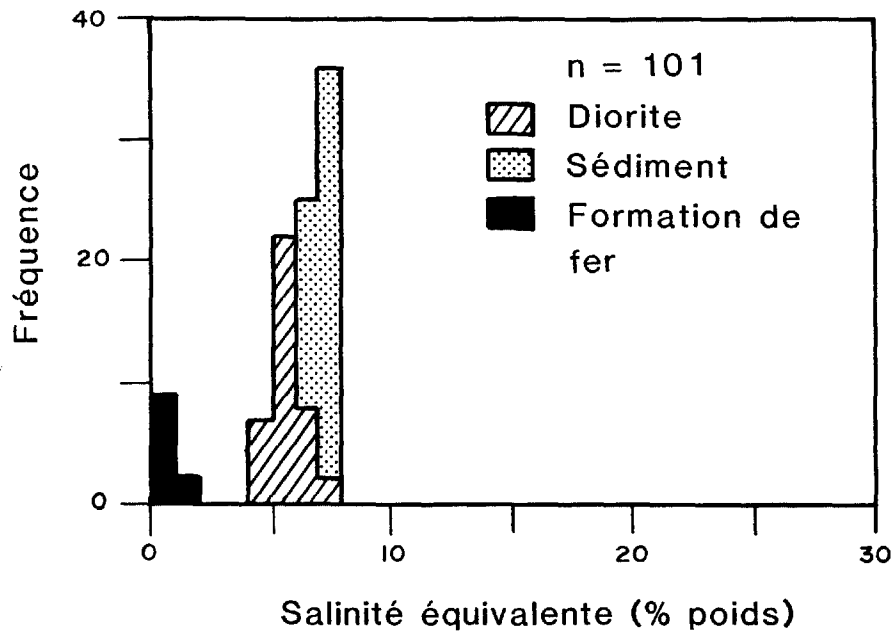


Figure 17 - Salinité des inclusions fluides des veines de quartz de la diorite pyritisée, du sédiment et de la formation de fer.

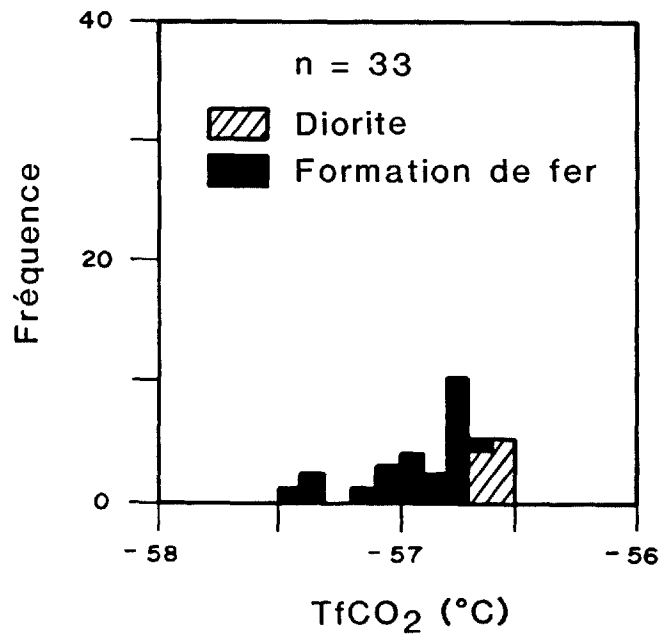


Figure 18 - Températures de fusion de la phase CO₂ dans les inclusions carboniques et aquacarboniques des veines de quartz - pyrite de la diorite et de la formation de fer.

Des analyses à la microsonde sur des résidus d'inclusions fluides montrent que Na, K, Ca, Mg, Mn, Fe, S et Cl sont présents dans ces inclusions, alors que Al et Ba sont généralement absents. Les abondances relatives de ces éléments sont montrées aux figures 19 et 20. La figure 20 démontre que dans les veines encaissées dans la diorite, la solution est riche en S, tandis que dans les veines encaissées dans une formation de fer, la solution est plus riche en Cl.

5.2 QUARTZ MAGMATIQUE DANS LA MONZONITE

Le quartz magmatique dans la monzonite stérile contient quelques inclusions fluides primaires. On suppose qu'elles représentent le fluide séparé du magma silicaté lors de la cristallisation des minéraux anhydres. Ces inclusions sont de même nature que celles présentes dans les veines de quartz. Elles sont toutefois distribuées de façon aléatoire d'un grain de quartz à l'autre. La plupart des inclusions ont une longueur inférieure à 5 microns.

Les inclusions aqueuses sont les plus abondantes dans le quartz primaire de la monzonite. Leur rapport vapeur/liquide varie beaucoup tel qu'indiqué par la Th qui s'étend de 120 à 440°C (figure 21). Cette variation importante de la Th est reliée aux contraintes tectoniques (extinction ondulante des grains de quartz). Toutes les inclusions bien préservées ont une salinité modérée (absence de cristaux de NaCl) et en général, leur Tf varie entre -16 et -33°C (figure 22). La salinité correspondante varie de 19% poids éq. NaCl à 28% poids éq. CaCl₂ et le mode est de 23% (figure 23).

Les inclusions aquacarboniques s'homogénéisent à des températures de

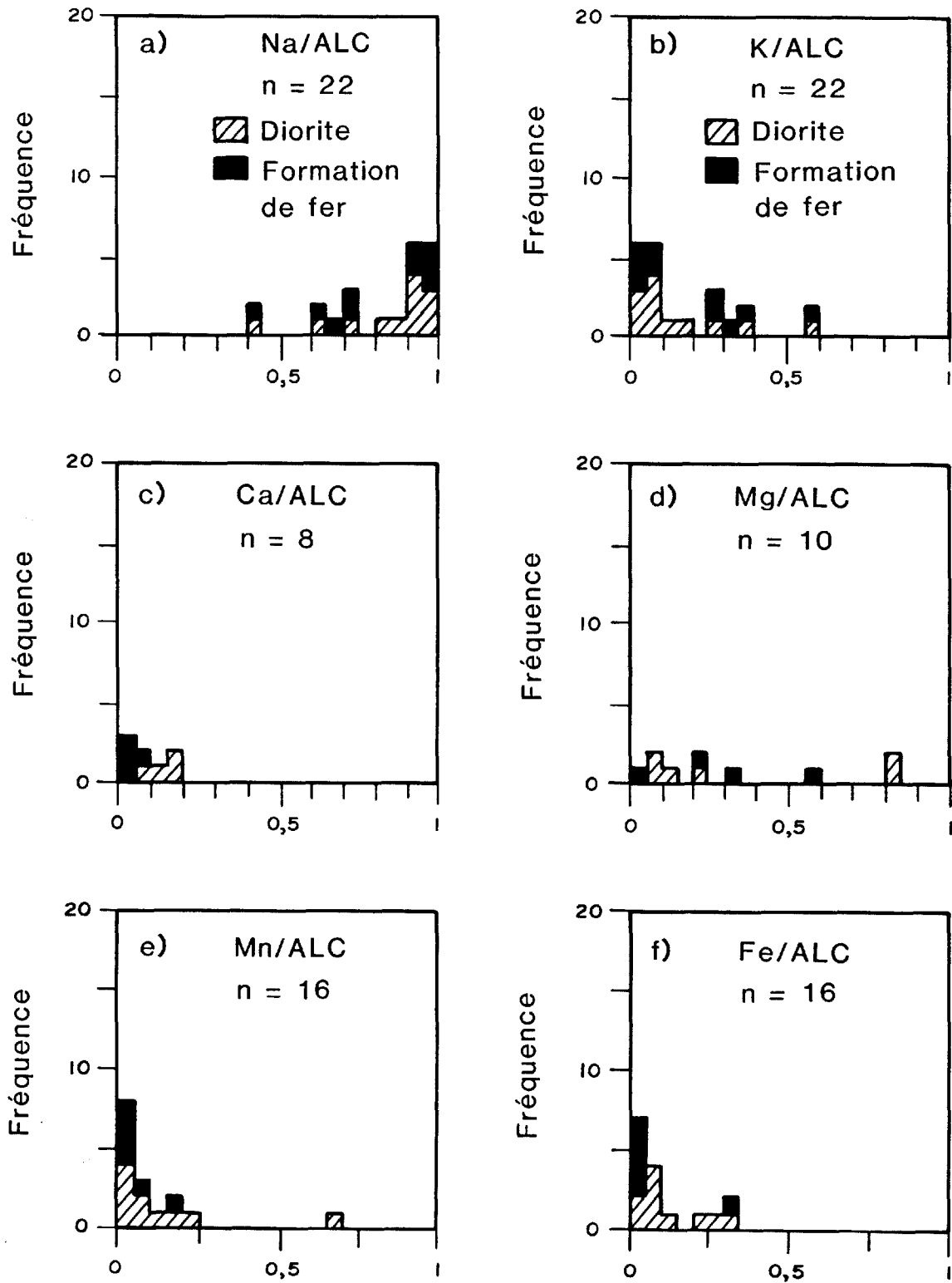


Figure 19 - Quantités relatives de Na, K, Ca, Mg, Mn et Fe par rapport au total des alcalis (ALC = Na + K) dans les inclusions fluides des veines dans la diorite et la formation de fer.

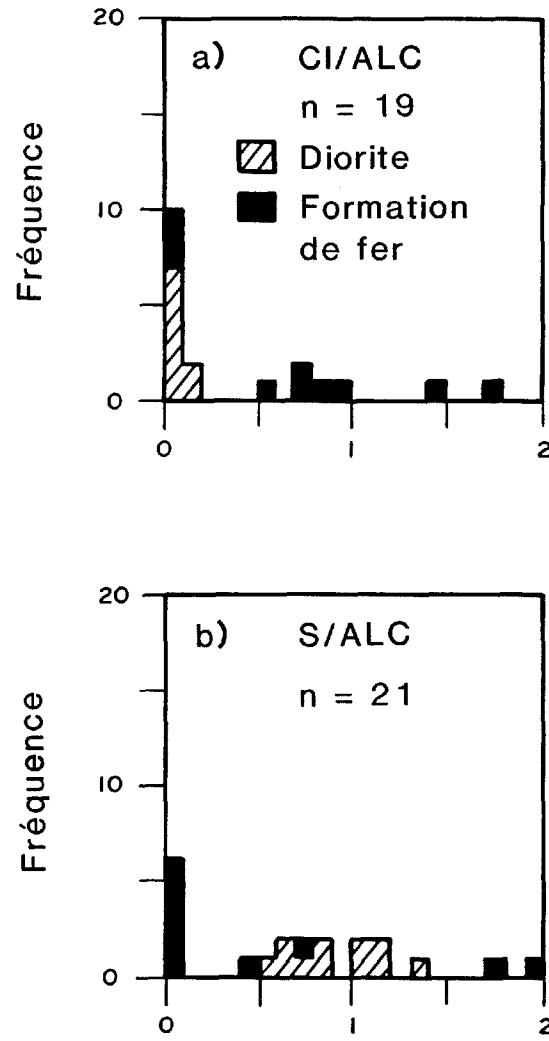


Figure 20 - Quantités relatives de Cl et de S par rapport au total des alcalis (ALC = Na + K) dans les inclusions fluides des veines dans la diorite et la formation de fer.

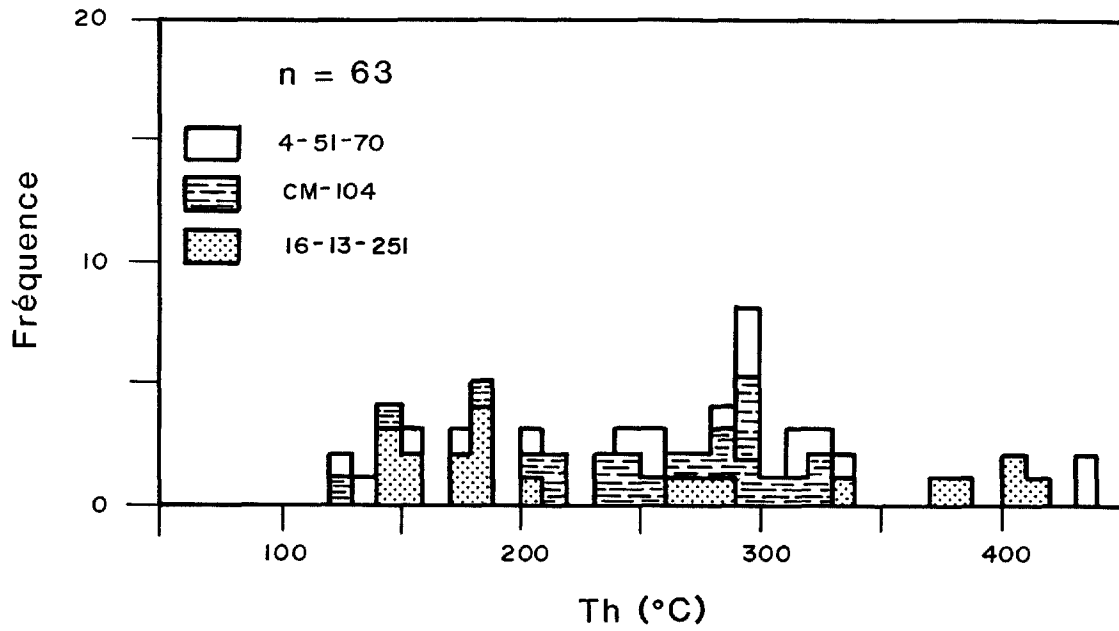


Figure 21 - Températures d'homogénéisation des inclusions aqueuses dans le quartz magmatique de la monzonite.

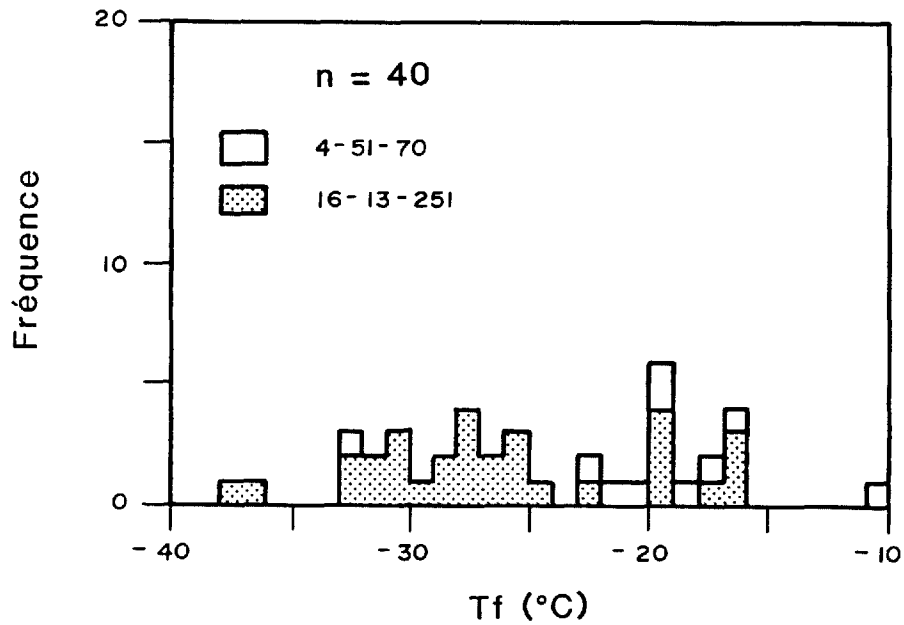


Figure 22 - Températures de fusion des inclusions aqueuses dans le quartz magmatique de la monzonite.

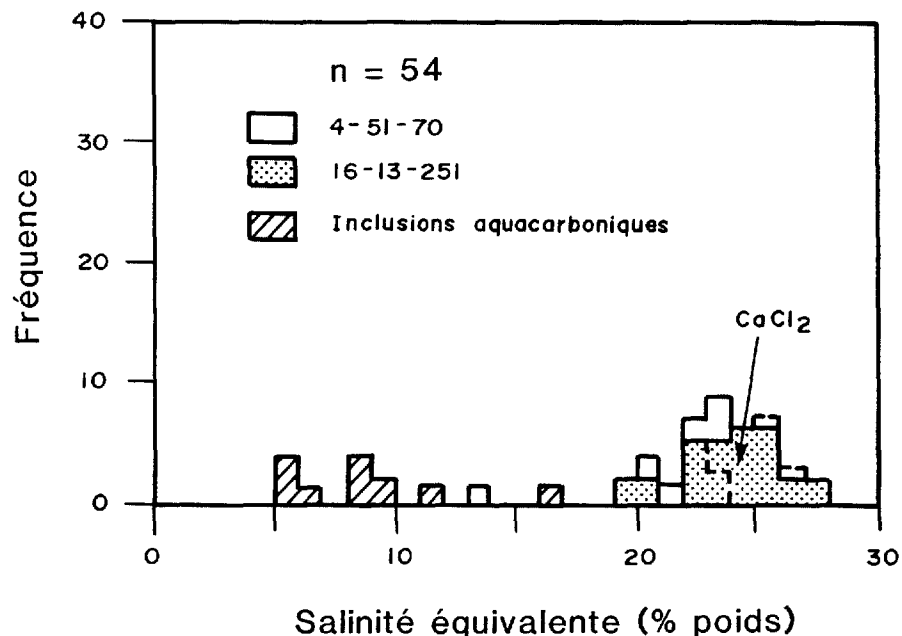


Figure 23 - Salinité (en % poids éq. NaCl ou CaCl₂) des inclusions aqueuses et aquacarboniques dans le quartz magmatique de la monzonite. Le champ de la salinité mesurée en CaCl₂ est défini par une ligne pointillée.

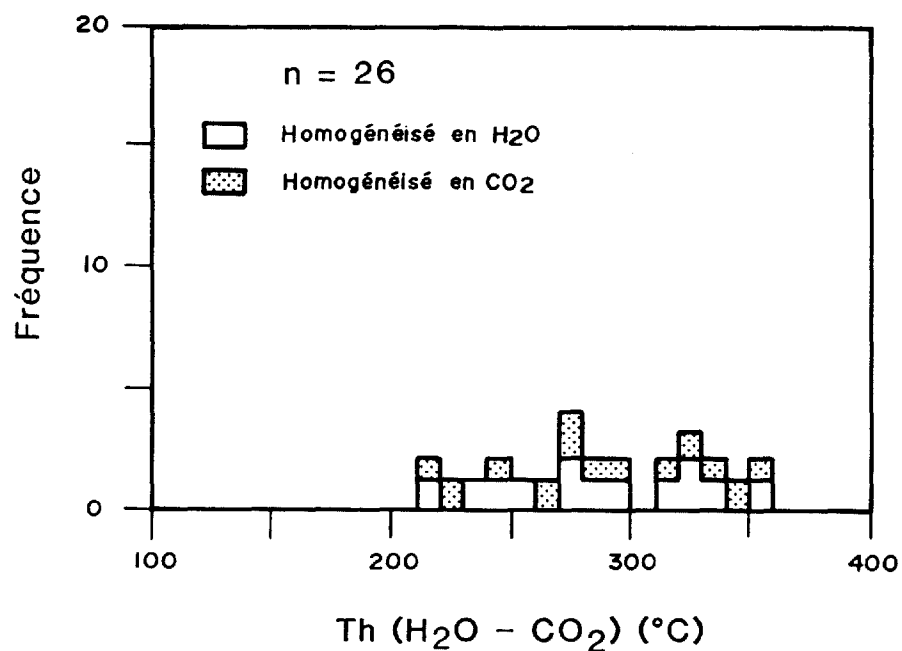


Figure 24 - Températures d'homogénéisation (H₂O - CO₂) des inclusions aquacarboniques dans le quartz magmatique de la monzonite. Seulement deux mesures (258 et 270°C) proviennent de l'échantillon 16-13-251, les autres proviennent de l'échantillon CM-104.

220 à 360°C (figure 24) qui sont comparables aux Th des inclusions aqueuses. Leur salinité varie de 5 à 10% poids éq. NaCl (figure 23).

Les inclusions carboniques dans le quartz magmatique sont généralement à une seule phase (CO₂)¹. La phase CO₂ est relativement pure, comme le démontre la valeur de la TfCO₂ voisine de -56,6°C (figure 25).

Les contraintes de temps ne nous ont pas permis d'acquérir des données chimiques sur les inclusions fluides dans le quartz magmatique de la monzonite.

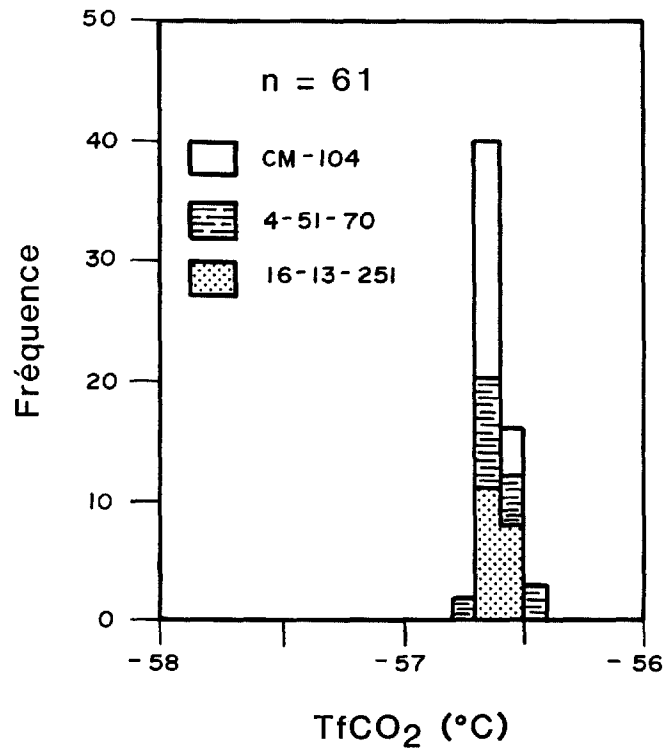
6 INTERPRETATION DU FLUIDE MINERALISATEUR

6.1 SALINITE ET TEMPERATURE DU FLUIDE

Sur le diagramme salinité versus Th (figure 26), les inclusions des cinq échantillons de veines de quartz provenant de la zone de minerai dans la monzonite tombent dans trois champs: A, B et C. La distinction entre ces champs est basée surtout sur la salinité, alors que la Th varie de 100 à 350°C dans tous les cas.

Le champ A comprend seulement les inclusions de l'échantillon DC-P1. La salinité approximative pour ce champ est de 22% poids éq. NaCl sur la ligne moyenne AA'. La Th moyenne pour la concentration de mesures sur le côté gauche du champ est d'à peu près 130°C. La présence d'inclusions dont la Th est supérieure à 200°C s'explique par le mécanisme d'étranglement (voir Roedder, 1984 et Ahmad et Rose, 1980).

Le champ B comprend des inclusions de trois échantillons (DC-B, 16-24-66 et DC-24-20). La salinité de ce champ est évaluée à 7,5% poids éq. NaCl sur la ligne moyenne BB'. Cette valeur correspond à la



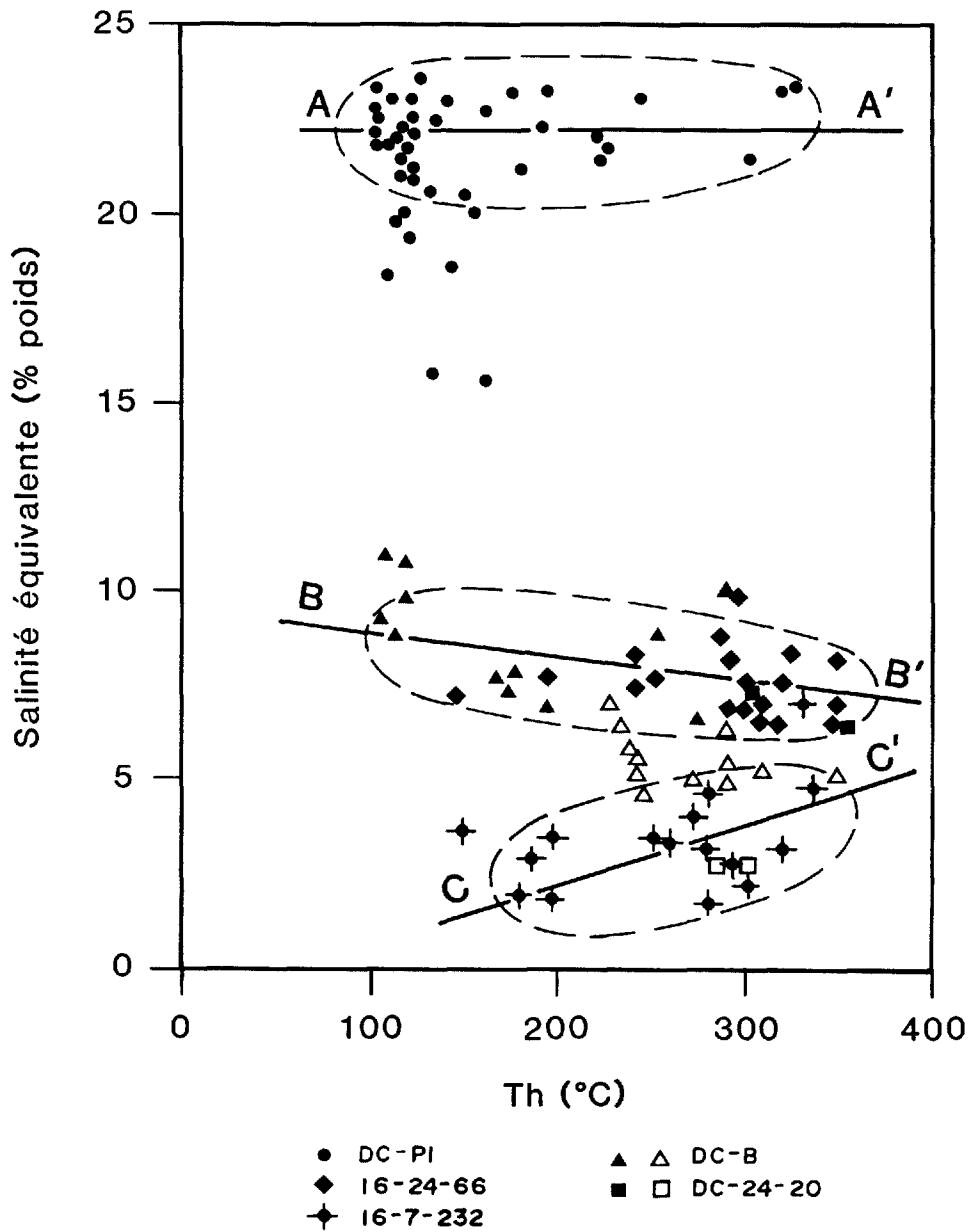


Figure 26 – Salinité et température d'homogénéisation des inclusions aqueuses (symboles pleins) et des inclusions aquacarboniques (symboles vides) dans les veines de quartz – pyrite du minerai de la cheminée monzonitique.

concentration de mesures sur le côté droit du champ. La Th moyenne pour les mesures concentrées sur le côté droit du champ est de 310°C. La corrélation négative entre la salinité et la Th est reliée à l'hétérogénéité du fluide aqueux, dans lequel des bulles riches en vapeur se séparent de la phase liquide. Cette hétérogénéité est aussi démontrée par deux faits: (1) la présence d'inclusions aquacarboniques dont la salinité est différente pour des mêmes températures d'homogénéisation (figure 26) et (2) la coexistence de phases riches en Cl et riches en S (figure 14).

Le champ C comprend des inclusions aqueuses de l'échantillon 16-7-232 et des inclusions aquacarboniques de quelques autres échantillons. La salinité pour ce champ est évaluée à 3,5% poids éq. NaCl et la Th moyenne pour la concentration de mesures situées sur le côté droit du champ est de 290°C. Cette faible salinité est peut-être due à une phase vapeur très diluée. La corrélation positive entre la Th et la salinité le long de la ligne CC' suggère effectivement un phénomène de dilution par mélange avec une solution moins saline et à plus faible température.

A partir de ces données on peut supposer que chaque champ représente un fluide distinct. La question se pose cependant à savoir lequel de ces fluides représente la saumure minéralisatrice du gisement aurifère de Camflo? Compte tenu de leur similarité, il est raisonnable de relier les champs B et C au même fluide parental. Tel que déjà mentionné, la faible salinité du champ C peut être le résultat d'une dilution. Les faibles variations de températures (290 - 310°C) représenteraient la condition thermique du fluide minéralisateur. A partir des données du champ B

(figure 26), nous proposons que le fluide minéralisateur dans la cheminée de monzonite avait une salinité de 7,5% poids éq. NaCl. Cette salinité est comparable à celle des inclusions provenant des veines dans le sédiment-hôte (7% poids sur la ligne moyenne SS', figure 27). Les fluides moins salins provenant des veines dans la diorite (5,4% poids; DD', figure 27) et dans la formation de fer (0,6% poids; ligne FF', figure 27) sont probablement reliés à un phénomène combiné de séparation d'une phase vapeur et de dilution.

Dans le cas du champ A (figure 26), il est impossible de relier ces inclusions au champ B, qui représente le fluide minéralisateur, parce que leur salinité est toujours supérieure à 18% poids et qu'elles sont nettement différentes des autres inclusions. Ces inclusions ont plutôt une salinité comparable à celle retrouvée dans le quartz magmatique de la monzonite (24% poids, correspondant à la concentration maximale de points sur la ligne MM', figure 28).

Compte tenu de la discussion précédente, nous proposons que deux types différents de fluides étaient impliqués dans la formation des veines dans la monzonite: (1) le fluide résiduel lié à la cristallisation de la monzonite et (2) le fluide hydrothermal lié à la minéralisation aurifère à la mine Camflo. Ces deux fluides ont des températures d'homogénéisation et des salinités nettement distinctes.

Cependant, nous désirons rappeler que la température d'homogénéisation ne correspond pas nécessairement à la température de formation. En effet, nous ne proposons pas que le quartz magmatique de la monzonite ait cristallisé à environ 130°C; il a certainement été formé à une température plus élevée. Pour déterminer cette température, il

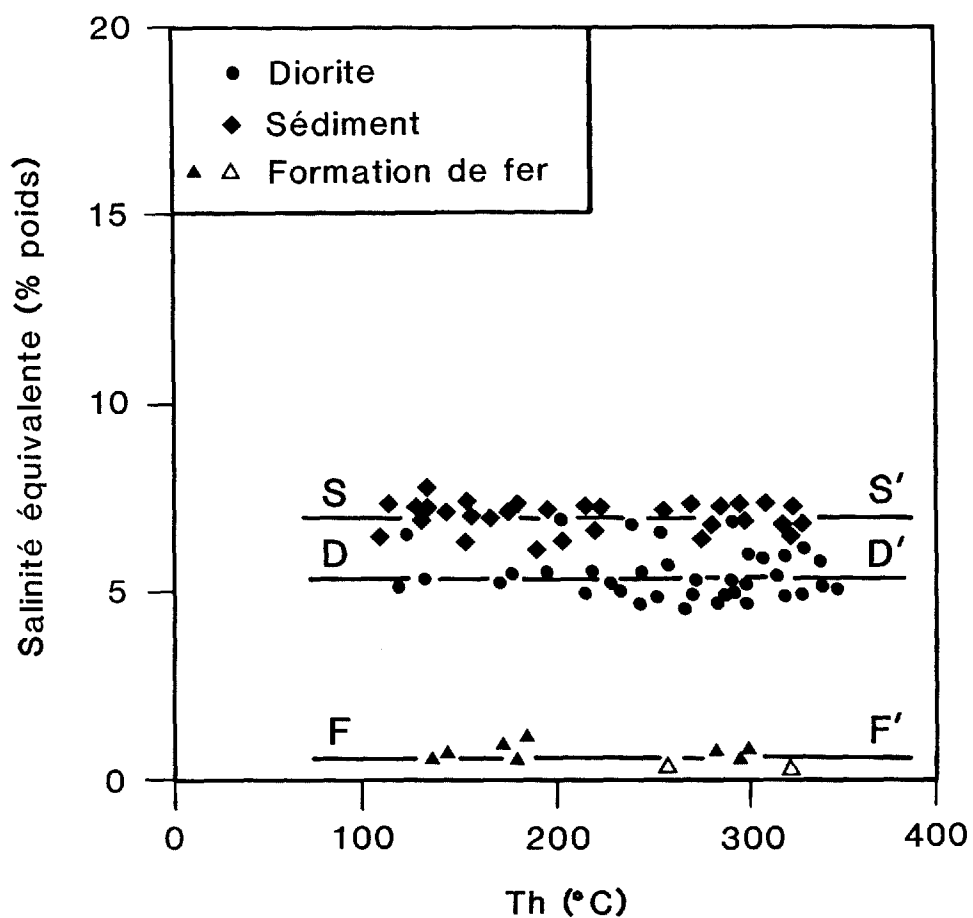


Figure 27 - Salinité et température d'homogénéisation des inclusions aqueuses (symboles pleins) et des inclusions aquacarboniques (symboles vides) dans les veines de quartz - pyrite de la diorite, du sédiment et de la formation de fer.

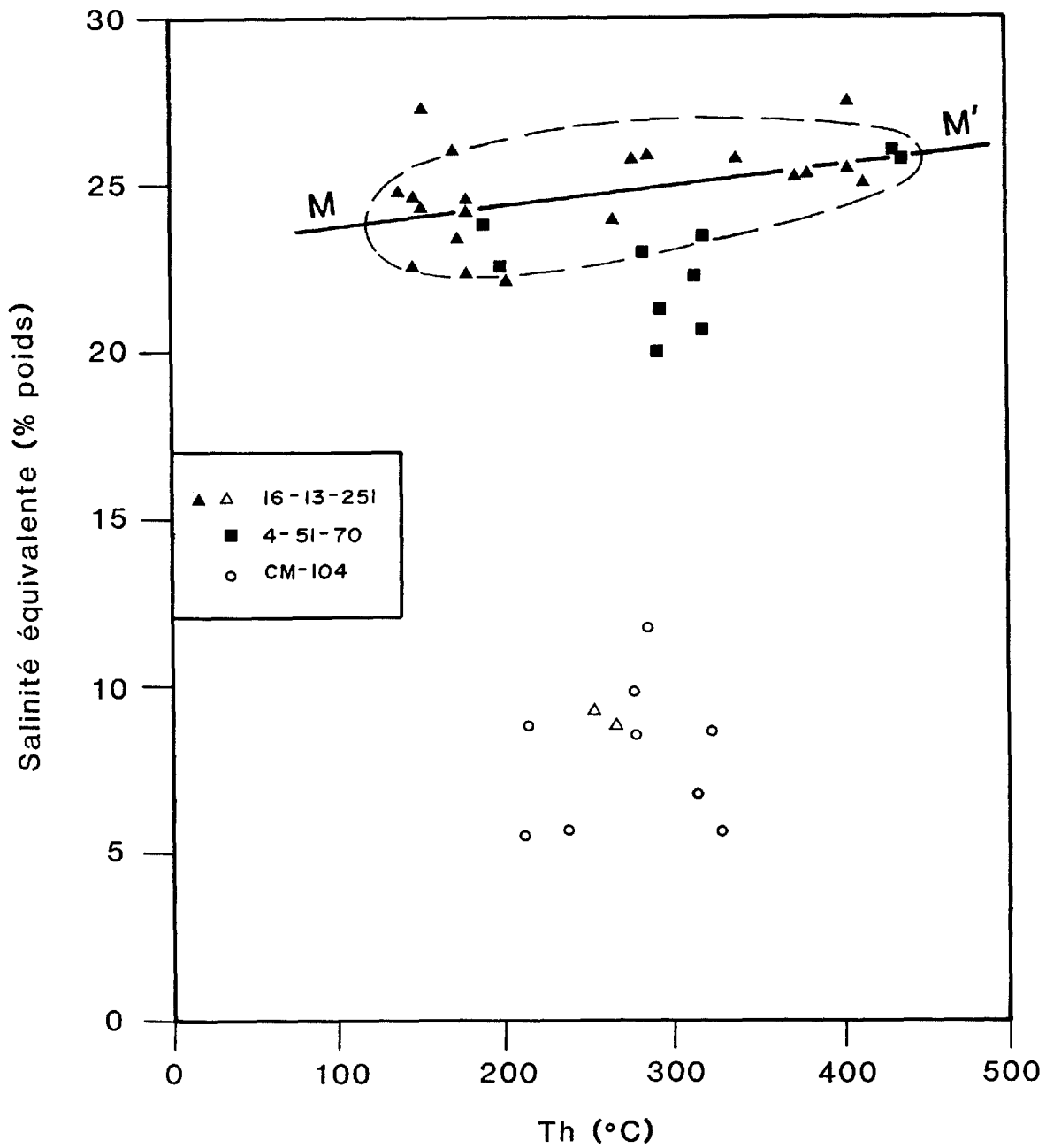


Figure 28 - Salinité et température d'homogénéisation des inclusions primaires aqueuses (symboles pleins) et aquacarboniques (symboles vides) dans le quartz magmatique de la monzonite.

faudrait ajouter à la température d'homogénéisation une correction pour la pression, qui est elle-même fonction de la profondeur de mise en place de l'intrusion. Par contre, si nous assumons que la formation des veines et la minéralisation aurifère ont eu lieu après une période d'érosion considérable, à une profondeur relativement faible, la correction pour la pression devient négligeable et la température d'homogénéisation correspond à la température de formation des veines aurifères, que nous estimons à environ 300°C.

Ainsi, des cinq veines étudiées dans le minerai de monzonite, nous croyons que quatre sont directement reliées à la minéralisation aurifère (DC-B, DC-24-20, 16-24-66 et 16-7-232). Quant à la cinquième (DC-P1), ses caractéristiques tout à fait similaires à celles du quartz magmatique de la monzonite nous portent à croire qu'elle appartient au groupe de veines précoces pré-minéralisation reconnues à la mine, et qu'elle est reliée de près à la phase finale de cristallisation de la monzonite.

6.2 CONSIDERATIONS CHIMIQUES

Compte tenu de la nette différence de salinité entre l'échantillon DC-P1 et les quatre autres échantillons provenant de la cheminée minéralisée (figure 26), il est raisonnable de maintenir cette distinction. Tel qu'indiqué sur les figures 12a et 14b, la veine de quartz de l'échantillon DC-P1 a été formée à partir d'une solution riche en Na et Cl. La figure 29 montre que 13 analyses sur 20 de l'échantillon DC-P1 sont très riches en Cl ($Cl/(Na + K) > 1,50$). Cet excès de Cl par rapport aux alcalis (analyses situées au-dessus de la ligne NaCl + KCl) indique la présence d'autres chlorures dans la solution, tel que le

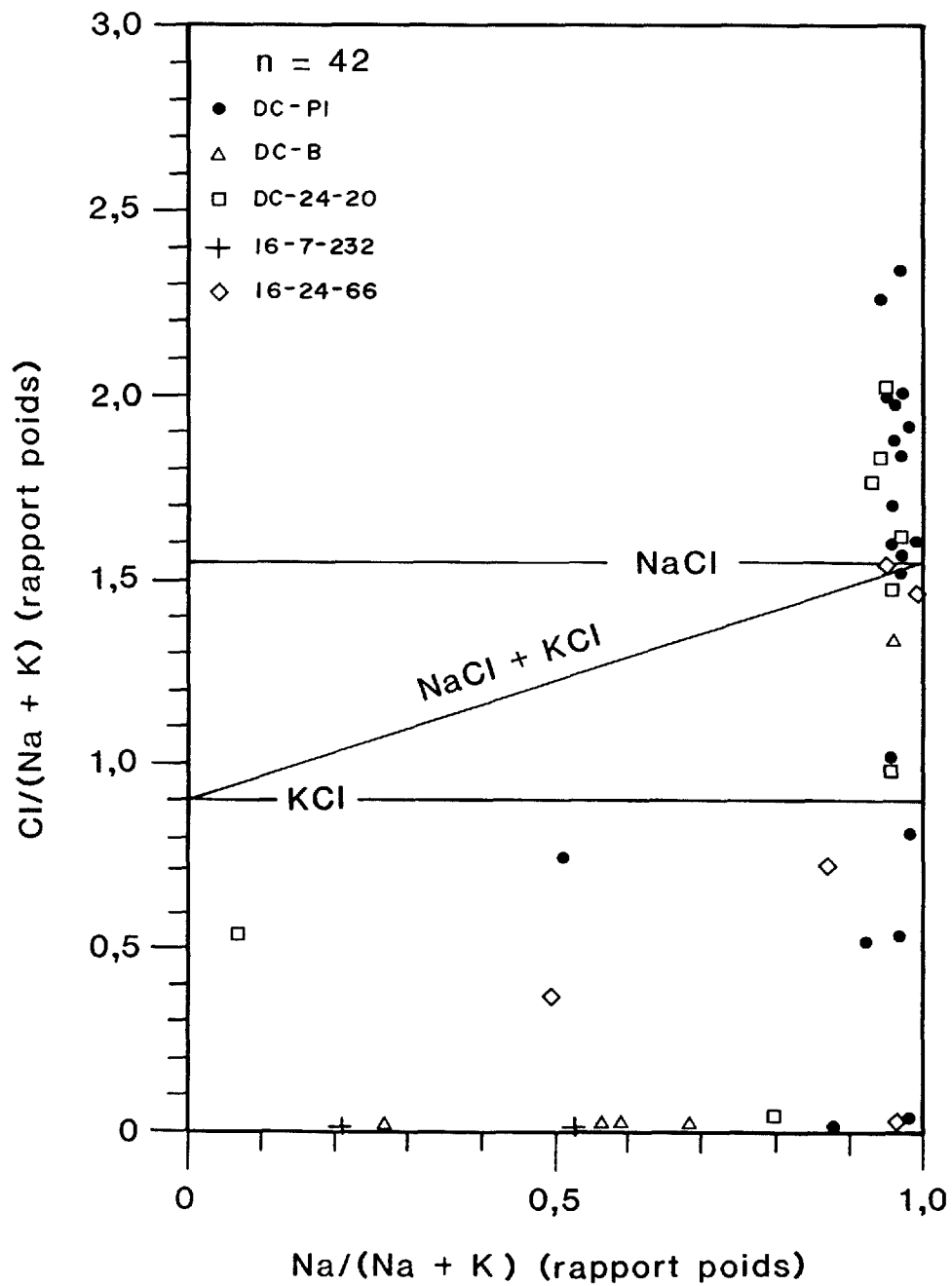


Figure 29 - Variation des rapports $\text{Na}/(\text{Na} + \text{K})$ et $\text{Cl}/(\text{Na} + \text{K})$ pour les inclusions fluides des veines de quartz - pyrite de la zone de minerai de la cheminée monzonitique.

CaCl_2 . Cette conclusion est en accord avec la T_f de certaines inclusions, dont la valeur est inférieure à -21°C (figure 5). Sept analyses de l'échantillon DC-P1 montrent un déficit en Cl par rapport aux alcalis (en-dessous de la ligne $\text{NaCl} + \text{KCl}$, figure 29). Cette carence suggère que le fluide était hétérogène (présence de phases riches en vapeur et en liquide). Sur la figure 30, ces sept analyses contiennent plus de S ($\text{S}/(\text{Na} + \text{K}) > 0,5$) que les 13 analyses riches en Cl ($\text{S}/(\text{Na} + \text{K}) > 0,20$). En général, la phase riche en vapeur contient plus de S que de Cl (White et al., 1971). Nous proposons donc que les inclusions riches en S à la mine Camflo se sont formées à partir d'un fluide à phase vapeur dominante. Compte tenu de la plus grande abondance des inclusions riches en Cl, la composition moyenne du fluide parental de l'échantillon DC-P1 est évaluée à partir des modes des histogrammes (figures 12, 13 et 14) et est présentée au tableau 1.

Dans le cas des quatre autres échantillons de la cheminée minéralisée, la plupart des analyses montrent un déficit en Cl par rapport au total des alcalis: 15 analyses sur 20 se situent en-dessous de la ligne $\text{NaCl} + \text{KCl}$ (figure 29). Le rapport $\text{Na}/(\text{Na} + \text{K})$ pour ces analyses varie beaucoup, passant de 0,50 à 0,95. La figure 30 montre que les rapports $\text{S}/(\text{Na} + \text{K})$ pour les inclusions pauvres en Cl sont généralement supérieurs à 0,48. Compte tenu de ces données, nous suggérons que le fluide parental de ces quatre échantillons était dominé par des composés solubles d'alcalis et de soufre sous forme de sulfites ou de sulfates. La faible quantité d'inclusions riches en Cl (5 analyses, figure 30) dans ces échantillons s'explique encore une fois par l'hétérogénéité du fluide. La grande quantité d'inclusions riches en S

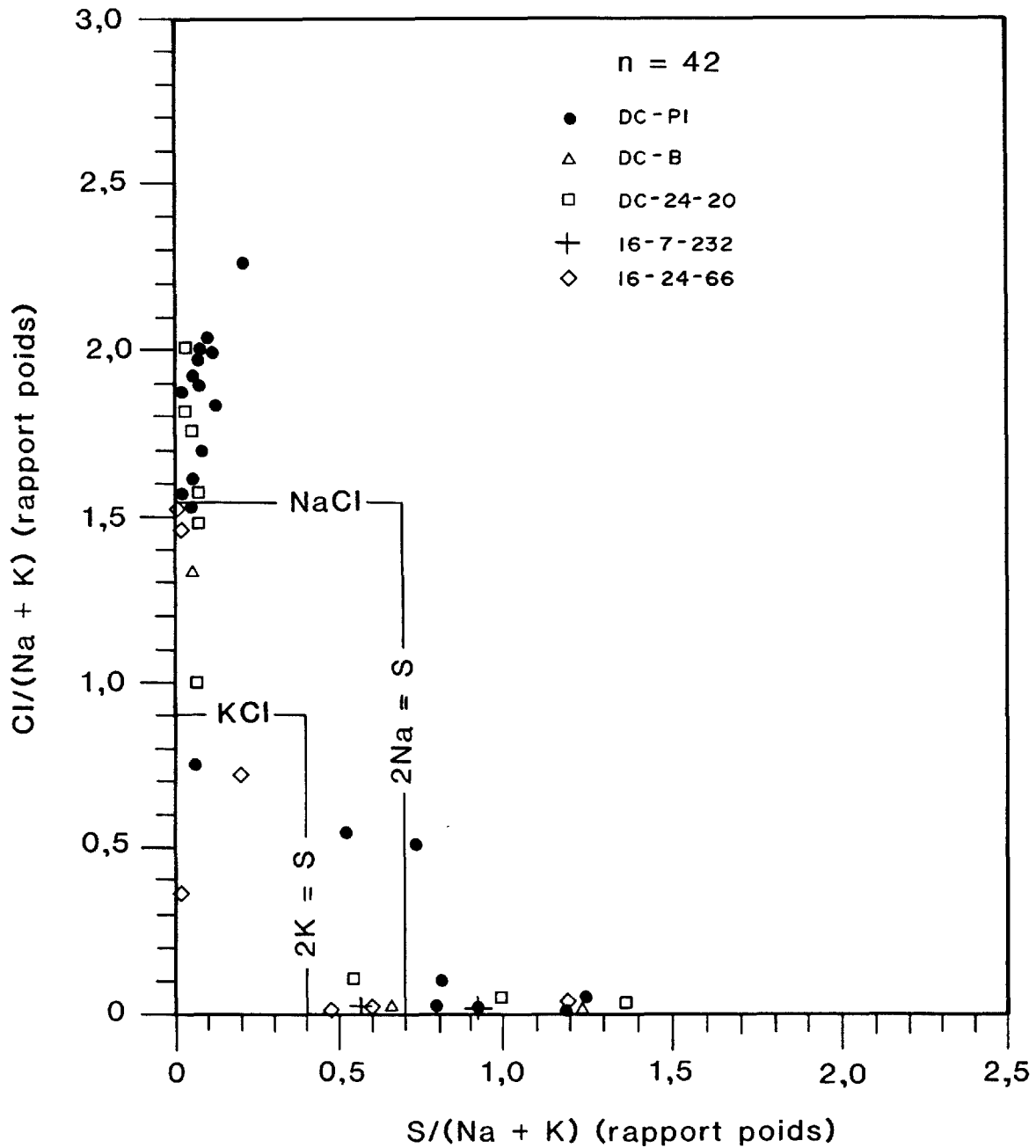


Figure 30 - Variation des rapports Cl/(Na + K) et S/(Na + K) des inclusions fluides des veines de quartz - pyrite de la zone de minerai de la cheminée monzonitique. Les lignes pour les chlorures et les sulfites ou les sulfates sont indiquées.

TABEAU 1 - Quantités relatives des éléments dans les inclusions fluides de la mine Camflo (rapports poids) pour (Na + K) = 1, d'après les analyses à la microsonde.

Elements	Veines de quartz dans le minerai de monzonite			Minerai de diorite
	DC-P1	DC-24-20, DC-B, 16-7-232 16-24-66		24-168-1655
	Riche en Cl	Riche en S (dominant)	Riche en Cl (subordonné)	Riche en S
Na	0,9689	0,7141	0,9583	0,9191
K	0,0311	0,2859	0,0417	0,0809
Ca	0,0796	-----	0,0189	0,1303
Mg	-----	-----	0,0050	-----
Al	0,0030	-----	-----	-----
Mn	0,0064	0,0058	0,0062	0,0073
Fe	0,0044	0,0205	0,0173	0,0122
Ba	0,0238	0,0161	0,0176	-----
S	0,0698	0,8972	0,0466	0,9051
Cl	1,8693	0,0144	1,6372	0,0403

(-) quantité relative inférieure à la limite de détection

nous suggère que le fluide riche en S était un constituant majeur dans le système minéralisateur, tandis que le fluide riche en Cl était un constituant mineur. Les compositions relatives de ces deux constituants dans les quatre échantillons provenant du minerai de la cheminée de monzonite sont indiquées au tableau 1.

Sur la base de ces compositions moyennes, le fluide minéralisateur riche en S apparaît très différent du fluide riche en Cl de l'échantillon DC-P1. Le fluide riche en S a tendance à être relativement plus riche en K par rapport au Na. Il est intéressant de noter que le fluide lié aux veines dans la diorite appartient également au type riche en S (tableau 1).

7 DISCUSSION

7.1 PHASES RICHES EN CO₂ ET EN S

La présence d'inclusions aqueuses, aquacarboniques et carboniques représente une caractéristique commune des dépôts aurifères archéens de la région de Val d'Or - Cadillac incluant les gîtes Camflo (cette étude), Sigma - 2 (Lao et al., 1985), Sigma (Robert et Kelly, 1984), New Pascalis (Lao et al., 1986), et Doyon (Guha et al., 1982). La coexistence de ces différents types d'inclusions dans le même système et dans le même grain de quartz est due à l'hétérogénéité des phases présentes dans le système de fluides. D'après les données expérimentales de Bowers et Helgeson (1983), cette hétérogénéité s'explique par une séparation des phases fluides lors de l'abaissement de température et de pression. La présence d'inclusions aqueuses presque pures (avec une quantité négligeable de CO₂) et d'inclusions carboniques presque pures (avec une quantité

négligeable de H₂O) indique la coexistence de ces deux phases dans le système de fluides relié au gisement de Camflo. Dans le cas des inclusions aquacarboniques, elles peuvent être interprétées comme résultant de l'emprisonnement d'un mélange homogène ou hétérogène des phases H₂O et CO₂. Les inclusions aquacarboniques de Camflo ont une salinité inférieure à celle des inclusions aqueuses associées (figure 26). Etant donné que dans un mélange homogène de CO₂ et de H₂O, la salinité varie très peu en fonction de la quantité de CO₂ présente dans la solution, il est plus probable que ces inclusions aquacarboniques représentent un mélange hétérogène de H₂O et de CO₂.

Tel que mentionné précédemment, le fluide aqueux de Camflo est composé de deux phases chimiquement distinctes: (1) la phase prédominante riche en S et (2) la phase subordonnée riche en Cl. Trois phases fluides coexistaient donc dans le système hydrothermal de Camflo: la vapeur riche en CO₂, la phase aqueuse riche en S et la phase aqueuse riche en Cl. La coexistence de phases riches en CO₂ et en S explique la relation directe entre la carbonatation et la pyritisation. Ces deux types d'altération sont intimement associés à la minéralisation aurifère dans la cheminée de monzonite.

Selon les données lithogéochimiques de Chainey (1983), la quantité d'or dans la monzonite montre généralement une corrélation positive avec le rapport S/(S + CO₂) (figure 31). De plus, Chainey (1983) a également démontré qu'il existe une relation directe entre les quantités de CaO et de CO₂ dans la monzonite, le long de la droite représentant la composition de la calcite (figure 32). Ces relations suggèrent que la précipitation de l'or est favorisée par la fixation du S sous forme de

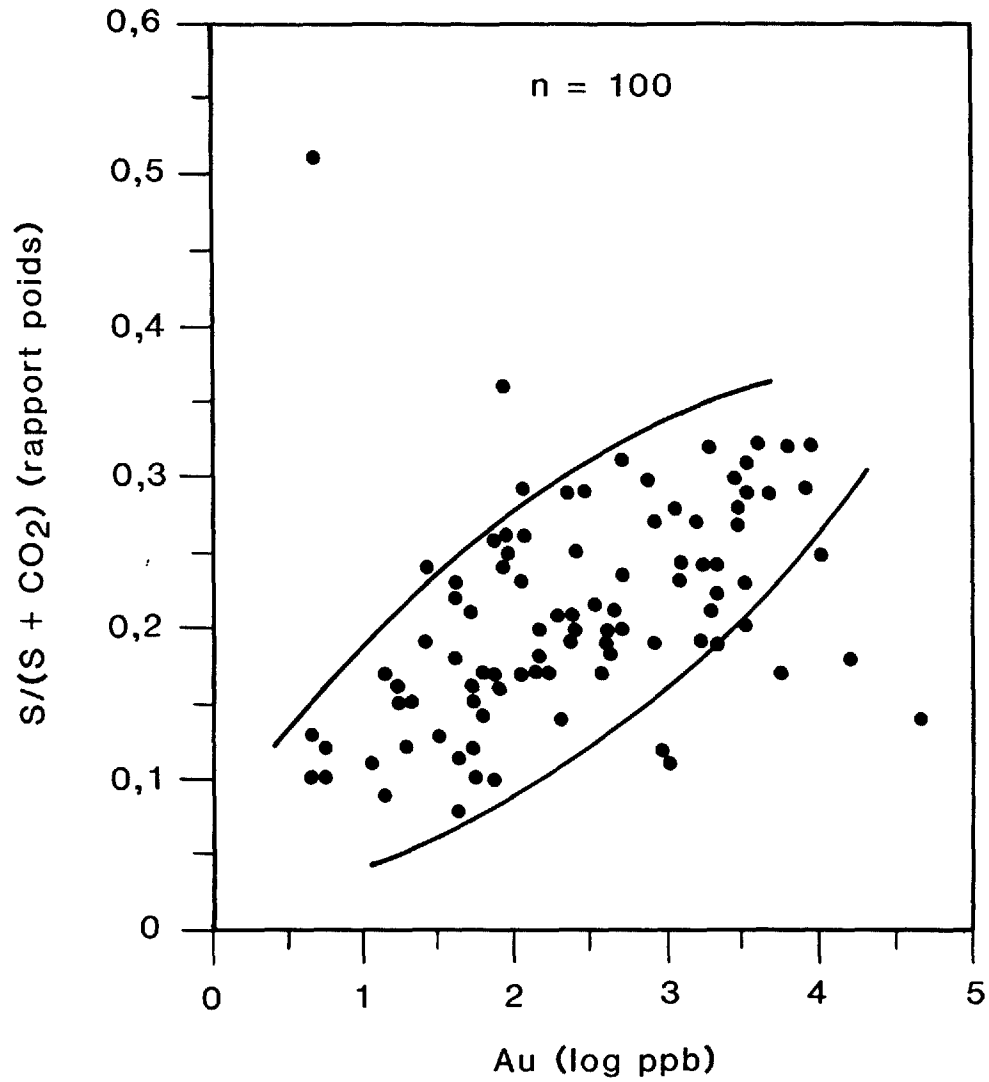


Figure 31 - Variation de l'or en fonction du rapport $S/(S + CO_2)$ dans la cheminée monzonitique. Le champ indiqué comprend approximativement 90% des points.

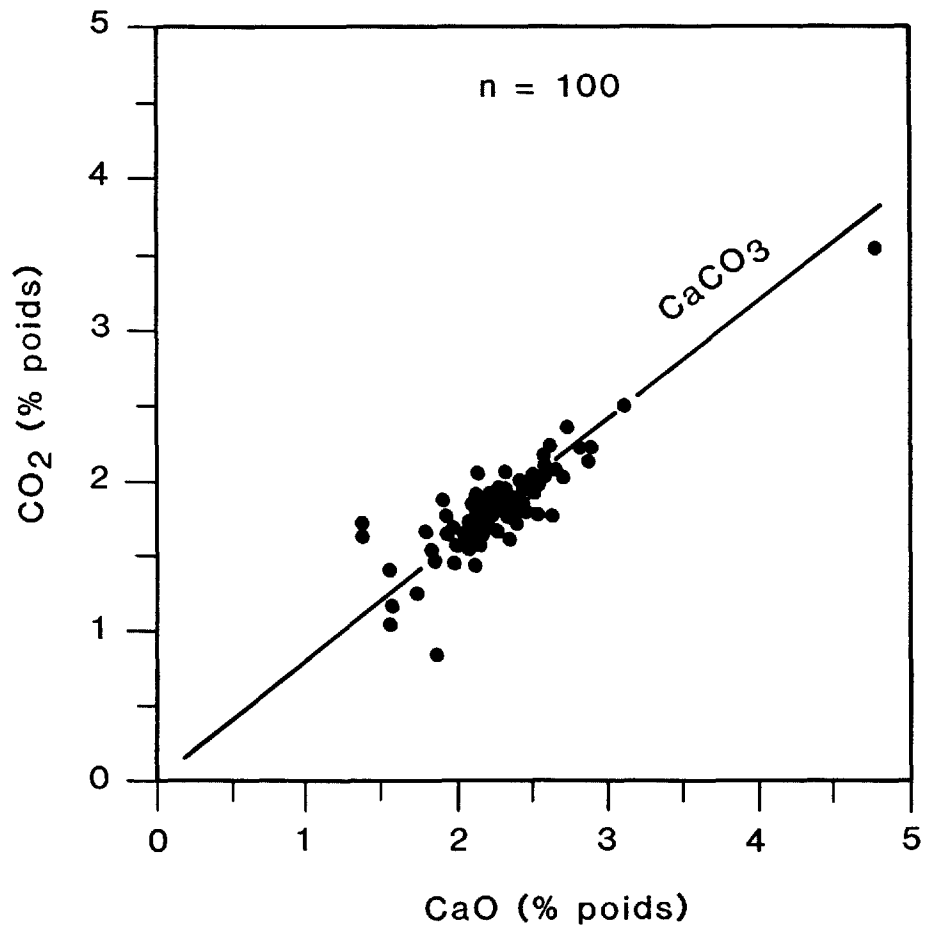


Figure 32 - Variation du CaO et du CO₂ dans la cheminée monzonitique (d'après Chainey, 1983). Tous les points tombent sur la ligne représentant CaCO₃.

sulfures (Sauvé et Makila, 1987) et du CO_2 sous forme de carbonates dans la monzonite altérée. Dans le cas de la minéralisation aurifère à Camflo, le transport de l'or en solution était lié aux complexes de S et de CO_2 .

En conclusion, le fluide lié à la minéralisation à Camflo était hétérogène et composé essentiellement d'une phase aqueuse riche en S avec une quantité moindre de vapeur riche en CO_2 et une quantité minime de phase aqueuse riche en Cl. Le S et le CO_2 ont joué un rôle important dans le transport et la précipitation de l'or.

7.2 RELATION ENTRE LA MINERALISATION ET L'ALTERATION SODIQUE

Les observations pétrographiques démontrent que la monzonite de Camflo est fortement altérée à travers l'ensemble de la cheminée intrusive. Les minéraux d'altération communs sont la séricite, la biotite, le carbonate et la chlorite. De petits grains disséminés de pyrite sont présents partout dans le corps monzonitique. Dans le contexte général de la minéralisation et de l'altération hydrothermale, la présence de pyrite est liée à celle des minéraux d'altération.

La monzonite, minéralisée ou non, contient de la microcline et de l'albite en proportions relativement constantes tel qu'indiqué par les rapports poids de $\text{Na}_2\text{O}/(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ dans les analyses de roches totales (figure 33). La plupart des échantillons (80%) montrent un pic bien défini pour leurs rapports $\text{Na}_2\text{O}/(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ qui se situe à l'intérieur d'un étroit intervalle compris entre 0,35 et 0,55. L'autre 20% des échantillons montre un enrichissement en Na_2O . La texture magmatique primaire de la microcline et de l'albite est généralement bien préservée

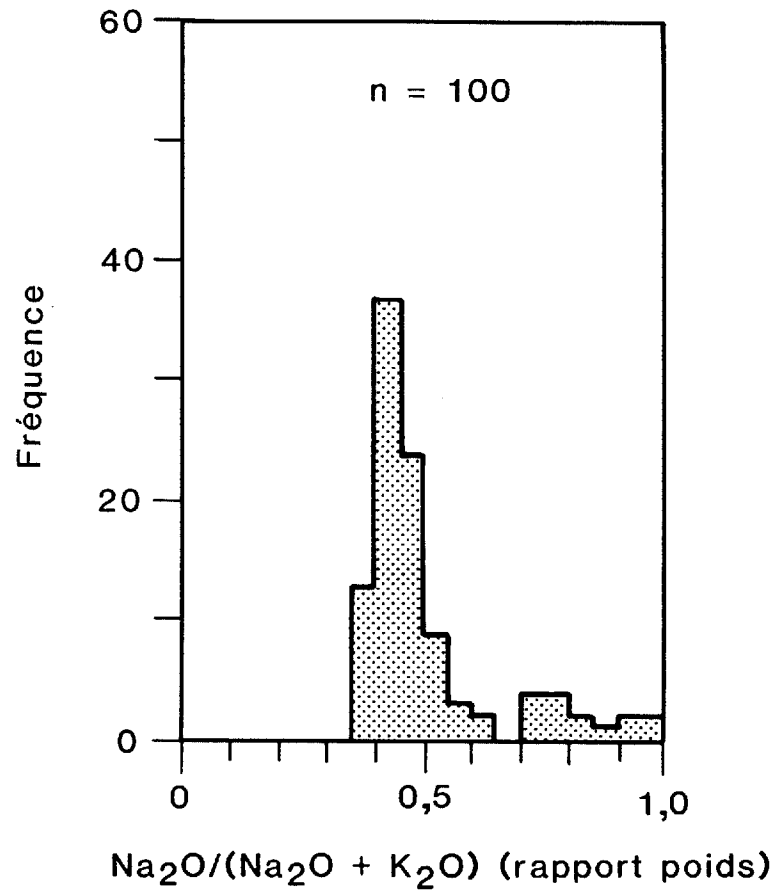


Figure 33 - Quantité relative de Na₂O par rapport au total des alcalis dans la cheminée monzonitique.

dans la monzonite (Sauvé et Makila, 1987). Nous estimons donc que le rapport poids quasi-constant de $\text{Na}_2\text{O}/(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ représente une caractéristique primaire de la monzonite de Camflo plutôt que l'effet de l'altération hydrothermale.

Lors de l'interaction entre le fluide minéralisateur et la monzonite, du S et du CO_2 ont été ajoutés à la roche tel qu'indiqué par l'altération en pyrite et en carbonate. Nous sommes également intéressés à savoir si la minéralisation a modifié le rapport Na/K primaire de la monzonite.

La figure 34 montre que les rapports poids de $\text{S}/(\text{S} + \text{CO}_2)$ pour la monzonite varient entre 0,08 et 0,36. Cette variation indique que la carbonatation et la pyritisation peuvent agir localement en sens inverse. C'est-à-dire qu'une carbonatation intense n'est pas forcément accompagnée d'une pyritisation intense et vice versa. Sur la figure 34, on constate que les rapports poids de $\text{Na}_2\text{O}/(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ de 80% des échantillons de monzonite se situent entre 0,35 et 0,50 quel que soit leur rapport $\text{S}/(\text{S} + \text{CO}_2)$. Cette variation limitée du rapport $\text{Na}_2\text{O}/(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ suggère que l'interaction du fluide minéralisateur avec la monzonite n'a pas provoqué un changement important du rapport Na/K dans la plupart des roches altérées. De plus, ce 80% des échantillons montrant une variation limitée de leurs rapports $\text{Na}_2\text{O}/(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ possède des teneurs en or qui vont de 10 à 10 000 ppb (figure 35). Ces données montrent clairement que les rapports $\text{Na}_2\text{O}/(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ de 80% des échantillons sont indépendants du contenu en or ou en S de la roche.

Seulement 20% des échantillons de monzonite ont des rapports $\text{Na}_2\text{O}/(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ plus élevés (entre 0,50 et 0,96; figure 34). Ces

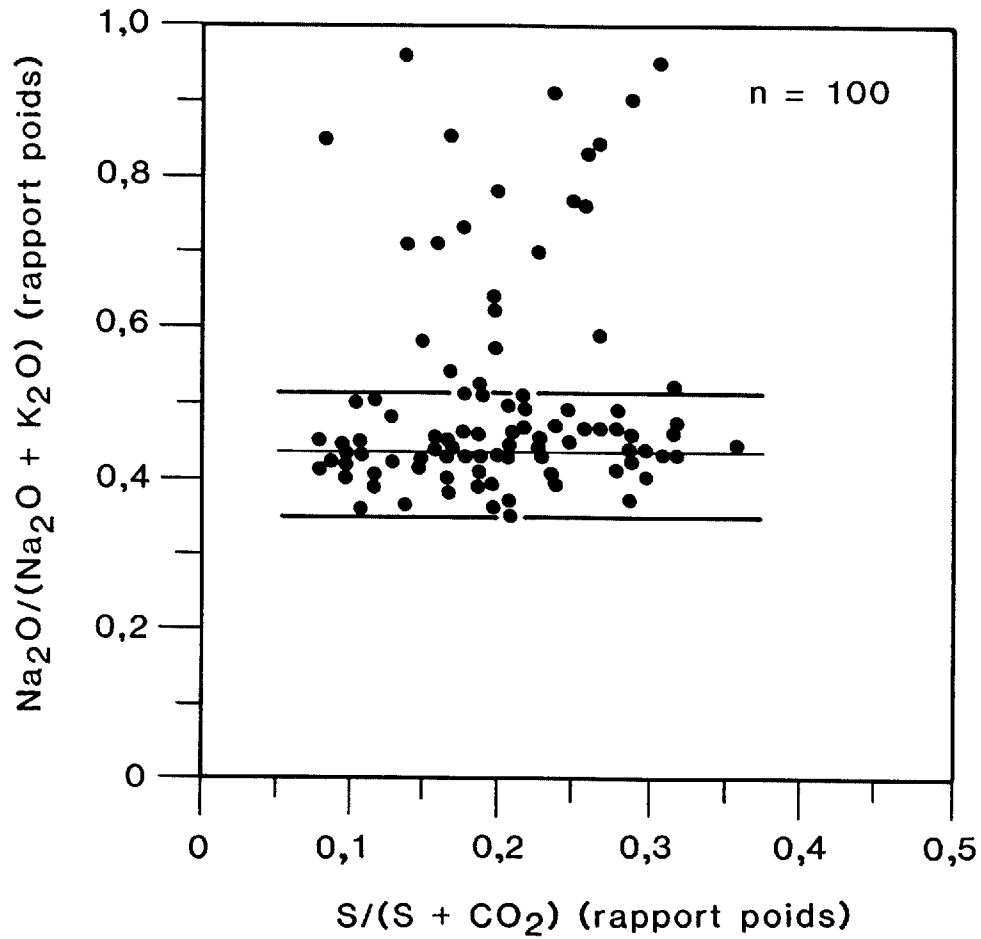


Figure 34 - Diagramme $\text{S}/(\text{S} + \text{CO}_2)$ versus $\text{Na}_2\text{O}/(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ dans la cheminée monzonitique.

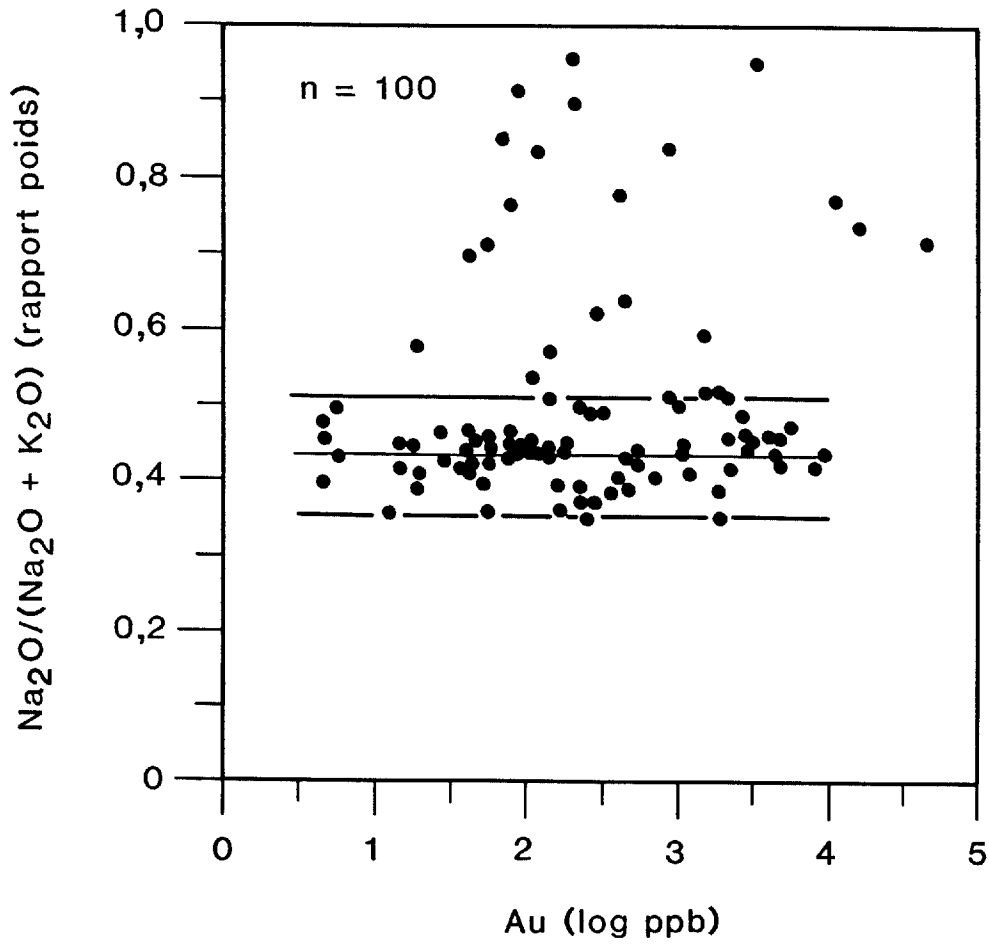


Figure 35 - Variation de l'or en fonction du rapport Na₂O/(Na₂O + K₂O) dans la cheminée monzonitique.

rapports élevés sont indépendants de la teneur en S de la roche. Bien que la corrélation ne soit pas parfaite, la teneur en or dans ces échantillons augmente généralement avec l'accroissement du rapport $\text{Na}_2\text{O}/(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ (figure 35). Par conséquent, il semble que l'altération hydrothermale liée à la minéralisation aurifère ajoute du Na ou lessive du K des roches affectées. Sauvé et Makila (1987) ont noté que la monzonite encaissante des veines était localement albitisée. L'albite prédomine sur la microcline dans ces endroits. La localisation restreinte de cette altération sodique (albitisation) rend cependant difficile l'évaluation de son importance pour la précipitation de l'or, en comparaison de la pyritisation et de la carbonatation qui affectent l'ensemble du corps monzonitique.

En résumé, lors de l'altération hydrothermale, le rapport primaire $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ de la plupart des échantillons de monzonite n'a pas été affecté de façon significative. Seulement quelques échantillons montrent une augmentation de leur valeur en Na_2O , liée à l'albitisation locale dans les épontes de certaines veines. L'albitisation associée à la minéralisation aurifère est commune en Abitibi dans les mines Eldrich (Trudel et al., 1987), Sigma (Robert, 1983), Lamaque (Daigneault, 1983), Elder et Callahan (Trudel et al., données non publiées).

7.3 COMPARAISON AVEC D'AUTRES GISEMENTS

Les données disponibles sur les inclusions fluides provenant des gisements d'or archéens sont peu abondantes. En général, elles se limitent aux résultats thermométriques. Présentement, des données thermochimiques ne sont disponibles que pour quelques gisements de la

région de Val d'Or - Cadillac. Nous limiterons donc nos comparaisons aux gisements de cette région.

Les fluides minéralisateurs liés aux gisements aurifères de la région de Val d'Or - Cadillac montrent une grande variation dans leur salinité, qui fluctue entre 3,2 et 26,8% poids éq. NaCl (figure 36). Le groupe à faible salinité (moins de 5% poids) comprend les fluides provenant des gisements Swanson (Lao et Perrault, 1987), New Pascalis (Lao et al., 1986) et la zone 2 de Doyon (Lao et Perrault, données non publiées). Ce groupe à faible salinité correspond à plusieurs autres gisements aurifères. Par exemple, dans le bloc Yilgarn de l'Australie de l'ouest, les fluides reliés à six gisements d'or montrent une salinité inférieure à 4% poids (Groves et al., 1984).

Le groupe à salinité élevée (plus de 20% poids) comprend les fluides provenant des gisements Sigma (Robert et Kelly, 1984) et de la zone 3 de Doyon (Lao et Perrault, 1987). Ces fluides à salinité élevée sont rares dans les gisements d'or. La salinité de ces fluides est plutôt comparable à celle des gisements de cuivre porphyrique dans les roches granitiques (Ahmad et Rose, 1970; Roedder, 1971 et Cloke et Kesler, 1979).

Dans le cas des gisements Camflo et Sigma - 2, leurs salinités respectives de 7,5% poids (cette étude) et de 11% poids (Lao et al., 1985) les situent à une position intermédiaire entre les deux groupes mentionnés précédemment (figure 36). Cette salinité intermédiaire est également peu commune pour les gisements d'or archéens situés dans des terrains métavolcaniques.

Du point de vue de leur température d'homogénéisation, tous les

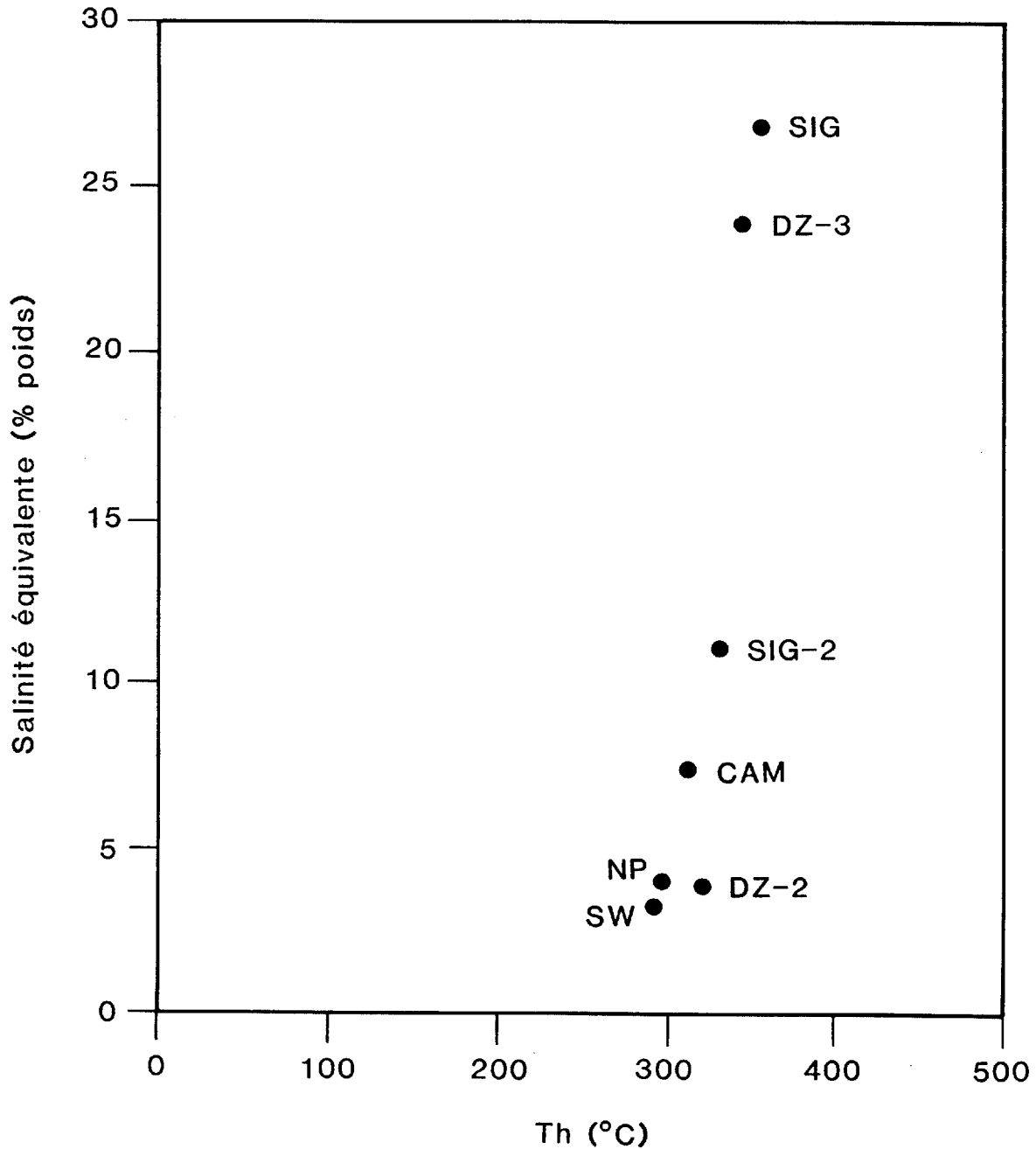


Figure 36 - Diagramme salinité versus température d'homogénéisation pour les gisements aurifères de la région de Val d'Or-Cadillac; (CAM) Camflo, (DZ-2) Doyon Zone-2, (DZ-3) Doyon Zone-3, (NP) New Pascalis, (SIG) Sigma, (SIG-2) Sigma-2 et (SW) Swanson.

gisements mentionnés ci-haut se situent à l'intérieur d'un étroit intervalle de température variant entre 290 et 350°C (figure 36). La température moyenne de 310°C obtenue pour Camflo est donc comparable à celles des autres gisements de la région. Cet intervalle de température reflète les conditions liées à la déstabilisation des complexes d'or et à la précipitation de ce métal.

Du point de vue chimique, les fluides aqueux minéralisateurs liés aux six gisements d'or étudiés se divisent en deux groupes: (1) les fluides riches en Cl et (2) les fluides riches en S (figure 37). Les fluides riches en Cl sont les plus abondants dans les systèmes hydrothermaux modernes. La teneur en Cl de ces fluides excède la quantité nécessaire pour balancer la somme de (Na + K) alors que les rapports poids S / (Na + K) sont de moins de 0,20. Cette catégorie comprend les fluides provenant des gisements Sigma, Sigma - 2, la zone 2 de Doyon et les veines subhorizontales de New Pascalis. Tel que mentionné précédemment, le fluide riche en Cl est cependant un constituant mineur dans le système de Camflo.

Le fluide riche en S est d'un type inusité, contenant plus de S que nécessaire pour former des sulfates (SO_4) ou des sulfites (SO_3) d'alcalis. Cette catégorie comprend les fluides des gisements Swanson, la zone 3 de Doyon et les veines subverticales de New Pascalis (figure 37). Le tableau 1 indique que le rapport moyen S/(Na + K) pour le fluide principal du système de Camflo est d'environ 0,90. Le fluide hydrothermal de Camflo est considéré comme un type riche en S plutôt que riche en Cl.

Le diagramme combinant la salinité et les rapports poids de Cl/(Cl +

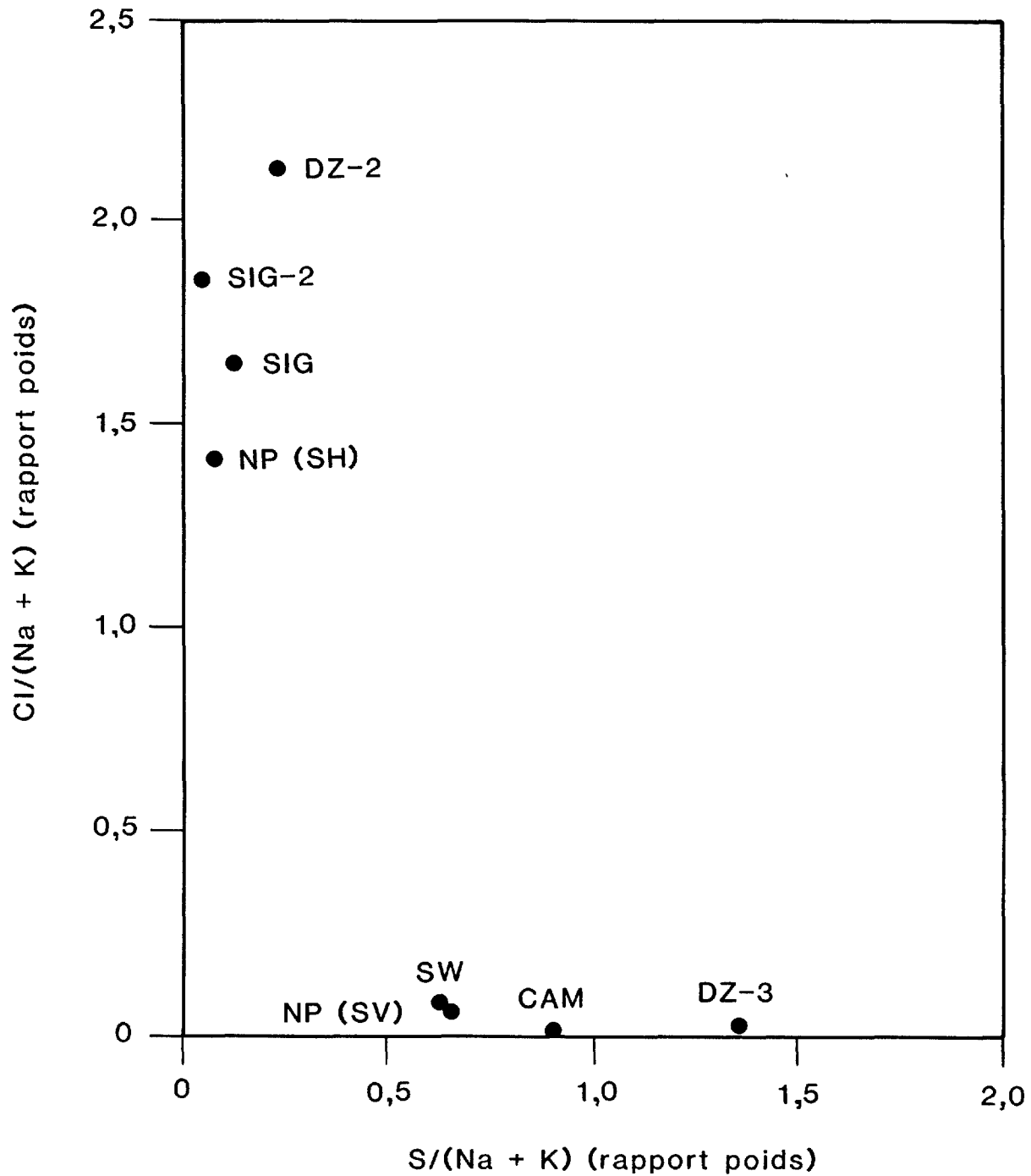


Figure 37 - Diagramme S/(Na + K) versus Cl/(Na + K) pour les gisements aurifères de la région de Val d'Or-Cadillac. Pour New Pascalis: SH = veines sub-horizontales, SV = veines sub-verticales.

S) (figure 38) montre clairement que les deux fluides (riche en Cl et riche en S) peuvent jouer un rôle important dans la formation des gisements d'or archéens. Néanmoins, la salinité peut être très variable dans les deux types de fluides. Les données tirées de l'étude de ce nombre limité de gisements suggèrent que les gisements à teneur élevée (telle la zone 3 de la mine Doyon: 9 g/t Au) ont tendance à être liés à un fluide riche en S et à salinité élevée. Toutefois, d'autres analyses devront être faites afin de vérifier cette observation.

7.4 ORIGINE DES FLUIDES MINERALISATEURS

Les fluides aqueux impliqués dans les systèmes hydrothermaux modernes peuvent être divisés en trois types principaux: (1) la solution de chlorure classique (solution - Cl), (2) la solution acide de sulfate (solution - SO_4) et (3) la solution de bicarbonate (solution - HCO_3) (White et al., 1971). Les deux premiers types peuvent être rattachés aux fluides riches en Cl et en S identifiés dans cette étude. Le troisième type est retrouvé moins fréquemment dans nos analyses d'inclusions fluides. La solution mixte (HCO_3 - SO_4) est fréquente dans les systèmes naturels, tandis que les solutions (Cl - SO_4), (Cl - HCO_3) et surtout (Cl - SO_4 - HCO_3) sont rares.

Puisque le fluide de Camflo est riche en S plutôt qu'en Cl, la solution - SO_4 mentionnée précédemment est la plus importante dans ce gisement. Selon les données de White et al. (1971), la solution - SO_4 est généralement associée avec des systèmes hydrothermaux dominés par la phase vapeur. Dans l'environnement des gisements d'or archéens, ce fluide riche en vapeur peut être formé par le dégazage: (1) d'un fluide

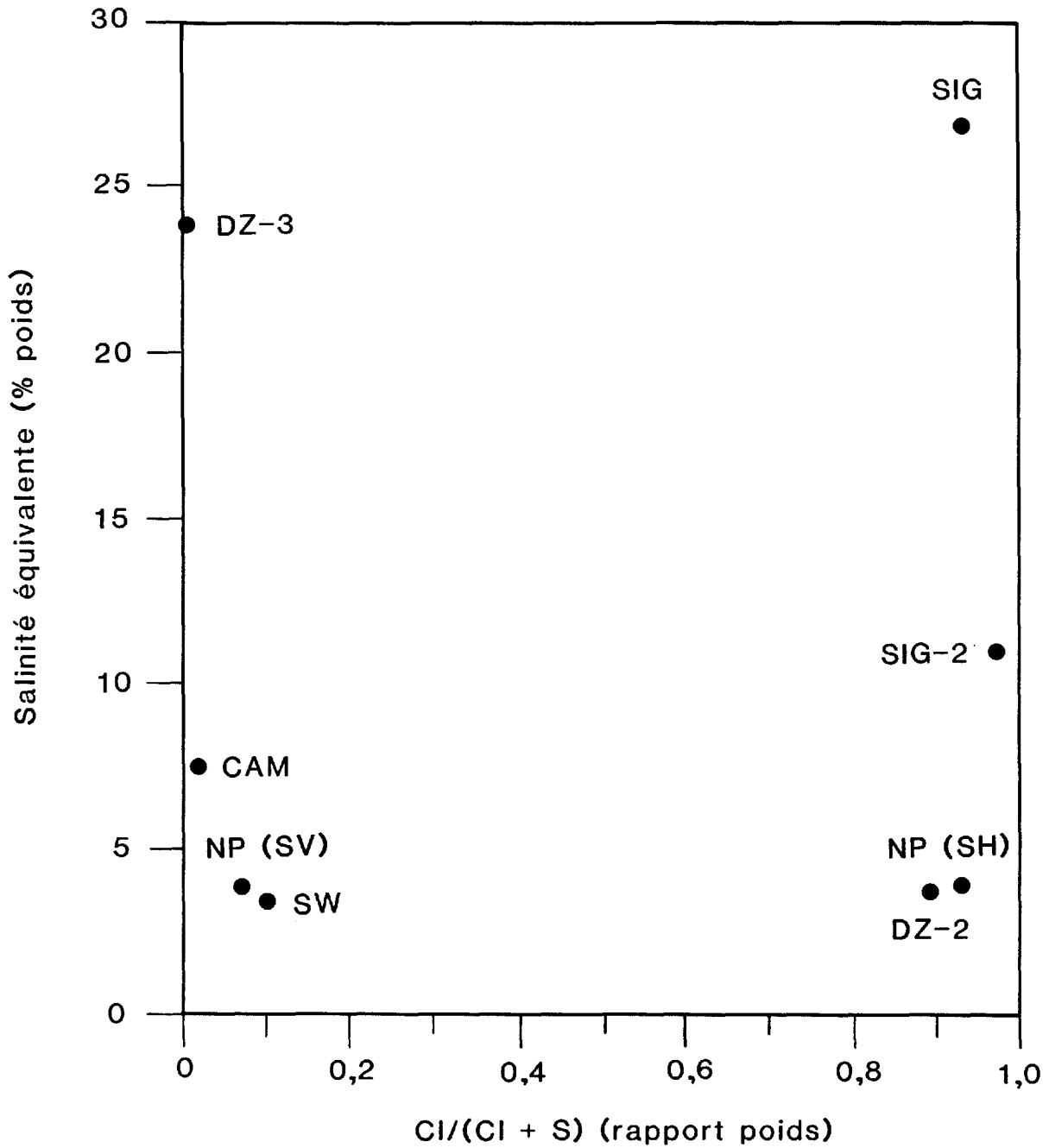


Figure 38 - Variation de la salinité en fonction du rapport Cl/(Cl + S) pour les gisements aurifères de la région de Val d'Or-Cadillac.

métamorphique; (2) d'un fluide interstitiel ou (3) d'un fluide magmatique.

Le dégazage d'un fluide métamorphique peut se produire suite à des réactions de déshydratation lors du métamorphisme prograde. Dans ces conditions, les minéraux sont recristallisés en phases anhydres à haute température et l'excédent d'eau est libéré. Selon Kerrich et Fyfe (1981), Kerrich et Hodder (1982) et Fyfe et Kerrich (1982), le fluide métamorphique est caractérisé par une faible salinité (bien inférieure à 3,5% poids) et par une teneur élevée en K ($K/(Na + K) \geq 0,5$). Ces auteurs proposent qu'à la profondeur des réactions de déshydratation, la quantité de fluide interstitiel riche en Cl présent dans les roches est négligeable en raison du manque de porosité. Le dégazage d'un fluide métamorphique génère donc une faible quantité de Cl étant donné la quasi-absence de Cl dans les roches-hôtes et en particulier dans les minéraux hydratés. Le rapport $Cl/(Na + K)$ des fluides métamorphiques est donc probablement très faible. Selon White (1957), le fluide métamorphique possède une haute teneur en HCO_3 , généralement plus élevée que le Cl. De plus, comme pour le Cl, le rapport poids $S/(Na + K)$ du fluide métamorphique généré par le dégazage devrait être faible. Les caractéristiques du fluide métamorphique: faible salinité, rapport $K/(Na + K)$ élevé et faible rapport $S/(Na + K)$ sont donc incompatibles avec les données des inclusions de Camflo (salinité de 7,5% poids; faible rapport $K/(Na + K) < 0,29$ et rapport élevé $S/(Na + K) = 0,90$). Le seul paramètre du fluide de Camflo qui est similaire au fluide métamorphique est le faible rapport $Cl/(Na + K) = 0,01$. On a récemment proposé le dégazage d'un fluide métamorphique comme étant le principal mécanisme de

production des fluides aurifères archéens (Kerrick et Fyfe, 1981; Kerrich et Hodder, 1982). Il est impossible toutefois d'établir une relation entre ce type de fluide et les données des inclusions de la mine Camflo.

A cause de difficultés d'échantillonnage, les paramètres thermochimiques des fluides provenant du dégazage d'un fluide interstitiel ou d'un fluide magmatique demeurent inconnus. On ignore également les différences compositionnelles entre le liquide interstitiel ou magmatique originel riche en Cl et en Na et le fluide riche en vapeur qui en dérive. Selon les travaux de Sourirajan et Kennedy (1962) et ceux de White et al. (1971) sur les systèmes hydrothermaux modernes, la phase riche en vapeur est beaucoup moins salée et a des rapports $K/(Na + K)$ et $S/(Na + K)$ plus élevés que le liquide originel. Par contre, le rapport $Cl/(Na + K)$ est très faible dans la phase vapeur par rapport à la phase liquide. Par exemple, à Steamboat spring, les rapports pour la phase liquide sont: $S/(Na + K) = 0,05$, $K/(Na + K) = 0,11$ et $Cl/(Na + K) = 1,17$, tandis que les rapports pour la phase vapeur sont 0,58, 0,33 et 0,04 respectivement (White et al., 1971).

L'eau interstitielle dans les pores des roches représente de l'eau de mer piégée. Si nous présumons que l'eau de mer archéenne avait une composition semblable à l'eau de mer actuelle, l'eau interstitielle devrait avoir un rapport élevé $Na/(Na + K) = 0,97$, un rapport élevé $Cl/(Na + K) = 1,73$ et un faible rapport $S/(Na + K) = 0,08$. Ces paramètres de l'eau interstitielle ne correspondent pas à ceux du fluide minéralisateur de Camflo. Toutefois, tel que mentionné, le fluide gazeux dérivé de cette eau pourrait avoir une composition semblable au fluide de Camflo.

L'eau magmatique est généralement riche en Na et en Cl (Roedder et Comb, 1967; Weisbrod, 1981; Rankin et Alderton, 1985). Nos analyses non publiées sur les inclusions fluides dans les roches granitiques archéennes de la région de Val d'Or - Noranda montrent que l'eau magmatique possède des rapports $Na/(Na + K) > 0,90$ et $Cl/(Na + K) > 1,50$. Les rapports $S/(Na + K)$ sont généralement inférieurs à 0,20. La salinité de ces fluides est très variable, mais est en général supérieure à 10% poids. Encore une fois, ces paramètres de l'eau magmatique ne correspondent pas au fluide minéralisateur de Camflo. Toutefois, un fluide dérivé de l'eau magmatique pourrait être semblable à celui de Camflo.

En résumé, il est probable que le fluide aurifère de Camflo provient d'un fluide interstitiel ou d'un fluide magmatique plutôt que d'un fluide métamorphique produit par des réactions de déshydratation. La présence de la phase CO_2 dans le fluide minéralisateur est compatible avec une origine magmatique et n'implique pas nécessairement un processus métamorphique (Cameron et Hattori, 1987).

8 RESUME

Les données thermométriques et chimiques des inclusions fluides dans les veines de quartz et sulfures provenant de différentes zones minéralisées à la mine Camflo sont résumées au tableau 2. Ces données permettent de tirer les conclusions suivantes:

- (1) le fluide lié à la formation du gisement d'or de Camflo était hétérogène et composé de deux phases principales: une phase aqueuse dominante et une phase carbonique subordonnée composée de

Tableau 2

Résumé des caractéristiques thermométriques et chimiques des inclusions fluides aqueuses de la mine Camflo.

Provenance	Pourcentage du total des inclusions	Température de fusion	Salinité (%pds équivalent)	Température d'homogénéisation	Chimisme
Veines de quartz dans le minerai de la cheminée monzonitique	65% contre 25% pour les inclusions carboniques et 10% pour les inclusions aquacarboniques	<u>DC-PI</u> -18°C	22%	120-130°C	Riche en Cl Na/Na + K = 0,97
		<u>Quatre autres</u> -6°C	7,5%	310°C	Riche en S (dominant) Na/Na + K = 0,71 Riche en Cl (mineur) Na/Na + K = 0,96
Veines de quartz minéralisées situées à l'extérieur de la cheminée monzonitique	Indéterminé, mais >> carboniques >> aquacarboniques	0 à -6°C	0-8%	300°C	Riche en S (dans la diorite) Na/Na + K = 0,92
Quartz magmatique dans la monzonite	"	-16 à -33°C	19-28%	150°C	Aucune donnée

CO₂ relativement pur. Ces deux phases ont probablement été générées par un mécanisme d'immiscibilité par suite d'une baisse de température et de pression.

- (2) Le fluide aqueux dans la cheminée de monzonite possède une salinité de 7,5% poids éq. NaCl. Dans les zones minéralisées situées à l'extérieur de la cheminée, les mêmes fluides montrent des salinités plus faibles: 5,5% poids dans la diorite, 7% poids dans les sédiments et 0,6% poids dans la formation de fer. Cette diminution de la salinité reflète possiblement le degré de dilution dans le système de fractures. La température du fluide est estimée à 310°C dans la cheminée de monzonite.
- (3) Chimiquement, les inclusions aqueuses de Camflo appartiennent à deux types: un type dominant riche en S et un type subordonné riche en Cl. Le type riche en S est caractérisé par des rapports $Na/(Na + K) = 0,71$, $S/(Na + K) = 0,90$ et $Cl/(Na + K) = 0,01$ tandis que le type riche en Cl est caractérisé par des rapports $Na/(Na + K) = 0,96$, $S/(Na + K) = 0,05$ et $Cl/(Na + K) = 1,64$.
- (4) Dans le minerai de monzonite, la minéralisation en or s'accompagne de la pyritisation et de la carbonatation de la roche. Toutefois, cette altération a eu peu d'effet sur les proportions relatives de Na₂O et de K₂O dans la monzonite. La plupart (80%) des analyses ont leur rapport $Na_2O/(Na_2O + K_2O)$ voisin de 0,45 qui représente le rapport original au stade magmatique.
- (5) Parmi les gisements d'or archéens de la région de Val d'Or - Cadillac, le fluide de Camflo est classé comme étant riche en S, tout comme les fluides des gisements de Swanson, la zone 3 de Doyon

et les veines subverticales de New Pascalis. Les composés de soufre et d'alcalis dans ces fluides sont présents sous forme de sulfites ou de sulfates.

- (6) Génétiquement, le fluide de Camflo représente probablement le produit de la condensation d'une phase vapeur riche en S dérivée d'un fluide interstitiel ou d'un fluide magmatique en profondeur.

REFERENCES

- AHMAD, S.N. et ROSE, A.W. (1980): Fluid inclusions in porphyry and skarn ore at Santa Rita, New Mexico. *Econ. Geol.*, v. 75, pp. 229-250.
- BOWERS, T.S. et HELGESON, H.C. (1983): Calculation of the thermodynamic and geochemical consequences of non ideal mixing in the system H₂O-CO₂-NaCl fluid at high pressures and temperatures. *Geoch. et Cosm. Acta*, v. 47, pp. 1247-1275.
- CAMERON, E.M. et HATTORI, K. (1987): Archean gold mineralization and oxidized hydrothermal fluids. *Economic Geology*, volume 82, pages 1177 à 1191.
- CHAINEDY, D. (1983): Paramètres pétrographiques et géochimiques du gisement d'or de la mine Camflo, Québec, Canada. Mémoire de maîtrise, Ecole Polytechnique de Montréal, département de génie minéral, 215 pages.
- CLOKE, P.L. et KESLER, S.E. (1979): The halite trend in hydrothermal solution. *Economic Geology*, volume 74, pages 1823 à 1831.
- COLLINS, P.L.F. (1979): Gas hydrates in CO₂-bearing fluid inclusions and the use of freezing data for estimation of salinity. *Econ. Geol.*, v. 74, pp. 1435-1444.
- CRAWFORD, M.L. (1981): Phase equilibria in aqueous fluid inclusions. L.S. Hollister et M.L. Crawford (éds), *Short Course In Fluid Inclusions: Application to petrology*. Mineralogical Association of Canada, pp. 75-100.
- DAIGNEAULT, R. (1983): Géologie et géochimie du gisement d'or de la mine Lamaque, Val d'Or, Québec. Mémoire de maîtrise ès sciences appliquées, département de génie minéral, Ecole Polytechnique, 174 pages.
- EADINGTON, P.J. (1974): Microprobe analysis of the non-volatile constituents in fluid inclusions. *N. Jb. Miner. Mh.*, vol. 11, pp. 518-525.
- FYFE, W.S. et KERRICH, R. (1982): Gold: natural concentration process. Dans: R.P. Foster (éd), *Gold'82: The geology, geochemistry and genesis of gold deposits*, pp. 99-127.
- GROVES, D.I., PHILLIPS, G.N., HO, S.E., HENDERSON, C.A., CLARK, M.E. et WOAD, G.M. (1984): Controls on distribution of archean hydrothermal gold deposits in Western Australia. Dans: R.P. Foster (éd), *Gold'82: The geology, geochemistry and genesis of gold deposits*, pp. 689-712.

- GUHA, J., GAUTHIER, A., VALLEE M., DESCARREAU, J. et LANGE-BRAD, F. (1982): Gold mineralization patterns at the Doyon mine (Silverstack), Bousquet, Québec. Dans: R.W. Hodder et William Petruck (éds), CIM special volume 24, pp. 50-57.
- IMREH, L. (1984): Sillon de La Motte-Vassan et son avant-pays méridional: synthèse volcanologique, lithostratigraphique et gîtologique. Ministère de l'Energie et des Ressources du Québec, MM 82-04, 72 pages et 2 hors-texte.
- KERRICH, R. et FYFE, W.S. (1981): The gold-carbonate association. Chem. Geol., v. 33, pp. 265-294.
- KERRICH, R. et HODDER, R.W. (1982): Archean lode gold and base metal deposits: evidence for metal separation into independent hydrothermal systems. Dans: R.W. Hodder et William Petruck (eds), CIM special volume 24, pp. 144-160.
- LAO, K. et PERRAULT, G. (1987): Cl-rich and S-rich fluids related to the archean gold deposits in the Val d'Or region, NW Québec. GAC-MAC Annual Meeting, Program with Abstracts, v. 12, p. 61.
- LAO, K., PERRAULT, G. et GAUMOND, A. (1986): Metamorphogenic fluid of New Pascalis gold deposit, Val d'Or, NW Québec. GAC-MAC Annual Meeting, Program with Abstracts, v. 11, p. 89.
- LAO, K., PERRAULT, G. et AUDET, A. (1985): Thermochemistry of aqueous fluids related to the formation of the Sigma-2 gold deposit, Val d'Or, Québec. GAC-MAC Annual Meeting, Program with Abstracts, v. 10, p. A-31.
- MEIKLE, B.K. (1970): Camflo Mines Limited - Geology and Mining. Canad. Inst. Mining Metall. Bull., v. 63, pp. 1406-1410.
- METZGER, F.W., KELLY, W.C., NESBITT, B.E. et ESSENCE, E.J. (1977): Scanning electron microscopy of daughter minerals in fluid inclusions. Econ. Geol., v. 72, pp. 141-152.
- RANKIN, A.H. et ALDERTON, D.H.M. (1985): Fluids in granites from Southwest England. CIMM: High Heat Production Granites and Hydrothermal Circulation and Ore Genesis, pp. 287-299.
- ROBERT, F. (1983): Etude du mode de mise en place des veines aurifères de la mine Sigma, Val d'Or, Québec. Thèse de doctorat en sciences appliquées, département de génie minéral, Ecole Polytechnique, 294 pages.
- ROBERT, F. et KELLY W.C. (1984): Gold mineralizing fluid at the Sigma mine, Abitibi region, Québec: a fluid inclusion investigation. Geol. Soc. America Annual Meeting, program with abstracts, p. 636.

- ROEDDER, E. (1962): Low temperature application of a dual purpose freezing and heating stage. *Econ. Geol.*, v. 57, pp. 1045-1061.
- ROEDDER, E. (1971): Fluid inclusion studies on the porphyry copper type ore deposits at Bingham (Utah), Butte (Montana) and Climax (Colorado). *Economic Geology*, volume 66, pages 98 à 120.
- ROEDDER, E. (1984): Fluid inclusions. Review in mineralogy. *Mineralogical Society of America*, v. 12, 644 p.
- ROEDDER, E. et COMB, D.S. (1967): Immiscibility in granitic melt indicated by fluid inclusions in ejected granitic blocks from the Ascension Island. *Jour. Petrol.*, v. 8, pp. 417-451.
- SAUVE, P. et MAKILA, A. (1987): Géologie de la mine Camflo, Malartic, Québec. Ministère de l'Energie et des Ressources du Québec, MB 87-40, 71 pages.
- SOURIRAJAN, S. et KENNEDY, C.G. (1962): The system $H_2O-NaCl$ at elevated temperature and pressure. *Am. Jour. Sci.*, v. 260, pp. 5-141.
- TRUDEL, P.; METHOT, Y. et PERRAULT, G. (1987): Géochimie de la minéralisation aurifère à la mine Eldrich, région de Rouyn-Noranda, Québec, Canada. 12e Colloque International d'Exploration Géochimique, Orléans, France, 23 au 26 avril 1987, Programme et résumés, pages 60 et 61.
- WEISBROD, A. (1981): Fluid inclusions in shallow intrusives. In: L.S. Hollister et M.L. Crawford (éds): Short course in fluid inclusions: Applications to petrology. *Mineralogical Association of Canada*, pp. 241-271.
- WHITE, D.E. (1957): Thermal water of volcanic origin. *Geol. Soc. Am. Bull.*, v. 68, pp. 1637-1658.
- WHITE, D.E., MUFFLER, L.J. et TRUESDELL, A.H. (1971): Vapour-dominated hydrothermal systems compared with hot water systems. *Econ. Geol.*, volume 66, pages 75 à 97.