

UNIVERSITE DU QUEBEC A CHICOUTIMI

ETUDE DES MINERALISATION, ALTERATIONS ET PHASES
FLUIDES ASSOCIEES AU GITE DEVLIN
(CHIBOUGAMAU, QUEBEC, CANADA)

Par

Françoise LANGE-BRARD

Mémoire présenté en vue de l'obtention
d'un diplôme de M.Sc.A. (géologie)

Octobre 1984



Mise en garde/Advice

Afin de rendre accessible au plus grand nombre le résultat des travaux de recherche menés par ses étudiants gradués et dans l'esprit des règles qui régissent le dépôt et la diffusion des mémoires et thèses produits dans cette Institution, **l'Université du Québec à Chicoutimi (UQAC)** est fière de rendre accessible une version complète et gratuite de cette œuvre.

Motivated by a desire to make the results of its graduate students' research accessible to all, and in accordance with the rules governing the acceptance and diffusion of dissertations and theses in this Institution, the **Université du Québec à Chicoutimi (UQAC)** is proud to make a complete version of this work available at no cost to the reader.

L'auteur conserve néanmoins la propriété du droit d'auteur qui protège ce mémoire ou cette thèse. Ni le mémoire ou la thèse ni des extraits substantiels de ceux-ci ne peuvent être imprimés ou autrement reproduits sans son autorisation.

The author retains ownership of the copyright of this dissertation or thesis. Neither the dissertation or thesis, nor substantial extracts from it, may be printed or otherwise reproduced without the author's permission.

AVANT-PROPOS

Le sujet étudié dans cette thèse fait partie d'un projet continu de grande envergure, ayant trait aux minéralisations associées au Pluton de Chibougamau (Québec, Canada). Il me fut proposé par le Dr Jayanta Guha, dans le cadre de ce projet avec l'approbation des compagnies Camchib, Rio Tinto, Riocanex.

Il m'est agréable de remercier toutes les personnes qui m'ont aidée, dirigée et encouragée. Comme la place manquerait dans cette page pour les citer toutes, je choisis l'organisation d'un casse tête où chaque pièce figure un individu.

La première pièce est donnée aux géologues du bureau d'exploitation de la compagnie Camchib et tout particulièrement André Tremblay, qui m'ont facilité l'accès aux données, plans, descriptions de forages, accès aux galeries d'exploitation de la mine Devlin, sans lesquels il n'aurait pu y avoir matière à cette recherche.

La seconde pièce est réservée au Dr Jayanta Guha, qui m'a aidé tout au cours de cette recherche, en tant que directeur principal.

La troisième pièce s'adresse au Dr Jacques Carignan, qui, par sa bonne humeur, sa disponibilité et ses encouragements, m'a aidé à voir le "bout du tunnel".

La quatrième pièce va au Dr E.H. Chown pour ses corrections.

La pièce suivante est pour le ministère des Affaires Indiennes qui a défrayé une partie du travail de terrain par des subventions

accordées au Dr J. Guha, directeur de cette thèse.

Sur les autres pièces de ce casse-tête, se retrouvent mon mari Patrick qui m'a encouragé et aidé moralement durant cette étude, Yvon Boudreault qui a préparé les lames minces et les doubles polies, Richard Lechasseur pour son aide lors de la mise en route des analyses d'ions, Céline, Annette, Raymond, Gérard, Claude, les membres du module des Sciences de la Terre, tous mes amis personnels.

Au dos de chacune de ces pièces est inscrit: "merci pour votre aide et vos encouragements".

A Michèle.

RESUME

Au sud du district minier de Chibougamau, la minéralisation en cuivre de la péninsule Devlin est reliée à la présence d'une brèche située en bordure du Pluton de Chibougamau. Cette minéralisation se schématise sous la forme d'un feuillet de 610m (E.W) sur 920m (N.W.) et 1m d'épaisseur montrant un faible pendage de 7-8° N-NE.

La chronologie de la bréchification montre que cette région a subi:

1) deux phases ou plus de bréchification accompagnées de la mise en place de quatre matrices: a) une matrice grenue (poussière de roches) avec ou sans géodes; b) une matrice à séricite; c) une matrice à chlorite et d) une matrice à quartz;

2) des fracturations syn- et post-bréchifications ayant contrôlé la mise en place de la minéralisation en cuivre;

3) des mouvements tectoniques (failles, joints) ayant fracturé et parfois basculé la veine minéralisée principale.

Des altérations successives accompagnent les phases de la bréchification et se superposent à un métamorphisme régional de degré schistes verts; ce sont:

(1) une hématitisation précoce impliquant un fort pourcentage de séricite, une faible quantité de chlorite et d'épidote et des grains d'hématite dans les plagioclases;

- (2) un assemblage quartz-albite altérée;
- (3) un assemblage séricite-quartz;
- (4) un assemblage pré-minéralisation: chlorite (vert moyen) -épidote;
- (5) un assemblage syn-minéralisation: chlorite sombre à noire et épidote;
- (6) une albitisation (plagioclases roses et blancs) accompagnée de veinules d'amphibole, syn-minéralisation;
- (7) un assemblage post-minéralisation: chlorite vert moyen à vert pâle et épidote;
- (8) un ensemble de veinules "tardives" de magnétite, de tourmaline, d'hématite et un remplissage de géodes par du quartz, des carbonates et de la chlorite vert pâle.

Il n'a pas été possible de situer chronologiquement le métamorphisme régional, son assemblage présentant les mêmes minéraux que les altérations définies ci-dessus.

La minéralisation en cuivre a été déposée dans les fractures par un fluide à forte teneur en sels (35% poids NaCl, 35% poids KCl, présence de Ca⁺⁺) et à hydrocarbures et gaz carbonique. Les températures de l'ordre de +200°C à +260°C lors de la déposition décroissent régulièrement jusqu'à +90°C, parallèlement à la salinité du fluide qui chute à 8% poids NaCl après la mise en place de la minéralisation (phases tardives).

La chronologie de la bréchification, les altérations présentes se regroupant en une altération phyllique (quartz-séricite) et une altération propylitique (chlorite-épidote), la phase fluide saline

v

déterminant les caractères de la minéralisation de la péninsule Devlin se reportent aisément dans un contexte de gisement de type porphyre cuprifère convectif.

TABLE DES MATIERES

	page
AVANT-PROPOS.....	i
RESUME.....	iii
TABLE DES MATIERES.....	vi
LISTE DES FIGURES.....	xiv
LISTE DES TABLEAUX.....	xvi
LISTE DES PLANCHES.....	xvii
CHAPITRE I	
INTRODUCTION.....	1
I.1 Localisation et travaux antérieurs.....	1
I.2 But du travail et méthodologie.....	6
CHAPITRE. II	
GEOLOGIE REGIONALE ET LOCALE.....	8
II.1 Les roches archéennes dans la région de Chi- bougamau.....	9
II.1.1 Groupe de Roy.....	9
II.1.2 Groupe d'Opémisca.....	12
II.1.3 Complexe du Lac Doré.....	12
II.1.4 Complexe de Cummings.....	13
II.1.5 Pluton de Chibougamau.....	14
II.1.5.1 Méladiorite à hornblende.....	14

II.1.5.2 Diorite quartzifère à hornblende (et/ou chlorite).....	15
II.1.5.3 Tonalite à biotite et/ou chlorite.....	15
II.1.5.4 Leucotonalite.....	16
II.1.5.5 Dykes tardifs.....	16
II.2 Les roches protérozoïques.....	17

CHAPITRE. III

GEOLOGIE PONCTUELLE DE LA MINERALISATION EN CUIVRE SITUEE

DANS LA PENINSULE DEVLIN.....	18
III.1 Roches encaissantes.....	19
III.1.1 La tonalite à chlorite.....	19
III.1.2 La tonalite à épidote.....	19
III.2 Brèche.....	21
III.2.1 Matrice grenue.....	21
III.2.2 Matrice à épidote.....	24
III.2.3 Matrice à quartz.....	24
III.2.4 Matrice à chlorite.....	24
III.3 Minéralisation.....	25
III.3.1 Minéralogie.....	25
III.3.2 Configuration du gisement, structure locale.....	31

CHAPITRE. IV

ALTERATIONS AFFECTANT LA BRECHE DE LA PENINSULE DEVLIN.....	35
IV.1 Métamorphisme ayant affecté la région.....	35

IV.2	Hématitisation précoce.....	36
	IV.2.1 Hématitisation diffuse.....	36
	IV.2.2 Zones hématisées.....	39
IV.3	Assemblage chlorite-épidote.....	42
	IV.3.1 Assemblage chlorite-épidote en veinule.....	42
	IV.3.1.1 Veinules de chlorite-épidote.....	43
	IV.3.1.2 Veinules de chlorite.....	43
	IV.3.1.3 Veinules de quartz-chlorite.....	44
	IV.3.1.4 Veinules d'épidote seule.....	44
	IV.3.1.5 Veinules de chlorite-épidote-quartz- pyrite-chalcopyrite-carbonates.....	48
	IV.3.2 Assemblage pénétratif chlorite-épidote.....	48
	IV.3.3 Roches, fragments et matrices affectés.....	50
IV.4	Assemblage séricite-quartz, chlorite, pyrite et épidote.....	50
IV.5	Albitisation ou assemblage albite, quartz, py- rite, chalcopyrite, épidote, carbonate, chlo- rite.....	52
	IV.5.1 Albitisation en veinules.....	53
	IV.5.1.1 Veinules de quartz-chlorite-épidote.....	53
	IV.5.1.2 Veinules de pyrite-épidote-quartz- chalcopyrite-chlorite.....	54
	IV.5.1.3 Veinules d'amphibole.....	54
	IV.5.1.4 Veinules sans altération aux épon- tes.....	55
	IV.5.1.5 Veinules "blanches" avec altération des plagioclases.....	56
	IV.5.2 Albitisation pénétrative.....	56

IV.5.3	Recouplement et distribution.....	57
IV.6	Autres phases d'altérations en veinules.....	58
IV.6.1	Veinules sombres à noires.....	58
IV.6.1.1	Veinules à tourmaline ou à magnétite.....	58
IV.6.1.2	Veinules à amphiboles.....	59
IV.6.1.3	Veinules d'hématite.....	59
IV.6.2	Veinules blanc crème.....	60

CHAPITRE V

EVOLUTION DE LA BRECHE ET DES ALTERATIONS DE LA PENINSULE

	DEVLIN; MISE EN PLACE DE LA MINERALISATION.....	61
V.1	Evolution structurale de la brèche de la pé- ninsule Devlin.....	61
V.1.1	Montée magmatique et consolidation d'un magma tonalitique dans les roches en place.....	61
V.1.2	Mise en place de dykes de diorite et de gabbro.....	62
V.1.3	Mouvements tectoniques pré-bréchifica- tion.....	62
V.1.4	Premier épisode de bréchification.....	62
V.1.5	Second épisode de bréchification.....	63
V.1.6	Fracturation pré-minéralisation.....	64
V.1.7	Episode de minéralisation.....	64
V.1.8	Fracturation post-minéralisation.....	64
V.2	Période de minéralisation.....	65

V.3	Chronologie des altérations en fonction de l'évolution de la brèche de la péninsule Devlin.....	66
V.3.1	Le métamorphisme régional.....	66
V.3.2	L'hématitisation précoce.....	67
V.3.3	L'assemblage feldspath-quartz.....	67
V.3.4	L'assemblage séricite+quartz+chlorite+pyrite+épidote.....	68
V.3.5	L'assemblage chlorite-épidote.....	68
V.3.5.1	Chlorite pré-minéralisation.....	68
V.3.5.2	Chlorite syn-minéralisation.....	69
V.3.5.3	Chlorite post-minéralisation.....	69
V.3.6	L'albitisation ou présence de plagioclases roses et/ou blancs non ou très peu altérés....	70
V.3.7	Autres types de veinules.....	70

CHAPITRE VI

LES PHASES FLUIDES.....	72	
VI.1	Introduction.....	72
VI.2	Généralités.....	73
VI.2.1	Historique.....	73
VI.2.2	Définition.....	73
VI.3	Techniques d'étude.....	74
VI.3.1	Méthodes non destructrices.....	74
VI.3.1.1	Etude microscopique.....	74
VI.3.1.2	Etude microthermométrie.....	75
VI.3.2	Méthodes destructrices.....	75

VI.3.2.1	Platine à écrasement.....	75
VI.3.2.2	Analyse des ions en solution.....	76
VI.4	Différents types d'inclusions rencontrés.....	76
VI.4.1	Origine des minéraux hôtes.....	77
VI.4.2	Types d'inclusions.....	77
VI.4.2.1	Inclusions multiphasées (type I).....	78
VI.4.2.2	Inclusions à phase liquide dominante (type IIA) et à phase liquide seule (type IIB).....	83
VI.4.2.2.1	Inclusions de type IIAabc et IIBabcd..	83
VI.4.2.2.2	Inclusions de type IIAd, IIBe.....	84
VI.4.2.3	Inclusions à phase vapeur dominante (type III).....	84
VI.4.2.4	Inclusions à hydrocarbures ou inclusions sombres (type IV).....	85
VI.4.2.5	Inclusions à gaz carbonique (type V).....	86
VI.4.3	Caractères physiques des inclusions observées.	86
VI.4.3.1	Disposition spatiale des inclusions.....	86
VI.4.3.2	Forme des inclusions.....	87
VI.4.3.3	Taille	87
VI.4.3.4	Abondance.....	88
VI.5	Détermination des phases minérales dans les inclu- sions.....	88
VI.5.1	Halite.....	89
VI.5.2	Sylvite.....	89
VI.5.3	Phases minérales isotropes.....	90
VI.5.4	Phases minérales biréfringentes.....	90
VI.5.5	Phases minérales opaques.....	90

VI.6	Résultats microthermimétriques.....	91
VI.6.1	Inclusions associées à la minéralisation.....	91
VI.6.1.1	Inclusions multiphasées (type I).....	91
	a) Résultats de l'étude cryométrique.....	91
	b) Résultats de l'étude sur platine chauffante...	94
VI.6.1.2	Inclusions à phase liquide dominante (type IIAabc).....	95
	a) Résultats de l'étude cryométrique.....	95
	b) Résultats de l'étude sur platine chauffante....	95
VI.6.1.3	Inclusions à phase liquide (type IIBabc)..	96
VI.6.1.4	Inclusions à phase vapeur dominante (ty- pe III).....	96
	a) Résultats de l'étude cryométrique.....	96
	b) Résultats de l'étude sur platine chauffante...	96
VI.6.1.5	Inclusions sombres ou à hydrocarbures (type IV).....	96
VI.6.1.6	Inclusions à gaz carbonique (type V).....	97
VI.6.2	Inclusions tardives et inclusions non reliées directement à la minéralisation.....	97
VI.6.2.1	Inclusions à phase liquide dominante (ty- pe IIAd).....	97
VI.6.2.2	Inclusions à liquide seul (type IIBd).....	97
VI.6.2.3	Inclusions à phase vapeur dominante (ty- pe III "tardif").....	98
VI.6.2.4	Inclusions sombres ou à hydrocarbures (type IV "tardif").....	98
VI.7	Résultats obtenus sur la platine à écrasement.....	99

VI.8.1 K/Na..... 99
VI.8.2 Ca/Na..... 101
VI.8.3 Ca/Mg..... 101
VI.8.4 Mg/Na..... 101
VI.9 Teneur en cuivre..... 102

CHAPITRE VII

EVOLUTION DES PHASES FLUIDES-INTERPRETATION ET DISCUSSION..... 104
 VII.1 Inclusions fluides associées à la minéralisation en
 cuivre de la péninsule Devlin..... 104
 VII.2 Inclusions plus tardives..... 109
 VII.3 Composition de la solution..... 111
 VII.4 Evolution de la température..... 113

DISCUSSION..... 115

CONCLUSION..... 126

REFERENCES..... 129

LISTE DES FIGURES

		page
FIGURE.1	Carte de localisation: région et pluton de Chibougamau et mine Devlin.....	2
FIGURE.2	Carte du pluton de Chibougamau, d'après Racicot, 1980.....	4
FIGURE.3	Configuration de la brèche et de la mi- néralisation de la péninsule Devlin.....	20
FIGURE.4	Déroulé de la carotte de forage R3-120 -130.1', montrant deux bréchifications successives.....	22
FIGURE.5	Schémas macroscopique et microscopiques de la minéralisation.....	27
FIGURE.6	Schéma de la veine minéralisée, d'après des croquis pris dans la galerie d'ex- ploitation.....	32
FIGURE.7	Relations entre les différentes phases d'altérations en veinules.....	37
FIGURE.8	Hématitisation précoce diffuse dans un plagioclase.....	40
FIGURE.9	Veinules de l'assemblage chlorite-épi- dote.....	45
FIGURE.10	Veinule d'épidote "précoce" recoupée par une veinule de quartz et plagioclase	

	blanc.....	47
FIGURE.11	Séricitisation de la chlorite.....	47
FIGURE.12	Disposition de l'assemblage chlorite- épidote dans les plagioclases.....	51
FIGURE.13	Albitisation rose aux épontes d'une vei- nule d'amphibole.....	51
FIGURE.14	Différents types d'inclusions rencon- trées dans la minéralisation de la pé- ninsule Devlin.....	79
FIGURE.15	Relations pétrographiques entre les dif- férents types d'inclusions fluides, les sulfures et le quartz.....	81
FIGURE.16	Histogrammes des résultats microthermo- métriques, (-160°C à +600°C).....	92
FIGURE.17	Estimé du contenu en cuivre dans les in- clusions fluides, tiré de Ramboz, 1979.....	103
FIGURE.18	Interprétation des résultats microther- mométriques et des analyses de cations.....	106
FIGURE.19	Patrons d'altérations de deux gisements de type porphyre cuprifère.....	117
FIGURE.20	Inclusions observées dans différents por- phyres cuprifères.....	122
FIGURE.21	Modèles de systèmes hydrothermaux, tirés McMillan et al. 1980.....	127

LISTE DES TABLEAUX

	page
TABLEAU 1: Méthodologie de travail.....	7
TABLEAU 2: Stratigraphie de la région de Chibougamau.....	10
TABLEAU 3: Récapitulatif des différentes matrices et des tonalites encaissantes.....	26
TABLEAU 4: Chronologie de la fracturation et des altérations de la brèche de la péninsule Devlin.....	71
TABLEAU 5: Résultats des analyses des ions en solution dans les phases aqueuses des inclusions.....	100

LISTE DES PLANCHES

	page
PLANCHE 1: Evolution de l'altération "hématitisation précoce" dans un fragment de gabbro-anorthositique.....	41
PLANCHE 2: Présence de plagioclases roses dans la veine miné- ralisée principale, échantillon provenant de la galerie d'exploitation.....	41

CHAPITRE I

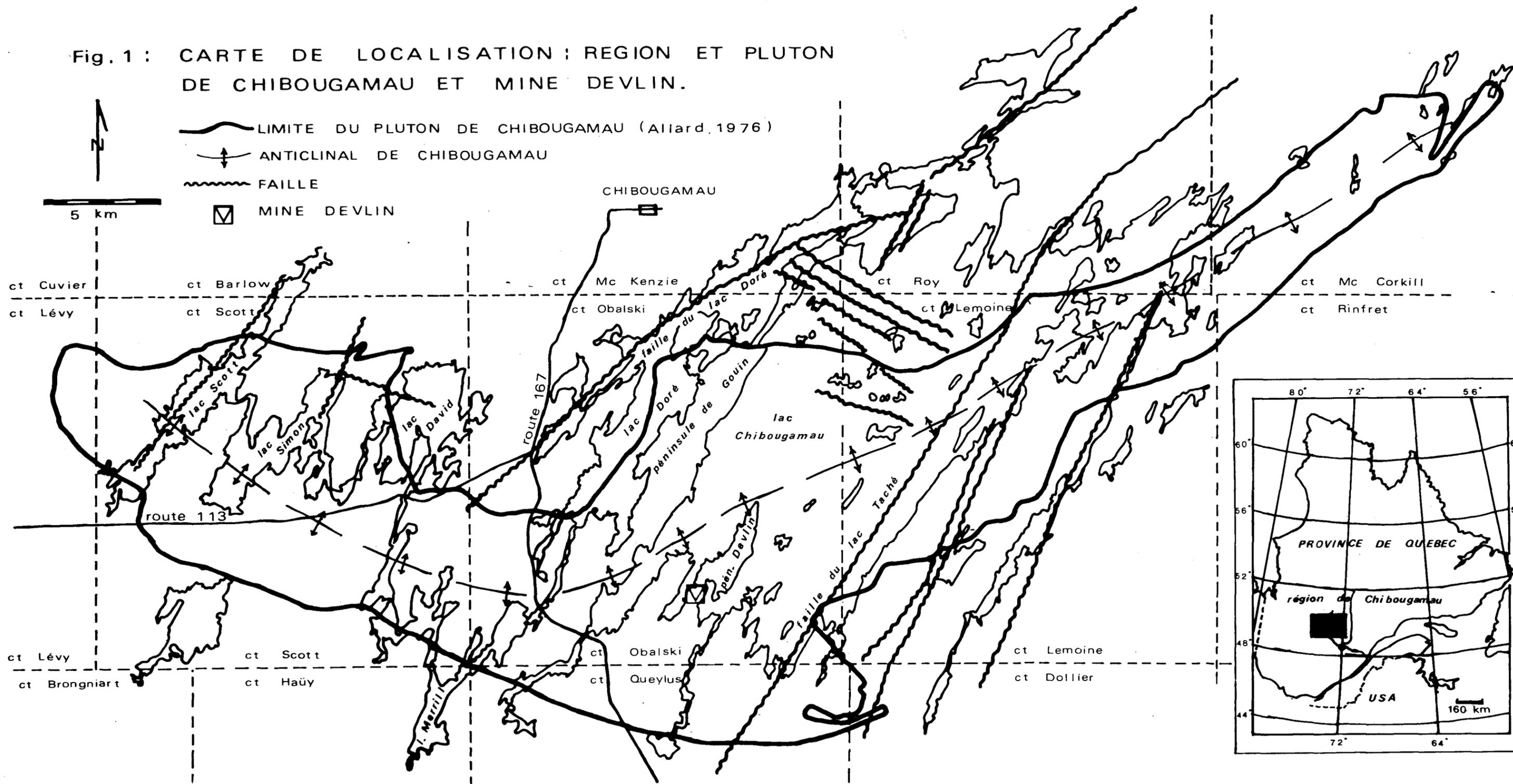
INTRODUCTION

I.1 LOCALISATION ET TRAVAUX ANTERIEURS

La minéralisation de cuivre en veines et filonnets présente dans la péninsule Devlin, se situe à l'extrémité Sud du Lac Chibougamau, dans le Pluton de même nom; canton Obalski. Elle fait partie du district minier de Chibougamau localisé à quelques 500 km au nord de Montréal (Fig.1).

x Les premiers travaux géologiques connus dans cette région ayant une emphase sur la localité étudiée, furent effectués par Richardson en 1872 pour la Commission Géologique du Canada. Dès 1906, Low décrivit les roches entourant la partie sud du Lac Chibougamau comme des "granites et des gneiss à hornblende". Mawdsley et Norman en 1936 cartographièrent cette région et nommèrent les roches intrusives rencontrées: "Masse du Lac Chibougamau" et les définirent comme des granites à biotite et à plagioclase sodique. En 1956, Allard regroupa ces roches sous le terme de "Pluton du Lac Chibougamau" et le définit comme une intrusion trondhjémitique complexe. Les travaux principaux subséquents furent effectués par le Ministère des Richesses Naturelles. Duquette et Mathieu (1966-1970) et Cimon (1976a) cartographièrent les régions de Queylus et Obalski en détails. Les roches furent reconnues comme des tonalites,

Fig. 1 : CARTE DE LOCALISATION : REGION ET PLUTON DE CHIBOUGAMAU ET MINE DEVLIN.



d'après Allard, 1976 et Racicot, 1980;

des leucotonalites, des mélatonalites et des diorites. Racicot (1980, 1981) montre la complexité du Pluton de Chibougamau formé par plusieurs pulsations magmatiques ayant généré quatre grandes unités lithologiques: des méladiorites à hornblende, des diorites quartzifères, des tonalites à biotite et/ou chlorite, des leucotonalites. Ces quatre unités sont recoupées par des dykes tardifs (Fig.2).

En 1972, un survol pour un relevé électromagnétique a été effectué, mettant en évidence plusieurs anomalies dont une au-dessus de la péninsule Devlin. Une étude fut alors entreprise par Flanagan et McAdam grâce à un contrat signé avec Rio Tinto Canadian Exploration (Riocanex). Celle-ci fit partie d'une exploration à grande échelle servant à la reconnaissance de minéralisation de type porphyre cuprifère dans et autour du Pluton de Chibougamau. Des relevés au sol, magnétiques et E.M., donnèrent lieu à une campagne de forages durant l'hiver 1974-75. L'hiver suivant (1975-76) un relevé de polarisation induite fut fait près de la Baie des Inlet afin de clarifier les zones anomaliques. Ce relevé précéda une nouvelle campagne de forages au printemps 1976. Des forages interceptèrent des lentilles subhorizontales riches en chalcopryrite.

Une étude de la minéralisation a été effectuée par Kavanagh (1978) ainsi qu'une étude sur la "brèche de Devlin" associée à cette minéralisation par Bureau (1980).

Au printemps 1981, les Ressources Camchib firent de nouveaux forages et creusèrent l'été de la même année une rampe interceptant la minéralisation. Après quelques mois d'exploitation, la mine Devlin ferma en juin 1982.

Fig.2 CARTE DU PLUTON DE CHIBOUGAMAU, d'après RACICOT, 1980.

TYPE DE ROCHES

PROTEROZOIQUE

- 9 c: dyke de diabase de l'fle Line;
- b: dyke de gabbro de l'fle Gabbro;
- a: dyke de pyroxénite.

ARCHEEN

Série sédimentaire

- 8 métasédiments (Formation de Stella, Allard et al., 1979)

Pluton de Chibougamau

- 7 dykes
- 6 leucotonalite (trondhjémite)
- 5 tonalite à biotite et/ou chlorite
 - c: à quartz porphyroïde
 - b: à texture granulaire, à grains moyens (<3mm)
 - a: à plagioclase porphyroïde, à grains grossiers (>3mm)
- 4 diorite quartzifère
 - b: à hornblende et/ou chlorite, variété plus leucocrate que 4a
 - a: à hornblende, variété plus mélanocrate que 4b
- 3 méladiorite à hornblende
 - c: variété légèrement plus grossière et leucocrate et intimement associée à la variété 3a
 - b: variété à grains grossiers (>3mm)
 - a: variété à grains fins (<2mm)

Complexe du Lac Doré

- 2 f: phase pegmatitique
- e: métaleucogranophyre
- d: métagabbro quartzifère
- c: zone litée (méta-anorthosite à méta-pyroxénite, magnétitite)
- b: méta-anorthosite gabbroïque et gabbro anorthositique
- a: méta-anorthosite

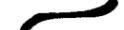
Série volcanique

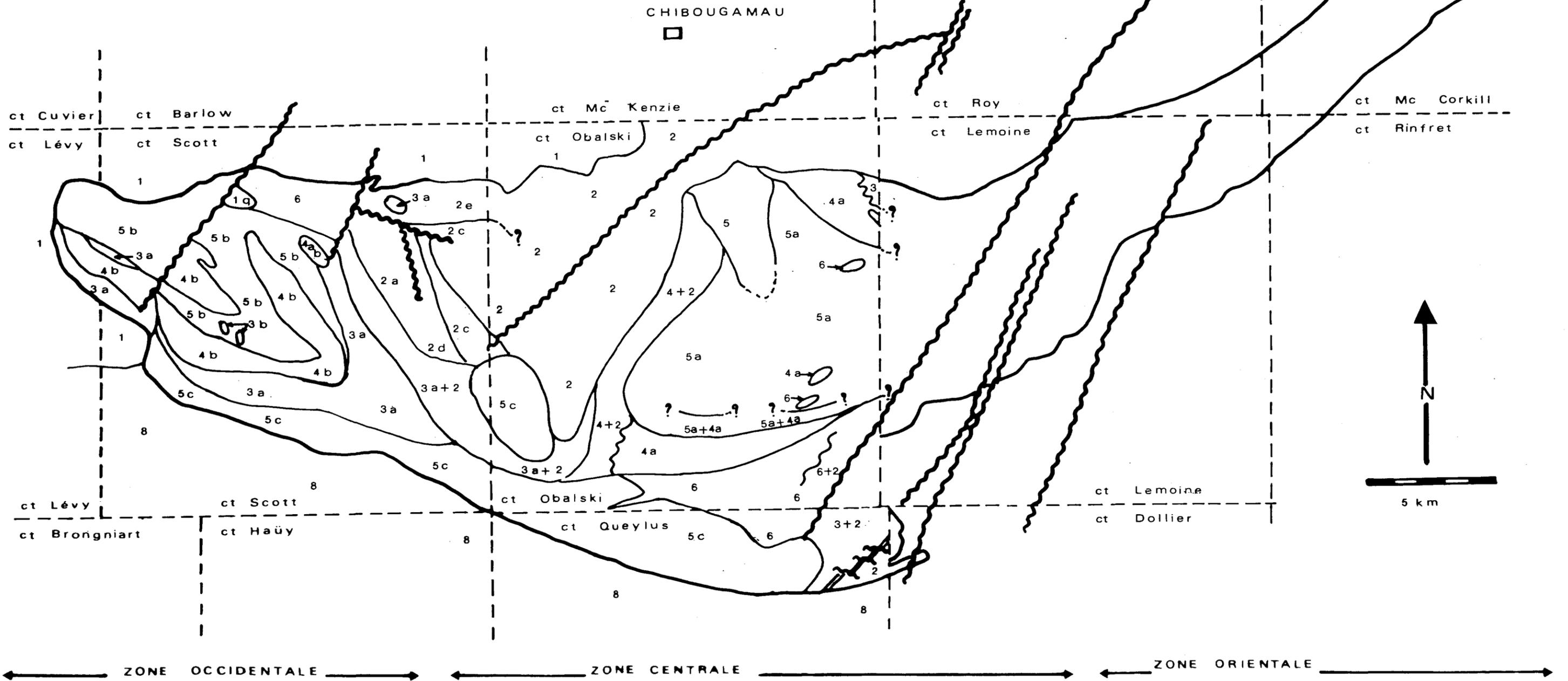
- 1 métavolcanites (Groupe de Roy, Allard et al., 1979)

STRUCTURE

- Limite du Pluton par Allard et al., 1979
- Contacts géologiques présumés, Racicot, 1980.

Fig.2 : PLUTON DE CHIBOUGAMAU

-  LIMITE DU PLUTON (Allard, 1976)
-  FAILLE
-  CONTACT GEOLOGIQUE (Racicot, 1981)



I.2 BUT DU TRAVAIL ET METHODOLOGIE

Cette recherche fait partie d'un projet continu à long terme: "Evolution et corrélation des minéralisations dans le Pluton de Chibougamau". Son objectif est de caractériser le contexte géologique de la minéralisation en cuivre de la péninsule Devlin en mettant un accent sur les altérations rencontrées et en étudiant les phases fluides associées à cette minéralisation. Ces résultats seront comparés à ceux d'un environnement de type porphyre.

La méthodologie utilisée suit un schéma logique allant du choix des échantillons après une description des carottes de forages en passant par la microscopie, les analyses chimiques et se terminant par une compilation de l'ensemble des données. Elle est schématisée sur le tableau 1.

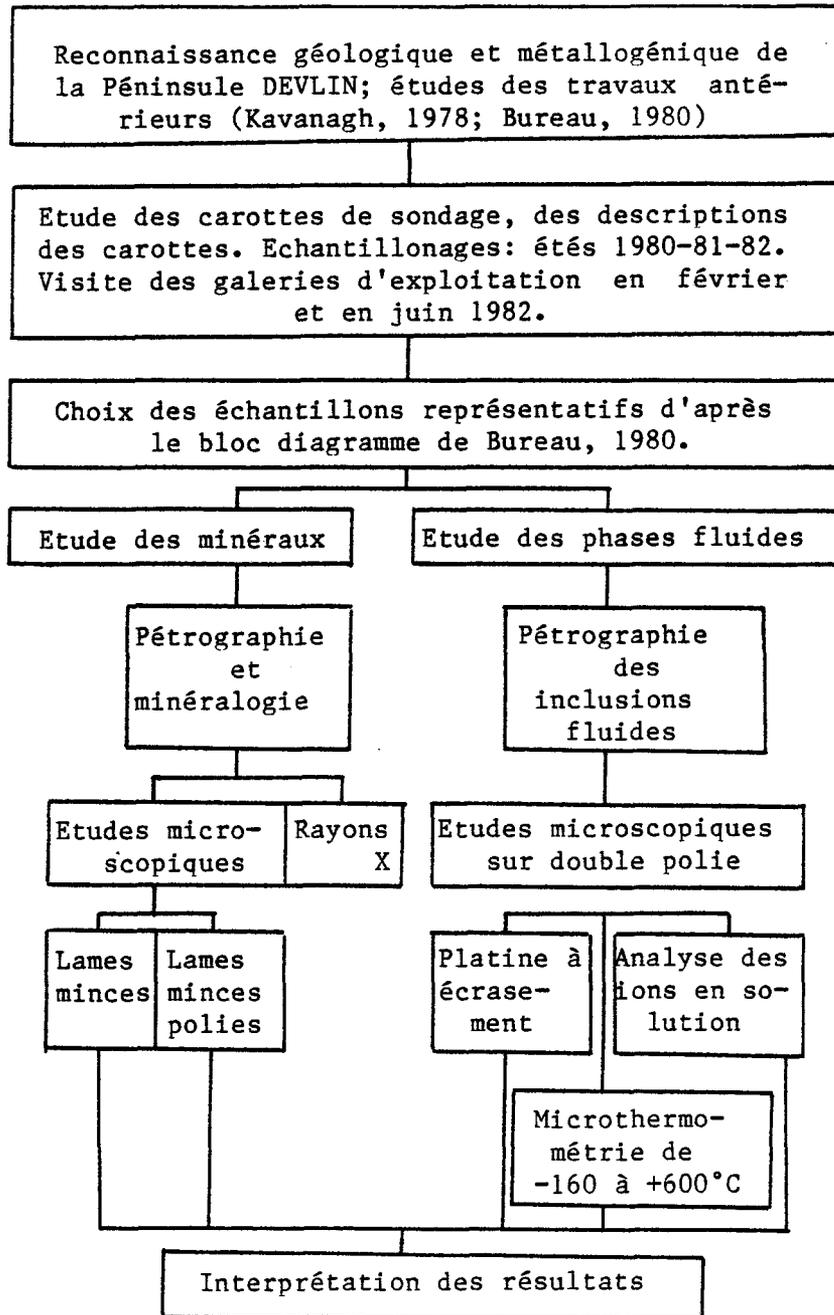


TABLEAU.1 METHODOLOGIE DE TRAVAIL

CHAPITRE II

GEOLOGIE REGIONALE ET LOCALE

Le district minier de Chibougamau se localise grossièrement entre les latitudes 49°30 N et 50°30 N et les longitudes 73°45 W et 74°45 W. Il comporte les villes de Chibougamau sur le bord du lac Gilman et Chapais à 50 km à l'ouest de Chibougamau.

Il appartient au réseau hydrographique de la Baie d'Hudson. Il se caractérise par un relief glaciaire montrant de nombreux marais, lacs, rivières et un relief assez élevé comparativement aux régions environnantes. Sa topographie reflète les lithologies et structures modifiées par la glaciation pléistocène.

Ce district minier faisant partie du Bouclier Précambrien se situe à l'extrémité orientale de la province du Supérieur et comporte une partie de la sous-province de Mistassini. Il est tronqué par le front de Grenville à son extrémité est.

Les unités lithologiques sont toutes d'âge précambrien et principalement d'âge archéen. Elles forment des bandes de roches volcaniques et sédimentaires (ceintures de roches vertes) auxquelles s'associent des complexes intrusifs. Elles ont été affectées par l'orogénie kénoréenne (2.5 Ga) et le métamorphisme régional varie du degré schistes verts au degré amphibolites en approchant du Front de Grenville.

Des unités protérozoïques susjacentes regroupent des dykes de diabase et de gabbro, et des roches sédimentaires. Ces dernières reposent presque horizontalement sur le substratum archéen avec lequel elles sont en discordance.

La stratigraphie régionale (tableau 2) montre une succession de deux grands groupes: le Groupe de Roy et le Groupe d'Opémisca (archéen) recouverts par la Formation de Chibougamau du Protérozoïque Inférieur.

II.1 LES ROCHES ARCHEENNES DANS LA REGION DE CHIBOUGAMAU

Les roches archéennes faisant partie de la ceinture de roches vertes de l'Abitibi regroupent des sillons de roches volcaniques en alternance avec des bandes sédimentaires et granitiques. D'une superficie de 4.000 km², la ceinture de Chibougamau-Matagami s'étend sur 430 km de long et 60 km de large. Sa stratigraphie se compose de deux grands groupes: le groupe de Roy et le groupe d'Opémisca (Tableau 2).

II.1.1 Groupe de Roy

Le Groupe de Roy est formé de roches volcaniques se subdivisant en quatre formations: Obatogamau, Waconichi, Gilman et Blondeau.

La Formation d'Obatogamau, la plus ancienne, de 3.000 mètres de puissance, est constituée presque exclusivement de basaltes porphyriques coussinés et de filons couches comagmatiques. Les phénocristaux observés sont des plagioclases pouvant excéder cinq centimètres et former plus de

TABLEAU.2 STRATIGRAPHIE DE LA REGION DE CHIBOUGAMAU, adaptée de Allard et al. 1979

PROTEROZOIQUE	Hélikien	Province de Grenville	Intrusions acides: granite, syénite et pegmatite; Intrusions basiques: anorthosite et gabbro; Roches méta-volcaniques: amphibolite à grenat; Roches gneissiques: gneiss quartzofeldspatiques.
	Aphébién	Sous-province de Mistassini	Formation de Chibougamau: paraconglomérats, orthoconglomérats, grès et shales.
ARCHÉEN	Province du Supérieur	Groupe d'Opémisca	Formation de Hally: roches volcaniques intermédiaires, roches sédimentaires; Formation de Stella (Chebistuan): roches sédimentaires
		Groupe de Roy	Formation de Bordeleau: roches volcano-terrigenes;
	Formation de Blondeau: roches volcano-sédimentaires;		Filon couche Bourbeau
	Formation de Gilman: roches volcaniques mafiques;		Filon couche Ventures
	Formation de Waconichi: roches volcaniques felsiques;		Filon couche Roberge
	Formation d'Obatogamau: roches volcaniques mafiques;	Complexe du Lac Doré	
			Pluton de Chibougamau
		SOCLE	Gneiss granitique.

10% de la roche.

La Formation de Waconichi, de 910 mètres d'épaisseur, est formée de coulées mafiques de laves à coussinets, de roches pyroclastiques felsiques, de tufs, de rhyolites porphyriques, de cherts et d'un cycle final exhalatif avec formation de fer dont la formation de fer de lac Sauvage (Allard, et al., 1979). Cette formation de fer montre un faciès carbonaté et localement des faciès sulfurés et oxydés. La Formation de Waconichi présente une bonne exposition dans le sud du canton Queylus, près de la mine Lemoine et en bordure du flanc nord du complexe du Lac Doré.

La Formation de Gilman recouvre la Formation de Waconichi et forme la base d'un second cycle volcanique dans la région de Chibougamau. Ayant une puissance de 3.650 mètres, elle se compose de metabasaltes à coussinets et de sills de gabbro comagmatiques. Les coulées peuvent atteindre 60 mètres d'épaisseur. Des lentilles de brèches à coussinets, de hyaloclastites et pyroclastites sont visibles entre ces coulées.

La Formation de Blondeau constitue le membre supérieur du second cycle volcanique. De 900 mètres de puissance, elle comporte des roches volcano-sédimentaires telles que: argilites, shales, greywackes; des sédiments chimiques tels que tufs cherteux et graphitiques, des coulées rhyolitiques et tufs felsiques. Elle est recoupée par le complexe de Cummings.

Une séquence volcaniterrigène composée de tufs et/ou sédiments feldspathiques de composition intermédiaire se retrouve dans la structure du synclinal de Waconichi. Elle semble être une accumulation locale nommée Formation de Bordeleau (Coty, 1979).

II.1.2 Groupe d'Opémisca

Le Groupe d'Opémisca se subdivise en deux formations: celle de Stella à la base et celle de Hally. Elles se composent toutes deux de séquences de conglomérats, grès, argilites, shales et de coulées de laves andésitiques. Elles recouvrent le Groupe Roy, le Complexe du Lac Doré et le Pluton de Chibougamau dont elles sont séparées par une discordance angulaire. Dimroth et al. (1982) fait remarquer que ces deux formations encore peu définies peuvent être considérées comme une seule unité montrant des changements verticaux et horizontaux.

II.1.3 Complexe du Lac Doré

Le Complexe du Lac Doré, intrusion ignée mafique stratiforme, la plus importante de la région, s'est introduit dans l'assemblage volcano-sédimentaire de Chibougamau, au sommet de la formation de Waconichi. Son épaisseur moyenne varie de quatre à cinq kilomètres. Ses roches ont été plissées et pour la plupart métamorphosées au faciès schistes verts.

Il se compare aux grands complexes connus tels le Bushveld et le Skaergaard mais en diffère par son âge archéen, son métamorphisme et son emplacement tectonique dans une ceinture de roches volcaniques.

Il présente un schéma classique, soit allant de la base vers le sommet: a)-Une zone anorthositique, la plus épaisse (épaisseur maximum de 3.000 mètres) et la plus importante car elle est la roche hôte de la plupart des gisements de cuivre-or du Lac Doré et du Lac Chibougamau; b)-une zone litée formée de métapyroxénite, métapyroxénite à magnétite, métapyroxénite quartzifère; c)-une zone de ferrodiorite; d)-une zone de granophyre sodique; e)-une zone de bordure supérieure.

II.1.4 Complexe de Cummings

Le Complexe de Cummings, de composition moyenne basique, est formé de trois filons couches ultramafiques et mafiques: Roberge, Ventures et Bourbeau, différenciés intérieurement et les uns par rapport aux autres. Ces roches ont été mises en place dans la formation de Blondeau avant l'orogénie Kénoréenne.

Le filon couche Roberge se situe au contact des formations Gilman et Blondeau. Il est constitué de métapéridotite, de dunite et de gabbro.

Le filon couche Ventures comprend deux unités principales, soit un gabbro à gros grains et une pyroxénite noire à verte. La transition entre ces deux unités se fait par une stratification rythmique entre elles.

Le filon couche Bourbeau peut se subdiviser en trois unités: un membre pyroxénitique basal, un membre de leucogabbro et un membre supérieur de ferrodiorite quartzifère.

II.1.5 Pluton de Chibougamau

Le Pluton de Chibougamau couvre une superficie d'au moins 450 km², s'allongeant en direction ENE sur 65 km. Il affleure surtout sous la Lac Chibougamau et se situe en grande partie le long de l'axe de l'anticlinal de Chibougamau (Fig.1). Il est surtout pré-tectonique (Racicot, 1980,1981), mais montre quelques phases syn ou post-cinématiques.

Les roches composant cette intrusion sont des tonalites et diorites, de composition variable et se recoupant entre elles. Dans les parties centrale et occidentale, quatre unités lithologiques peuvent être définies: des méladiorites à hornblende; des diorites quartzifères à hornblende (avec ou sans chlorite); des tonalites à biotite (avec ou sans chlorite) et des leucotonalites (Fig.2). Ces quatre unités sont recoupées par une cinquième regroupant plusieurs types de dykes tardifs (Racicot, 1980,1981).

II.1.5.1 Méladiorite à hornblende

Cette roche se présente sous trois modes de gisements: amas principaux, enclaves et dykes. Elle se retrouve dans la partie occidentale du Pluton et son importance diminue au fur et à mesure que l'on se dirige vers l'est.

Plusieurs variétés de méladiorites se différencient surtout par des granulométries variant de 0.5 mm et moins à 10 cm et par le pourcentage en minéraux mafiques. La plus commune est une méladiorite vert foncé à noire en cassure fraîche à grains fins, composée de

hornblende (60-70%), de plagioclase et en trace d'épidote, de chlorite et de quartz.

II.1.5.2 Diorite quartzifère à hornblende (et/ou chlorite)

Cette unité est répandue dans la zone centrale du Pluton, moins importante ailleurs. Elle se présente sous trois modes de gisements: en amas, en imprégnations et injections dans la méladiorite et en enclaves dans la tonalite.

Les caractéristiques minéralogiques majeures, se retrouvant dans plusieurs variétés de diorite quartzifère sont la présence: de quartz (5% et plus), de minéraux mafiques (25% et plus de hornblende plus ou moins chloritisée, ou de biotite) et de plagioclases.

Ses relations avec les autres unités peuvent se percevoir sous deux formes: l'une qui provient de l'assimilation de la tonalite dans la méladiorite; l'autre laisse voir qu'elle constitue une phase magmatique différenciée en profondeur.

II.1.5.3 Tonalite à biotite et/ou chlorite

La tonalite couvre 50% et plus des trois zones du Pluton. Comme les deux unités précédentes, elle se retrouve sous forme d'amas ou de dykes.

Un amas majeur est présent sur la bordure sud du Pluton dans les zones centrale et occidentale, affleurant surtout à l'est de la baie de Queylus.

Elle montre plusieurs variétés de tonalites se caractérisant par

des couleurs blanc-grisâtre en cassure fraîche; une composition minéralogique comprenant du quartz (30%), de la biotite (15%), de la chlorite, de la hornblende et des plagioclases en pourcentages variables.

La tonalite à biotite et/ou chlorite est la phase majeure du Pluton de Chibougamau.

II.1.5.4 Leucotonalite

Cette roche est aussi étendue que la méladiorite et se retrouve en deux amas, l'un au sud du Lac Chibougamau, le second en bordure nord du Pluton, ou sous forme de dykes.

Elle est de couleur blanc-grisâtre ou verdâtre en cassure fraîche et composée de plagioclases, de quartz interstitiel, de moins de 5% de biotite et/ou chlorite.

Cette phase intrusive est la dernière phase majeure du Pluton de Chibougamau, mais elle pourrait résulter de la différenciation de la tonalite à biotite et/ou chlorite.

II.1.5.5 Dykes tardifs

Les dykes tardifs montrent des compositions plus ou moins similaires aux unités principales du Pluton, recoupant ces dernières. Ils laissent supposer un magmatisme récurrent.

II.2 LES ROCHES PROTEROZOIQUES

formation de Chibougamau qui reposent en discordance sur les roches d'âge archéen et, d'intrusions basiques.

CHAPITRE III

GEOLOGIE PONCTUELLE DE LA MINÉRALISATION EN CUIVRE

SITUÉE DANS LA PÉNINSULE DEVLIN

Le contexte ponctuel de la minéralisation de cuivre se situant dans la péninsule Devlin (district de Chibougamau) a déjà fait l'objet de deux études.

Kavanagh (1978) définit ce contexte comme une brèche hétérogène recoupée par un "stockwork" de veines et veinules de quartz, chalcopryrite, feldspath, pyrite; et par un feuillet minéralisé en chalcopryrite, situé au sud du Pluton de Chibougamau. Cette brèche montre deux variétés: l'une à fragments de roches encaissantes et matrice tonalitique; la seconde à fragments tonalitiques et matrice microlithique de quartz et épidote. Le "stockwork" recoupant ces deux types de brèches est constitué de veines de quartz, épidote, carbonates, pyrite et en faible quantité de chalcopryrite. Brèches et "stockwork" sont ensuite recoupés par une faille subhorizontale ayant un remplissage de quartz et de chalcopryrite. Ce remplissage représente possiblement une minéralisation économique.

Bureau (1980) approfondit l'étude des matrices et de la roche encaissante. Cette dernière est formée d'une tonalite à chlorite et/ou épidote. Les matrices furent diversifiées et quatre furent définies,

pétrographiquement et morphologiquement.

III.1 ROCHES ENCAISSANTES

La roche encaissante de la minéralisation en cuivre est une tonalite du Pluton de Chibougamau, présentant des concentrations différentes en chlorite et en épidote suivant sa situation géographique par rapport à la brèche.

III.1.1 La tonalite à chlorite

La tonalite à chlorite se situe au nord de la zone de brèche. Il s'agit de l'unité majeure de ce secteur (Fig.3). L'étude d'une vingtaine de lames minces montre la composition moyenne suivante: quartz (29%), plagioclase (53%), chlorite (7%) et épidote (6%). Les compositions trouvées sont semblables à celles déterminées par Bureau (1980).

III.1.2 La tonalite à épidote

La tonalite à épidote se positionne au sud de la brèche. L'étude pétrographique de six lames minces a donné une composition moyenne de: quartz (30%), plagioclase (62%), chlorite (1%) et épidote (7%) (cf. Bureau, 1980).

La subdivision basée sur la concentration d'épidote et de chlorite n'est toutefois pas rigoureuse car des zones assez importantes de tonalite à chlorite sont retrouvées dans ce secteur.

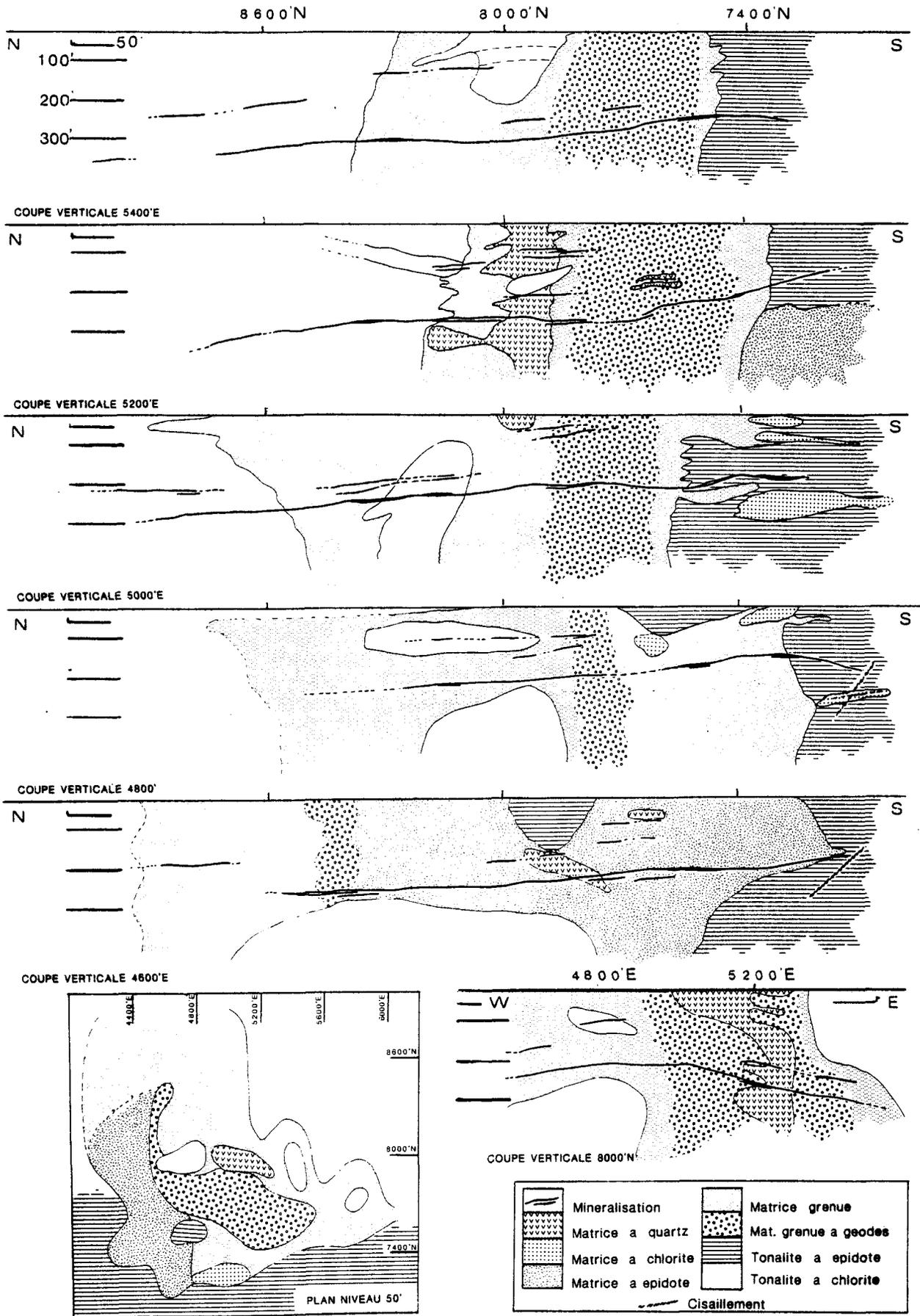


FIG.3 CONFIGURATION DE LA BRECHE ET DE LA MINERALISATION DE LA PENINSULE DEVLIN

III.2 BRECHE

La brèche, hôte d'une partie de la minéralisation en cuivre est hétérogène. Elle est constituée de fragments des roches environnantes: fragments de gabbro anorthositique provenant du complexe du Lac Doré, fragments des tonalites du Pluton de Chibougamau, fragments de tonalites et de diorites provenant de dykes. Ces fragments ne sont pas tributaires d'une position en particulier, mais se retrouvent dans toute la brèche quelque soit sa matrice; seules leurs concentrations varient.

Plusieurs forages (R3-21-65'; R3-42-153'...) montrent une rebréchification avec des fragments de brèche pris dans des matrices similaires à celles déjà présentes (Fig.4).

Les matrices, quant à elles, semblent liées spatialement (Fig.3) contrairement aux fragments. Au nombre de quatre, elles se répartissent comme suit: la matrice grenue est centrale, entourée plus ou moins régulièrement, surtout à l'ouest par la matrice à épidote; les matrices à quartz et à chlorite sont plus ponctuelles et se situent, dans la cas de la matrice à quartz, au contact nord entre la matrice grenue et la matrice à épidote; et pour la matrice à chlorite, au contact matrice à épidote/tonalite à épidote au sud de la zone bréchifiée.

III.2.1 Matrice grenue

Située au centre de la zone bréchifiée, elle montre une forme plus ou moins ovoïde. Sa couleur varie de vert foncé à blanc verdâtre. De texture équi-granulaire à microbréchique, elle se compose

FIGURE.4 DEROULE DE LA CAROTTE DE FORAGE R3-120-130.1',
MONTRANT DEUX BRECHIFICATIONS SUCCESSIVES

Matrice 1: Matrice à épidote montrant des taches de chlorite, des grains de feldspath plagioclase rose, des grains de quartz et des géodes millimétriques de pyrite + épidote + quartz;

Matrice 2: matrice à chlorite vert sombre;

Fragments 1: fragments tonalitiques roses composés de quartz + plagioclase épidotisé au centre du grain et hématisé en bordure + épidote;

Fragment 2: fragment tonalitique lité, chloritisé et épidotisé en son centre, hématisé et silicifié en bordure;

Fragment 3: fragment tonalitique blanc à vert clair formé de quartz + plagioclase séricitisé + épidote + chlorite.

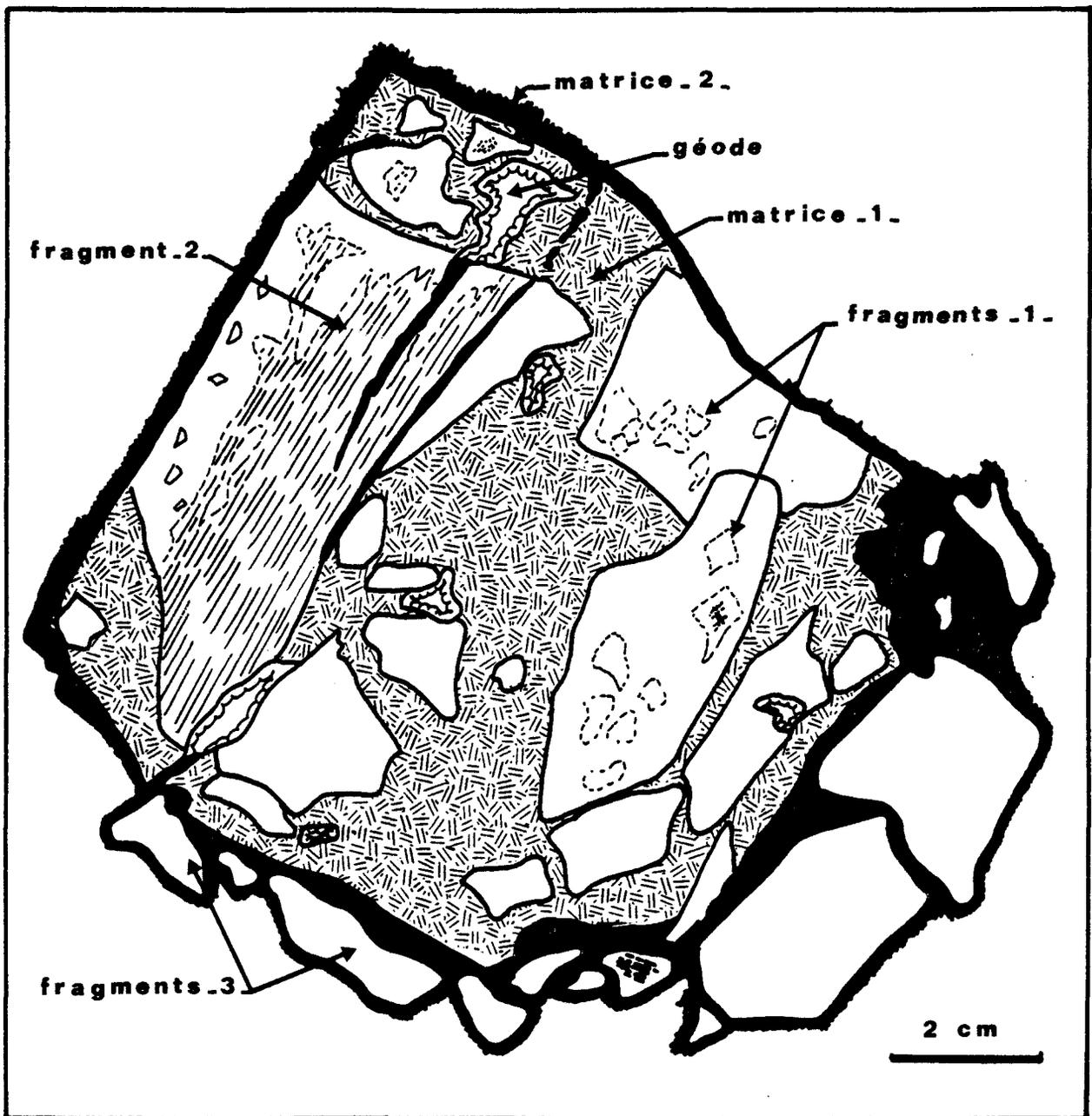


FIG.4 DEROULE DE LA CAROTTE DE FORAGE R3-120-130.1',
MONTRANT DEUX BRECHIFICATIONS SUCCESSIVES

de quartz, feldspaths, épidote, séricite en faible quantité avec des traces de chlorite, carbonates et opaques.

Elle présente une partie à forte concentration de géodes de taille variable (millimétrique à centimétrique) tapissées de pyrite, quartz et épidote.

III.2.2 Matrice à épidote

De couleur vert pâle, elle entoure la matrice grenue et présente les mêmes textures que celles-ci. Elle est formée de quartz, feldspath, épidote et de traces de chlorite et carbonates. Elle présente une concentration de fragments de quartz de 1 cm.

III.2.3 Matrice à quartz

Composée de quartz laiteux et de trace de tourmaline, carbonates, chlorite et épidote, elle se présente en filets entre les fragments mais aussi en "blocs" de forte épaisseur (50 cm- 1 m).

III.2.4 Matrice à chlorite

La plus faible en étendue, de couleur vert clair à vert foncé, elle montre une texture ressemblant à une texture subophitique. Elle est formée à 50% de quartz et feldspath et 50% de chlorite en bâtonnets avec des traces d'épidote.

Dans les cas de rebréchification, les matrices "secondaires"

sont surtout de type à quartz ou à chlorite (Fig.4)

Le tableau 3 récapitule la pétrographie des différentes matrices et des roches encaissantes. Pour plus de détails, se reporter à Bureau 1980.

III.3 MINERALISATION

La minéralisation en cuivre de la péninsule Devlin a été étudiée en un premier temps par Kavanagh (1978). La minéralogie décrite est simple: la chalcopryrite et la pyrite sont parfois accompagnées de sphalérite, de pyrrhotine et très rarement de covellite (un grain) et d'or. La gangue se compose en majorité de quartz, chlorite, épidote, plagioclase et en trace de tourmaline, calcite et oxydes de fer (Fig.5A). La présence de pyrite et de chalcopryrite dans les fragments et matrice de la brèche est à noter.

III.3.1 Minéralogie

Les sulfures présents sont par ordre décroissant: pyrite, chalcopryrite, pyrrhotine (dans deux échantillons), sphalérite (dans trois échantillons). Leur description se base sur l'étude d'une cinquantaine de lames minces.

Les grains de chalcopryrite sont extrêmement fins, xénomorphes et montrent une couleur variant du jaune citron au jaune pâle. Ils se retrouvent sous trois formes: a) dendritiques et/ou intergranulaires; b) en matrice et c) en grains allongés pouvant former un litage millimétrique avec principalement la magnétite (Fig.5B). Elle se

TABLEAU.3 RECAPITULATIF DES DIFFERENTES MATRICES ET DES TONALITES ENCAISSANTES.

Matrices	Couleur	granulo- métrie	Texture	Composition								Observations
				qtz	F π	epi	chl	séricite	carb	opaq	tourm	
GREUVE	vert foncé à blanc verdâtre	moyenne .1mm	équigranulaire à microbréchique	microcristallins anguleux recristallisés .2 à 2mm		pistachite diminution	tr	faible	tr	tr	---	1 partie avec une concentration de geodes (20% de la roche tapissée de qtz + epi ± py
EPIDOTE	vert pâle	fine	équigranulaire ↓ microbréchique	microcristallin 1mm		présent	tr	---	tr	---	---	plus forte concentration de fragments de qtz de 1cm
QUARTZ	blanche	.5 à 5mm	en filet entre les fragments	laiteux		tr	tr		tr		tr	
CHLORITE	vert clair ↓ vert foncé	fin .4mm	subophitique	50% équigranulaire		tr	50% bâtonnets					
Tonalite à chlorite	vert foncé à vert clair		porphirique à équigranulaire	inters- titiel 29% aphyrique	phénoX 53%	6%	7% paillettes		tr	tr		+muscovite } PL altéré séricite (centre) pistachite (bord)
Tonalite à épidote	vert pâle		porphyrique à équigranulaire	30% .3/.5mm	62% 1à1.5mm	7%	1%		tr	tr		+muscovite } chlorite: ancienne biotite??

FIGURE.5 SCHEMAS MACROSCOPIQUE ET MICROSCOPIQUES DE LA
MINERALISATION

- A)- Veine minéralisée "à grains grossiers" montrant les relations entre la chalcopryrite (Cpy), la pyrite (Py), le quartz (Qz), la chlorite (Chl) et l'épidote (Epi), double polie R3-4-205';
- B)- Allongement de la chalcopryrite (Cpy) et de la magnétite (Mg) dans un échantillon minéralisé et tectonisé, échantillon R3-23-233';
- C)- Relations entre la chalcopryrite (Cpy), la pyrite (Py) et la pyrrhotine (Po), échantillon R3-66-223';
- D)- Relation chalcopryrite-magnétite-hématite (He), échantillon R3-64-242';
- E)- Remplissage des franges de pression par de la chalcopryrite autour d'un grain de pyrite, échantillon R3-5-308';
- F)- Surcroissance des plagioclases (Pl) en présence de la minéralisation chalcopryrite-pyrite, échantillon R3-13-269'.

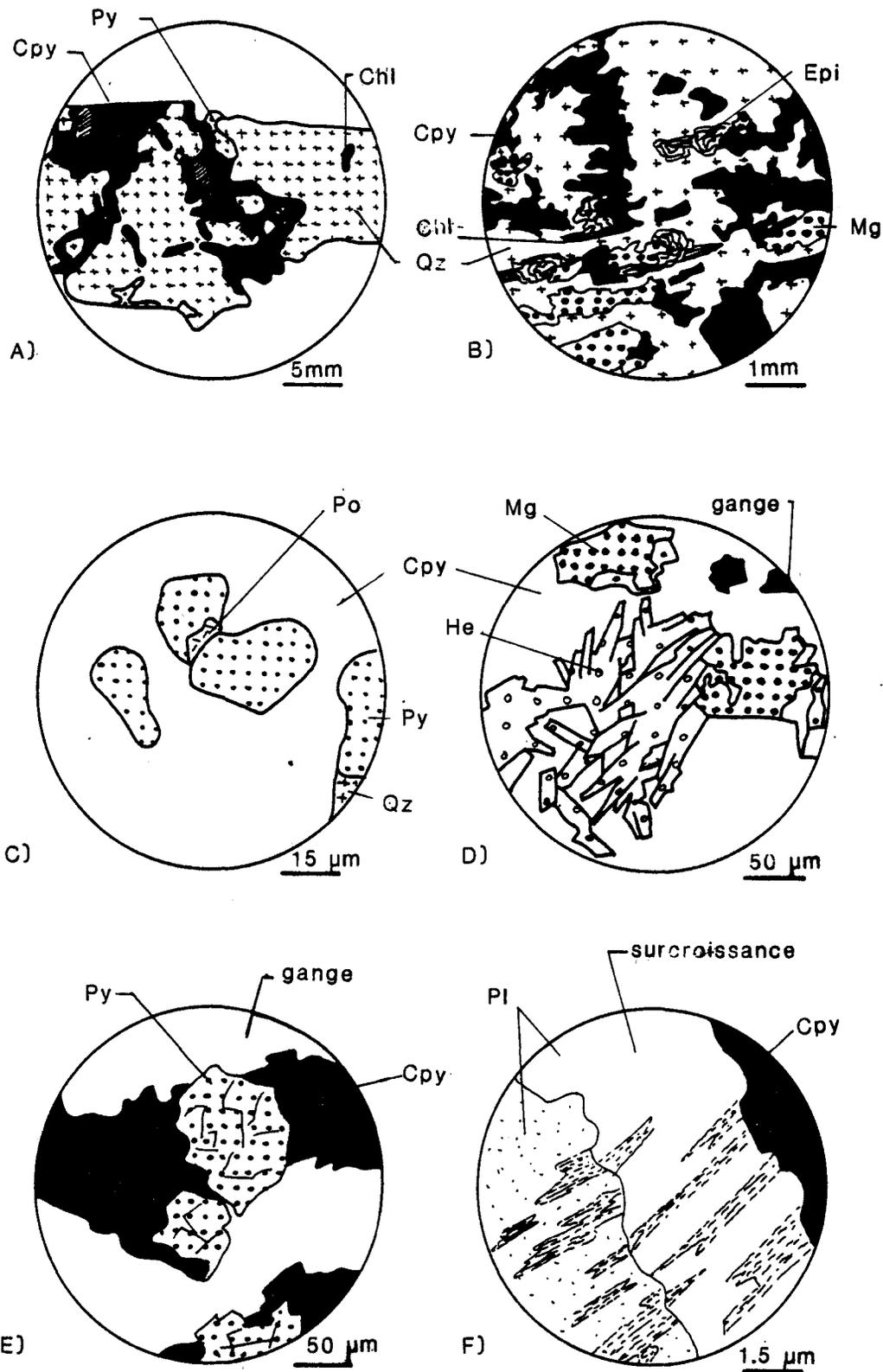


FIG.5 SCHEMAS MACROSCOPIQUE ET MICROSCOPIQUES DE LA MINERALISATION

remarque aussi dans des franges de pression (pressure shadow zone) encadrant des grains de pyrite (Fig.5E).

La pyrite se présente sous forme de grains xénomorphes à hypidiomorphes de taille variant du dixième de millimètre à six millimètres. Ces grains peuvent être en amas, disséminés dans les veines, fracturés et allongés. Ils montrent parfois des intercroissances avec la chalcopryrite (Fig.5F).

La sphalérite en trace (<1% dans trois échantillons) est formée de grains xénomorphes. Elle a été rencontrée dans des échantillons à matrice de quartz et fragments de tonalite altérée.

La pyrrhotine en trace (<0.5% sur deux échantillons) se présente en grains d'environ 10 microns et se positionne au contact de grains de pyrite (Fig.5C) et en inclusions dans la chalcopryrite. Sa présence a été décelée dans des échantillons à porphyroblastes de pyrite.

Deux autres minéraux métalliques ont été visualisés. De l'or en grains xénomorphes d'environ 35 microns disséminés dans la chalcopryrite montre un pourcentage inférieur à 0.5 dans quatre lames minces. Un minéral non déterminé de couleur gris, plus clair que la magnétite, isotrope, en grains de 15 microns est distribué aléatoirement dans la chalcopryrite et la pyrite (un échantillon: R3- 71-254').

La gangue, de composition très variable, renferme majoritairement du quartz, de la chlorite, de l'épidote, des feldspaths et des carbonates.

Le quartz est généralement en grains xénomorphes, se subdivisant souvent en deux grands groupes: a) de taille fine à grossière (500 µm à

6 mm), il montre des extinctions roulantes, des lamelles de déformations indiquant des glissements internes aux grains, des dislocations (R3-5-308') et du boudinage (R3-23-233'); b) les grains inférieurs à 300 microns, xénomorphes, présentent des textures en mortier, se situent entre les grains grossiers de quartz et/ou disséminés dans la veine minéralisée.

Les plagioclases lorsque présents, peuvent eux aussi montrer des lamelles de déformation. Leur couleur mégascopique varie du blanc au blanc rosé saumon. Ils montrent des textures perthitiques et des textures de surcroissance sur quelques échantillons (4). Dans ce second cas, les grains de plagioclase présentent une partie centrale à altération moyenne (séricite) et à forte concentration d'impuretés, leur zone extérieure est nette d'impureté et sans altération (Fig.5F).

La chlorite varie de vert clair à vert très sombre. Elle est sous forme de baguettes soit distribuées dans la veine, soit concentrées en bordure de la minéralisation.

L'épidote a une distribution spatiale identique à la chlorite. Elle peut montrer des formes automorphes à xénomorphes.

Les carbonates (calcite) se présentent en grains hypidiomorphes à xénomorphes fortement maclés. Ils sont généralement en intercroissance avec les grains grossiers de quartz et plus rarement en filonnets entre les autres minéraux constituants de la veine minéralisée.

De la tourmaline en aiguille peut être présente ainsi que de la séricite.

La gangue peut aussi contenir des minéraux ferrifères comme de la magnétite en grains xénomorphes à hypidiomorphes très souvent en contact avec la chalcopryrite qu'elle peut entourer (Fig.5D) ou peut

être disséminée dans les plages de celle-ci. La magnétite est souvent accompagnée d'hématite. Cette dernière se présente sous deux formes: a) en auréole autour de la magnétite comme produit d'altération ou b) en grains lamellaires formant parfois des éventails (R3-64-242').

III.3.2 Configuration du gisement, structure locale

La minéralisation cuprifère de la péninsule Devlin peut s'assimiler à un plan ondulant se schématisant par un horizon de 610 mètres de large (E.W), de 920 mètres de long (N.W) et 1 mètre maximum d'épaisseur. Cet horizon est incliné de 7 à 8° N.NE et varie entre les niveaux suivants: 100 m (330') au Nord, 110 m (360 pieds) à l'est et 30 m (99 pieds) au sud, 28 m (91 pieds) à l'ouest.

Ce plan ondulant est constitué d'une veine continue à épaisseur variant de quelques centimètres (5 à 10 cm) à un mètre, parfois 2.5 m lorsqu'elle se ramifie. Cette ramification (figs.6A,6B), double ou triple fragmente des blocs de la brèche et des dykes dioritiques tout en conservant une orientation moyenne parallèle au pendage général de l'ensemble de la minéralisation. Les fragments de brèche pris dans les ramifications peuvent montrer la présence de deux matrices, soit le plus souvent la matrice à épidote recimentée par la matrice à chlorite ou par la matrice à quartz.

En règle générale, la veine minéralisée montre une granulométrie grossière: cristaux de quartz, carbonates et plagioclases hypidiomorphes à automorphes, toujours remarquée dans les zones "épaisses" de la minéralisation. Certaines zones "resserrées" ou "pincées" peuvent présenter des textures fluidales dans lesquelles la

FIGURE.6 SCHEMA DE LA VEINE MINERALISEE, d'après des croquis pris dans la galerie d'exploitation

- A)- Veine principale ayant fracturé et englobé des fragments de la brèche (dyke diorite, tonalite...);
- B)- Schématisation de la minéralisation présentant trois ramifications sub-horizontales, un pincement et une apophyse verticale;
- C)- Failles tardives (post-bréchification) basculant ou non la minéralisation en place.

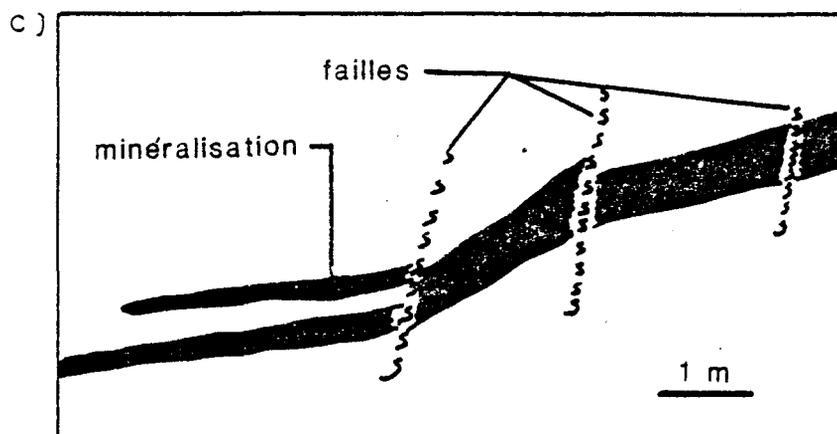
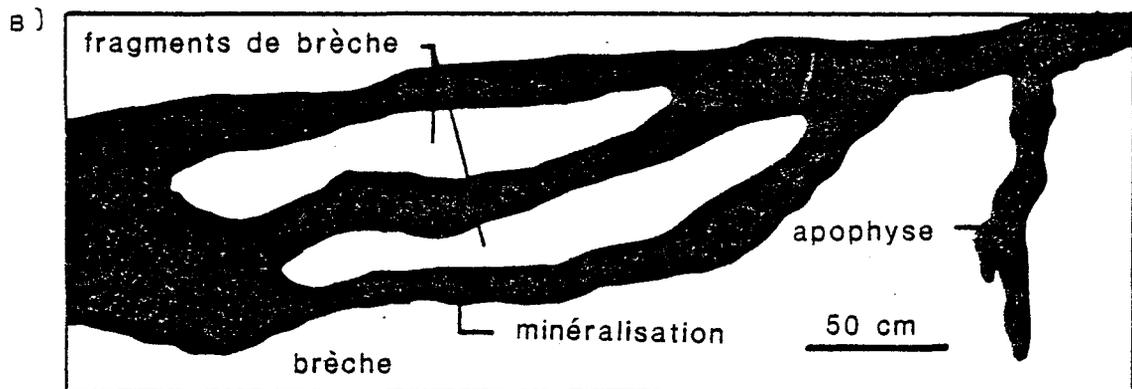
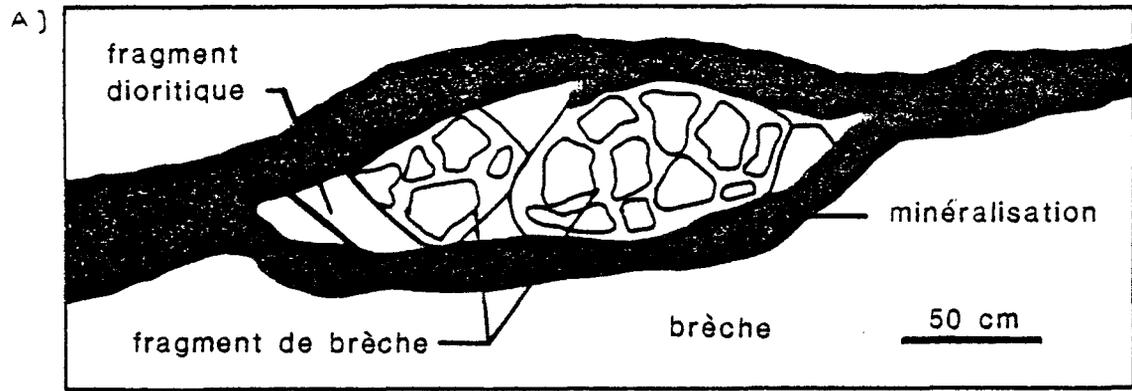


FIG.6 SCHEMA DE LA VEINE MINERALISEE, d'après des croquis pris dans la galerie d'exploitation.

chalcopryrite peut se retrouver: interlitée avec la chlorite, parfois la magnétite et/ou en remplissage des franges de pression situées de part et d'autre de grains de pyrite (Fig.6A). Ces dernières textures se remarquent aussi proche des fractures tardives.

Lors de la compilation des veinules minéralisées, il est possible de différencier un réseau de veinules de 1 mm à 15 cm d'orientation et pendage aléatoire formant un genre de "stockwork". La minéralisation se prolonge dans les tonalites encaissantes (forages R3-80, R3-91) mais son épaisseur est alors plus faible que dans la zone de brèche.

Une zone de cisaillement se poursuivant sur 70 m, présentant une épaisseur variant de 1 à 2 m et montrant un rétrécissement de l'est vers l'ouest est visible dans la galerie principale. De direction EW et de pendage 70 à 75° N elle pourrait être une limite (?) à la veine minéralisée dans la zone sud du gisement car au sud de ce cisaillement, seules se retrouvent quelques veinules de 8 à 20 mm formées de pyrite, quartz et chalcopryrite en trace (forage R3-71).

Dans la veine elle-même, au niveau des galeries, de nombreuses failles et joints sont apparents (Fig.6C). Leur compilations fait ressortir quatre directions principales (194-65°W; 269-52° N; 142-40° SW et 346-75° NE) (Guha et al.,1984). Ces plans de fractures recoupent, basculent et déplacent la minéralisation.

CHAPITRE IV

ALTERATIONS AFFECTANT LA BRECHE

DE LA PENINSULE DEVLIN

La brèche de la péninsule Devlin et son encaissant sont affectés par un métamorphisme de degré schistes verts et par une suite d'altérations diffuses: hématitisation, albitisation, assemblages chlorite-épidote et par des réseaux de veinules de magnétite, tourmaline, amphibole, quartz et hématite.

La chronologie de ces altérations est basée sur des recoupements répétitifs entre les différentes veinules et les associations de celles-ci avec les altérations diffuses. Cette étape a présenté des difficultés causées par la présence du métamorphisme régional.

IV.1 METAMORPHISME AYANT AFFECTE LA REGION

Le métamorphisme de degré schistes verts ayant affecté cette région se caractérise par une épidotisation au coeur des plagioclases accompagnée par la formation de fines paillettes de séricite disposées suivant les plans de macles des plagioclases. Les minéraux mafiques primaires (biotite, hornblende) ont été chloritisés et épidotisés, mais ils sont reconnaissables par leur texture relique, les épidotes et les

chlorites étant des pseudomorphes des minéraux primaires (Bureau, 1980).

Dans la zone étudiée, le métamorphisme régional n'est pas reconnaissable en tant que tel car il implique les mêmes minéraux d'altérations que les assemblages d'altérations retrouvés durant l'évolution de la brèche de la péninsule Devlin.

IV.2 HEMATITISATION PRECOCE

Cette altération se retrouve en général sur toute la zone étudiée mais elle est plus marquée à faible profondeur (15 m - 30 m) dans la partie nord de cette zone de brèche. Elle affecte les tonalites encaissant la brèche et la plus grande majorité des fragments composant cette dernière, excepté des fragments de dykes (?) dioritiques. Elle se rencontre sous forme de zones tectonisées ou non de quelques centimètres d'épaisseur (Fig.7) et en altération diffuse dans les roches encaissantes et les fragments de la brèche.

IV.2.1 Hématitisation diffuse

L'hématitisation diffuse affecte les tonalites encaissant la brèche, les fragments de gabbro anorthositique du complexe du Lac Doré et les fragments de tonalite provenant du Pluton de Chibougamau. Elle n'a pas été visualisée dans les fragments de dykes dioritiques.

Cette altération touche principalement les grains de plagioclase. Ceux-ci montrent la "formation" de séricite (de 10 à 200 μm) et d'oxydes de fer (de 10 à 100 μm) dans les plans de macles.

Fig.7 RELATIONS ENTRE LES DIFFERENTES PHASES D'ALTERATIONS
EN VEINULES

A) Tonalite métamorphisée recoupée, par ordre chronologique:

une zone d'hématitisation précoce, une veinule de quartz;
une veinule de chlorite et épidote;
une veinule de chlorite seule;
une veinule d'épidote, de pyrite et de chlorite (en trace);
une veinule de tourmaline.

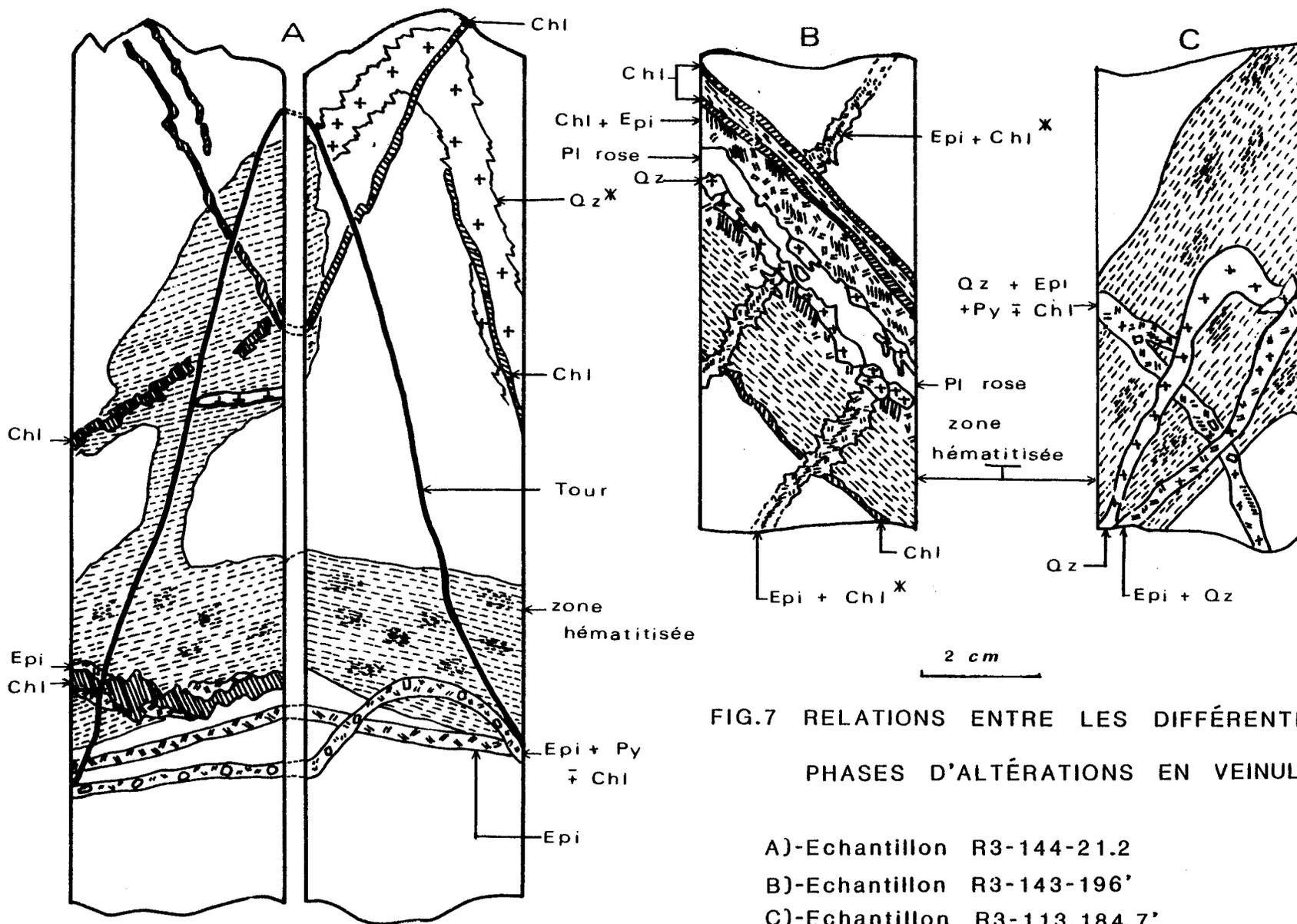
B) Tonalite métamorphisée recoupée par:

l'hématitisation précoce;
une veinule de chlorite et d'épidote;
une veinule de quartz et de plagioclase rose.

C) Intersection de quatre types de veinules, dans l'ordre
chronologique:

l'hématitisation précoce;
une veinule de quartz, d'épidote, de pyrite et de chlorite
(trace);
une veinule de quartz;
une veinule d'épidote et de quartz.

L'astérisque (*) mis après ces minéraux composant une veinule indique que celle-ci a été reprise par un mouvement tectonique et présente la même fabrique que la roche.



Parfois, il est possible de remarquer de petits grains de quartz associés (?) à la séricite et à l'oxyde de fer (Fig.8)

Les grains de quartz ne semblent pas affectés par cette altération ainsi que les grains de chlorite et d'épidote lorsque présents. Par contre, des grains hexagonaux d'oxyde de fer variant du rouge orangé à opaque de 10 à 500 μm se retrouvent disséminés entre les minéraux présents.

Cette hématitisation diffuse se retrouve à divers degré d'intensité dans les roches affectées. Ces degrés sont illustrés par les échantillons R3-146-49' à 60' provenant d'un bloc de gabbro anorthositique (Planche.1).

IV.2.2 Zones hématitisées

Les zones de quelques centimètres d'épaisseur caractérisant ce type d'altération montrent des directions aléatoires: les angles compris entre l'axe de forage (vertical) et le plan de la zone varient de 30 à 80°.

Tout comme l'hématitisation diffuse, ces zones se retrouvent dans les mêmes conditions spatiales que cette dernière, et sont recoupées par toutes les autres altérations en veinules décrites ci-après.

De couleur rose saumon sombre, ces zones se composent principalement de plagioclases de même couleur (50%), de quartz (35%), d'épidote (5%), de chlorite vert moyen (<1%), de carbonates (1%) et d'oxydes de fer (2%).

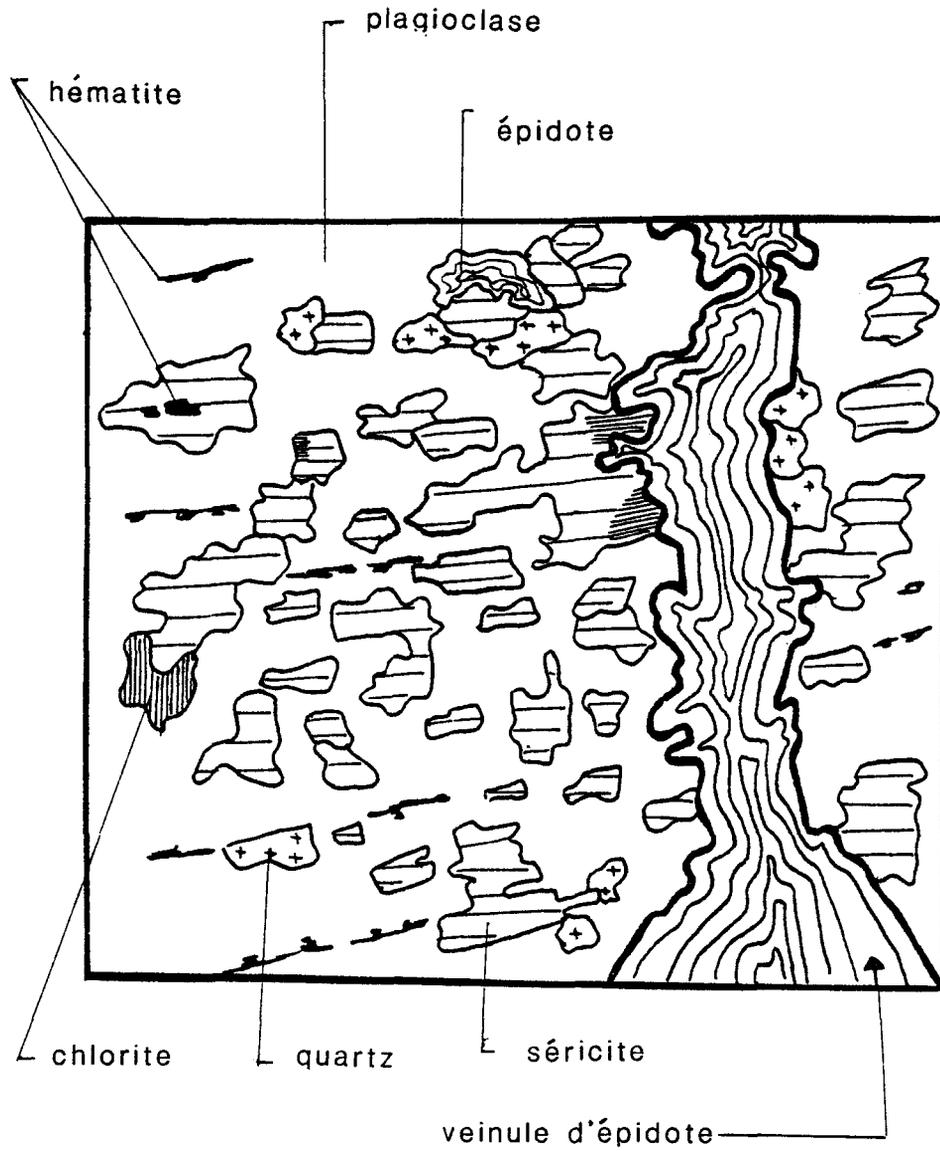


FIG.8 HÉMATISATION 'PRÉCOCE DIFFUSE DANS UN
 PLAGIOCLASE (échantillon R3-146-59.1')

PLANCHE.1: Evolution de l'hématitisation précoce en phase diffuse dans un fragment de gabbro-anorthositique.



PLANCHE.2 Présence de plagioclases roses dans la veine minéralisée principale, échantillon provenant de la galerie d'exploitation.



Les plagioclases xénomorphes à hypidiomorphes sont altérés en séricite le long des plans de macles et/ou en épidote et chlorite (trace) en taches dans les grains.

Le quartz xénomorphe est interstitiel aux grains de plagioclase.

L'épidote, la chlorite et les carbonates, en grains fins ($<100 \mu\text{m}$) sont dispersés et remplissent les interstices entre les grains de plagioclase et de quartz.

Les oxydes de fer se retrouvent en petits grains dispersés entre les minéraux présents et en "chapelets" dans les plans de macles des grains de plagioclase, étant alors responsables de leur coloration.

IV.3 ASSEMBLAGE CHLORITE-EPIDOTE

Cette altération se retrouve au niveau des tonalites encaissantes et dans les fragments de la brèche. Elle est souvent difficile à déceler car les minéraux la définissant sont semblables à ceux mis en jeu par le métamorphisme de degré schistes verts affectant cette région.

IV.3.1 Assemblage chlorite-épidote en veinule

Comme pour les zones hématitisées de quelques centimètres d'épaisseur, il a été impossible d'individualiser cette altération par une ou des orientations spécifiques des veines et veinules étudiées, les angles axe de forage / plan de la veine variant de 0 à 90°.

Le nombre et la variété des veines et/ou veinules définissant cette altération sont élevés. Elles présentent en commun une légère

concentration en chlorite et en épidote au niveau de leurs épontes. Cette caractéristique est parfois difficile à évaluer.

Les descriptions qui suivent définissent les principaux types de veinules rencontrés dans cet assemblage, mais tous les intermédiaires entre les veinules à chlorite seule ou à épidote seule sont possibles et peuvent s'accompagner de quartz, plagioclase, chalcopryrite et carbonates en pourcentage variable.

IV.3.1.1 Veinules de chlorite-épidote

Ces veinules sont définies par des grains allongés et déformés tectoniquement. Elles sont souvent reprises par une foliation secondaire affectant l'ensemble de la roche. Elles recoupent l'hématitisation précoce et sont recoupées par toutes les autres phases d'altérations décrites ci-après (Fig.7A et 7B).

IV.3.1.2 Veinules de chlorite

Les veinules de chlorite ont été retrouvées sur toute l'étendue de la zone étudiée. Elles peuvent se concentrer sur certaines sections jusqu'à 10 veinules de 1 à 5 mm sur 8 cm d'épaisseur (R3-122-78') ou être très clairsemées: une veinule par mètre.

Leur distribution est aléatoire et leur épaisseur varie de 1 mm à 1 cm. Les grains de chlorite de 100 à 500 microns sont xénomorphes à hypidiomorphes.

IV.3.1.3 Veinules de quartz-chlorite

Cette variété montre presque toujours une forme d'entonnoir lorsqu'elle est recoupée par des forages verticaux (Fig.9B). Leur dimension varie de 1 à 3 cm de large.

Leur disposition spatiale semble reliée à la minéralisation car elles se retrouvent généralement proches des veines minéralisées. Une exception a été trouvée: le forage R3-146 possédant une très forte concentration de ce type de veinules est peu minéralisé.

Les grains de chlorite sont vert sombre à noir et sont disséminés en "taches" plus ou moins allongées dans le quartz.

IV.3.1.4 Veinules d'épidote seule

Celles-ci peuvent être classées en deux types distincts:

a)-Veinules à grains xénomorphes et hypidiomorphes formant des réseaux aléatoires pouvant recouper toutes les veinules déjà citées et s'entrecouper elles-mêmes. Elles peuvent avoir été réouvertes une à deux fois et montrent alors un remplissage de quartz (R3-117-197,3'; R3-132-64'). Quelques unes d'entre elles ont subi des événements tectoniques et sont recoupées par des veinules caractérisant d'autres types d'altérations "précoces" (Fig.10). Elles se retrouvent dans toute la région étudiée.

Fig.9 VEINULES DE L'ASSEMBLAGE CHLORITE-EPIDOTE

- A)- Réseau serré de veinules de chlorite vert moyen (Chl), échantillon R3-122-78';
- B)- Veinule à quartz (Qz) et chlorite sombre (Chl), échantillon R3-135-125.7';
- C)- Veinule de chlorite vert moyen réouvrant une veinule de la phase d'albitisation associée à la minéralisation, échantillon R3-147-98.3';
- D)- Veinule à quartz et chlorite sombre en bordure, celle-ci peut-être légèrement minéralisée, échantillon R3-126-86.2';
- E)- Veinule montrant deux variétés d'épidote en bordure du quartz, échantillon R3-132-64';
- F)- Veinule d'épidote verticale recoupant une tonalite à épidote;
- G)- Veinule de quartz, chalcopryrite, pyrite, chlorite et épidote recoupant la brèche à matrice grenue, échantillon R3-116-194.2'.

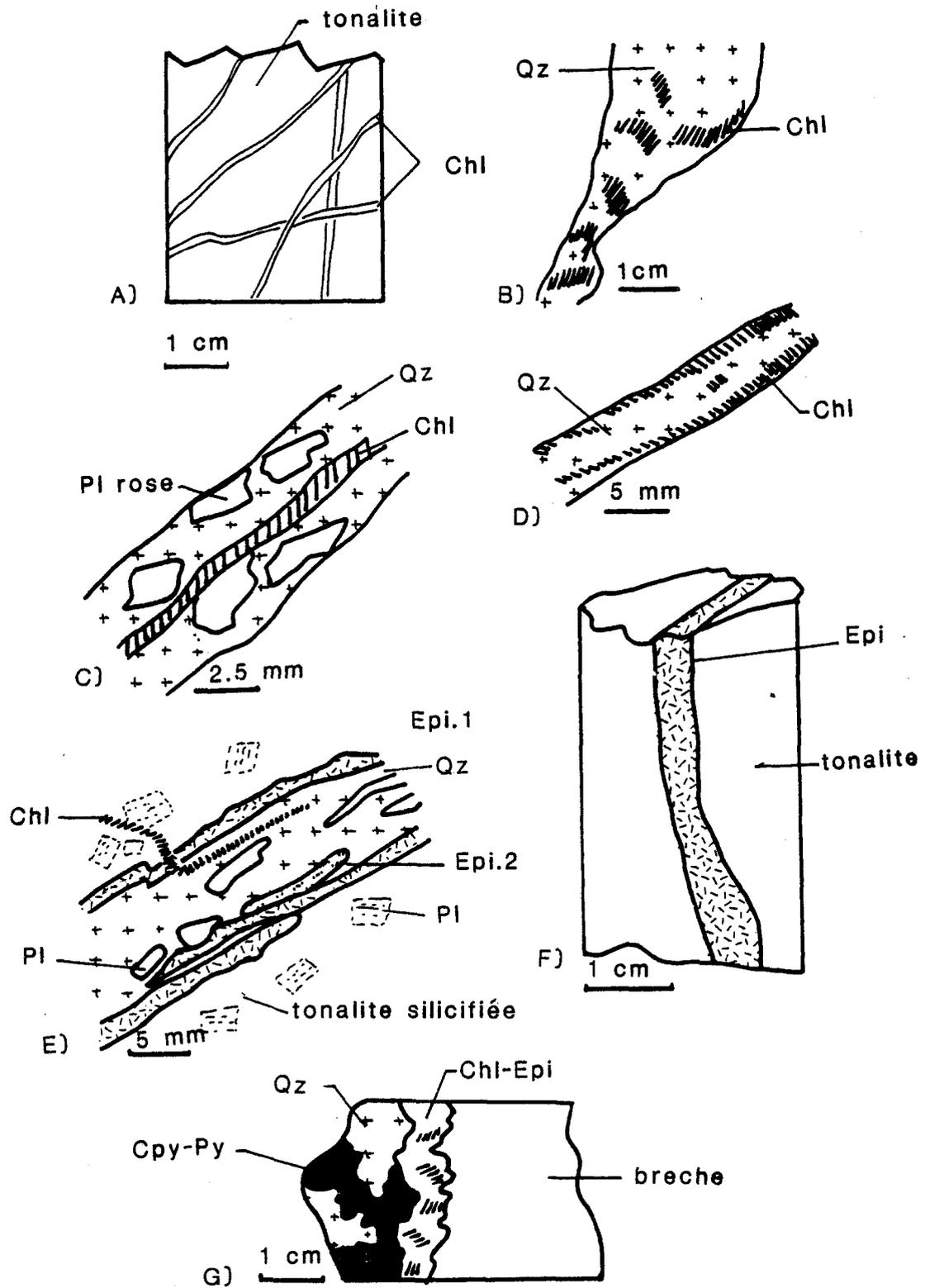


FIG.9 VEINULES DE L'ASSEMBLAGE CHLORITE-ÉPIDOTE

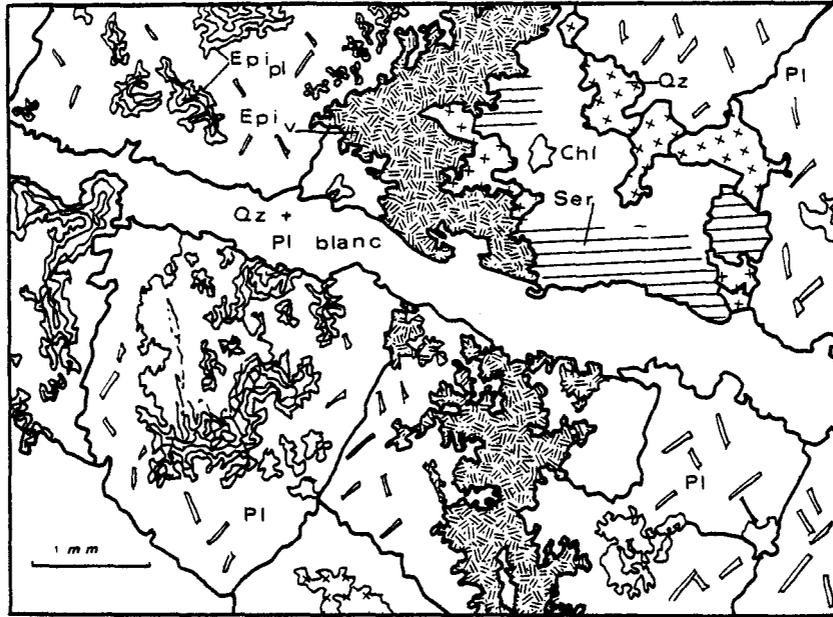


FIG.10 VEINULE D'ÉPIDOTE 'PRÉCOCE' RECOUPÉE PAR UNE VEINULE QUARTZ ET PLAGIOCLASE BLANC

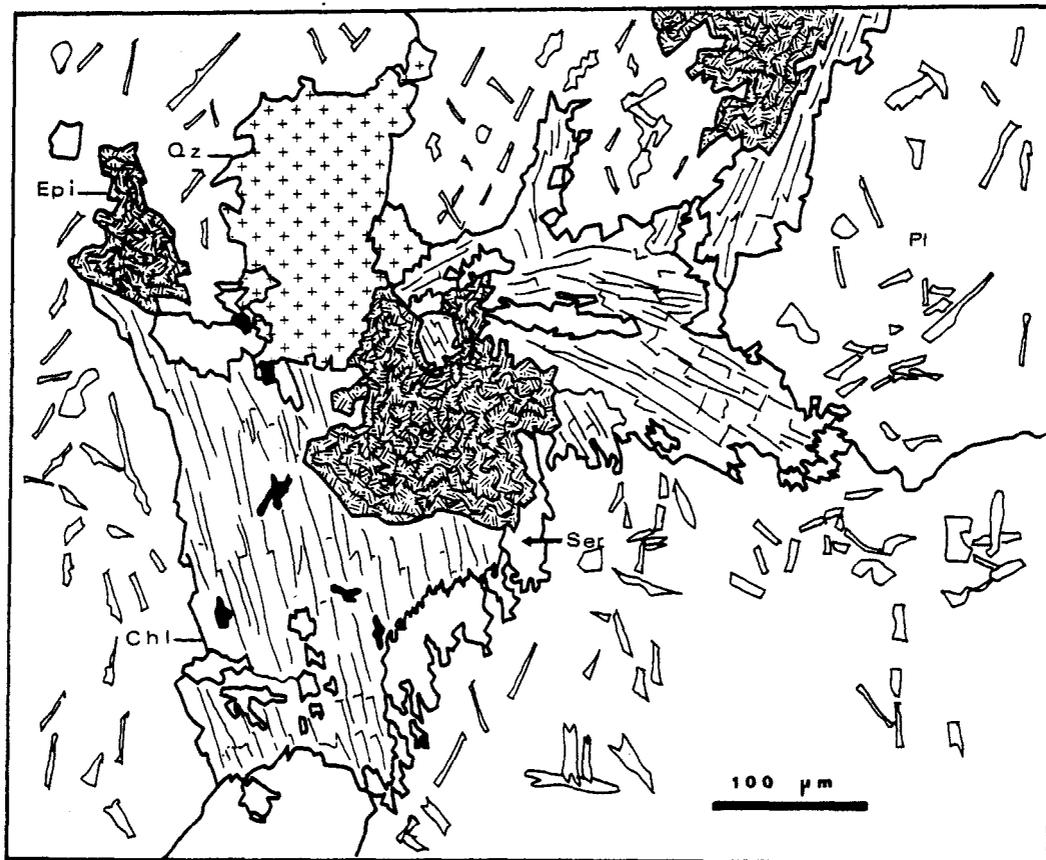


FIG.11 SÉRICITISATION DE LA CHLORITE

b)-Veinules à texture crustiforme montrant une "fraîcheur" relative par rapport au premier groupe. Elles n'ont jamais été trouvées en relation directe avec les autres veinules étudiées. Elles se retrouvent dans les tonalites encaissantes et dans la zone de brèche.

IV.3.1.5 Veinules de chlorite-épidote-quartz-pyrite-chalcopyrite-carbonates

Ce type de veinules est assez rare, comparativement à celles déjà citées. En règle générale les minéraux tels que pyrite, quartz, chalcopyrite se situent au centre de la veinule et la chlorite et l'épidote en bordure. Ces deux derniers minéraux sont intimement liés; ils peuvent parfois former des amas ou des bandes millimétriques monominéraliques (rare). Des grains de feldspath peuvent être présents en trace.

Les grains de chlorite sont de couleur vert moyen à vert sombre-noir. Ils polarisent dans les tons de bruns plus ou moins kaki à brun noir. Ils semblent similaires à ceux rencontrés dans la minéralisation principale.

IV.3.2 Assemblage pénétratif chlorite-épidote

Celui-ci se retrouve dans la roche encaissante et dans la zone de brèche affectant fragments et matrice. Il se présente sous deux formes a) à l'intérieur des grains de plagioclase, composants des roches encaissantes et des fragments; b) en grains de chlorite et d'épidote dispersés entre les phénocristaux de plagioclase de ces même roches et

fragments, et dans les matrices de la brèche.

IV.3.2.1 Assemblage chlorite-épidote en grains dispersés

Cet assemblage formé de petits grains xénomorphes à hypidiomorphes de chlorite et d'épidote (0.1 à 0.5 mm) s'accompagne souvent de grains de carbonates (10 à 500 μm). Ces minéraux sont interstitiels aux grains de plagioclase et de quartz. Les relations mutuelles entre les grains de chlorite et d'épidote sont variables: chlorite entourée d'épidote (Fig.11), épidote entourée de chlorite, grains juxtaposés et entremêlés. Les grains de carbonates se retrouvent dispersés ou en microveinules dans la roche et/ou les fragments et/ou les matrices.

IV.3.2.2 Assemblage chlorite-épidote à l'intérieur des grains de plagioclase

Les grains de plagioclase affectés par cette altération montrent un accroissement du pourcentage d'épidote et l'apparition ou l'accroissement de la chlorite, ceci en comparaison avec les effets du métamorphisme de degré schistes verts définis dans cette région.

A ce stade d'évolution la séricite a plus ou moins disparu des grains de plagioclase. Lorsqu'elle est encore présente, elle est recoupée par des grains de chlorite et d'épidote. Ces derniers xénomorphes de taille variant de 50 à 100 μm se retrouvent en amas ou en genre de couronne proche de la bordure interne des grains de plagioclase (Fig.12). Des grains de carbonates de 10 à 20 μm peuvent

apparaître dans ces plagioclases.

IV.3.3 Roches, fragments et matrice affectés

L'assemblage chlorite + épidote \pm carbonates affecte toute la région étudiée et semble décroître en s'éloignant de la zone bréchifiée.

Au coeur même de la brèche, elle se retrouve dans presque tous les fragments et dans les matrices grenue, à épidote et à chlorite; et son intensité est plus forte dans l'encaissant des veines minéralisées. Dans ce cas, la chlorite est de couleur vert très sombre à noir.

Exceptionnellement, des géodes visibles dans la galerie exploitée, au niveau de la veine minéralisée principale montre un tel assemblage, mais la chlorite présente est de couleur vert pâle. Leur configuration implique un fluide tardif ayant "lessivé" la chalcopyrrite (présence de trace de cuivre natif) et cristallisé des quartz automorphes de 2 à 10 cm de longueur.

La quantité de veinules caractérisant cette altération varie suivant sa position. Les tonalites encaissantes ne sont recoupées que par quelques unes d'entre elles contrairement à la zone bréchifiée qui montre une grande quantité de ces veinules.

IV.4 ASSEMBLAGE SERICITE-QUARTZ, CHLORITE, PYRITE ET EPIDOTE

Cette altération se situe assez difficilement dans l'évolution de la brèche de Devlin car peu d'échantillons représentatifs de

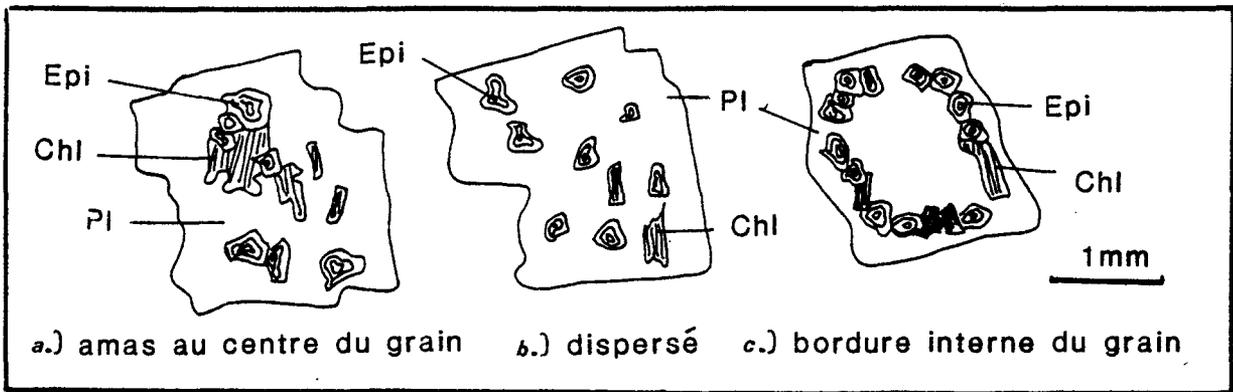


FIG.12 DISPOSITION DE L'ASSEMBLAGE CHLORITE-ÉPIDOTE DANS LES PLAGIOCLASES

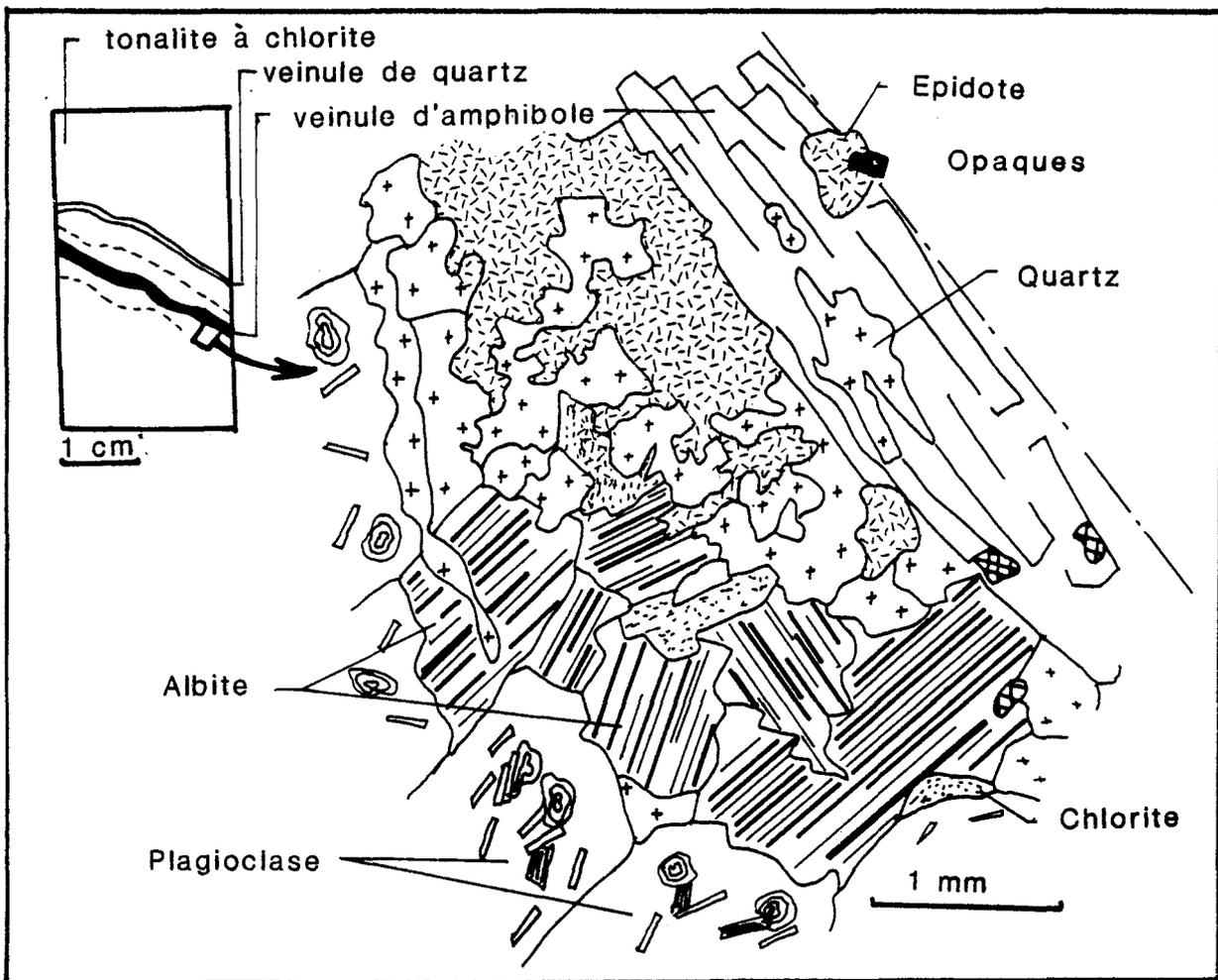


FIG.13 ALBITISATION ROSE AUX ÉPONTES D'UNE VEINULE D'AMPHIBOLE

celle-ci, soit en veinules, soit pénétratifs, ont été trouvés et étudiés microscopiquement. Quelques veinules pourtant montrent de la séricite aux épontes: des veinules d'amphibole, de quartz, pyrite, chalcopryrite, chlorite, épidote; d'autres avec séricite recourent l'assemblage chlorite-épidote, mais l'inverse est possible.

La pénétration de cet assemblage dans les roches étudiées (encaissantes et fragments) se visualise par le remplacement de la chlorite par la séricite (Fig.11). Ce remplacement se produit aussi bien à l'intérieur des grains de plagioclase qu'au niveau des minéraux se trouvant dans la "matrice" de ces même grains.

Cette altération se retrouve dans les tonalites encaissant la brèche, proche du contact avec cette dernière, mais surtout dans les forages au sud de la brèche, dans la tonalite à épidote (R3-123; R3-39) et dans quelques fragments dispersés de cette brèche.

IV.5 ALBITISATION OU ASSEMBLAGE ALBITE, QUARTZ, PYRITE, CHALCOPYRITE, EPIDOTE, CARBONATE, CHLORITE

Cette altération se retrouve essentiellement sous forme de veinules de quelques millimètres à un mètre (minéralisation principale). Elle présente deux phases plus ou moins distinctes, la première et la principale a des grains d'albite rose et, la seconde, des grains d'albite blanche. Cette distinction est fort aisée dans le cas de veinules de faible dimension, mais se fait difficilement dans les veines de la minéralisation principale, les deux types pouvant être présents. Une très faible albitisation pénétrative a été décelée dans certains fragments et rarement dans les tonalites encaissantes. Elle se manifeste

alors en bordure et à l'intérieur des fragments par des films ou taches blanc-rose, sièges de petits grains d'albite recristallisés très peu ou pas altérés.

La compilation des orientations des veinules (millimétriques à centimétriques) formant cette altération (angle formé entre l'axe de forage vertical et l'axe de la veinule) n'a donné aucun résultat concluant quant à une orientation préférentielle. Les angles obtenus varient de 10 à 90°. Les veines formant la minéralisation principale ont été définies dans le chapitre précédent et leur configuration apparaît à la Figure 3.

Le critère: "coloration rose ou blanche" n'est effectif que pour des relations de recoupement car les veinules engendrées par ces deux phases (rose et blanche) montrent la même pétrographie. La coloration est liée à la présence et/ou l'absence de grains d'hématite dans les plans de macles ou dispersés dans les plagioclases. Une exception a été trouvée: des veinules à plagioclases fortement altérés sont toujours de couleur blanche.

L'albitisation se situe généralement aux épontes des veinules de quartz, chlorite-épidote; de pyrite-épidote-quartz-chalcopryrite-chlorite et d'amphibole. Elle se retrouve aussi, mais plus rarement, en veinules ne montrant pas d'altération aux épontes.

IV.5.1 Albitisation en veinules

IV.5.1.1 Veinules de quartz-chlorite-épidote

Ces veinules sont formées de grains grossiers de quartz aux

contacts interpénétrés et de chlorite xénomorphe interstitielle aux grains de quartz. Les contacts de ces minéraux avec la roche encaissante varient de nets à interpénétrés. Une forte concentration de grains de plagioclase à macles régulières et complexes, automorphes à xénomorphes, se retrouve aux épontes des veinules. Ces plagioclases sont entourés de grains de quartz xénomorphes. Généralement de l'épidote borde de telles veinules. Cette altération aux épontes ne dépasse jamais 1 cm d'épaisseur. Sa description "type" est faite avec celle des veinules d'amphibole.

IV.5.1.2 Veinules de pyrite-épidote-quartz-chalcopryrite-chlorite

Celles-ci sont surtout caractérisées par l'assemblage de trois minéraux: quartz, épidote et pyrite (R3-147-60.3"). Les grains de quartz sont xénomorphes variant de fins à grossiers. L'épidote en grains xénomorphes à hypidiomorphes englobe le quartz, la pyrite et la chalcopryrite lorsque présents; elle est en contact avec la roche encaissante. La pyrite se dispose principalement au centre de la veinule en petits grains automorphes; elle se retrouve aussi dispersée dans toute l'épaisseur de la veinule. La bande d'altération en bordure de la veinule varie en épaisseur suivant le critère de coloration: rosée, elle peut s'étendre jusqu'à 2 cm dans la roche encaissante; blanche, elle ne dépasse jamais 3 mm.

IV.5.1.3 Veinules d'amphibole

L'échantillon R3-101-247' est représentatif des veinules de ce

type montrant une coloration rose. De 2 mm d'épaisseur cette veinule est constituée presque exclusivement d'amphibole (1) en baguettes de 0.1 * 2 mm et de traces de chlorite, carbonates (?), quartz et épidote.

L'altération aux épointes (Fig.13) de couleur rosée s'explique par une évolution de la minéralogie. Partant des épointes, les grains de plagioclase se transforment en épidote se positionnant en bordure de la veinule, en albite fortement maclées et en quartz xénomorphe interstitiel aux grains d'épidote et d'albite. Ces nouveaux grains de plagioclase montrent une très légère altération visible par la présence de séricite et de grains d'hématite le long des plans de macles. L'altération décroît au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la veinule: le degré d'intensité de cette altération approchant zéro dans l'encaissant à 3 mm du bord de la veinule.

IV.5.1.4 Veinules sans altération aux épointes

Ces veinules semblent plus rares que les précédentes (avec altération aux épointes). Elles sont formées de grains de plagioclase, de quartz et de chlorite et épidote en trace.

Les plagioclases automorphes à hypidiomorphes montrent des textures internes en "damier" données par l'agencement complexe des macles. Ils présentent une très légère altération: de la séricite se dispose le long des plans de macles.

Le quartz en grains xénomorphes, est interstitiel aux plagioclases. L'épidote xénomorphe est généralement concentrée en bordure de la veinule, donnant une ressemblance aux veinules de ce type

1) Une étude à la microsonde est envisagée dans la continuité du projet.

avec les précédentes. La chlorite en petits grains hypidiomorphes est dispersée au niveau du contact veinule-roche encaissante.

Il est possible d'associer à ce type de veinules des géodes présentant la même minéralogie soit des quartz généralement automorphes, entourés au contact avec l'encaissant de plagioclases (blancs). De l'épidote, de la pyrite peuvent tapisser les grains de quartz. Parfois des carbonates comblent ces géodes.

IV.5.1.5 Veinules "blanches" avec altération des plagioclases

Ce type de veinules est formé de quartz xénomorphe interstitiel à des grains de plagioclase hypidiomorphes. Ces derniers montrent une altération assez prononcée caractérisée par la présence de séricite en paillettes, d'épidote et de chlorite dispersées dans les grains. Quelques-unes de ces veinules peuvent être légèrement reprises dans la fabrique de la roche et recoupées par des veinules associées à toutes les autres altérations décrites, excepté l'hématitisation précoce (Fig.7A et 7C). De la chlorite et de l'épidote peuvent se retrouver en trace dans ces veinules.

IV.5.2 Albitisation pénétrative

Il est possible, en comparant les textures internes des plagioclases (macles complexes, altération légère) de retrouver dans des fragments de la brèche et dans les tonalites encaissantes la présence d'albitisation. Celle-ci est surtout visible dans les fragments de la brèche recoupés par les veinules à quartz-albite et les géodes associées

à ces même veinules. Cette altération pénétrative n'est pas encore établie clairement et demanderait une étude plus approfondie.

IV.5.3 Recouplement et distribution

L'albitisation, excepté celle représentée par les veinules à plagioclases altérés se retrouve: a)- dans les tonalites encaissantes (R3-147-60.3'; R3-143-196'; R3-39-222'), à différents niveaux mais proche du contact brèche/tonalites encaissantes; b)- dans les fragments de la brèche (R3-101-201.3'; R3-97-100'). Elle n'a pas été visualisée dans la zone fortement silicifiée et dans la matrice à quartz.

Les veinules typiques de cette altération recourent l'hématitisation précoce, les veinules à quartz et plagioclases altérés, les veinules à chlorite, épidote, pyrite, épidote et quartz. Mais elles peuvent être recoupées par des veinules de quartz tardif.

La relation entre les deux variétés d'albitisation (colorations rose et blanche) est mal définie. Un échantillon: R3-40-329', montre une réouverture d'une veinule à albite rose par du matériel à albite blanche. Cette dernière se serait donc mis en place dans ce cas précis, après l'albite rose.

Les relations entre les phases pénétratives sont plus délicates à déterminer. L'albitisation a été notée en bordure de fragments de la brèche, se superposant à une séricitisation et à l'assemblage chlorite-épidote.

Des grains de plagioclase (albite rose et blanche) sont situés dans la veine de minéralisation principale, cette association est visible dans les galeries d'exploitation. Ces plagioclases sont alors en

relation étroite avec la chalcopryrite, la pyrite, le quartz, la chlorite sombre et l'épidote caractérisant l'assemblage chlorite-épidote lié à la minéralisation.

Les relations et les recoupements de cette altération comparés aux autres altérations l'associent à la phase de minéralisation et aux phases plus tardives.

IV.6 AUTRES PHASES D'ALTERATIONS EN VEINULES

Il a été possible de reconnaître plusieurs sortes de veinules recoupant toutes les phases d'altérations décrites ci-dessus. Elles ont été regroupées dans ce travail suivant leur couleur: sombre à noir et blanc crème.

IV.6.1 Veinules sombres à noires

Celles-ci sont formées principalement de trois minéraux: de la tourmaline, de la magnétite et des amphiboles. Il est possible de rencontrer des veinules d'hématite tardive dans les forages.

IV.6.1.1 Veinules à tourmaline ou à magnétite

La tourmaline et la magnétite constituent généralement 100% de leurs veinules respectives et montrent des contacts nets avec l'encaissant. Elles varient de 1 à 8 mm d'épaisseur. Elles ont surtout été aperçues dans la partie sud-est de la brèche de la péninsule Devlin (Forages: R3-147; R3-132; R3-144).

IV.6.1.2 Veinules à amphiboles

Les veinules de ce type présentent la minéralogie suivante: actinote, trémolite, épidote, quartz, sphène et chlorite.

Une de ces veinules montre deux évènements consécutifs (R3-123-85.8'). En un premier temps, l'amphibole a été remplacée par un amalgame de petits grains de chlorite vert sombre, d'épidote et de quartz. En second lieu, la chlorite vert sombre se substitue à la chlorite vert-clair à transparent.

Cette évolution montre que l'assemblage chlorite-épidote joue encore un rôle important en fin de cycle d'altération de la zone de brèche de la péninsule Devlin et s'étend dans le temps après la fin de la mise en place de la minéralisation. La chlorite vert clair à transparent, plus tardive, semble identique à celle visualisée dans la galerie d'exploitation, associée au lessivage de la minéralisation et à la formation de quartz tardifs automorphes dans des géodes.

IV.6.1.3 Veinules d'hématite

Lors de cette recherche deux veinules contenant de l'hématite ont été déterminées. L'une d'entre elles, de 1 mm d'épaisseur, recoupe une veinule à plagioclase rose (échantillon R3-22-167').

IV.6.2 Veinules blanc crème

Ce type de veinules est surtout formé de quartz et carbonates. Leurs contacts avec l'encaissant sont nets et francs. Ils ne montrent pas d'altération en bordure. Ces veinules sont associées (?) à une phase tardive avec remplissage de géodes: quartz, carbonates, chlorite vert pâle, des géodes de ce type se retrouvent dans la minéralisation principale.

Excepté les veinules de tourmaline et de magnétite se retrouvant surtout au sud-est de la brèche et les rares veinules d'hématite, toutes les veinules d'altération "tardive" se retrouvent aussi bien dans l'encaissant de la brèche que dans la brèche elle-même.

CHAPITRE V

BRECHIFICATION ET ALTERATIONS DE LA PENINSULE DEVLIN,
MISE EN PLACE DE LA MINERALISATION

Afin de mieux cerner l'évolution de la brèche de la péninsule Devlin, la mise en place de la minéralisation et la chronologie des altérations, chacun de ces points sera discuté séparément puis une synthèse sera présentée.

V.1 EVOLUTION DE LA BRECHE DE LA PENINSULE DEVLIN

Les données pétrographiques et structurales recueillies au cours de cette étude ont permis de définir une succession d'évènements conduisant à la formation de ce système. Elles ne diffèrent aucunement de celles proposées par Bureau (1980) mais elles comportent de nouveaux éléments, surtout tectoniques. Les différentes étapes sont données par ordre chronologique.

V.1.1 Montée magmatique et consolidation d'un magma tonalitique dans les roches en place

L'étude des fragments de la brèche indique que lors de la montée du

magma tonalitique, des blocs de gabbro-anorthositique provenant du complexe du Lac Doré ont été incorporés à celui-ci. Ces blocs ont ensuite été rebréchifiés.

V.1.2 Mise en place de dykes de diorite et de gabbro

Une visite des galeries d'exploitation confirma la présence de dykes intrusifs dans la tonalite. Des fragments de ceux-ci sont visibles dans la brèche, souvent recoupés par la minéralisation et même "coincés" entre deux ramifications de la veine minéralisée principale (Fig.6A).

Ces dykes sont l'expression de fractures subies par la tonalite solidifiée et injectée de matériel plus mafique.

V.1.3 Premier épisode de bréchification

Une première phase de bréchification "en place" affecte alors la tonalite solidifiée. Elle est caractérisée par deux types de matrices:

a)- la matrice grenue ou "poussière" de la roche bréchifiée vient en un premier temps consolider la fragmentation de la roche. Elle peut être associée à une infiltration de matériel identique pétrographiquement aux fragments formés (R3-134-38' à 80'), ce matériel n'influençant pas la composition de bordure des fragments.

b)- la matrice à épidote se met en place simultanément ou après la mise en place de la matrice grenue. L'échantillon: R3-123-44', montre des fragments cimentés par la matrice à épidote. Ces fragments sont eux-mêmes composés de fragments tonalitiques et gabbroïques baignant

dans la matrice grenue.

De tels échantillons prouvent que la bréchification des roches présentes était continue dans le temps. Les formes angulaires des fragments dénotent une bréchification en place.

V.1.4 Second épisode de bréchification

Cette seconde phase de bréchification est caractérisée par l'apparition de deux nouvelles matrices: la matrice à chlorite et la matrice à quartz.

La matrice à chlorite se retrouve comme seconde matrice de double bréchification dans les échantillons: R3-120-130' et R3-133-136'. La matrice à chlorite cimente alors des fragments eux-mêmes de nature bréchique avec des blocs dans une matrice à épidote.

Lors de sa mise en place, la matrice à quartz a parfois silicifié fragments et matrice présents. Elle englobe généralement tous les fragments et matrice déjà rencontrés. Elle montre aussi un grand nombre de géodes.

V.1.5 Fracturation pré-minéralisation

Une fracturation subhorizontale, accompagnée de failles et de fissures d'orientations différentes est venue affecter la brèche formée. Cette fracturation se visualise par le grand nombre de veinules et de failles minéralisées ou non et par la zone de cisaillement située au sud de la brèche.

Cette fracturation a joué le rôle de voie d'accès de la

minéralisation et de limite de celle-ci (cisaillement au sud de la brèche).

V.1.6 Episode de minéralisation

Des fluides se sont infiltrés dans la fracturation précédemment citée et ont déposé la minéralisation de la brèche de la péninsule Devlin. Cette déposition est accompagnée d'une fracturation plus ou moins continue, suggérée par des échantillons caractéristiques d'une tectonique dynamique. L'évolution de la déposition de la minéralisation est détaillée dans un paragraphe spécifique du même chapitre.

V.1.7 Fracturation post-minéralisation

Les galeries d'exploitation montrent clairement qu'une phase de fracturation tardive a affecté la minéralisation. Cette fracturation est surtout caractérisée par des failles subverticales pouvant basculer ou non la minéralisation en place (Fig.6C).

La mise en place de veinules tardives formées de tourmaline, d'hématite et de quartz est une seconde évidence de cette fracturation post minéralisation.

V.2 PERIODE DE MINERALISATION

La mise en place de la minéralisation de la péninsule Devlin est caractérisée par des textures de cristallisation de remplissage de fractures avec présence ou non de déformations syn- ou

post-cristallisation. La différenciation de ces deux cas n'a pas toujours été possible dans les forages étudiés.

Dans les zones élargies et/ou ramifiées de la minéralisation, la texture observée est granulaire à grains grossiers de quartz, chalcopryrite, albite, pyrite. Ces minéraux sont bordés par de la chlorite vert sombre et de l'épidote.

Des échantillons provenant d'une zone "ressérée" de la minéralisation montre des textures fluidales avec lits de chalcopryrite, quartz, pyrite. Les grains de quartz sont alors fortement tectonisés et broyés, ils présentent des extinctions roulantes et des dislocations pouvant donner des allures de feldspaths fortement maclés aux grains. De telles caractéristiques sont aussi présentes dans des échantillons provenant de zone de fracturation post-minéralisation.

La chalcopryrite se retrouve, dans certains échantillons: comme matrice aux grains de pyrite et de quartz fracturés et déformés (R3-59-159.9') ou comme remplissage de franges de pression de part et d'autre de grains de pyrite fracturés (R3-23-233').

V.3 CHRONOLOGIE DES ALTERATIONS EN FONCTION DE LA BRECHIFICATION

Les grands types d'altérations rencontrés dans cette étude: hématitisation précoce, assemblage séricite-quartz, assemblage chlorite - épidote, albitisation et veinules tardives (tourmaline, hématite,...), montrent d'après leur recoupement et leur association une chronologie plus ou moins précise cadrant avec l'évolution structurale de la brèche de la péninsule Devlin. Le métamorphisme de son côté, pose un problème quant à sa position dans le temps. Pour clarifier le texte la

chronologie des altérations n'a pas toujours été respectée dans les lignes suivantes mais elle se retrouve "exacte" dans le tableau final.

V.3.1 Le métamorphisme régional

Présent dans la région étudiée, le métamorphisme régional de degré schistes verts montre essentiellement un assemblage identique à ceux rencontrés dans les différentes altérations reliées à l'évolution de la brèche et de la minéralisation de la péninsule Devlin. Il est parfois possible de le remarquer dans des échantillons par la quantité de minéraux mis en jeu dans cette altération: (chlorite, épidote et séricite). Il n'est donc pas possible de déterminer sa position exacte dans le temps, dans l'évolution de cette région.

V.3.2 L'hématitisation précoce

L'hématitisation précoce ou assemblage hématite-séricite se retrouve dans les grains de plagioclase et en zones de quelques centimètres d'épaisseur. Elle affecte aussi bien des blocs de gabbro-anorthositique, des fragments tonalitiques ou dioritiques (dykes) que la tonalite encaissant la brèche. Se caractérisant par un fort pourcentage de séricite, par des grains d'hématite et de faible quantité de chlorite et d'épidote dans les grains de plagioclase, elle est recoupée par tous les autres types d'altérations associés à la brèche. Elle est donc la première altération reconnue.

V.3.3 L'assemblage feldspath-quartz

Cet assemblage est défini par les veinules de quartz et plagioclases blancs fortement altérés décrites au paragraphe IV.5.1.5. Recoupant seulement les zones d'hématitisation précoce et montrant une fabrique identique à celle de la roche, elle est traversée par toutes les autres phases d'altérations énoncées ci-dessous. Elle se positionne donc entre l'hématitisation précoce et les assemblages séricite-quartz et chlorite-épidote pré-minéralisation.

V.3.4 L'assemblage séricite+quartz+chlorite+pyrite+épidote

Cette altération, souvent faible, se retrouve aux épontes des veinules d'amphibole et de quartz+pyrite+chalcopryrite; et à l'intérieur des veinules de quartz et feldspaths blancs fortement altérés. Elle s'insère dans l'évolution de la brèche après l'albitisation précoce et se poursuit durant la mise en place de l'assemblage chlorite-épidote.

V.3.5 L'assemblage chlorite-épidote

Cet assemblage est très difficile à évaluer car il se développe tout au long de l'évolution de la brèche . Afin de le clarifier, deux caractéristiques ont été mises de l'avant: la couleur des grains de chlorite et les différentes relations et intersections des veinules.

V.3.5.1 Chlorite pré-minéralisation

De couleur vert moyen, elle se remarque surtout sous forme de veinules recoupant les roches et les fragments hématisés. Sa présence en tant qu'altération pénétrative, bien que difficile à évaluer, se remarque par une augmentation des grains de chlorite et d'épidote à l'intérieur des grains de plagioclase, comparativement aux quantités trouvées lors de la phase d'hématitisation précoce.

Les veinules pré-minéralisation peuvent se subdiviser en deux catégories:

a)- Un premier type regroupe les veinules montrant une texture reprise par la fabrique de la roche, de la même façon que l'hématitisation précoce qu'il recoupe (Fig.7A, 7B). Ces veinules s'associent au stade de mise en place de dykes de diorite et de gabbro. Elles sont finalement recoupées par toutes les autres veinules d'altération citées ci-après.

b)- Le second type se compose des veinules recoupées par des veines et/ou veinules minéralisées en chalcopyrite et pyrite. Il est relié aux deux phases de bréchifications et à la mise en place des matrices à épidote et à chlorite.

V.3.5.2 Chlorite syn-minéralisation

La chlorite syn-minéralisation est de couleur vert très sombre à noir. Située généralement aux épontes des veinules minéralisées, elle est associée à l'épidote. Elle individualise assez facilement le stade de minéralisation et s'accompagne de la phase d'albitisation et de la

déposition d'amphibole.

V.3.5.3 Chlorite post-minéralisation

Les veinules caractérisant cette phase d'altération montrent des grains de chlorite variant du vert moyen au vert pâle. L'échantillon R3-123-85.5' donne un résumé de l'évolution de cet assemblage. L'amphibole syn- et post-minéralisation subit deux remplacements consécutifs. Le premier implique la formation de chlorite vert sombre aux caractéristiques pétrographiques peu différentes de la chlorite pré-minéralisation, aux dépens de l'amphibole. Le second est le remplacement de la chlorite vert sombre par une chlorite beaucoup plus pâle. Ces deux étapes se retrouvent dans les veinules recoupant le stade de minéralisation.

La chlorite vert pâle se remarque aussi dans une étape très tardive de remplissage des géodes où elle est associée à des grains de quartz et de carbonates. Cette phase tardive produit en certains endroits un lessivage de la minéralisation avec apparition (rare) de cuivre natif (géode du drift 1B plug 172).

V.3.6 L'albitisation ou présence de plagioclases roses et/ou blancs non ou très peu altérés

Cette altération est associée principalement à la phase de minéralisation: elle se retrouve dans la veine principale de minéralisation, en bordure des veinules de ce stade de développement; et à des épisodes plus tardifs: veinules de quartz et albite recoupant des

veinules minéralisées. Elle est recoupée par des veinules de quartz tardif. Elle accompagne donc le stade de minéralisation et se prolonge dans la phase de l'assemblage chlorite - épidote post- minéralisation.

V.3.7 Autres types de veinules

Les veinules d'amphibole ayant généralement une albitisation aux épontes et montrant des transformations successives en chlorite vert moyen puis en chlorite vert pâle ont toutes les caractéristiques de la période syn- à post-minéralisation.

Les veinules de magnétite, de tourmaline, d'hématite, de quartz + carbonates + chlorite vert pâle recourent toutes les altérations définies précédemment. Elle font partie d'une phase tardive de l'évolution de cette région.

Afin de mieux visualiser les évènements structuraux et les phases successives d'altérations de la péninsule Devlin, ceux-ci ont été résumés et représentés chronologiquement sur le Tableau 4.

Ainsi présentée, la zone de brèche montre des stades d'évolution plus ou moins précis car tout évènement (tectonique ou altération) peut se combiner et/ou se superposer avec ceux qui l'encadrent. L'ensemble montre une grande complexité.

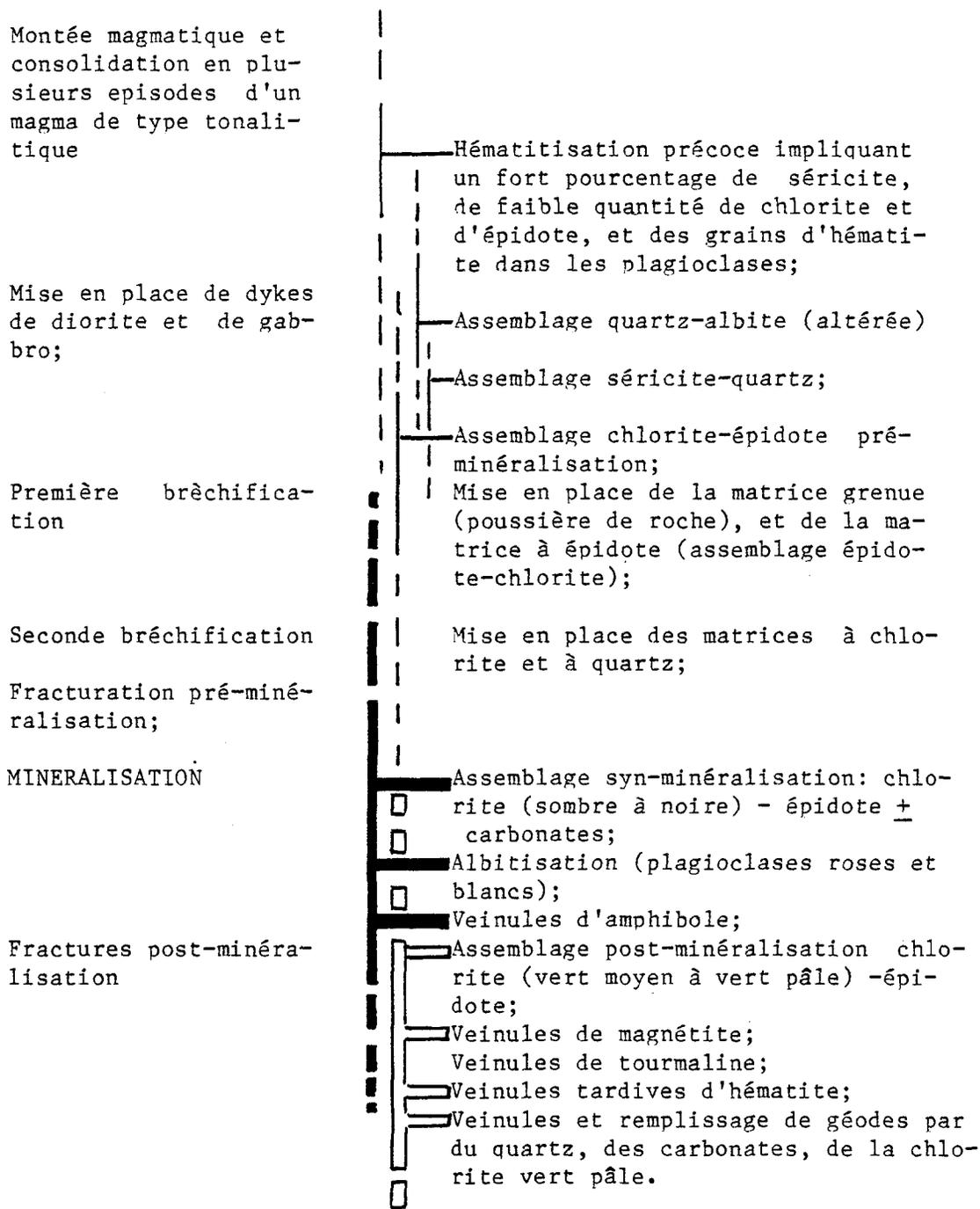


TABLEAU.4 CHRONOLOGIE DE LA FRACTURATION ET DES ALTERATIONS DE LA BRECHE DE LA PENINSULE DEVLIN

CHAPITRE VI

LES PHASES FLUIDES

VI.1 INTRODUCTION

L'étude des fluides, entreprise dans ce travail, a pour but de définir le fluide minéralisateur et si possible de suivre son évolution au cours du temps en fournissant des renseignements sur sa composition chimique. Ces données seront comparées à des résultats connus provenant de minéralisations de type porphyre cuprifère.

Les étapes suivantes ont été nécessaires:

-Dans une première partie, les relations quartz - minéralisation et parfois quartz - altération ont été établies afin d'associer si possible les phases fluides à des phases d'altération ou de minéralisation.

-En seconde partie, vient l'étude proprement dite pour description et reconnaissance des différentes inclusions, mesures microthermométriques, écrasement et analyses des ions en solution lorsque possible.

Des problèmes furent rencontrés comme la taille des inclusions dans certaines phases et le peu de matériel disponible pour les analyses d'ions quand les échantillons provenaient des forages extérieurs à la

zone d'exploitation.

VI.2 GENERALITES

VI.2.1 Historique

Les premiers travaux connus sur la présence d'inclusions fluides dans les minéraux, datent de la fin du XIXe siècle. En 1953, Smith résuma tous les travaux effectués avant cette date. De nombreux travaux soviétiques ont été compilés par Yermakov (1950). Roedder (1972) présenta une bibliographie importante donnant accès à des articles antérieurs à 1972 et édite depuis quelques années une revue annuelle dans laquelle se retrouvent les résumés des articles publiés dans le monde sur ce sujet (Proceedings of confi).

L'étude des phases fluides a pris une extension importante depuis les années soixante dix, surtout dans le cas de gisements de type porphyre, de quartz (type andin), de minéralisation aurifère et uranifère.

VI.2.2 Définition

Les phases fluides peuvent être captées dans deux catégories d'inclusions, soit les inclusions primaires et les inclusions secondaires.

Les inclusions primaires sont des inclusions disposées suivant les zones de croissance des cristaux hôtes et se retrouvent parallèles aux faces et arêtes des grains.

Les inclusions secondaires se sont formées dans le grain hôte, après sa cristallisation et se retrouvent le long de microfractures cicatrisées.

Il existe un type intermédiaire d'inclusions, dites pseudo-secondaires situées dans des cicatrices formées durant la croissance du minéral hôte. Ce type de cicatrice ne recoupe jamais les bordures des grains.

Ces inclusions sont donc représentatives du fluide contemporain à la formation du cristal hôte (inclusions primaires) ou des fluides ayant circulé dans les cicatrices (inclusions secondaires).

VI.3 TECHNIQUES D'ETUDE

Les techniques employées pour cette recherche sont de deux types: destructives et non destructives. Elles nous amènent à la connaissance chimique des fluides emprisonnés, à des estimés de leur température et pression de formation.

VI.3.1 Méthodes non destructives

VI.3.1.1 Etude microscopique

L'étude microscopique à la lumière transmise permet d'obtenir des données sur les phases présentes dans les inclusions, soit liquide, gaz et solide. Il est possible d'évaluer la présence d'eau, de vapeur, de gaz carbonique (CO₂), d'hydrocarbures (inclusions sombres à noires), de chlorure de sodium (cube souvent bleuté), de chlorure de potassium

(cube et/ou sphère isotrope jaune), d'anhydrite, de carbonates, d'hématite, d'opales....

La pétrographie proprement dite, soit l'étude des différents types d'inclusions; leurs relations temporelles et spatiales est faite à ce niveau.

VI.3.1.2 Etude microthermométrie

Celle-ci est basée sur l'observation des changements de phases à l'intérieur des inclusions lors de changements de température. La cryométrie ou refroidissement jusqu'à -160°C donne les mesures de température: de fusion du dernier cristal de glace et/ou d'hydrate et/ou de gaz carbonique solide; de la démixtion des hydrocarbures et du CO_2 .

Le chauffage révèle les températures d'homogénéisation, de fusion des sels et parfois de la décrépitation de l'inclusion.

Les résultats de l'étude microthermométrie nous donne la possibilité d'estimer: les pourcentages poids des sels présents, les densités des gaz en se reportant sur des diagrammes thermodynamiques appropriés, la température minimale du fluide lié à un événement donné.

VI.3.2 Méthodes destructives

VI.3.2.1 Platine à écrasement

Cette méthode consiste à écraser entre deux lames de verre et dans une goutte de liquide choisi, des grains variant de 300 à 600 microns. L'écrasement effectué, il s'agit d'observer l'intensité du

dégagement gazeux provenant des inclusions.

Il est possible de cette manière de mettre en évidence: le gaz carbonique par l'eau de baryte ($\text{Ba}(\text{OH})_2$); les hydrocarbures dans le réactif glycérine anhydre; le gaz sulfureux (H_2S) par son odeur détectée jusqu'aux environs de 10^{-10} g et le rapport CO_2 /hydrocarbures en employant du kérozène dans lequel se dissolvent instantanément les hydrocarbures.

VI.3.2.2 Analyse des ions en solution

Cette méthode consiste à récupérer les ions dissous dans la phase aqueuse et d'en déterminer les plus importants, soit: Na^+ , K^+ , Mg^{++} , Ca^{++} , Cl^- , F^- et SO_4^{--} . Seuls les rapports seront alors utilisés car les dilutions sont inconnues.

Le principe de cette méthode a été décrit par Roedder et al. (1963) et Poty et al. (1974).

VI.4 DIFFERENTS TYPES D'INCLUSIONS RENCONTRES

L'objectif visé lors de l'étude des différents types d'inclusions est la possibilité de définir les caractères chimiques des phases fluides correspondant aux principaux épisodes de minéralisation et altération.

Des problèmes se sont posés tout au long de cette recherche, comme l'absence d'inclusions dans certains minéraux hôtes, la petitesse des inclusions ne permettant pas de mesures microthermométriques. Dans ce cas, seule l'observation microscopique

simple a été effectuée. Cette situation se produit surtout lors de "broyage tectonique" des grains hôtes, impliquant alors une destruction des inclusions et/ou des changements chimiques n'ayant plus aucun lien avec les épisodes géologiques étudiés.

L'étude des inclusions solides n'a pas été entreprise car elle n'est pas pertinente dans le contexte de la minéralisation de la péninsule Devlin.

VI.4.1 Origine des minéraux hôtes

Les inclusions fluides ont été étudiées systématiquement dans les cristaux de quartz. Ces cristaux sont d'origine hydrothermale et se situent dans la matrice à quartz de la brèche, dans les veines et veinules non minéralisées et les veines minéralisées en cuivre.

VI.4.2 Types d'inclusions

Après un examen microscopique, il a été possible de regrouper les inclusions fluides observées dans les grains de quartz en cinq types essentiels:

- type I: inclusions multiphasées;
- type II: inclusions à phase liquide dominante,
et à liquide seul;
- type III: inclusions à phase vapeur dominante;
- type IV: inclusions sombres à hydrocarbures;
- type V: inclusions carboniques.

VI.4.2.1 Inclusions multiphasées (type I) (Fig.14)

Ce type d'inclusions est constitué essentiellement d'un liquide, d'une bulle de vapeur et d'un cube de halite. Plusieurs autres solides peuvent s'ajouter aux phases précédentes: un second cube de halite, de la sylvite, des carbonates, de l'anhydrite, des opaques (chalcopryrite, pyrite) et des solides inconnus isotropes et faiblement anisotropes. La sylvite est généralement la phase la plus fréquente après la halite. Les carbonates sont présents en grande quantité, lorsque ce minéral est abondant dans la section étudiée. Les opaques se retrouvent dans les inclusions quand celles-ci sont proches de la minéralisation, la chalcopryrite semble la plus fréquente (sphénoèdre). Le second cube de halite ne se visualise que très rarement et, lorsque présent, les inclusions le contenant se situent dans des microfissures cicatrisées issues des sulfures (Fig.15B). La phase vapeur peut être absente.

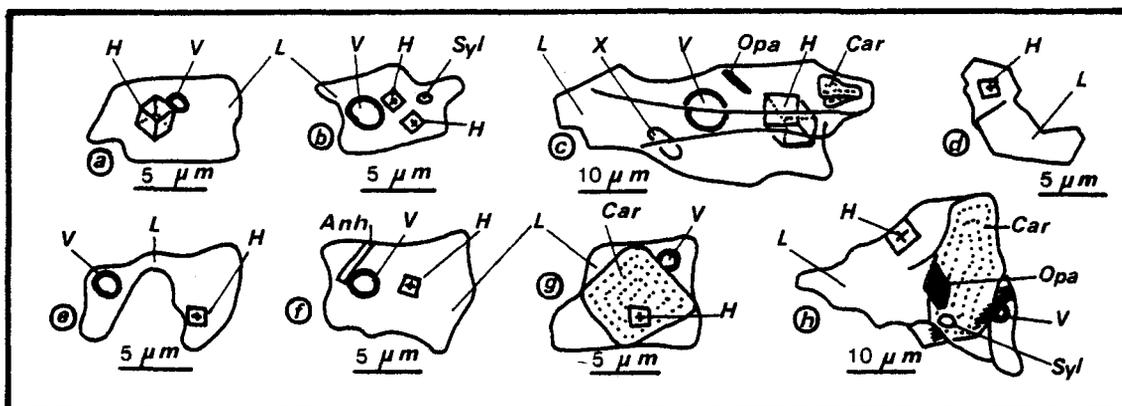
Le rapport volumique vapeur/volume total de l'inclusion varie de 1 à 10%, pouvant atteindre 15 à 50% dans les veines minéralisées et/ou des grains de quartz provenant de quelques zones de la matrice à quartz.

Le rapport volumique halite/volume total de l'inclusion oscille de 4 à 10%; les forts pourcentages allant souvent de pair avec les valeurs élevées de température d'homogénéisation (liquide + vapeur → liquide) des inclusions (cf. paragraphe VI.6).

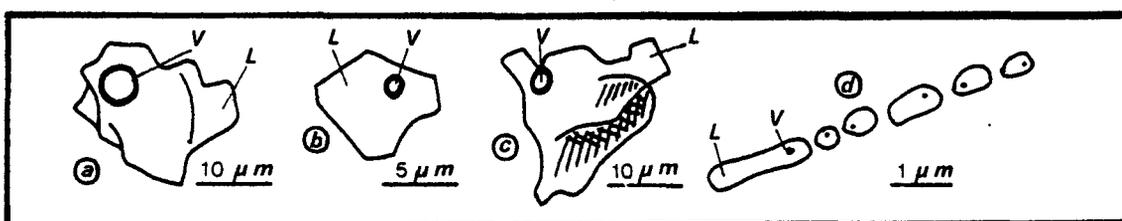
Les inclusions de type I, ont des tailles allant de 1-2 microns à plus de 50 microns. La moyenne se situant aux alentours de 5 - 10 microns. Elles se retrouvent dans tous les contextes étudiés, mais leur quantité fort variable va de moins de 1 à 5% dans les grains de quartz tectonisés ou très tardifs (Fig.15C) et la matrice à quartz, jusqu'à 90%

FIGURE.14 DIFFERENTS TYPES D'INCLUSIONS RENCONTREES DANS LA
MINERALISATION DE LA PENINSULE DEVLIN

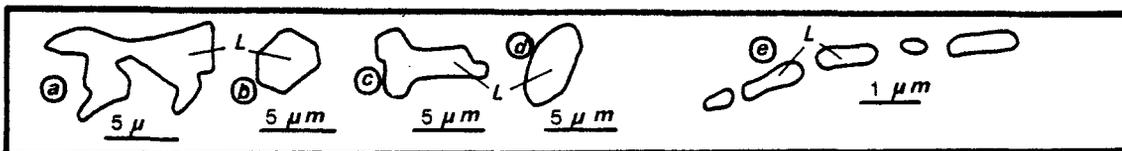
- TYPE.I: Inclusions multiphasées, associées à la minéralisation
V/T= 1 à 10%;
- TYPE.IIA: Inclusions à phase liquide dominante
*) a,b,c: associées au type I, V/T= 0.1 à 4%;
*) d: inclusions tardives non associées à la minéralisation;
- TYPE IIB: Inclusions à phase liquide
*) a,b,c,d: associées au type I;
*) e: tardives, non associées à la minéralisation;
- TYPE III: Inclusions à phase vapeur dominante, associées au type I
dans les grains de quartz de la veine principale;
V/T= 20 à 90%;
- TYPE IV: Inclusions à hydrocarbures,
*) associées au type I;
*) en phase plus tardive non associée à la minéralisation
- TYPE V: Inclusions à gaz carbonique, rares, associées au type I
L /T= 30 à 60%
CO2
V /T= 1 à 5%
CO2
- NB: Anh: anhydrite; Car: carbonates; H: halite; Opa: opaques
(chalcopryrite, pyrite...); Syl: sylvite; L: liquide (H2O
+ sels); V: vapeur; X: minéraux non déterminés.



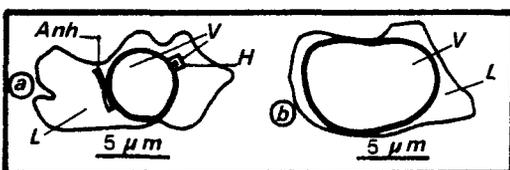
TYPE I



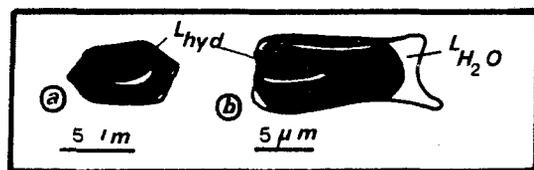
TYPE II A



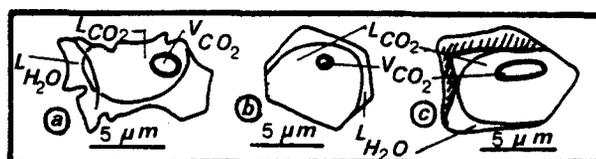
TYPE II B



TYPE III



TYPE IV



TYPE V

FIG.14 DIFFÉRENTS TYPES D'INCLUSIONS RENCONTRÉS
DANS LA MINÉRALISATION DE LA PÉNINSULE
DEVLIN

FIGURE.15 RELATIONS PETROGRAPHIQUES ENTRE LES DIFFERENTS TYPES D'INCLUSIONS FLUIDES, LES SULFURES ET LE QUARTZ.

- A)- Disposition la plus courante entre les inclusions de type I, IIA, IIB, IV. Echantillon R3-4-285'.
- B)- Alignement des inclusions de type I suivant le prolongement de la chalcopirite dans un grain de quartz. Echantillon R3-27-218'.
- C)- Distribution des inclusions de type IIAd et IIBe dans un grain de quartz broyé et allongé. Echantillon R3-103-60.3'.
- D)- Relations entre les inclusions de type I, IIA, IIB, III et les sulfures. Ces inclusions se retrouvent parfois dans un même alignement ou sur un même niveau de croissance d'un grain de quartz: les inclusions sont alors sur un même plan de focalisation sous le microscope. Echantillon R3-103-66.9'.
- E)- Relation entre les inclusions à hydrocarbures "tardives" (type IV tardif) et tous les autres types d'inclusions. On remarque, que ces inclusions tardives recourent les générations précédentes. Echantillon R3-103-66.9'.

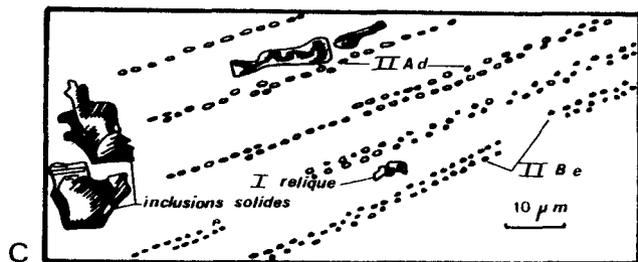
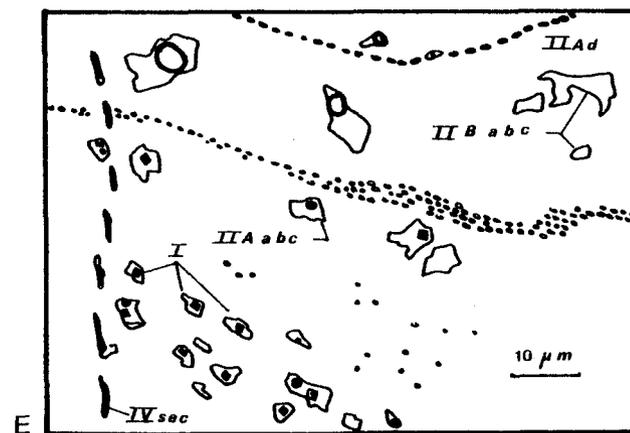
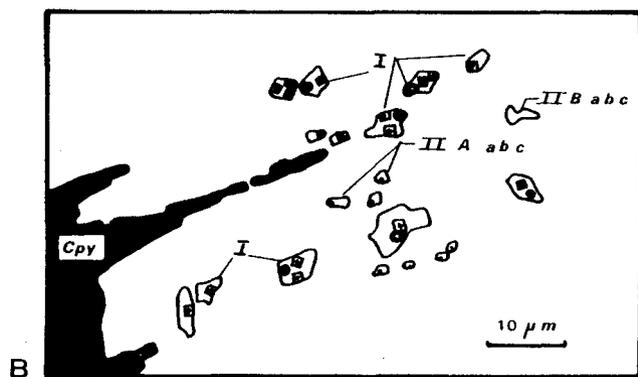
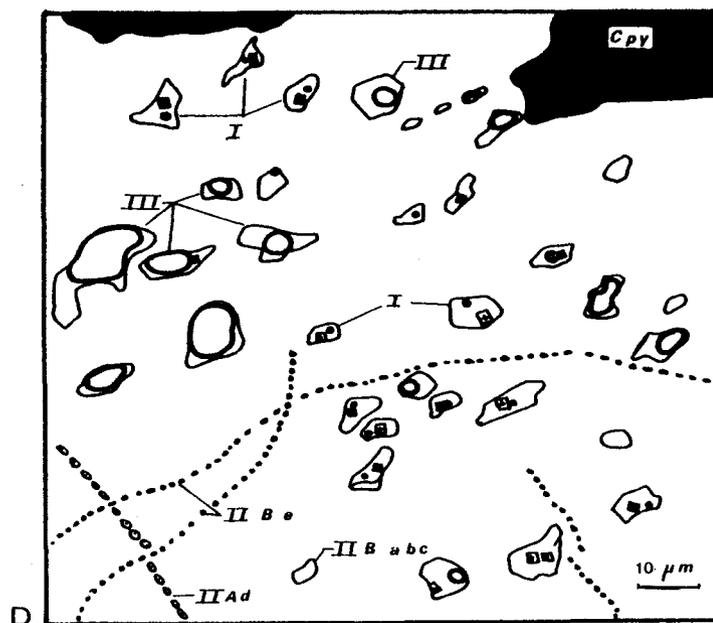
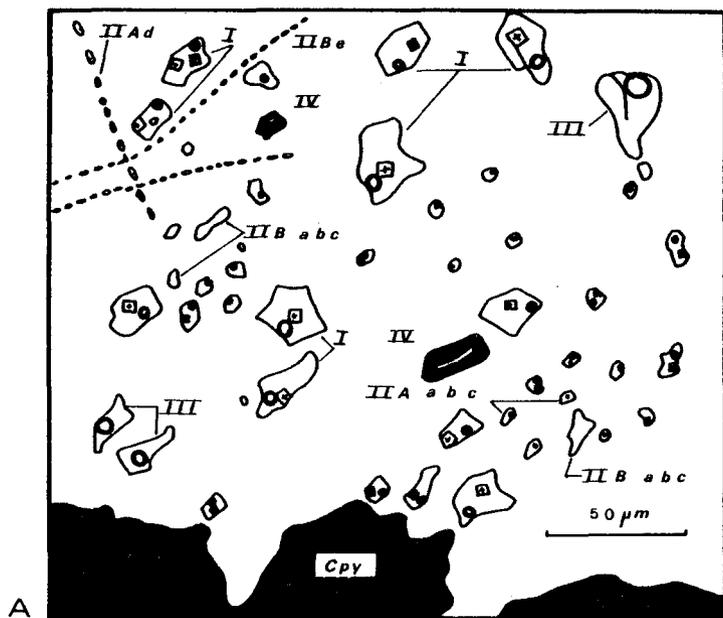


FIG.15 RELATIONS PÉTROGRAPHIQUES ENTRE LES DIFFÉRENTS TYPES D'INCLUSIONS, LES SULFURES ET LE QUARTZ

dans les grains de quartz contemporains de la minéralisation.

VI.4.2.2 Inclusions à phase liquide dominante (type IIA) et à phase liquide seule (type IIB) (Fig.14)

Les inclusions de ce type se divisent en deux groupes en regard à leur position relative dans les grains de quartz, de leur taille et de leur temps de mise en place.

VI.4.2.2.1 Inclusions de type IIAabc et IIBabcd

Les inclusions à phase liquide dominante ou de type IIAabc, sont constituées d'une phase vapeur dont le rapport volumique varie de 0.1 à 5%, et d'une phase liquide. Ces inclusions sont associées à celles de type I et se retrouvent dans les mêmes réseaux de distribution que ces dernières ou parfois dans un même alignement (Fig.15).

Les inclusions à phase liquide ou de type IIBabc, se caractérisent par les mêmes positions que les inclusions de type IIAabc, mais se retrouvent aussi en phases plus tardives, suivant les alignements pouvant recouper les grains de quartz ou le long des bordures suturées de ces mêmes grains (inclusions de type IIBd).

Lorsqu'elles sont associées aux inclusions de type I et IIAabc, elles montrent des formes hexagonales à quelconques mais généralement avec des parois suivant la forme cristallographique du quartz. Dans les autres cas, leur forme est quelconque et/ou allongée suivant la microfracture cicatrisée les contenant.

VI.4.2.2.2 Inclusions de type IIAd, IIBe

Les inclusions, les plus tardives dans les grains de quartz associés à la minéralisation, ou les inclusions contenues dans les grains de quartz tectonisés sont de très petite taille, variant de moins de 0.5 à 3-4 microns (Fig.14).

Dans le premier cas, elles recoupent tous les autres types d'inclusions, à l'exception de certaines inclusions sombres de type IV. Leurs alignements peuvent traverser plusieurs grains de quartz. Dans quelques échantillons, les alignements d'inclusions à liquide seul, type IIBe, recoupent les inclusions à phase liquide dominante de type IIAd (Fig.15A, D et E).

Dans le second cas, les inclusions de ces deux derniers types se distribuent le plus souvent suivant l'allongement des grains de quartz tectonisés (Fig.15C).

VI.4.2.3 Inclusions à phase vapeur dominante (type III)

Les inclusions de ce type se retrouvent principalement dans les zones de la matrice à quartz. Elles peuvent présenter un cube de halite, et rarement de l'anhydrite. Elles se positionnent près des sulfures (Fig.15D) et sont associées aux inclusions multiphasées de type I, aux inclusions à phase liquide dominante ou type IIAabc, et aux inclusions à phase liquide ou type IIBabc.

Leur taille varie de 2 à 20 microns et leur forme est quelconque, mais quelquefois hexagonale. Le rapport volumique vapeur/volume total de l'inclusion va de 20 à 85%. Certaines de ces

inclusions ont été retrouvées en position "tardive" (type III "tardif"), c'est à dire recoupant les inclusions associées à la minéralisation (rare).

VI.4.2.4 Inclusions à hydrocarbures ou inclusions sombres (type IV)

Ces inclusions se scindent en deux groupes en fonction de leur relation avec le temps de minéralisation et de leur position spatiale.

Un premier groupe est formé par les inclusions à hydrocarbures pouvant ou non montrer une phase liquide claire. Le rapport volumique hydrocarbures/volume total de l'inclusion n'est jamais inférieur à 80%, et celui de la phase liquide claire jamais supérieure à 10%.

Ces inclusions montrent des formes: hexagonales, de cristaux négatifs ou quelconques. Leur taille varie de 2 à 15 microns. Elles sont associées aux types I, IIAabc, IIBabc et se dispersent aléatoirement parmi ces dernières (Fig.15A).

Le second groupe est composé d'inclusions de même forme et contenu mais de taille plus petite: 1 à 8 microns en moyenne. Elles sont alors disposées suivant des microfractures cicatrisées recoupant tous les autres types d'inclusions (Fig.15E), le long des bordures suturées de petits grains de quartz très tardifs (échantillon R3-27-227'), et suivant des microfractures cicatrisées recoupant plusieurs grains de quartz (échantillon R3-71-254'). Dans ce second cas il s'agit d'inclusions de type IV "tardif".

VI.4.2.5 Inclusions à gaz carbonique (type V)

Les inclusions à gaz carbonique sont relativement rares. Elles se distribuent dans les réseaux plus ou moins réguliers d'inclusions associées à la minéralisation, soit des inclusions de type I, IIAabc, IIBabc, III et IV. Leur taille s'échelonne de 1 à 8-10 microns. Les rapports volumiques: vapeur CO₂/volume total de l'inclusion vont de 1 à 5% et, liquide CO₂/volume total de l'inclusion de 30 à 60%.

VI.4.3 Caractères physiques des inclusions observées

VI.4.3.1 Disposition spatiale des inclusions (Fig.15)

Les inclusions rencontrées dans cette étude sont généralement dispersées et/ou disposées le long de plans de fractures cicatrisées et sont donc de type secondaire dominant. Trois groupes apparaissent en fonction de leur position et relation par rapport à la minéralisation en cuivre de la Péninsule Devlin:

Un premier, regroupe les inclusions associées à cette minéralisation. De type I, IIAabc, IIBabc, III, IV, ces inclusions se situent généralement dans des microfractures cicatrisées "prolongeant" les filonnets ou microveinules de chalcopryrite s'infiltrant dans ces mêmes microfractures (inclusions secondaires) (Fig.15B) ou dans les grains de quartz contemporains de la minéralisation (inclusions primaires rares).

Un second groupe montre des inclusions secondaires ne présentant pétrographiquement aucun lien étroit apparent avec la minéralisation,

mais de types identiques au groupe précédent, et relié à ces derniers par les mêmes résultats microthermométriques (Chap.VII).

Le troisième groupe est formé d'inclusions recoupant les réseaux et/ou alignements formés par les inclusions des deux groupes cités ci-dessus, il peut traverser plusieurs grains de quartz et/ou se retrouver le long des bordures de grains de quartz. Il est composé d'inclusions secondaires "tardives" par rapport à la mise en place de la minéralisation soit les inclusions de types: IIAd, IIBe et IV "tardif".

VI.4.3.2 Forme des inclusions

Les inclusions primaires sont de formes: hexagonales, cristaux négatifs, allongées ou rondes. Les autres sont de forme irrégulières, généralement allongées, pouvant montrer quelques rares phénomènes d'étranglements (necking down).

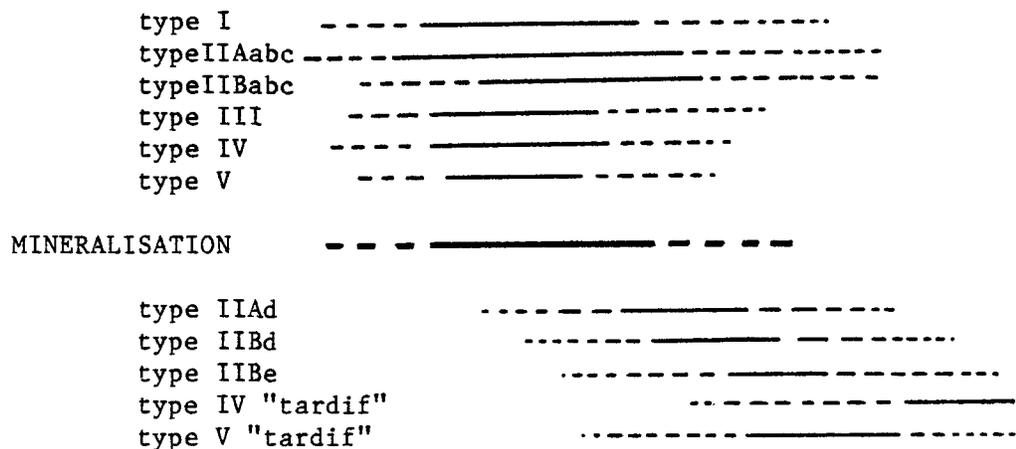
VI.4.3.3 Taille

La majorité des inclusions étudiées se situent entre 3 et 8 microns. Il est courant d'en rencontrer de 8 à 30 microns dans les grains grossiers de quartz associés à la minéralisation et exceptionnellement de 50 à 60 microns. Les inclusions secondaires "tardives" et celles situées en bordure des grains fins de quartz sont presque toujours inférieures à 2 microns.

VI.4.3.4 Abondance

Certains grains de quartz associés à la minéralisation sont très riches en inclusions fluides de différents types. D'autres, ayant subi un tectonisme important, sont riches en inclusions secondaires "tardives" ou type IIAd, IIBd. Les inclusions retrouvées en bordure des grains de quartz sont peu fréquentes. Les inclusions secondaires sans lien apparent avec le stade de minéralisation, sont très peu nombreuses.

Grâce aux relations spatiales énumérées ci-haut, entre les différentes inclusions, il est possible de définir une chronologie relative de celles-ci par rapport à la déposition de la minéralisation, sous forme de tableau:



VI.5 DETERMINATION DES PHASES MINERALES DANS LES INCLUSIONS

Les inclusions multiphasées et quelques inclusions à phase vapeur dominante contiennent une ou plusieurs phases solides, montrant

des caractères différents. Lorsque ces phases ont cristallisé après le piégeage du fluide, elles nous aident à en déterminer la composition chimique.

Ces phases minérales, bien que multiples, ne se retrouvent jamais sous forme de plusieurs cristaux identiques dans une même inclusion, excepté dans le cas de cube de halite. Elles se subdivisent en cinq groupes: 1) halite; 2) sylvite, 3) phases minérales isotropes, 4) phases minérales biréfringentes et 5) phases opaques.

VI.5.1 Halite

La halite est la phase minérale la plus fréquente. Elle se retrouve dans toutes les inclusions multiphasées ou de type I et dans quelques inclusions à phase vapeur dominante ou de type III. Elle a été visualisée par deux fois dans des inclusions à hydrocarbures (échantillon R3-62-238').

Elle se distingue par sa forme cubique à faces nettes, son isotropie, son indice de réfraction (1,54) et une couleur légèrement bleutée par rapport aux autres solides présents. Parfois elle présente des cristaux aux angles arrondis.

VI.6.2 Sylvite

Cette phase minérale se présente sous forme de cube aux arêtes et coins plus ou moins arrondis. Son indice de réfraction (1,49) plus faible que celui de la halite, son isotropisme et une couleur jaune citron en sont les principales caractéristiques. Un autre critère peut

s'ajouter lors des mesures microthermométriques: son coefficient de température de dissolution très grand par rapport à celui de la halite.

VI.5.3 Phases minérales isotropes

Une phase minérale isotrope a été remarquée dans quelques inclusions possédant déjà un cube de halite et un de sylvite. Sa détermination n'a pas pu être effectuée.

VI.5.4 Phases minérales biréfringentes

Dans certaines inclusions de types I et III, une phase biréfringente allongée (baguette) a été observée. Sans être identifiée avec certitude et grâce aux caractères optiques déterminés, il est possible de la définir comme de l'anhydrite.

Une seconde phase minérale fortement biréfringente, souvent de forme rhomboédrique, montrant les caractères optiques des carbonates est présente dans des inclusions de types I et IIB, inclusions situées dans des quartz provenant de veines riches en calcite. Cette phase a été identifiée à un carbonate.

VI.5.5 Phases minérales opaques

Parmi les quelques phases minérales opaques remarquées, certaines présentent des formes bien distinctes comme la chalcopyrite. Cette dernière apparaît sous forme de triangle, de tétraèdre ou de sphénoèdre. Des formes cubiques suggèrent la présence de pyrite. Les

phases aux formes quelconques n'ont pas été identifiées.

Ces phases opaques se retrouvent dans les inclusions multiphasées ou de type I.

VI.6 RESULTATS MICROTHERMOMETRIQUES (Fig.16)

L'étude microthermométrique a été effectuée sur l'appareillage CHAIX-MECA provenant de Nancy (France). Les échantillons étudiés sont surtout représentatifs de la minéralisation principale de la péninsule Devlin. Quelques uns (?) sont post-minéralisation.

VI.6.1 Inclusions associées à la minéralisation

VI.6.1.1 Inclusions multiphasées (type I)

a) Résultats de l'étude cryométrique

Durant le refroidissement, ces inclusions montrent la formation de glace riche en sels, de cristaux d'hydrates (plus rarement), de cube de chlorure de sodium métastable et parfois de 1 à 3 autres solides isotropes parmi lesquels la sylvite (KCl) a été identifiée, les autres restant non déterminés.

L'apparition de ces solides isotropes se fait généralement dans des inclusions montrant des cristaux d'hydrates et situées dans des grains de quartz associés "génétiquement" à la minéralisation et présentant tous les types possibles d'inclusions reliées à cette minéralisation (échantillons R3-8-326'; R3-27-218').

FIGURE.16 HISTOGRAMMES DES RESULTATS MICROTHERMOMETRIQUES,
(-160°C à +600°C)

I- Inclusions multiphasées de type I

- A) Température de fusion de la glace (Tf_{glace});
- B) Température d'homogénéisation en phase liquide (Th),
Température de fusion de la halite (Tf_{NaCl})- histogramme en noir;
- C) Température de fusion des cristaux d'hydrates de CO₂-CH₄-H₂O
(Tf_{hyd})

II- Inclusions de type II

- A) Cryométrie: température de fusion de la glace (Tf_{glace});
 - B) Chauffage: température d'homogénéisation en phase liquide (Th);
- Type IIAabc Type IIBabc Type Ad

III- Inclusions de type III

- A) Cryométrie: température de fusion de la glace (Tf_{glace});
 - B) Chauffage: température d'homogénéisation en phase liquide (Th).
- Associées aux type I, IIAabc, IIBabc, IV, V Tardives.

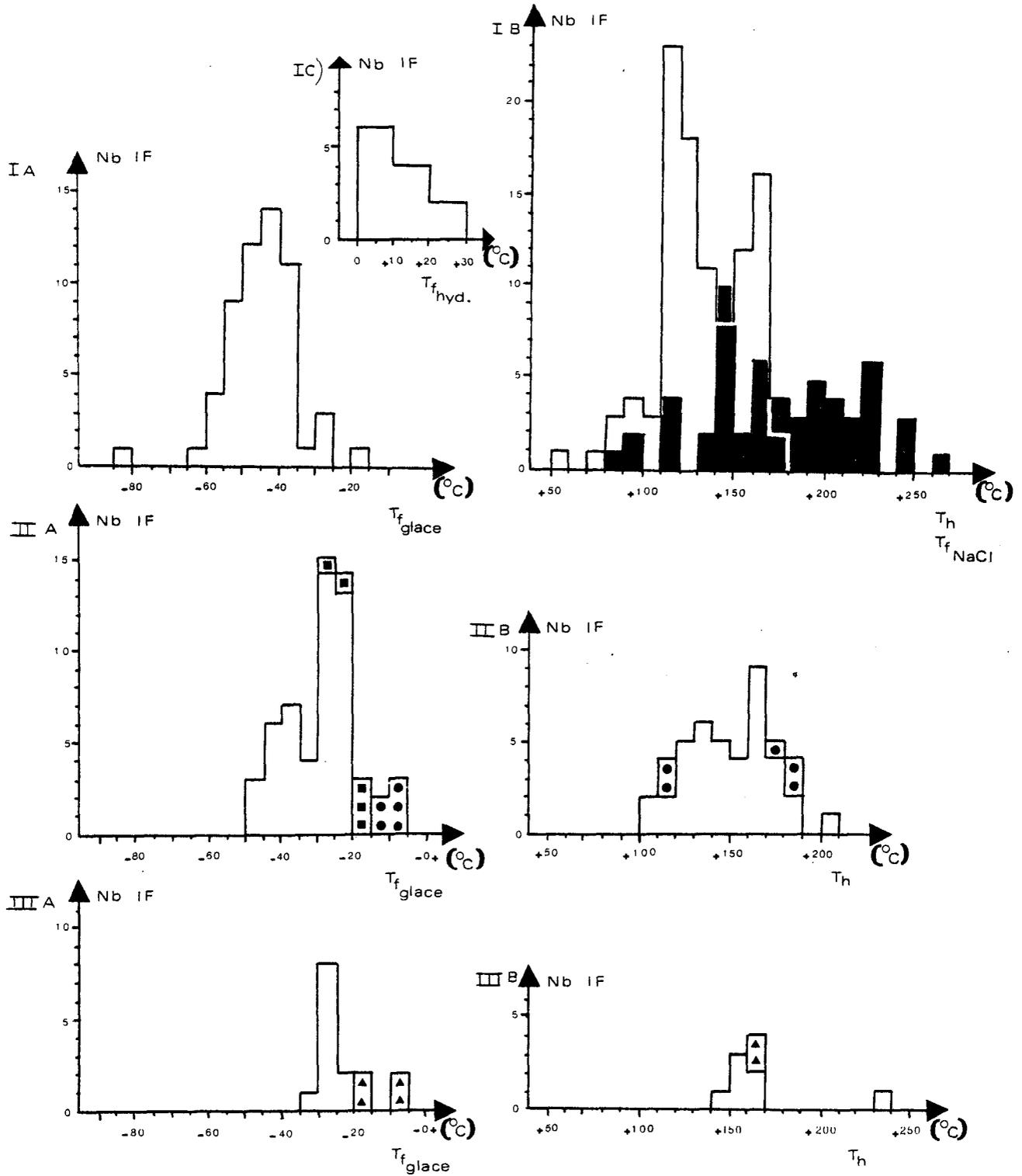


FIG.16 HISTOGRAMMES DES RÉSULTATS MICROTHERMOMÉTRIQUES
(-160 °C à +600 °C)

La température de fusion de la glace ($T_{f_{\text{glace}}}$) montre un étalement relatif, soit de $-60,8^{\circ}\text{C}$ à $-21,0^{\circ}\text{C}$, la moyenne se situant entre -40 et -50°C (Fig.16-IA). Malgré un grand nombre d'inclusions de ce type, le nombre de résultats obtenus est faible car ces inclusions ne gèlent parfois que très difficilement, c'est à dire après 2 ou 3 baisses successives de température atteignant -140°C . Dans certains échantillons, seulement une inclusions sur quatre gèle.

Durant ces baisses de température, des phénomènes de démixion reproductibles dans quelques inclusions se produisent entre -95°C et $-116,4^{\circ}\text{C}$.

Les températures de fusion des hydrates formés durant le refroidissement ($T_{f_{\text{hyd}}}$) s'étalent de $+2,5^{\circ}\text{C}$ à $+31,3^{\circ}\text{C}$. La majorité des mesures sont inférieures à $+10^{\circ}\text{C}$ (Fig.16-IC).

b) Résultats de l'étude sur platine chauffante

Lors du chauffage, les premières dissolutions remarquées sont celles des solides isotropes non déterminés. L'un d'eux se dissout vers $+65^{\circ}\text{C}$, un second vers $+80^{\circ}\text{C}$, un troisième à $+88^{\circ}\text{C}$.

La température de fusion de la sylvite ($T_{f_{\text{KCl}}}$) s'étale entre $+64,9^{\circ}\text{C}$ et $+93,8^{\circ}\text{C}$.

L'homogénéisation entre les phases liquide et vapeur se fait toujours en phase liquide. Les températures d'homogénéisation (T_h) se produisent entre $+73,4$ et $+173,9^{\circ}\text{C}$ (Fig.16-IB).

Les inclusions à un cube de halite montre des températures de dissolution ($T_{f_{\text{NaCl}}}$) allant de $+89,7$ à $+265,7^{\circ}\text{C}$ (Fig.16-IB).

L'anhydrite, les carbonates, les opaques et les minéraux non

identifiés (biréfringents) sont toujours restés intacts jusqu'au moment de la décrépitation. Cette dernière se situe grossièrement entre $+211,2^{\circ}\text{C}$ et $+331,0^{\circ}\text{C}$. Des inclusions n'étaient pas décrépitées à $+340^{\circ}\text{C}$.

Afin de ne pas détruire les échantillons étudiés, le chauffage fut généralement arrêté après les mesures essentielles soit T_h , $T_{f_{KCl}}$, $T_{f_{NaCl}}$, mais un bon nombre d'inclusions montrent une température de fusion de la halite supérieure à la température de décrépitation (T_d).

VI.6.1.2 Inclusions à phase liquide dominante (type IIAabc)

a) Résultats de l'étude cryométrique

Durant le refroidissement, les inclusions de ce type montrent la formation de cristaux de glace dont la température de fusion ($T_{f_{glace}}$) s'étale de $-47,4^{\circ}\text{C}$ à $-22,2^{\circ}\text{C}$ avec un regroupement compris entre -20 et -30°C (Fig.16-IIA).

b) Résultats de l'étude sur platine chauffante

L'homogénéisation de ces inclusions se fait toujours en phase gazeuse et les températures varient de $+102,5^{\circ}\text{C}$ à $+208,5^{\circ}\text{C}$ (Fig.16-IIB).

VI.6.1.3 Inclusions à phase liquide (type IIBabc)

Résultats de l'étude cryométrique

Les valeurs de température de fusion de la glace obtenues, sont identiques à celles des inclusions de type IIAabc et montrent un regroupement vers -25°C (Fig.16-IIA).

VI.6.1.4 Inclusions à phase vapeur dominante (type III)

a) Résultats de l'étude cryométrique

Les températures de fusion des cristaux de glace s'échelonnent de $-16,7$ à $-30,6^{\circ}\text{C}$ avec une concentration de données entre -25 à -30°C (Fig.16-IIIA). Ces valeurs de $T_{f_{\text{glace}}}$ se superposent à ceux des inclusions de type IIAabc et IIBabc.

b) Résultats de l'étude sur platine chauffante

L'homogénéisation de ces inclusions se fait en phase liquide et se situe entre $+145$ et $+240^{\circ}\text{C}$ (Fig.16-IIIC). Elle correspond aux températures d'homogénéisation des inclusions de type I et IIAabc.

VI.6.1.5 Inclusions sombres ou à hydrocarbures (type IV)

Ces inclusions sont très difficile à étudier étant rares et petites. Leur phénomène de démixion à basse température ne se visualise

que très rarement. Cinq d'entre elles ont donné des résultats allant de $-116,7$ à $-95,5^{\circ}\text{C}$. D'autres ont laissé supposer des mouvements de démixion autour de -100°C .

VI.6.1.6 Inclusions à gaz carbonique (type V)

En raison du nombre restreint de ces inclusions, aucune mesure n'a pu être effectuée soit sur la platine chauffante, soit en cryométrie.

VI.6.2 Inclusions tardives et inclusions non reliées directement à la minéralisation

Les inclusions se classant dans cette catégorie n'ont pas été réellement prise en considération, car elles sont de petite taille (1-2 microns), rendant les mesures parfois impossibles lorsque le grain de quartz est laiteux. Lorsque possibles, des mesures ont été effectuées.

VI.6.2.1 Inclusions à phase liquide dominante (type IIAd)

Les quelques mesures de fusion de la glace obtenues sont comprises entre $-10,9$ et $-6,4^{\circ}\text{C}$. Leur homogénéisation se fait en phase liquide à des températures allant de $+118,8$ à $+183,2^{\circ}\text{C}$ (Fig-16-IIB).

VI.6.2.2 Inclusions à liquide seul (type IIBd)

Celles-ci ont donné des valeurs de fusion de la glace de

-19,1°C, -17,9°C et -16,9°C. Malgré ce petit nombre de données, il est possible d'affirmer que ces inclusions ont toutes des températures de fusion de la glace supérieures à -20°C et plus généralement autour de -10°C.

VI.6.2.3 Inclusions à phase vapeur dominante (type III "tardif")

Ces inclusions tardives par rapport au stade de minéralisation, ne se retrouvent que dans un échantillon provenant de la matrice à quartz. Les valeurs recueillies de température de fusion de la glace sont de -6,1 et -5,2°C, et les températures d'homogénéisation de +116,3 et +165,3°C.

VI.6.2.4 Inclusions sombres ou à hydrocarbures (type IV "tardif")

Deux mesures seulement ont pu être prises lors du refroidissement soit des températures de démixion de -116,2 et -94,3°C.

Tous les résultats obtenus en microthermométrie ont été reportés sur des histogrammes (Fig.16) et des diagrammes tels que: température de dissolution de la halite versus température d'homogénéisation; courbes de pourcentage poids NaCl (ou KCl) en fonction des températures obtenues (fig.17) permettent de mieux saisir la répartition des données et de faciliter leur interprétation au chapitre suivant.

VI.7 RESULTATS OBTENUS SUR LA PLATINE A ECRASEMENT

L'écrasement des grains de quartz dans la glycérine anhydre montre un dégagement gazeux d'intensité allant de faible à moyenne. L'intensité variant faiblement d'un échantillon à l'autre.

L'utilisation du kérosène à la place de la glycérine anhydre montre la disparition d'une partie des bulles de gaz donnant ainsi le rapport qualitatif CO₂/hydrocarbures de 1:4 ou 1:3 pour les inclusions sombres.

VI.8 ANALYSES DES IONS EN SOLUTION

Lors de ces analyses, la quantité d'eau libérée pendant le broyage n'est pas mesurable, ainsi l'interprétation de ces résultats se base sur les rapports atomiques des différents ions analysés. Les résultats obtenus sont consignés sur le tableau 5. Il faut noter que dans presque tous les échantillons, les cations SO₄⁻⁻ se retrouvent au dessous de la limite de détection de la méthode employée.

VI.8.1 K/Na

Les résultats obtenus montrent une reproductibilité correcte. La majeure partie des données (50%) se regroupent entre 0,020 et 0,028. Elles s'étalent de 0,008 à 0,088, une fois les valeurs extrêmes enlevées, leur moyenne est de 0,0334.

Les trois valeurs les plus fortes se retrouvent dans les échantillons pris hors brèche ou à la limite brèche/tonalite

No. Echantillon	K ⁺	Na ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺ g	Cl ⁻	F ⁻	SO ₄ ⁼	Rapport	K/Na	Ca/Na	Ca/Mg	Mg/Na
1-114'	0,13	0,76	3,67	0,045	05,82	0,14	<<	1,39	0,100	2,769	049,46	0,056
22-221,2'	0,55	7,10	12,91	0,038	22,02	0,102	<<	1,51	0,045	1,042	214,66	0,048
23-231'	0,05	0,34	2,30	0,043	08,41	0,10	<<	0,59	0,086	3,88	032,44	0,119
27-227'	0,24	4,13	5,03	0,048	11,87	0,077	3,0	0,91	0,033	0,690*	066,00	0,010
30-105,2'	0,12	3,35	1,85	0,088	08,85	0,152	<<	0,81	0,020	0,316*	012,80	0,024
30-192'	0,28	4,66	4,46	0,246	13,60	0,012	<<	1,05	0,035	0,548*	011,00	0,049
39-69,9'	0,23	5,04	3,36	0,051	13,38	0,180	<<	0,89	0,026	0,382*	041,90	0,009
40-61	0,20	3,77	3,42	0,056	10,36	0,055	<<	1,04	0,031	0,520	037,08	0,014
55-165,6'	0,36	1,94	4,54	0,055	11,87	0,06	<<	0,97	0,109	1,342*	050,06	0,026
65-32'	0,13	2,83	4,16	0,044	07,77	0,113	<<	1,44	0,026	0,843	057,61	0,014
74-265'	0,07	1,81	2,74	0,033	03,02	0,186	<<	2,34	0,021	0,867*	052,53	0,016
98-105,5'	0,07	4,59	2,15	0,048	05,829	0,184	6,5*	1,50	0,008	0,268	028,2	0,009
97-162'	0,27	5,9	2,28	0,057	09,715	0,146	<<	1,09	0,026	0,022*	024,60	0,009
98-74,5'	0,24	5,16	2,46	0,067	13,38	0,101	<<	1,07	0,027	0,273*	022,70	0,012
98-295,5'	0,27	3,16	6,99	0,039	12,30	0,206	<<	1,39	0,050	1,269*	124,57	0,010
116,189'	0,15	3,07	2,90	0,032	06,90	0,088	<<	1,29	0,028	0,541*	055,61	0,009
122-186,5'	0,66	4,40	4,76	0,041	50,51	0,08	<<	9,30	0,088	0,620	070,41	0,008
122-187'	1,41	12,6	15,18	0,074	35,19	0,063	<<	1,26	0,065	0,682	124,7	0,005
132-201	0,14	1,88	4,10	0,051	13,16	0,12	<<	0,77	0,43	1,250	048,75	2,565
133-226	0,09	0,45	0,25	0,028	03,23	0,21	<<	0,32	0,117	0,356	006,06	0,058
135-206	0,11	2,66	1,30	0,072	07,98	0,093	2,0	0,68	0,024	0,280*	011,17	0,025
138-141	0,05	1,63	6,18	0,047	12,59	0,138	<<	1,12	0,0169	2,173	081,10	0,026
138-196,2	0,17	3,15	1,81	0,031	06,045	0,158	2,0	1,12	0,031	0,329	037,58	0,008
140-195'	0,74	9,0	12,28	0,055	35,40	0,124	<<	0,96	0,048	0,782	139,22	0,0056
146-104'	0,08	1,99	5,91	0,040	13,67	0,107	2,0	1,01	0,023	1,704	092,12	0,018

<< en dessous de la limite détectable de notre méthode

* CPY en matrice

TABLEAU 5: RESULTATS DES ANALYSES DES IONS EN SOLUTION DANS LES PHASES ACQUEUSES DES INCLUSIONS

VI.8.2 Ca/Na

Les données obtenues sont très étendues et vont de 0,022 à 3,88. En supprimant les valeurs extrêmes, les résultats s'étalent alors de 0,271 à 1,704.

Lorsque les échantillons proviennent des veines non minéralisées ou de la matrice à quartz, les valeurs obtenues sont toujours faibles: 0,022 à 0,548 comparativement à celles issues de quartz associés à la minéralisation. Une exception se remarque en l'échantillon R3-1-114' provenant d'une veine fortement ferrugineuse, située à l'extérieur de la zone de brèche.

VI.8.3 Ca/Mg

Les valeurs obtenues montrent une forte dispersion: 6,06 à 214,66. Les résultats les plus faibles proviennent généralement d'échantillons non minéralisés ou de la matrice à quartz.

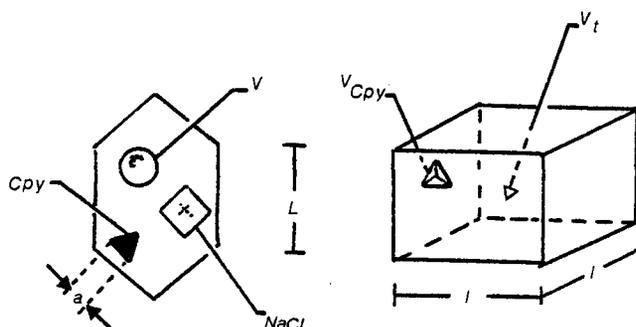
VI.8.4 Mg/Na

A l'exception d'une valeur extrême élevée (échantillon R3-132-201'), toute les analyses se regroupent entre 0,005 et 0,119 quelques soit leur provenance.

VI.9 TENEUR EN CUIVRE

Lorsque des grains de chalcopirite ont été déterminés dans des inclusions fluides, un calcul des teneurs en cuivre a été possible grâce à l'équation tirée de Ramboz, 1978 (Fig.17). Les valeurs calculées varient de 0,012 ppm à 7,4 ppm de Cu et montrent une moyenne de 4,1 ppm.

FIGURE.17 ESTIME DU CONTENU EN CUIVRE DANS LES INCLUSIONS FLUIDES, tiré de Ramboz, 1979.



$$\text{Cu \%} = \frac{V_{\text{Cpy}} \cdot d_{\text{Cpy}} \cdot M_{\text{Cu}}}{V_t \cdot d_F \cdot M_{\text{CuFeS}_2}} \cdot 10^6 \text{ ppm}$$

Cette équation se calcule sachant que:

$$V_t = L \cdot l^2$$

$$V_{\text{Cpy}} = \frac{(a^2)^2}{3}$$

$$d_F = \text{densité moyenne} = 1.2$$

$$d_{\text{Cpy}} = 4.2 \text{ (densité de Cpy)}$$

$$M_{\text{Cu}} = 64 \text{ (poids atomique de Cu)}$$

$$M_{\text{CuFeS}_2} = 182$$

CHAPITRE VII

EVOLUTION DES PHASES FLUIDES

INTERPRETATION ET DISCUSSION

L'étude microthermométrique et l'analyse des cations des inclusions fluides donnent un aperçu de l'évolution du fluide minéralisateur, ainsi que du (des) fluide(s) plus tardif(s) et non minéralisant(s). Sur les dix échantillons choisis et surtout représentatifs du fluide associé à la minéralisation, deux regroupements d'inclusions ont été effectués:

- 1) inclusions fluides associées à la période de minéralisation;
- 2) inclusions tardives par rapport à cette minéralisation.

VII.1 INCLUSIONS FLUIDES ASSOCIEES A LA MINERALISATION EN CUIVRE DE LA PENINSULE DEVLIN

Les inclusions fluides de ce groupe montrent généralement une distribution spatiale plus ou moins identique, suivant les échantillons étudiés. Elles se subdivisent en cinq grands types (Fig.14):

- Type I : inclusions multiphasées avec un ou plusieurs solides (halite, sylvite, carbonates, chalcopryrite...);
- Type II : inclusions à phase liquide dominante (IIAabc) et,

inclusions à phase liquide seule (IIBabc);

Type III: inclusions à phase vapeur dominante, pouvant ou non contenir un cube de halite et très rarement de l'anhydrite;

Type IV : inclusions à hydrocarbures;

Type V : Inclusions à gaz carbonique.

Les inclusions de type I, multiphasées, montrent un rapport volumique V/T de 1 à 10%. Elles sont les premières en importance dans les échantillons minéralisés. Elles montrent des températures de fusion du dernier cristal de glace (Fig.16-IA) s'échelonnant de -60.8 à -21.0°C. Une valeur extrême à -85°C a été notée.

Les températures de fusion de la halite (Fig.16-IB) varient de +90°C à +266°C, les valeurs inférieures à +140°C sont restreintes aux inclusions de type I recoupant les alignements d'inclusions de même type ayant un " $T_{f_{NaCl}}$ " compris entre +140 et +266°C. Ces dernières montrant des liens très étroits avec la chalcopryrite en place (Fig.15B). Elles se disposent à la suite de filaments de chalcopryrite infiltrés dans les grains de quartz et peuvent montrer deux cubes de halite. La sylvite ne se retrouvant que dans les inclusions provenant de la veine minéralisée principale, montre des températures de fusion de +64.9 à +93.8°C.

Des hydrates de CO₂-CH₄-H₂O se forment lors du refroidissement et fondent à des températures comprises entre +2,5 et +31.3°C. Les températures situées au dessous de +10°C impliquent la présence d'hydrocarbures lourds et de CO₂ dans le fluide, celles supérieures à +10°C dénotent la présence de CH₄ et de CO₂ et celles d'environ +30°C la présence de CH₄ pur.

Les inclusions de type IIAabc à phase liquide dominante et de

FIGURE 18 INTERPRETATION DES RESULTATS MICROTHERMOMETRIQUES
ET DES ANALYSES DE CATIONS.

A) Courbe de Keevil modifiée par Potter et al. 1977, donnant la salinité du fluide en pourcentage poids NaCl en fonction de la température de fusion de la halite;

B) Courbe tirée de Potter et al. 1977, donnant la pourcentage poids KCl en fonction de la température de fusion de la sylvite;

C) Corrélation entre les rapports Ca/Na et K/Na obtenus par l'analyse des cations:

(●) échantillons dont la balance cations/anions est comprise entre 0,8 et 1,1;

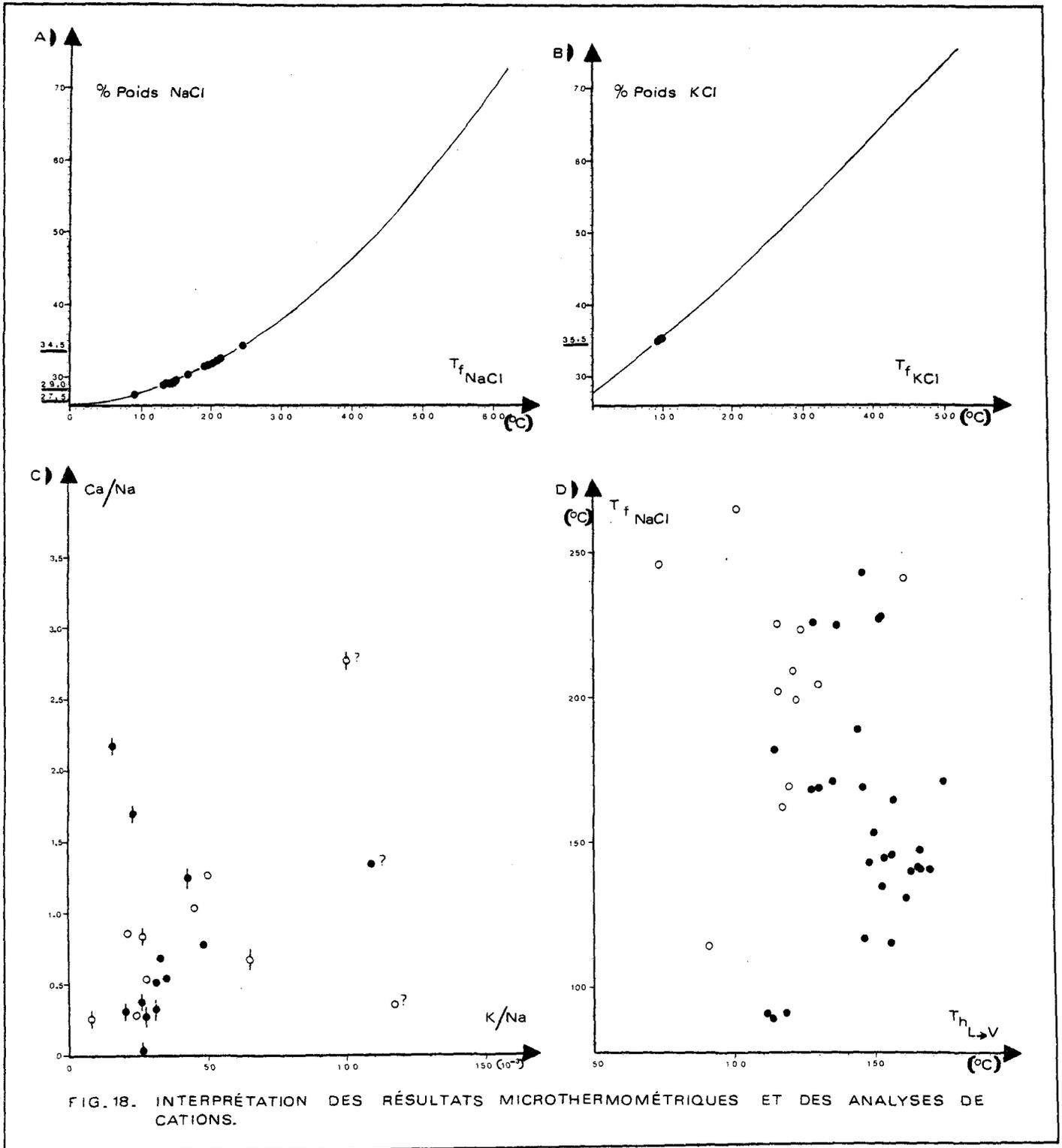
(○) échantillons dont la balance cations/anions est inférieure à 0,8 ou supérieure à 1,1;

L'absence de barre verticale sur les points indique que les échantillons proviennent de la veine minéralisée principale ou sont directement reliés à celle-ci;

D) Graphe des températures de fusion de NaCl ($T_{f_{NaCl}}$) en fonction des températures d'homogénéisation (T_h) des inclusions multiphasées de type I;

(●) échantillons provenant de la veine minéralisée principale;

(○) autres.



type IIBabc à phase liquide sont associées aux précédentes. Leur nombre est inférieur à celui du type I, mais elles viennent toujours en seconde position. Elles présentent d'ailleurs les mêmes caractéristiques quant aux décroissances des températures d'homogénéisation, aux augmentations des températures de fusion du dernier cristal de glace que les inclusions de type I. Les rapports volumiques V/T des inclusions de type IIAabc sont de l'ordre de 0,1 à 5%. Les valeurs microthermométriques recueillies sont:

- $T_{f_{glace}} = -47.4$ à -22.2°C (Fig.16-IIA), indiquant que la solution renferme des ions autres que NaCl, soit CaCl₂, KCl, etc....

- $T_h = +102.5$ à $+208.5^{\circ}\text{C}$ (Fig.16-IIB), températures se superposant à celles obtenues pour les inclusions de type I, et décroissantes dans le temps.

Les inclusions de type III, à phase vapeur dominante comptent pour 5 à 10% du total des inclusions fluides. Elles ont été retrouvées associées à la minéralisation dans la veine principale, aux endroits où cette dernière montre son épaisseur maximum. Elles sont liées spatialement à cette minéralisation et aux inclusions de types I (Fig.15D). Leurs rapports volumiques V/T s'échelonnent de 20 à 95%, les T_h de $+145$ à $+240^{\circ}\text{C}$ (Fig.16IIIB) et les $T_{f_{glace}}$ de -30.6 à -16.7°C (Fig.16IIIA). Ces valeurs définissent une salinité du fluide supérieure à 23% poids NaCl (Roedder, 1962). Ces données montrent les mêmes conclusions que les inclusions de types II.

Les inclusions à hydrocarbures en faible quantité (<5%) peuvent se retrouver dans un même alignement que les inclusions de type I.

Généralement, elles suivent un patron de distribution parallèle à celui des inclusions de type I. Les températures d'homogénéisation des deux phases fluides en une phase fluide (Lhyd + Vhyd --> Vhyd) sont de l'ordre de -116.7 à -95.5°C, prouvant la présence d'hydrocarbures (lourds) et de CH₄ contemporains à la formation des inclusions de type I.

Les inclusions à CO₂, les plus rares (1%) dans les échantillons étudiés, liés spatialement aux inclusions de type I n'ont pas pu être mesurées.

VII.2 INCLUSIONS PLUS TARDIVES

Ce groupe d'inclusions ne montre aucune inclusion de type I (multiphasées) et de type V (à gaz carbonique). Il se compose d'inclusions de type IIAd à phase liquide dominante, de type IIBe à phase liquide, de type III à phase vapeur dominante et de type IV à hydrocarbures. Leur quantité est inférieure à 10% du total des inclusions présentes dans les grains de quartz.

Les inclusions de type IIAd et IIBe se retrouvent comme inclusions secondaires dans tous les échantillons étudiés. Elles se disposent suivant des alignements recoupant les réseaux créés par les inclusions associées à la minéralisation (Fig.15A,D,E). Le rapport volumique V/T des inclusions de type IIAd est de 0,1%, leur température de fusion de la glace (Fig.16-IIA) se situe aux alentours de -10,9 à -6,4°C indiquant une faible salinité et l'absence de cations bivalents dans le fluide; et leur homogénéisation en phase liquide (Fig.16-IIB) varie de +118,8 à +183,2°C. Les inclusions de type IIBd montrent des

températures de fusion de la glace de $-19,1$ à -16°C , ces valeurs confirmant que les inclusions tardives ont une faible salinité. Ces deux types d'inclusions se retrouvent en alignements parallèles entre eux et à l'allongement des grains de quartz tectonisés. Des "reliques" d'inclusions de type I (Fig.15C) se retrouvent parfois entre ces alignements.

Les inclusions de type III se situent dans les quartz tardifs ayant rempli des géodes dans les matrices de la brèche de la péninsule Devlin. Leur rapport volumique V/T est de 20 à 40%. Les températures de fusion du dernier cristal de glace sont de l'ordre de $-6,1$ à $-5,2^{\circ}\text{C}$, les quelques températures d'homogénéisation recueillies sont de $+116,3$ à $+165,3^{\circ}\text{C}$ environ. Ces valeurs soulignent la faible salinité et l'absence de cations bivalents dans les inclusions tardives et l'abaissement de la température lors de leur formation.

Les inclusions de type IV ou à hydrocarbures, se retrouvent en alignements recoupant tous les autres types d'inclusions rencontrées (Fig.15E). Les deux mesures possibles ayant donné des températures d'homogénéisation de deux phases fluides en une phase fluide de $-116,2$ et $-94,3^{\circ}\text{C}$ soulignent la présence d'hydrocarbures lourds et/ou de CH_4 dans le fluide parent de ces inclusions.

Sachant que dans les grains de quartz associés à la minéralisation, les inclusions de type I, IIAabc, IIBabc, III, IV et V occupent 90% du total des inclusions, les échantillons sélectionnés dans la veine principale et les veinules associées à celle-ci, pour l'analyse des ions en solution sont alors représentatifs d'une solution minéralisatrice "moyenne". Neufs échantillons, cependant ont été choisis "hors veine minéralisée": dans la matrice à quartz de la brèche

(R3-98-74,5'; R3-98-105,5'); dans une veinule d'hématitisation précoce (R3-1-114'); dans des veinules "stériles" (R3-07-163'; R3-138-196') et dans des veinules comportant de la pyrite et de la chalcopryrite en trace, veinules sans relation évidente avec la minéralisation principale (R3-132-201'; R3-138-141'; R3-146-104'; R3-65-32'). La composition, l'évolution de la solution et les températures de formation peuvent être déterminées grâce à l'ensemble des données recueillies.

VII.3 COMPOSITION DE LA SOLUTION

La minéralisation en cuivre de la péninsule Devlin a précipité d'une solution aqueuse riche en sels. Les basses températures de fusion du dernier cristal de glace et la présence de solides (halite, sylvite, carbonates, anhydrite, chalcopryrite, pyrite...) définissent une saumure riches en NaCl, KCl, CaCl₂. Ces sels sont accompagnés d'hydrocarbures et de gaz carbonique visibles par la présence des hydrates formés lors du refroidissement des inclusions.

Bien que la présence de CaCl₂, de CO₂ et de CH₄, affecte la solubilité de NaCl et de KCl, les températures de fusion reportées sur les courbes tirées de Potter et al. (1977) (figures 18a et b) indiquent des valeurs en pourcentage poids de 27 à 35% pour NaCl et de 35% pour KCl dans les inclusions de type I (multiphasées). La concentration en % poids NaCl décroît aux cours des générations d'inclusions, donc durant l'évolution du fluide. Les phases tardives indiquent une salinité inférieure à 20% poids NaCl, décroissant jusqu'à 8% poids NaCl (Roedder, 1962).

La présence de cuivre dans la solution est déterminée par les

solides opaques (chalcopryrite), et des calculs (Ramboz,1979) ont donné des concentrations comprises entre 0,012 et 7,4 ppm.

Les analyses des ions en solution ont confirmé la présence de Na⁺, Ca⁺⁺, les deux sels majoritaires ; de K⁺ en quantité moindre, de Mg⁺⁺ en trace, de Cl⁻, de F⁻ et de CO₂, généralement en dessous de la limite de détection de la méthode. La balance cations/anions montre que pour la majorité des échantillons les anions Cl⁻ et F⁻ s'équilibrent avec les cations Ca⁺⁺, Na⁺, K⁺ et Mg⁺⁺. Les données microthermométriques ayant démontré que la quantité des ions (Ca⁺⁺, Na⁺, K⁺...) décroît avec le temps, des résultats analogues sont retrouvés avec l'analyse des ions en solution. La courbe Ca/Na en fonction de K/Na (Fig.18C) montre grossièrement cette décroissance, mais on remarque que le calcium décroît plus rapidement que le potassium en les comparant au Na.

L'évolution du fluide peut donc se résumer comme suit;

a) circulation d'une phase parent composée d'une saumure riche en sels (Na⁺, Ca⁺⁺, K⁺, Mg⁺⁺...) avec présence d'hydrocarbures, de gaz carbonique et de cuivre;

b) démixion de cette phase fluide en fonction de la salinité de celle-ci et/ou arrivée d'une seconde phase fluide entraînant la coexistence de deux solutions principales:

1) une saumure riche en Ca⁺⁺, en Na⁺ (35% poids NaCl), en K⁺ (35% poids KCl), en Mg⁺⁺, en Cl⁻, en F⁻ et présentant des traces de gaz carbonique et d'hydrocarbures;

2) un fluide riche en hydrocarbures.

c) la saumure riche en sels présente une décroissance régulière de son contenu en sels: 29% poids NaCl, puis 27% poids NaCl dans les inclusions "tardives " de type I, KCl ne se retrouve plus alors sous

forme cristallisé dans la solution. CaCl_2 décroît de la même façon (Fig.18C). La quantité d'hydrocarbures diminue.

d) le fluide continue à perdre sa salinité et atteint 8% poids NaCl dans les inclusions tardives.

Les inclusions de type IV "tardif" ne sont pas envisagées dans cette évolution car elles ne sont pas encore définies et précisées à ce stade de travail, mais il faut noter qu'elles recourent tous les autres types d'inclusions rencontrées.

VII.4 EVOLUTION DE LA TEMPERATURE

Les résultats obtenus de l'étude microthermométrique, donnent un aperçu des conditions de température minimale suivies durant l'évolution du fluide. Lorsque la salinité décroît et que les températures de fusion de la halite chutent de +270 à +90°C, les températures d'homogénéisation correspondantes varient de +210 à +70°C.

Si l'on isole les échantillons minéralisés, on remarque que dans ceux-ci, les températures de fusion de la halite et les températures d'homogénéisation se regroupent grossièrement autour des mêmes valeurs. Un exemple est donné par l'échantillon R3-55-159,9' montrant des Th entre +147,6 et +153,6°C et des $T_{f_{\text{NaCl}}}$ de +134,4 à +153,9°C. Les phases plus tardives ont des différences plus marquées entre ces deux types de mesures, pour l'échantillon R3-4-285', les Th vont de +89,7 à +117,1°C et les $T_{f_{\text{NaCl}}}$ de +111 à +146,8°C. Ainsi les températures d'homogénéisation sont toujours proches ou identiques aux températures de saturation en NaCl de la solution, durant la déposition de la

minéralisation. Cette dernière se serait produite à des températures correspondantes alors aux températures de fusion de la halite, soit de l'ordre de +200 à +260°C.

DISCUSSION

Le modèle d'évolution de la brèche de la péninsule Devlin, des altérations et du fluide minéralisateur, montre des similarités avec les dépôts de type porphyre cuprifère d'âge mésozoïque et cénozoïque.

La première ressemblance se situe au niveau de sa position géologique dans une ceinture orogénique, spécialement avec les régions de la Cordillère Circum-Pacifique, des Provinces de "Bassin and Range" et du sud-ouest du Pacifique.

Le contrôle de la minéralisation peut être très différent suivant le porphyre cuprifère envisagé. Les sulfures y sont le plus souvent disséminés mais peuvent se retrouver sous forme de veine recoupant le "stock" porphyrique et les roches hôtes du porphyre. La bréchification est souvent l'élément majeur contrôlant la minéralisation. La brèche est formée des fragments du porphyre lui-même et des fragments provenant des roches encaissantes. Les épisodes de bréchification et de fracturation associés à la minéralisation des sulfures peuvent être répétitifs (Kirkham, 1972).

La minéralisation en cuivre de la péninsule Devlin montre des caractéristiques structurales propres aux porphyres cuprifères. Elle se retrouve sous forme de veines recoupant la brèche et s'infiltrant dans les tonalites à chlorite et à épidote encaissantes. Elle montre une veine principale subhorizontale continue s'étendant sur un minimum de 610 m par 920 m, s'arrêtant (?) au sud de la zone étudiée au niveau

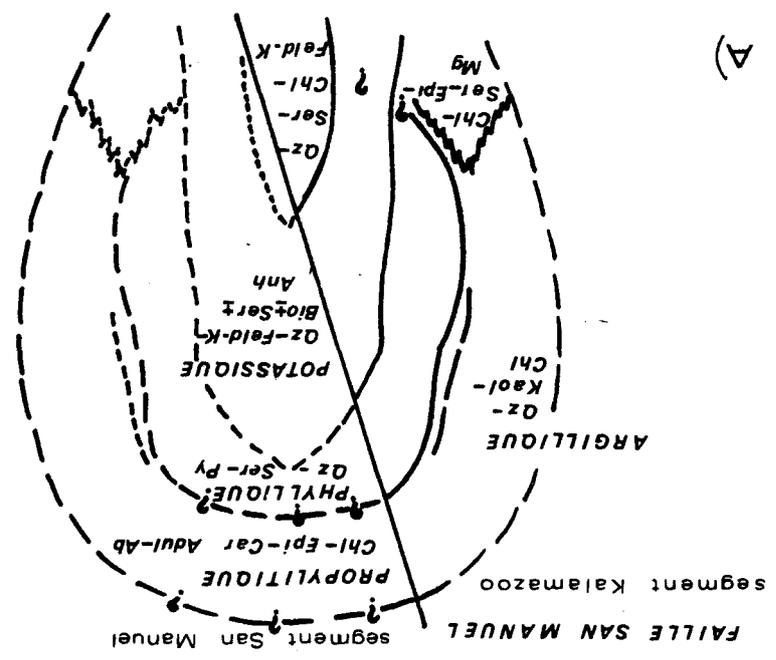
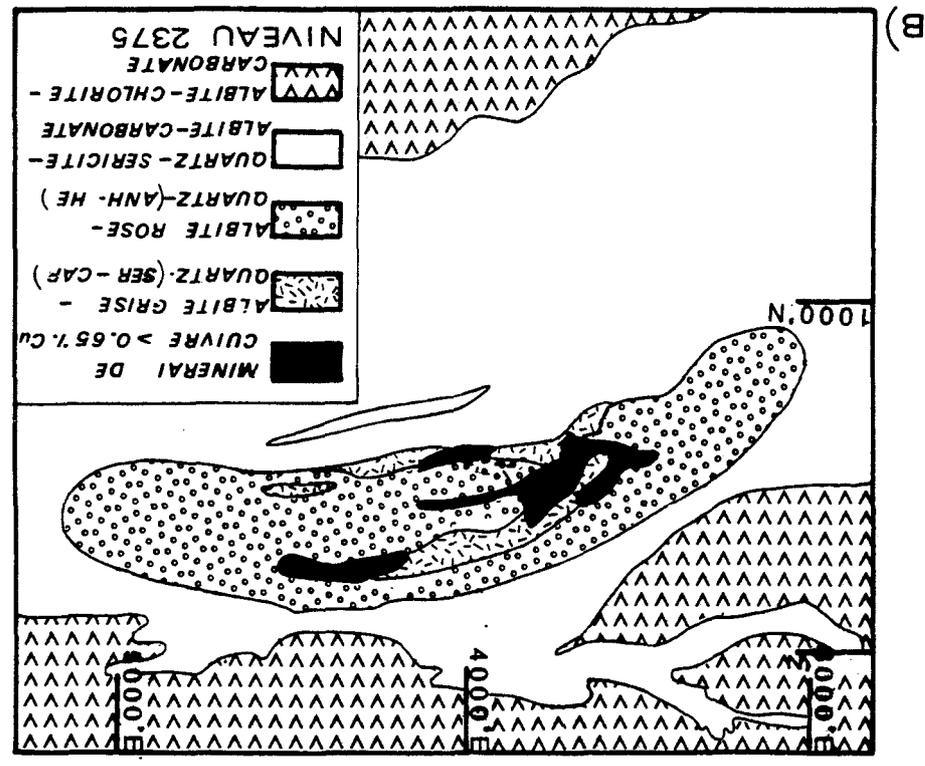
d'un cisaillement EW d'environ 70°N de pendage (Fig.3). Des veines mineures, parallèles à la veine principale se retrouvent à différents niveaux, ainsi que des veinules de différents pendages.

La brèche se compose de fragments de tonalites et de roches "hôtes" (gabbro anorthositique du complexe du Lac Doré, dykes de diorite et de tonalite). Ces fragments baignent dans quatre types de matrices: a) une matrice de poussière de roche, à géodes ou non (matrice grenue); b) une matrice à épidote contemporaine et postérieure à la matrice grenue; c) une matrice à chlorite et d) une matrice à quartz. Les deux dernières matrices sont postérieures aux matrices grenue et à épidote. La brèche montre clairement au moins deux épisodes de bréchification reconnaissables à la présence de matrices combinées (Fig.4). Ces caractéristiques se comparent aisément à celles des porphyres cuprifères du Tertiaire.

Lowell et Guilbert (1970), après avoir recueilli des données sur plusieurs porphyres cuprifères "typiques" ont pu tracer un schéma d'altération de ce type de dépôts minéralisés (Fig.19). Ce patron d'altérations est interprété comme un métasomatisme et un "lessivage" des roches en place, par un mécanisme de convection de fluides hydrothermaux (magmatiques et/ou météoritiques), durant le refroidissement d'un pluton. Les altérations se distribuent en zones concentriques. La plus centrale ou zone potassique est caractérisée par un fort contenu en potassium. Le feldspath potassique, la biotite, le quartz et la séricite remplacent les minéraux primaires et se retrouvent en veinules. La zone contigüe ou zone phyllique, comporte les minéraux d'altération suivants: quartz, séricite, hydromica, chlorite et rutile (en trace). La séricite prédomine dans la partie interne de cette zone

A)-Alteration concentrique de San Manuel-Kalamazoo d'après Lowell et Guilbert, 1970
 B)-Assemblages d'alteration dans les schistes felsiques de Pearl Lake, région de Timmins d'après Davies et Lutha, 1978

FIG.19 PATRONS D'ALTERATION DE DEUX GISEMENTS DE TYPE PORPHYRE CUPRIFERE



et l'hydromica et les minéraux argilleux dans la partie externe. La zone suivante ou argilique peut parfois être absente. Elle se caractérise par la kaolinisation des plagioclases et la présence de quartz secondaire. La zone externe, zone propylitique est la région la moins affectée du porphyre. Les plagioclases peuvent rester "frais". Elle se caractérise par la présence de chlorite, d'épidote, de carbonates comme minéraux d'altération. Elle peut présenter mais très rarement des veinules de feldspath potassique, de plagioclase avec en faible quantité des carbonates, du quartz et de l'épidote. Elle se transforme à des niveaux profonds en phase argilique (quartz, kaolin, chlorite) et phyllique (chlorite, épidote, séricite, magnétite). Cette altération concentrique typique des dépôts de type porphyre cuprifère peut ou non être régulière.

Dans la région de Chibougamau, les roches ont été affectées par un métamorphisme de degré schistes verts rendant plus délicate l'étude des assemblages d'altérations ayant affecté les roches de la péninsule Devlin. Malgré cette difficulté, il a été possible de définir les assemblages d'altérations suivants, se superposant au métamorphisme régional:

1) Une hématitisation précoce définie par la présence de grains d'hématite, de séricite et par le faible pourcentage de chlorite et d'épidote;

2) Un assemblage quartz-feldspath se retrouvant surtout sous forme de veinules à albite blanche altérée (séricite + chlorite + épidote) et à quartz;

3) Une séricitisation affectant les plagioclases et les bordures des veinules existantes;

4) Un assemblage chlorite-épidote (minéraux principaux) s'associant au quartz, à la pyrite, à des carbonates, suivant la période considérée dans l'évolution de la brèche;

5) Une albitisation montrant la présence de grains d'albite rose (hématite infiltrée dans les plans de macles et dispersée dans les grains) ou d'albite blanche semblant plus tardive que la précédente. Cette altération se produit en même temps que la mise en place de la minéralisation en cuivre et peut s'accompagner de la formation de veinules d'amphibole;

6) Des veinules de magnétite, d'hématite, de tourmaline et un remplissage de géodes de la brèche (quartz-carbonates).

Les matrices de la brèche forment elles-mêmes une zonation et donnent une évolution dans la formation des minéraux. La matrice à épidote, riche en quartz (fragments ou grains), est suivie dans le temps par la mise en place de la matrice à chlorite et de la matrice à quartz.

La brèche de la péninsule Devlin montre donc deux altérations propres aux dépôts de type porphyre cuprifère, soit: a) une altération phyllique et b) une altération propylitique.

L'altération phyllique se caractérise par la forte teneur en épidote et en quartz dans la matrice à épidote, par la présence de séricite durant l'hématitisation précoce, par l'assemblage quartz-feldspath et par une phase de séricitisation se retrouvant dans l'avancement de l'altération des plagioclases et en bordure de veinules (à amphibole). Cette altération aurait plus ou moins précédé l'altération propylitique. Cette dernière est représentée par l'assemblage le plus étendu en espace: il affecte toute la région

étudiée; et en temps: préminéralisation à postminéralisation; soit l'assemblage chlorite - épidote.

La plus grande différence minéralogique remarquée, comparativement à la plupart des dépôts minéralisés de type porphyre cuprifère est la présence d'albite (rose ou blanche) à la place de feldspath potassique. Cependant, l'albite n'est pas un minéral inconnu dans un tel cas.

Un dépôt de cuivre d'âge archéen, de type porphyre cuprifère de la région de Timmins (Ontario), étudié par Davies et Lutha (1978) montre un schéma d'altération centré sur la zone minéralisée ayant une forte teneur en albite. Trois phases d'altérations y ont été déterminées:

- 1) quartz-séricite-albite-carbonate, la plus externe par rapport à la zone minéralisée;
- 2) albite rose-quartz (-anhydrite-hématite);
- 3) albite grise-quartz (-séricite-carbonates).

Les lentilles minéralisées en cuivre sont spatialement associées avec les assemblages albite grise-quartz et albite rose-quartz. Les lentilles ont des orientations structurales en accord avec le pendage et la plongée des zones des assemblages d'altération (Fig.19).

Par contre, dans les gîtes d'âge cénozoïque, Hollister et al. (1975) décrit des dépôts associés à des intrusions de diorite en Alaska et au Yukon et note qu'une légère altération sodique s'est développée en présence de cuivre avec ou sans altération potassique.

La minéralisation en cuivre de la péninsule Devlin, montre tout comme dans la région de Timmins une albitisation (rose et blanche). Cette albitisation se retrouve aux épontes des veinules d'amphibole; de

pyrite, épidote, chalcopryrite, chlorite; de quartz, chlorite, épidote; et dans la veine minéralisée principale (Planche.2). Elle est, comme dans le dépôt de Timmins, associée à la minéralisation. Une analogie peut être faite entre ces deux minéralisation en cuivre, mais dans la péninsule Devlin aucune zonation n'a encore été relevée.

Nous remarquons ainsi, que la brèche et la minéralisation étudiées montrent des caractéristiques structurales, des altérations retrouvées dans les gisements de type porphyre cuprifère d'âge cénozoïque, mésozoïque et archéen. Les inclusions fluides observées, formant le deuxième volet de cette étude, se comparent aisément à de tels gisements à quelques restrictions près.

Les inclusions fluides associées aux dépôts de type porphyre sont généralement de petite taille (<10 microns) et peuvent se classer suivant cinq types distincts (Fig.20). Généralement elles se distribuent spatialement suivant un patron plus ou moins semblable dans chaque porphyre. La zone minéralisée proprement dite et la zone centrale du porphyre présentent des inclusions fortement salines avec un ou plusieurs solides (halite, sylvite, anhydrite, plagioclase...), des inclusions à gaz carbonique et des inclusions à phase vapeur dominante (V/T = 40%) (Nash et al., 1971).

Les zones périphériques ont piégé surtout des inclusions à faible salinité avec ou sans solide. Les générations successives d'inclusions fluides donnent l'évolution des fluides hydrothermaux. Trois phases caractérisent ce type de dépôt, elles peuvent être successives et/ou coexistantes, ce sont: a) une phase riche en halite et sylvite; b) une phase riche en halite accompagnée d'une phase à vapeur dominante; c) une phase terminale à faible salinité. La coexistence de

FIGURE.20 INCLUSIONS OBSERVEES DANS DIFFERENTS PORPHYRES
CUPRIFERES

A)- Porphyre cuprifère de Copper Canyon, Nevada; d'après Nash et Theodore, 1971.

TYPE I: caractéristique de la zone périphérique, V/T= 15%,
salinité: 2 à 5% poids NaCl;

TYPE II: Proche de la minéralisation, V/T= 60%,
salinité: 0,4% NaCl;

TYPE III: les plus nombreuses dans la zone centrale, peuvent
se retrouver autour du "stock", V/T= 10%,
salinité: 40% poids NaCl, $T_f = +240^\circ\text{C}$, $T_f = +100^\circ\text{C}$;
NaCl KCl

TYPE IV: seulement dans la zone centrale, L /T= 5%;
CO2

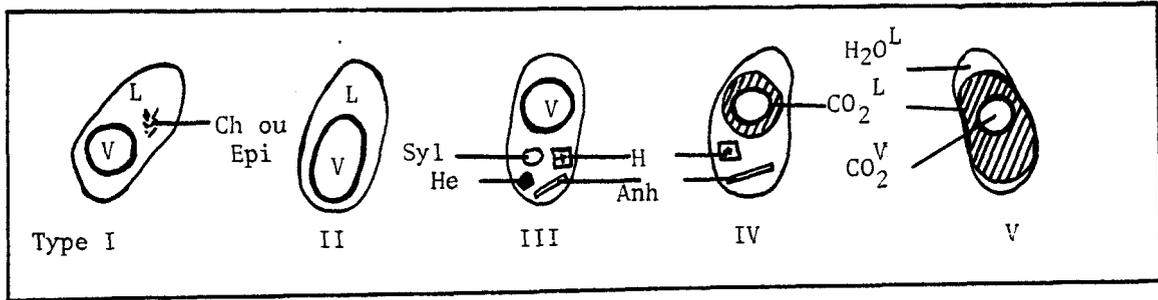
TYPE V: coexiste avec le type III, L /T= 20-30%
CO2

B)- Porphyre et skarn de Santa Rita, Nouveau Mexique; d'après Ahmad et Rose, 1980.

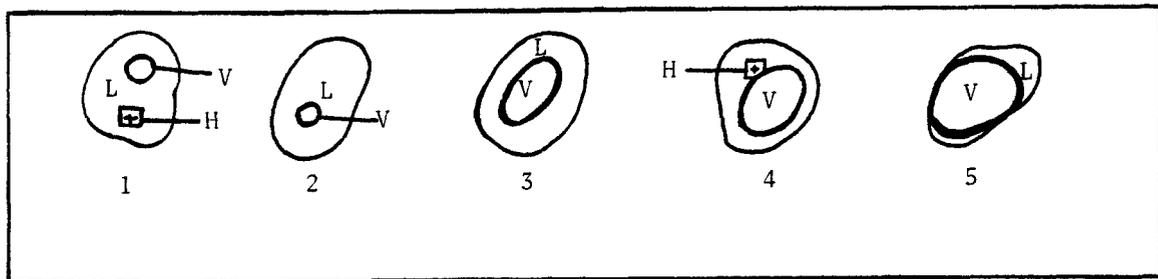
Les inclusions retrouvées dans ce porphyre et skarn sont de même nature que celles du porphyre de Copper Canyon. Les inclusions à gaz carbonique y sont par contre absentes

C)- Porphyre cuprifère de Koloula; d'après Chivas et Wilkins, 1977.

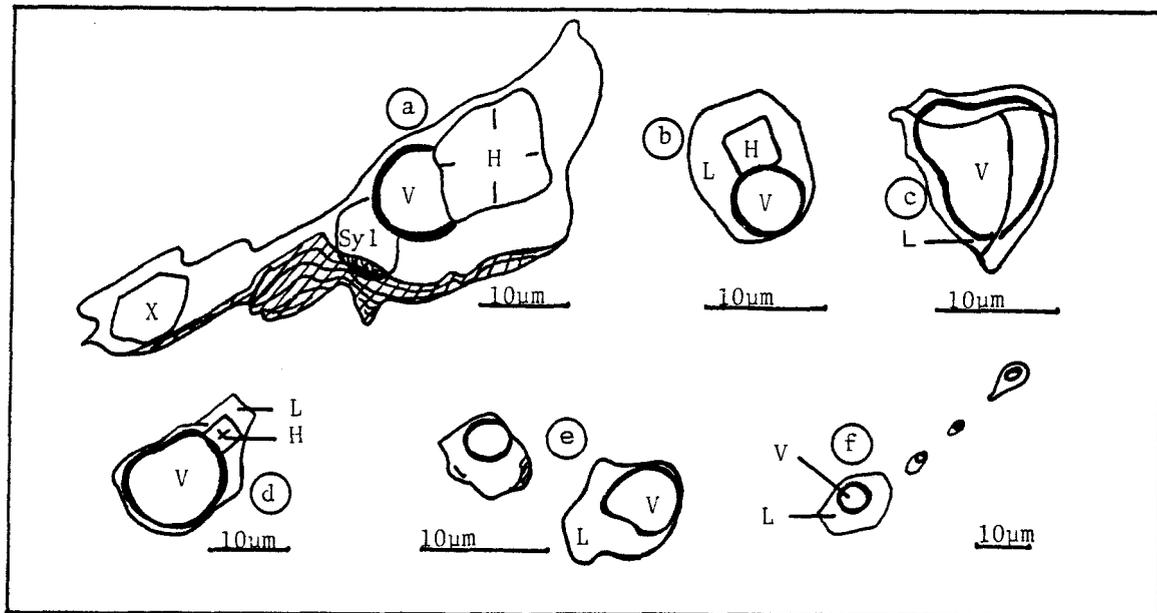
Les inclusions a,b,c,d,e représentent les principaux types rencontrés similaires à ceux de Copper Canyon. Les inclusions à gaz carbonique sont absentes. Le type "f" est une phase tardive.



COPPER CANYON, NEVADA



SANTA RITA, NOUVEAU MEXIQUE



KOLOULA, GUADALCANAL

FIG. 20

INCLUSIONS FLUIDES OBSERVEES DANS DIFFERENTS PORPHYRES CUPRIFERES

L: liquide; V: vapeur; Ch: chlorite; Epi: épidote; Syl: sylvite
 H: halite; He: hématite; Anh: anhydrite; X: solide non identifié;
 H₂O^L: H₂O liquide; CO₂^L: CO₂ liquide; CO₂^V: CO₂ vapeur.

la phase riche en halite et de la phase à vapeur dominante est très importante car elle est le reflet de l'ébullition des fluides responsables de la déposition de la minéralisation. Ce phénomène tend à être un critère important pour la prospection de tels dépôts.

Comparativement la phase fluide, minéralisatrice de la péninsule Devlin, montre cinq différents types d'inclusions (Fig.14):

1) type I: inclusions multiphasées associées aux sulfures déposés, de rapport volumique V/T de 1 à 10%. Il montre: une forte teneur en sels: 27 à 35% poids NaCl et 35% poids KCl (Fig.18), la présence de chlorure de calcium (CaCl_2) et d'autres sels non identifiés. $T_{f_{\text{NaCl}}}$ décroît de +266 à +90°C, $T_{f_{\text{KCl}}}$ est inférieur à +100°C et T_h (en phase liquide) fluctue de +100 à +175°C.

2) type II: inclusions à phase liquide dominante (V/T = 0,1 à 4%) ou à phase liquide seule montre une teneur en sels décroissante de 23% poids NaCl (phase minéralisatrice proprement dite) à 8% poids (phase tardive). Les températures d'homogénéisation s'abaissent de +209 à +102°C dans les inclusions à phase liquide dominante.

3) type III: inclusions à phase vapeur dominante (V/T = 20 à 85%) se retrouvant surtout dans les zones plus épaisses de la minéralisation ont des T_h de +145 à +240°C et une teneur en sels supérieure à 23% poids NaCl.

4) type IV: inclusions à hydrocarbures associées à celles de type I.

5) type V: inclusions à gaz carboniques.

Les inclusions associées à la minéralisation de la péninsule Devlin montrent une grande similitude avec celles décrites par Nash et

al. (1971) et définissent un fluide à teneur en sels (NaCl, KCl, CaCl₂...) décroissant de 35 à 8% poids NaCl et aux températures d'homogénéisation s'abaissant régulièrement (+208°C à +73°C). Il faut noter à ce stade que, bien que les inclusions à phase riche en halite (type I) et les inclusions à vapeur dominante (type III) soient coexistantes, la phase d'ébullition si existante n'a pas pu être déterminée. L'ensemble des résultats obtenus grâce aux fluides renforcent les ressemblances observées lors de l'étude des altérations et de la structure du gisement avec les dépôts de type porphyre cuprifère.

CONCLUSION

Les caractéristiques de la minéralisation en cuivre de la péninsule de Devlin, décrites dans cette recherche, montrent de grandes ressemblances avec des gisements de type porphyre cuprifère du tertiaire et du précambrien soit:

Du point de vue structure: une brèche contrôlant la mise en place d'une minéralisation en veine et recoupant le "stock" porphyrique;

Des altérations phyllique et propylitique propres aux gisements porphyriques du tertiaire et une albitisation rose et blanche déjà déterminée dans un porphyre d'âge archéen (Timmins, Ontario) ont été reconnues;

Des inclusions fluides se regroupant facilement dans les grands types d'inclusions représentatifs de tels gisements.

Les températures d'homogénéisation des inclusions peu élevées (+73°C à +208°C), la salinité décroissante du fluide minéralisateur (35 à 8% poids NaCl), la présence des altérations phyllique et propylitique, l'absence ou la faible quantité d'altération potassique placent la minéralisation de la brèche de la péninsule Devlin dans un porphyre cuprifère de type convectif. Défini par McMillan et al. (1980), le type convectif ne comporte qu'environ 5% de fluide d'origine magmatique, la grande majorité du fluide provenant d'eaux météoritiques, formant des cellules de convection (Fig.21) et circulant dans les failles et joints

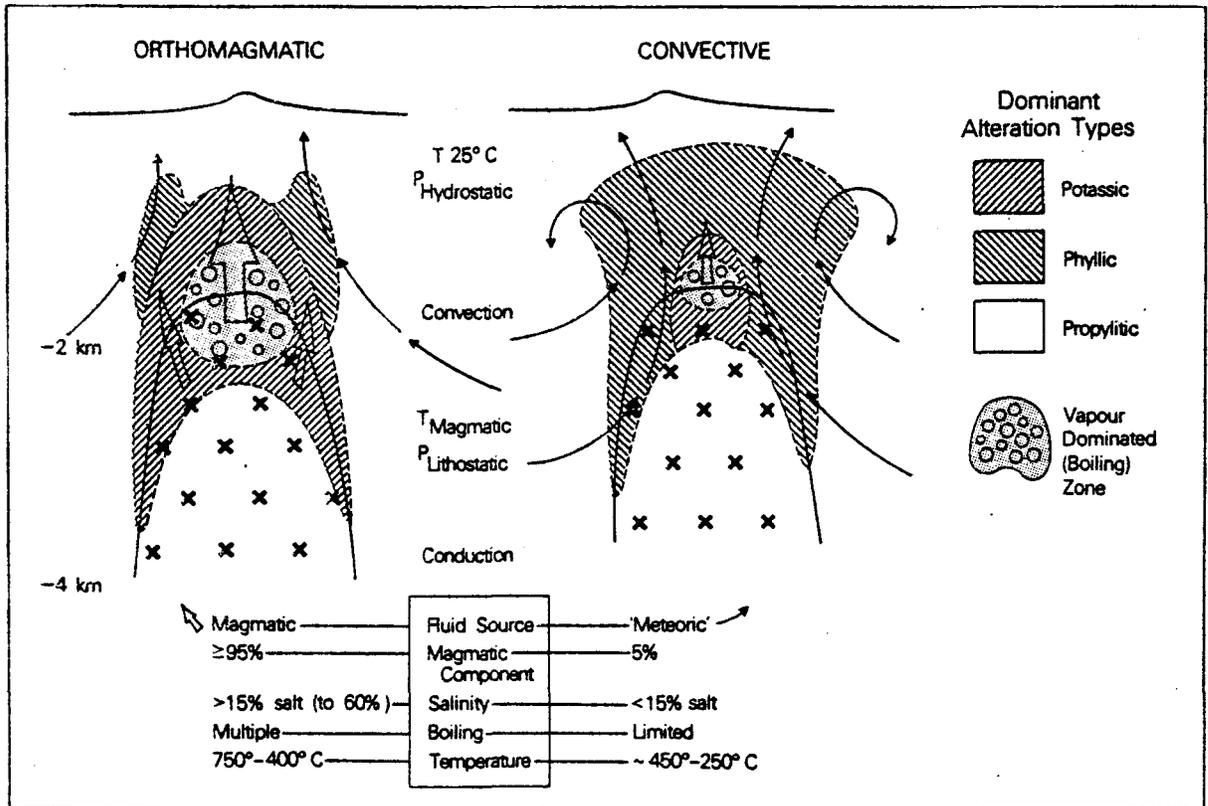


FIG. 21 MODELES DE SYSTEMES HYDROTHERMAUX, tires de McMillan et Panteleyev, 1980.

présents.

Beaucoup d'inconnues restent encore à déterminer comme l'origine des sulfures, le lien de cette minéralisation par rapport au Pluton de Chibougamau, l'étude des tamponnages fluides-roches afin de définir l'évolution des fluides responsables des altérations et de la minéralisation.

Les travaux se sont poursuivis et des conclusions plus récentes se retrouvent dans Guha et al. (1984).

REFERENCES

- AHMAD, Syed Neaz et ROSE, Arthur, W. 1980. Fluid inclusions in porphyry and skarn ore at Santa Rita, New Mexico. *Econ. Geol.* 75, pp.229-250.
- ALLARD, G.O. 1956. The geology of a portion of McKenzie Township, Chibougamau district, Quebec. Ph.D. dissertation, Johns Hopkins University, Baltimore, 168p.
- ALLARD, G.O. 1976. Doré Lake complex and its importance to Chibougamau geology and metallogeny. Ministère des Richesses Naturelles du Québec, DP-368. 446p.
- ALLARD, G.O.; CATY, J.L.; CHOWN, E.H.; CIMON, J.; GOBEIL, A. et BAKER, D. 1979. Stratigraphie et métallogénie de la région de Chibougamau. G.A.C. M.A.C. Excursion B1, Québec, 95p.
- BUREAU, S. 1980. Zones de brèches associées à des gîtes de porphyre cuprifère dans la région de Chibougamau, Québec. Mémoire de maîtrise (non publié), Université du Québec à Chicoutimi, Québec, 103p.
- BURRUS, R.C. 1981. Analysis of fluid inclusions: phase equilibria at constant volume. *Am. Jour. Sci.* 21B, pp.1104,1126.
- CATY, J.L. 1979. Demie ouest du canton de Bignell comté d'Abitibi-est. *Min. Ener. Ress. Quebec, Rapp. Intérimaire*, 28p.

- CIMON, J. 1976a. Géologie du canton de Queylus (NE), Abitibi est. Ministère des Richesses Naturelles du Québec, DPV-439, 36p.
- CIMON, J. 1976b. Cantons de Queylus (NW) et Hady (NE). Ministère des Richesses Naturelles du Québec, RP-613, 45p.
- CHIVAS, A. R. et WILKINS, R.W.T. 1977. Fluid inclusions studies in relation to hydrothermal alteration and mineralization at Koloula porphyry copper prospect Guadalcanal. Econ. Geol. 72, pp.152-169.
- CLOKE, P.L. and KESLER, S.E. 1979 The halite trend in hydrothermal solutions. Econ. Geol. 74, pp.1823-1831.
- DAVIES, J.F. and LUTHA, L.E. 1978. An archean "porphyry-type" disseminated copper deposit, Timmins, Ontario. Econ. Geol. 73, pp.383-396.
- DIMROTH, E.; MUELLER, W.; ARCHER, P.; GOBEIL, A. et ALLARD, G.O. 1982. Evidence for extensive archean shallow marine sedimentation in the Chibougamau area, Quebec. In current research, Part A, Geol. Surv. Canada, paper 82-1A, pp.29-36.
- DUQUETTE, G. et MATHIEU, A. 1966. Geology of the Northeast quarter of McKenzie Township, Abitibi- East county. Ministère des Richesses Naturelles du Québec, RP-551, 22p.
- DUQUETTE, G. et MATHIEU, A. 1970. Geology of the South half of Obalski Township, Abitibi- East County. Ministère des Richesses Naturelles du Québec, RP-585, 17p.
- ETMINAN, H. 1977. Le porphyre cuprifère de Sar Cheshmeh (Iran) Rôle des phases fluides dans les mécanismes d'altération et de minéralisation. Mémoire 34, Sciences de la Terre, CNRS Nancy, 249p.

- GUHA, J.; LEROY, J. et GUHA, D. 1979. Significance of fluid phases associated with shear zone Cu-Au mineralization in the Doré Lake complex, Chibougamau, Quebec. Bull. Mineral. 102, pp.569-576.
- GUHA, J.; LANGE-BRARD, F.; PELOQUIN, S.; TREMBLAY, A.; RACICOT, D. et BUREAU, S. 1984. Devlin deposit, a part of an archean porphyry system? C.I.M. Spec. Vol. 34, pp.345-356.
- HOLLISTER, V. F.; ANZALONE, S.A. et RICHTER, D.H. 1975. Porphyry copper deposits of southern Alaska and contiguous Yukon Territory. Can. Inst. Min. Metal. Bull. 68, No 756, pp.104-112.
- KAVANAGH, P.E. 1978. The group 3 porphyry copper type occurrence within the archean Chibougamau Pluton. The university of Western Ontario, London, Ontario. Unpubl. B. Sc. thesis, 65p.
- KIRKHAM, R.V. 1972. Intermineral intrusions and their bearing on the origin of porphyry copper and molybdenum deposits. Econ. Geol. 66, pp.1244-1249.
- LOW, A.P. 1906. Chibougamau region. Department of mines, Geological Survey Branch, Canada, No.923, 11p.
- LOWELL, J.D. et GUILBERT, J.M. 1970. Lateral and vertical alteration-mineralization zoning in porphyry ore deposits. Econ. Geol. 65, pp.373-407.
- MAWSDLEY, J.B. et NORMAN, G.W. 1936. Chibougamau lake area, Quebec, Canada. Geol. Surv. Mem. 185, 95p.
- McMILLAN, W.J. et PANTELEYEV, A. 1980. Ore deposit models 1- porphyry copper deposits. Geoscience Canada 7, No.2, pp.52-63.

- NASH, J.T. et THEODORE, T. 1971. Ore fluids in the porphyry copper deposit at Copper Canyon, Nevada. *Econ. Geol.* 66, pp.386-399.
- POTTER, R.W; BABCOCK, R.S. et BROWN D.L. 1977. A new method for determining the solubility of salts in aqueous solutions at elevated temperatures. *Jour. Research U.S. Geol. Survey.*, Vol.5, No.3, pp.389-395.
- POTY, B. STALDER, H.A. et WEISBROD, A. 1974. Fluid inclusions studies in quartz from fissures of Western and Central Alps. *Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt.* 54, pp.717-752.
- RACICOT, D. 1980. Géochimie et métallogénie des parties orientales du pluton de Chibougamau. Ministère de l'énergie et des ressources du Québec, DPV-758, 20p.
- RACICOT, D. 1981. Géochimie et métallogénie des parties occidentale et centrale du pluton de Chibougamau. Ministère de l'énergie et des ressources du Québec, Rap. Prélim. DPV-834 26p.
- RAMBOZ, C. 1979. A fluid inclusion study of the copper mineralization in southwest Tintic district (UTAH). *Bull. Mineral.* 102, pp.622-632.
- RICHARDSON, J. 1872. Annual Report of Geological Survey of Canada 1870-71, pp 283-308.
- ROEDDER, E. 1962. Studies of fluid inclusions I: Low temperatures application of a dual purpose freezing and heating stage. *Econ. Geol.* 57, pp.1045-1061.
- ROEDDER, E. 1963. Studies of fluid inclusions II: Freezing data and their interpretation. *Econ. Geol.* 58, pp.167-211.

- ROEDDER, E. 1972. The composition of fluid inclusions, chapter JJ.
in Data of geochemistry, ed. M. Fleisher, 6th ed., U.S.
Geol. Surv. Prof. Paper, 440JJ, 164p.
- ROEDDER, E.; INGRAM, B. et HALL, W.E. 1963. Studies of fluid in-
clusions III: Extraction and quantitative analysis of
inclusions in the milligram range. Econ. Geol. 58, pp.
353-374.
- SMITH, F.G. 1953. Historical development of inclusion thermome-
try. Toronto, Canada, Univ. Toronto Press, 149p.
- YERMAKOV, N.P. 1950. (Studies of mineral-forming solutions) in
Russian. Univ. of Kharkov, 460p