

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC

**THÈSE
PRÉSENTÉE À
L'UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À CHICOUTIMI
COMME EXIGENCE PARTIELLE
DU DOCTORAT EN RESSOURCES MINÉRALES**

**PAR
JEANNETTE SEE**

**L'analyse des inclusions fluides et magmatiques des
dépôts aurifères dans la région du Lac Shortt, Abitibi, Québec:
l'interprétation thermodynamique et métallogénétique
du rôle des fluides minéralisants à l'Archéen**

DECEMBRE, 1994



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.

Résumé

L'origine ou source des fluides des dépôts aurifères mésothermaux trouvés dans certains terrains d'association roches vertes-granitoïdes de l'Archéen a été déjà imputée à plusieurs processus. Dans la région du Lac Shortt, tant le style de la minéralisation comme les patrons d'altération associés aux mines Lac Short, Lac Bachelor et aux indices différent nettement des dépôts classiques de l'Archéen de type filonien.

À la mine du Lac Shortt, la présence des intrusifs d'une suite alcaline, qui comporte une carbonatite sövitique, un gabbro alcalin et une syénite, soulève un problème d'interprétation métallogénétique, compliqué par les altérations sodique et hématitique associées à la minéralisation aurifère. La zone minéralisée se présente sous forme disséminée dans une mylonite rouge de forme tabulaire à fragments de syénite. La minéralisation au Lac Bachelor recoupe typiquement les unités volcaniques et une partie de l'intrusif granodioritique d'O'Brien. Les assemblages d'altération potassiques et propylitiques accompagnent la silicification et l'hématisation.

Par l'analyse microthermométrique des inclusions fluides, nous avons reconnu quatre types d'inclusions fluides basés sur les proportions relatives des phases à température ambiante ou à des températures sous-zéro: *Type 1*: Inclusions aqueuses (H_2O -NaCl - faible salinité), riches en liquides, monophasées ou biphasées (2-5% vol. de vapeur) d'origine secondaire. *Type 2*: Inclusions aqueuses biphasées (10-20% vol. de vapeur) qui constituent la très grande majorité des inclusions présentes dans les différentes générations de quartz correspondant à des saumures (H_2O -NaCl - MgCl_2 ?, - KCl ?, CaCl_2 ?). *Type 3*: Inclusions carboniques (H_2O - CO_2 -NaCl) avec des rapports des phases variables en groupes planaires ou isolées (caractéristiques primaires). *Type 4*: Inclusions carboniques incluant des assemblages de CO_2 - H_2O - CH_4 (+ N_2 ?, + H_2S ?) avec des rapports variables des phases: riches en vapeur à une phase apparente et riches en liquide et CO_2 - CH_4 liq. + vap.

À la mine du Lac Shortt, secteur est, les inclusions fluides sont pseudo-secondaires/primaires du type 2, dans des veinules précoces de calcite. Dans les veinules de quartz et de carbonates tardives associées à la galène, on distingue des inclusions carboniques secondaires du type 4 qui se trouvent en fractures cicatrisées avec >60% vol. de CO_2 liq. Dans le secteur ouest de la mine du Lac Shortt, les veines minéralisées sont associées à des inclusions du type 2 qui se trouvent en relation spatiale avec des inclusions des types 3 et 4 en groupes planaires.

Dans la Zone principale minéralisée au Lac Bachelor, les inclusions secondaires du type 2 sont très abondantes en coexistence spatiale avec les inclusions du type 3. La minéralisation est associée avec la fluorine, qui contient des inclusions du type 2. La minéralisation dans le granite au Lac Bachelor est associée à des inclusions secondaires du type 3 très abondantes, disposées aussi en relation spatiale avec des inclusions aqueuses du type 2.

Les résultats d'une étude des inclusions fondues et fluides fondues indiquent des températures d'homogénéisation de <600°C pour la carbonatite; des points de solidus du granite entre 650 et 700°C, et de la syénite, entre 900 et 950°C. Les inclusions fondues, surtout dans le granite et la syénite sont très riches en phases aqueuses (vapeur et liquides) de composition saline, ce qui indique un milieu riche en phases volatiles pendant les derniers épisodes de cristallisation.

Les inclusions à salinité élevée (20-47% pds. équiv. NaCl) sont prédominantes surtout dans la partie est de la mine, associées à des phases syénitiques. Dans les conditions estimées de P-T (200-220 MPa, 300-310°C), l'équilibre de phases de ce système suggère un piégeage hétérogène sub-solvus des mélanges de deux fluides: un

fluide riche en CO₂ de température plus élevée, suivi par une saumure de plus faible température. Les inclusions aqueuses dans le secteur est ont été formées probablement par le refroidissement des saumures plus concentrées et la dilution avec des fluides moins salins responsables de la formation des veines de quartz.

Dans les veines de quartz minéralisées au Lac Shortt ouest et dans les indices minéralisés, les fluides sont faiblement à modérément salins (4,5 à 9,3% pds. équiv. NaCl -salinité moyenne). Le piégeage à des pressions maximales est du type lithostatique (entre 400-500 MPa). Ces pressions diminuent lors des événements de bréchification, fracturation et microfracturation autour de 180-220 MPa. Les conditions P-T pour la carbonatite indiquent un piégeage des fluides entre 240 à 420 Mpa pour une température maximale de 510°C. On fait appel à deux fluides, l'un piégé à une température plus élevée suivi par le piégeage d'un fluide de plus faible température.

Au Lac Bachelor (comme au Lac Shortt), des phases multiples de bréchification implique une évolution progressive des fluides issus possiblement des phases intrusives mises en place séparément dans le temps: la granodiorite suivie par le granite porphyrique-pegmatitique, puis la syénite suivie tout près par la carbonatite. Des fluides aqueux et carboniques dans le granite minéralisé ont été piégés dans des conditions d'équilibre à 400 MPa et 675°C. Les textures primaires, les températures et salinités modérément élevées indiquent que ces fluides représentent des phases séparées d'un magma en voie de cristallisation. La veine dans la zone minéralisée enregistre un patron de dilution à plus faibles températures. La distribution des fluides carbonique et aqueux indiquent un piégeage hétérogène par mélange successif des fluides avec refroidissement

Au Lac Shortt, la carbonatite moins altérée et la syénite à la mine et dans les indices minéralisés sont caractérisées par des conditions de fugacité de l'oxygène plus élevées, tandis que dans des veines et des brèches minéralisées, la fugacité baisse jusqu'en dessous de la courbe QFM. Au Lac Bachelor, les fugacités calculées entre les courbes QFM et HM indiquent des conditions qui deviennent progressivement plus réductrices dans les zones et veines minéralisées. Les conditions d'oxydation changent au fur et à mesure que les phases fluides rentrent en équilibre avec la roche encaissante où du matériel graphitique a déjà été observé. D'après les données résultantes de la spectrométrie de masse, des phases vapeur de CH₄, N₂ et H₂S détectées se sont possiblement partagées dans les fluides riches en CO₂, d'où une chimie plus réductrice.

L'uniformité des compositions en $\delta^{13}\text{C}$ indique des sources de CO₂ similaires dans la région en général et que le carbone pourrait être d'origine magmatique (les valeurs typiques sont normalement entre -4 à -5‰). $\delta^{18}\text{O}$ H₂O s'étalent entre +4,67‰ et +8,42‰, semblables à ceux des dépôts aurifères archéens ailleurs.

Dans la région du Lac Shortt, l'or introduit est précoce ou synchrone à la paragenèse des sulfures suite à la dérivation d'un magma felsique. L'or dans les sulfures fracturés et déformés des schistes associés à des zones des failles indique une mise en place synchrone à la déformation, pendant le développement des zones de cisaillement durant une période fragile-ductile. Des fluides secondaires de H₂O, CO₂ et CH₄ se sont formés lors de la cristallisation du quartz et d'autres minéraux hôtes dû à un abaissement dans la pression associée à la bréchification présente aux deux gisements. Cette chute de pression a causé l'expansion adiabatique et irréversible du fluide et donc, une chute de la température.

Comme l'or n'est pas particulièrement concentré dans les intrusifs eux-mêmes, les fluides plus tardifs sont ramenés par des épisodes d'ébullition rétrogrades subséquents pendant la montée des intrusifs (le granite au Lac Bachelor, la syénite suivie par la

carbonatite au Lac Shortt), pour produire des phases aqueuses dans lesquelles l'Au, l'Ag et d'autres métaux de base, tels que le Cu et le Pb, se partagent préférentiellement.

Les fluides des indices minéralisés montrent des comportements et des propriétés analogues à ceux du gîte du Lac Shortt, ce qui indique que les indices appartiennent au même processus minéralisateur. Les conditions de température et pression s'étalent typiquement entre 190° à 350°C et 130 à 320 MPa pour le Lac Shortt et de 275° à 410°C et 110 à 310 MPa pour le Lac Bachelor.

Cette étude d'inclusions fluides indique que le mécanisme prédominant pour la précipitation de l'or est l'exsolution des phases vapeurs-carboniques et aqueuses-salines pour provoquer la minéralisation disséminée lors de la mise en place des intrusifs. Des chutes dans la pression et des variations dans la densité et la fugacité des fluides déclenchent la démixion intermittente des phases des fluides riches en CO₂-H₂O -NaCl qui sont associés à la minéralisation en veines de quartz. Nos travaux démontrent que des plutons de compositions alcalines et non-alcalines mis en place en même temps que la minéralisation joue un rôle important en déterminant la localisation de la minéralisation et les différents styles de minéralisation aurifère à l'Archéen.

Abstract

The origin of fluids related to mesothermal gold deposits found in Archean greenstone-granite terrains has already been attributed to several processes. In the Lac Shortt region, the mineralisation styles as well as the alteration patterns that characterize the Lac Shortt and the Lac Bachelor gold deposits and multiple gold showings differ widely from the classical lode-gold type deposit of the Archean.

In the Lac Shortt Mine, the presence of an alkaline complex composed of a sövite carbonatite, an alkaline gabbro and a syenite, along with the associated sodic and hematitic alterations raises a problem of interpretation with regards to the genesis of Archean gold deposit. The mineralized zone (disseminated ore) is hosted within a lenticular reddish mylonite with syenite fragments. The Lac Bachelor mineralized zone typically cross-cuts volcanic rocks and part of the O'Brien granodioritic stock. Potassic and propylitic alteration assemblages can be distinguished along with attending silicification and hematitisation.

Microthermometric analyses of fluid inclusions indicate four principal types of fluid inclusions based on the relative proportions of phases observed either at room temperature or at sub-zero temperatures: *Type 1*: Aqueous inclusions (H_2O -NaCl - low salinity), liquid rich, one or two-phased (2-5% vol. de vapeur), secondary origin. *Type 2*: Aqueous inclusions, two-phased (10-20% vol. de vapeur), representing the most abundant type in different generations of quartz and consisting of brine assemblages (H_2O -NaCl - MgCl_2 ?, -KCl?, CaCl_2 ?). *Type 3*: Carbonic inclusions (H_2O - CO_2 -NaCl) with variable phase ratios, occurring either in planar clusters or isolated (primary characteristics); *Type 4*: Carbonic inclusions (CO_2 - H_2O - CH_4 + N_2 ?, + H_2S ?) with variable phase ratios: gas-rich (one-phased) or liquid-rich with CO_2 - CH_4 liq. + vap.

In the eastern sector of the Lac Shortt Mine, fluid inclusions are pseudo-secondary and primary aqueous type-2 inclusions, found in early calcite veins. Late quartz and carbonate veins associated with galena contain secondary type 4 carbonic inclusions in healed fractures with >60% vol. of liquid CO_2 . In the western sector of the Lac Shortt Mine, mineralized veins host type 2 inclusions that coexist spatially with types 3 and 4 inclusions in planar clusters.

In the main mineralized zone at Lac Bachelor, abundant secondary type 2 inclusions can be found in spatial coexistence with type 3 inclusions. Fluorite associated to the mineralization contains type 2 inclusions. Mineralized granite at Lac Bachelor is characterized by abundant type 3 secondary inclusions, which are also related spatially to type 2 aqueous type inclusions.

Melt and fluid-melt inclusion studies indicate homogenization temperatures of <600°C for the carbonatite; granite solidus being between 650 and 700°C and for the syenite, between 900 and 950°C. Fluid-melt inclusions, especially within granite and syenite contain a high proportion of aqueous phases (vapor and liquid) of saline composition, indicating an abundance of volatiles during the latter stages of crystallisation.

High salinity inclusions (20-47% equiv. wt. NaCl) are ubiquitous in the eastern part of the mine, associated with syenite. Phase equilibrium under P-T conditions estimated at 200-220 MPa at 300-310°C suggests that a sub-solvus heterogeneous trapping of a mixture of two fluids may have taken place: a CO_2 -rich fluid at a higher temperature followed by a brine at a lower temperature. Fluid inclusions in the eastern sector were probably formed by the cooling of highly concentrated brines and by dilution with less saline fluids responsible for the formation of the quartz veins.

In mineralized quartz veins in the western sector of the Lac Shortt Mine and several gold showings, fluids are generally weakly to moderately saline (4.5-9.3% equiv.

wt.NaCl). Maximum trapping pressures are of a lithostatic nature, between 400 to 500 MPa. These pressures diminish during brecciation and the formation of fractures and microfissures to approximately 180-220 MPa. P-T conditions for the carbonatite indicated fluid trapping between 240 and 420 MPa at a maximum temperature of 510°C. Two fluids were involved: one trapped at a higher temperature followed by another fluid at a lower temperature.

At Lac Bachelor (as well as at Lac Shortt), multiple breccia phases indicate a progressive evolution of fluids emanating possibly from the intrusive phases that were emplaced at separate moments in time: the granodiorite followed by the porphyritic-pegmatitic granite; the syenite followed closely by the carbonatite. Aqueous and carbonic fluids in the mineralized granite were trapped under equilibrium conditions at 400 MPa at 675°C. Primary textures and moderately high temperatures and salinities indicate that these fluids represent phases separated from a magma undergoing crystallisation. The main mineralized vein registers a dilution pattern at lower temperatures. The distribution of carbonic and aqueous fluids suggest heterogeneous trapping and successive mixing of fluids under cooling conditions.

At Lac Shortt, the less altered carbonatite and the syenite at the mine and the gold showings have higher oxygen fugacity values in the mineralized veins and breccias where the fugacity drops below the QFM buffer curve. At Lac Bachelor, fugacity values that were calculated between the QFM and HM curves indicate increasing reducing conditions in the mineralized zone and veins. Oxydizing conditions vary as fluid phases attain equilibrium conditions with the host rock where graphitic material has already been observed. Mass spectrometry analyses reveal the presence of volatiles such as CH₄, N₂ et H₂S that are probably partitioned in CO₂-rich fluids which could explain the more reducing conditions.

The uniformity in $\delta^{13}\text{C}$ compositions indicate similiar CO₂ sources in the region at large, and the carbon could possibly be of magmatic origin (values typically range from -4 to -5‰). $\delta^{18}\text{O}$ H₂O values range from +4,67‰ et +8,42‰, comparable to values obtained in Archean gold deposits elsewhere.

In the Lac Shortt region, gold is early or synchronous to sulfides derived from a felsic magma. Gold in fractured and deformed sulfides in schists from the shear zones indicate emplacement contemporaneous to the formation of shear zones during the brittle-ductile transition. Secondary fluids containing H₂O, CO₂ and CH₄ were likely formed during the crystallization of quartz and other host minerals due to the pressure drop related to brecciation processes evident in both mines. This pressure drop may have caused an irreversible adiabatic expansion of the fluid and hence a drop in temperature.

As gold is not uniquely concentrated within the intrusions themselves, influx of later fluids is facilitated by retrograde boiling episodes during the emplacement of the intrusions (the Lac Bachelor granite, the Lac Shortt syenite followed by the carbonatite), to produce fluid phases where Au, Ag and other base metals (i.e. Cu and Pb) are preferentially partitioned.

Fluids related to the gold showings show properties and behaviours that are analogous to those from the Lac Shortt deposit, which suggests that the gold showings probably belong to the same mineralizing process. Pressure and temperature conditions typically range between 190 and 350°C at 130 to 320 MPa at Lac Shortt, and 275 to 410°C at 110 to 310 MPa at Lac Bachelor.

The present fluid inclusion study indicate that the principal mechanism for the transport and the precipitation of the gold is by exsolution of carbonic-vapor phases and

aqueous saline phases that are responsible for the disseminated-style mineralization during the emplacement of the intrusions. Pressure drops and density and fugacity variations induce the onset of intermittent unmixing of fluid phases rich in $\text{CO}_2\text{-H}_2\text{O-NaCl}$ predominant in mineralized quartz veins. This study shows that plutons of alkaline and non-alkaline compositions which are emplaced synchronously with the mineralization can play an important role in determining the localization and the different styles of gold mineralization in the Archean.

Ce travail est dédié
à mon époux Gleider Hernández
et à mes enfants pour leur
infatigable patience et
leur encouragement sans cesse.

REMERCIEMENTS

Je tiens à exprimer ma profonde reconnaissance à M. Jayanta Guha, qui a dirigé mes recherches, de son encouragement et son aide, et qui a mis à ma disposition pour ce travail tous les moyens de ses laboratoires et ses services. Ce fut pour moi une grande chance d'avoir profité de l'ensemble de ses connaissances dans l'étude des inclusions fluides et leur application en métallogénie. Je tiens à remercier particulièrement à M. Huan-Zhang Lu à qui je dois mon initiation dans le domaine des inclusions fluides, et à M. Jacques Carignan pour son aide et son temps pour la mise en point de la rédaction de cette thèse.

J'aimerais remercier également tous mes professeurs qui ont contribué indirectement à la réalisation de ce travail, tout particulièrement à MM. Gérard Woussen et Edward Chown pour leur appui et l'intérêt qu'ils m'ont fournis le long de ma formation. Je tiens aussi à remercier MM. A. James Macdonald et Edward Chown pour avoir agi comme examinateurs de ma thèse; leurs apports et suggestions ont été très utiles et appréciés.

Je tiens à exprimer aussi ma gratitude à M. Yvon Boudreault (U.Q.A.C.) pour l'excellente fabrication de sections double-polies; à MM. Claude Dallaire, du Centre d'Etude sur les Ressources Minérales, Jean-Eudes Villeneuve et Richard Lechasseur de l'U.Q.A.C.

Je suis reconnaissante à Minnova Inc., Division Lac Shortt et à la compagnie les Mines d'Or du Lac Bachelor, particulièrement à Harold Brisson, Kathleen Lauzière,, Alain Coulombe, Yves Buro, et Dominique Quirion de leur apport logistique et scientifique pour les travaux de terrain.

Un remerciement special va à M. Bernard Lapointe (U.Q.A.C.) de m'avoir apporté ses conseils et son soutien technique à la microsonde électronique; à Mme. B. Wopenka de L'Université de St-Louis (E.U.) pour avoir réalisé des analyses de spectrométrie au Raman et notamment, à M. Michel Gagnon (U.Q.A.C.) pour ses précieuses déterminations au spectromètre de masse, ainsi que Mme. Denise Guha pour la lecture finale du manuscrit.

Enfin, ma reconnaissance va à tous mes collègues pour les discussions quotidiennes et les échanges fructueux.

TABLE DE MATIERES

	Page
Résumé.....	i
Abstract.....	iv
REMERCIEMENTS	viii
TABLE DE MATIERES	ix
LISTE DES FIGURES	xiii
LISTE DES TABLEAUX.....	xv
LISTE DES PLANCHES PHOTOGRAPHIQUES.....	xvi
LISTE DES ANNEXES	xix
 CHAPITRE 1 - INTRODUCTION	 1
1.1 Introduction.....	1
1.2 Problématique.....	1
1.2.1 Caractéristiques de la minéralisation aurifère dans l'Archéen.....	1
1.2.2 Description sommaire de la région étudiée et énoncé de la problématique.....	2
1.3 Objectifs de l'étude.....	5
1.4 Principes méthodologiques	6
1.5 Conclusions	9
 CHAPITRE 2 - CARACTÉRISTIQUES DES GISEMENTS AURIFERES.....	 10
2.1 Introduction.....	10
2.2 Géologie générale de la région du Lac Shortt.....	10
2.3 Mine du Lac Shortt.....	14
2.3.1 Géologie locale.....	14
2.3.2 Roches volcaniques	16
2.3.3 Roches intrusives	16
2.3.4 Minéralisation et altération	17
2.3.5 Géométrie générale des éléments structuraux.....	19
2.4 Mine du Lac Bachelor.....	22
2.4.1 Géologie locale.....	22
2.4.2 Roches volcaniques	22
2.4.3 Roches intrusives	24
2.4.4 Minéralisation et altération	24

2.4.5 Géométrie générale des éléments structuraux.....	30
2.5 Indices minéralisés	31
2.6 Chronologie relative de la mise en place de la minéralisation à la région du Lac Shortt	31

CHAPITRE 3 - PÉTROGRAPHIE, CLASSIFICATION ET CARACTÉRISATION DES INCLUSIONS FLUIDES ET FONDUES-FLUIDES 34

3.1 Introduction.....	34
3.2 Critères d'échantillonnage	34
3.3 Pétrographie et classification des inclusions fluides	35
3.4 Caractérisation des inclusions fluides de la région du Lac Shortt.....	42
3.4.1 Introduction	42
3.4.2 Caractérisation des inclusions fluides à la mine Lac Shortt, dans la carbonatite et les indices minéralisés	42
3.4.3 Caractérisation des inclusions fluides à la mine du Lac Bachelor	50
3.5 Caractérisation des inclusions fondues et fluides fondues de la région du Lac Shortt.....	58
3.5.1 Introduction	58
3.5.2 Identification et analyses.....	58

CHAPITRE 4 - ANALYSES DES INCLUSIONS FLUIDES ET FONDUES-FLUIDES 65

4.1 Introduction.....	65
4.2 Étude microthermométrie (EM).....	65
4.2.1 Introduction	65
4.2.2 Méthodologie	66
4.2.3 Résultats	67
4.3 Spectrométrie de masse par sonde solide (SMSS)	69
4.3.1 Introduction	69
4.3.2 Méthodologie	69
4.3.3 Résultats	70
4.4 Spectroscopie Raman au laser.....	70

CHAPITRE 5 - INTERPRETATION DES DONNÉES D'INCLUSIONS FLUIDES	72
5.1 Introduction.....	72
5.2 Caractérisation physico-chimique des fluides minéralisants	72
5.2.1 Composition des fluides.....	72
5.2.2 Salinité des fluides	86
5.2.3 La composition et la densité des fluides	89
5.2.4 Résumé.....	92
5.3 Evolution des fluides minéralisants et discussion de modèles possibles d'évolution des fluides	96
CHAPITRE 6 - ESTIMATIONS INDEPENDANTES PAR LA THERMOBAROMETRIE ET LA COMPOSITION ISOTOPIQUE ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$) DES FLUIDES.....	113
6.1 Introduction.....	113
6.2 Géothermométrie des paires calcite-dolomite et calcite- ankérite	113
6.3 Géobarométrie des phengites	118
6.3.1 Introduction.....	118
6.3.2 Analyses	121
6.4 Composition isotopique du carbone et de l'oxygène.....	123
6.4.1 Introduction.....	123
6.4.2 Analyses	124
6.4.2 Résultats	124
CHAPITRE 7 - MODÉLISATION GÉNÉTIQUE DE LA MINÉRALISATION AURIFÈRE DU LAC SHORTT ET DU LAC BACHELOR.....	127
7.1 Introduction.....	127
7.2 Conditions de formation des gisements	127
7.2.1 Températures et pressions de piégeage	127
7.2.2 $f\text{O}_2$ du fluide minéralisant	143
7.2.3 Discussions des résultats de la $f\text{O}_2$	149

7.3	Génèse de la minéralisation aurifère.....	150
7.3.1	Evolution et sources des fluides.....	150
7.3.2	Conditions du transport et de la mise en place de l'or	155
7.4	Contraintes des modèles génétiques existants	157
7.5	Discussions et synthèse.....	160
7.5.1	Comparaison des signatures des fluides entre les mines du Lac Shortt et du Lac Bachelor et les indices minéralisés.....	160
7.5.2	Intégration des données des fluides, du contexte géologique et de l'évolution tectonique	162
CHAPITRE 8 - CONCLUSIONS.....		164
REFERENCES.....		167

LISTE DES FIGURES

Figure	Page
1	Carte géologique de la région Chibougamau-Chapais montrant les roches plutoniques et les séquences volcano-sédimentaires.....3
2	Carte géologique de la région du Lac Shortt et localisation des Mines du Lac Shortt, du Lac Bachelor et les indices minéralisés.....11
3	Relations stratigraphiques de la région de Chibougamau-Caopatina.....12
4	Colonne stratigraphique de la Zone volcanique du Nord13
5	Géologie de la mine du Lac Shortt14
6	Géologie des niveaux 150 et 700 à la mine du Lac Shortt.....20
7	Section transverse dans le gisement du Lac Shortt.21
8	Géologie locale de la mine du Lac Bachelor.....23
9	Carte géologique de la zone minéralisée au Lac Bachelor26
10	Géologie de la zone minéralisée de la mine au Lac Bachelor.....27
11	Evolution théorique de P-T des inclusions fondues.....63
12	Histogramme des températures de fusion du CO ₂ au Lac Shortt.....74
13	Histogramme des températures de fusion du CO ₂ au Lac Bachelor.....75
14	Histogramme des températures de fusion de la glace au Lac Shortt.....76
15	Histogramme des températures de fusion de la glace au Lac Bachelor.....77
16	Histogramme des températures de fusion des hydrates du CO ₂ au Lac Shortt78
17	Histogramme des températures de fusion des hydrates du CO ₂ au Lac Bachelor.....79
18	Histogramme des températures d'homogénéisation du CO ₂ au Lac Shortt.....80
19	Histogramme des températures d'homogénéisation du CO ₂ au Lac Bachelor.....81
20	Histogramme des températures de l'eutectique au Lac Shortt.....84
21	Histogramme des températures de l'eutectique au Lac Bachelor85
22	Abaissement de la température de fusion de la glace en présence de NaCl et de la température de décomposition de l'hydrate du CO ₂ en présence de NaCl de CO ₂ (v) et CO ₂ (l).....88
23	Histogramme des températures d'homogénéisation au Lac Shortt90
24	Histogramme des températures d'homogénéisation au Lac Bachelor91
25	Résumé des données microthermométriques au Lac Shortt93
26	Résumé des données microthermométriques des indices minéralisés.....94
27	Résumé des données microthermométriques au Lac Bachelor.....95
28	Modèle par exsolution ou démixion d'une solution parentale homogène.....97
29	Diagramme ternaire du système NaCl-H ₂ O-CO ₂ des compositions molaires des assemblages des inclusions des types 3 et 4 au Lac Shortt.....99
30	Diagramme ternaire du système NaCl-H ₂ O-CO ₂ des compositions molaires des assemblages des inclusions des types 3 et 4 au Lac Bachelor.....100
31	Relation entre le % volume CO ₂ versus la température de fusion de l'hydrate du CO ₂ des assemblages au Lac Shortt.....101
32	Relation entre le % volume CO ₂ versus la température de fusion de l'hydrate du CO ₂ des assemblages au Lac Bachelor.....102

33	Modèle par mélange de deux fluides homogènes dans la région sub-solvus à deux phases	104
34	Relation entre les températures d'homogénéisation et les températures de fusion de la glace des inclusions aqueuses et carboniques au Lac Shortt	106
35	Relation entre les températures d'homogénéisation et les températures de fusion de la glace des inclusions aqueuses et carboniques au Lac Bachelor.....	107
36	Variation des températures d'homogénéisation avec la densité apparente des inclusions aqueuses et carboniques au Lac Shortt.....	111
37	Variation des températures d'homogénéisation avec la densité apparente des inclusions aqueuses et carboniques au Lac Bachelor.....	112
38	Le solvus calcite-dolomite ajusté aux interversions	115
39	Diagramme des relations des phases de la phlogopite-chlorite-feldspaths-K-muscovite-celadonite-quartz-H ₂ O dans les conditions où le quartz et le H ₂ O sont en excès	120
40	Contours de la constante d'équilibre pour l'équation (4) où le feldspath-K est est absent	122
41	Distribution des $\delta^{13}\text{CPDB}$ et $\delta^{18}\text{OSMOW}$ des carbonates provenant de la région du Lac Shortt dans des champs isotopiques des réservoirs spécifiques.....	125
42	Diagramme de pression-température des conditions estimées de piégeage au Lac Shortt-est.....	130
43	Diagramme de pression-température des conditions estimées de piégeage des fluides associés à la minéralisation disséminée des indices minéralisés.....	131
44	Variation des températures d'homogénéisation avec la salinité des inclusions aqueuses du type 2 au Lac Shortt.....	132
45	Relations entre la température et xH ₂ O pour les systèmes H ₂ O-CH ₄ et H ₂ O-CO ₂ à diverses concentrations de NaCl et à 100MPa	134
46	Diagramme de pression-température des conditions estimées de piégeage au Lac Shortt-ouest	135
47	Diagramme de pression-température des conditions estimées de piégeage des veines de quartz minéralisées des indices minéralisés au Lac Shortt.....	136
48	Diagramme de pression-température des conditions estimées de piégeage dans la carbonatite au Lac Shortt.....	139
49	Diagramme de pression-température des conditions estimées de piégeage dans le granite minéralisé au Lac Bachelor	141
50	Diagramme de pression-température des conditions estimées de piégeage dans la Veine de la Zone minéralisée	142
51	Diagramme de pression-température des conditions estimées de piégeage dans la Veine A au Lac Bachelor.....	143
52	Contenu en Fe ³⁺ -Fe ²⁺ -Mg ²⁺ des biotites dans la région du Lac Shortt.....	145
53	Estimations de l'activité de l'oxygène à différents stades de l'évolution hydrothermale des fluides associés aux gisements du Lac Shortt et du Lac Bachelor	148
54	Diagrammes ternaires de composition pour des volatiles de N ₂ , CH ₄ , CO ₂ , H ₂ S et H ₂ O contenus dans les inclusions fluides associées à la minéralisation au Lac Shortt et au Lac Bachelor	151
55	Diagramme de température-XCO ₂ des fluides minéralisateurs du type 3 au Lac Shortt	152
56	Diagramme de température-XCO ₂ des fluides minéralisateurs du type 3 au Lac Bachelor	153

LISTE DES TABLEAUX

1	Résumé des données d'inclusions fluides de plusieurs dépôts aurifères dans la sous-province de l'Abitibi du Canada et Yilgarn Block, Australie de l'Ouest	8
2	Indices minéralisés et les roches encaissantes des minéralisation aurifères dans le secteur du Lac Shortt	32
3	Synthèse des contextes de la minéralisation aurifère des indices minéralisés dans le secteur du Lac Shortt	33
4	Résumé des différents types d'inclusions fluides, de leur composition et de leur distribution dans la région du Lac Shortt.....	37
5	Composition et abondance totale (en % mol) des phases volatiles des inclusions fluides analysées par la spectrométrie de masse	71
6	Salinités (en %pds.) correspondantes à des abaissements du point du fusion mesurées pour des inclusions fluides de composition H ₂ O-NaCl.....	87
7	Données statistiques et les coefficients pour des équations utilisées dans le texte.....	116
8	Analyse sommaire des compositions des paires calcite-dolomite et des températures d'équilibration inférées	119
9	Compositions isotopiques ($\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ et $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$) des carbonates de la région du Lac Shortt, ainsi que la composition estimée du fluide (en unités ‰).....	126
10	Conditions de pression et température de piégeage des fluides au Lac Shortt après la correction de pression d'homogénéisation en utilisant des estimations indépendantes obtenues du géothermomètre calcite-dolomite et du géobaromètre des phengites.....	129
11	Les coefficients de fugacité d'oxygène (f_{O_2}) calculés avec les équations de Kerrick et Jacobs (1981) des fluides associés à la minéralisation dans la région du Lac Shortt.....	147
12	Comparaison entre les isotopes stables légers des gisements dans la région du Lac Shortt et d'autres dépôts aurifères archéens en ‰	156
13	Résumé des caractéristiques physicochimiques des fluides et des conditions de mise en place des gisements aurifères dans la région du Lac Shortt. et du Lac Bachelor.....	161

LISTE DES PLANCHES PHOTOGRAPHIQUES

Planche 1.....	18
1-A Echantillon de la zone minéralisée au Lac Shortt	
1-B Veine de quartz minéralisée au Lac Shortt.	
1-C Echantillon de la Veine Sud	
1-D Brèche hydrothermale à matrice de carbonates et amphiboles (Lac Shortt)	
Planche 2.....	25
2-A Echantillon de la granodiorite porphyrique au Lac Bachelor	
2-B Dyke de granite porphyrique	
Planche 3.....	28
3-A Minéralisation massive et en stockwerk au Lac Bachelor	
3-B Brèche à matrice de quartz laiteux et enfumé	
3-C Brèche à ciment de chlorite, fluorite et carbonates	
Planche 4.....	29
4-A Minéralisation typique de la mine du Lac Bachelor	
4-B Photomicrographie de la zone séricitique au Lac Bachelor	
4-C Photomicrographie de la zone potassique au Lac Bachelor	
4-D Echantillon de la Veine A secondaire	
Planche 5.....	38
5-A Photomicrographie des inclusions fluides du type 1	
5-B Photomicrographie des inclusions fluides du type 2	
5-C Photomicrographie des inclusions fluides T-2 avec halite	
5-D Photomicrographie des inclusions fluides T-2 dans zones de croissance	
5-E Photomicrographie des inclusions fluides T-2 et T-3	
5-F Photomicrographie d'une inclusion fondue-fluide et inclusions fluides T-2	
Planche 6.....	40
6-A Photomicrographie d'une inclusion fluide biphasée du type 3	
6-B Photomicrographie des inclusions fluides T-3 riches en vapeur	
6-C Photomicrographie d'une inclusion fluide T-3 à trois phases	
6-D Photomicrographie d'une inclusion fluide T-3 polyphasée	
6-E Photomicrographie des inclusions fluides T-3 isométriques	
6-F Photomicrographie des inclusions fluides T-3 pseudo-secondaires	
Planche 7.....	41
7-A Photomicrographie des inclusions fluides du type 4 monophasées	
7-B Photomicrographie des inclusions fluides T-4 biphasées	
7-C Photomicrographie des inclusions fluides T-4 en distribution planaire	
Planche 8.....	44
8-A Photomicrographie des inclusions fluides T-2 dans calcite	
8-B Photomicrographie des inclusions fluides dans un groupe de décrépitation	
8-C Photomicrographie des inclusions fluides T-4 dans une fracture cicatrisée	
Planche 9.....	45
9-A Photomicrographie de l'or visible dans veines de quartz au Lac Shortt	
9-B Photomicrographie des inclusions fluides en bordures des grains de quartz	
9-C Photomicrographie des inclusions fluides T-4 et T-3	
9-D Photomicrographie des inclusions fluides T-4 et T-3 montrant des phases variables	

Planche 10.....	47
10-A Photomicrographie des inclusions fluides T-2 primaires dans la carbonatite	
10-B Photomicrographie des inclusions fluides T-4 et T-2 planaires	
Planche 11	48
11-A Photomicrographie des inclusions fluides T-2 primaires dans la syénite	
11-B Photomicrographie d'une cavité miarolitique dans la syénite	
11-C Photomicrographie des inclusions fluides T-4 primaires, T-3 et T-2 dans les quartz des veines minéralisées des indices minéralisés.	
Planche 12	49
12-A Photomicrographie des inclusions fluides T-3 primaires dans les veines de quartz des indices minéralisés	
12-B Photomicrographie des inclusions fluides T-4 en association avec la pyrite	
Planche 13	51
13-A Minéralisation en stockwerk avec des veinules déformées	
13-B Brèche à fragments hématisés	
13-C Veine de quartz avec fragment de granite hématisé	
Planche 14	52
14-A Photomicrographie des inclusions fluides dans la fluorine dans la Zone principale au Lac Bachelor	
14-B Photomicrographie des inclusions fluides T-2 avec un minéral fils dans une trainée recoupante	
14-C Photomicrographie des inclusions fluides T-2 et trainée d'inclusions fluides T-1 recoupante	
14-D Photomicrographie des inclusions fluides T-3 et T-4 très riches en vapeur	
Planche 15	54,55
15-A Minéralisation type de la Veine A au Lac Bachelor	
15-B Photomicrographie des inclusions fluides T-2 polyphasées et T-4 au Lac Bachelor	
15-C Photomicrographie des inclusions fluides T-2 biphasées à rapports constants des phases	
15-D Photomicrographie des inclusions fluides T-4 biphasées dans une trainée	
15-E Photomicrographie des inclusions fluides T-2 dans la fluorine blanche et mauve montrant la présence d'un minéral fils.	
Planche 16	57
16-A Photomicrographie des inclusions fluides dans le granite pré-minéralisation	
16-B Photomicrographie des groupes planaires des T-2 recoupées par T-4	
16-C Photomicrographie du contact entre le granite et une veine de quartz laiteux	
16-D Photomicrographie d'une inclusion fluide T-3 à trois phases	
16-E Photomicrographie d'un plan cicatriciel avec T-2 et T-4	
16-F Photomicrographie des inclusions fluides T-4 dans veines tardives de quartz transparent	
16-G Photomicrographie des inclusions fluides dans le granite pegmatitique post-minéralisation	
Planche 17	59
17-A Photomicrographie d'un grain de quartz automorphe dans la carbonatite au Lac Shortt	
17-B Photomicrographie d'une cavité miarolitique dans la syénite au Lac Shortt	
Planche 18	61
18-A Photomicrographie d'une inclusion fondue à matière vitreuse au Lac Shortt	
18-B Photomicrographie des inclusions fondues-fluides anisotropes	

18-C Photomicrographie d'une inclusion fondue granulaire opaque	
18-D Photomicrographie d'une inclusion fondue très opaque	
Planche 19	62
19-A Photomicrographie des inclusions solides, fondues et fluides dans un grain d'apatite dans la carbonatite au Lac Shortt	
19-B Photomicrographie d'une inclusion fondue dans le granite au Lac Bachelor	
19-C Photomicrographie d'une inclusion fondue comprenant plusieurs phases dans le granite au Lac Bachelor	
Planche 20	64
20-A Photomicrographie de trois inclusions fondues-fluides dans le granite du Lac Bachelor à température ambiante et au point du solidus	
20-B Photomicrographie d'une inclusion fondue dans la syénite de l'île d'Opawica à température ambiante et au point du solidus	
20-C Photomicrographie d'une inclusion fondue dans la carbonatite du Lac Shortt à température ambiante et au point du liquidus	
Planche 21.....	105
21-A,B Photomicrographie des trainées T-2 et des T-4 isolées	
21-C Photomicrographie des évidences de fuite	
21-D Photomicrographie d'une inclusion fluide en voie d'étranglement	
Planche 22.....	109
22-A Photomicrographie du quartz déformé et recristallisé	
22-B Photomicrographie d'une veinule tardive de quartz transparent	
Planche 23.....	138
23-A,B Photomicrographie des inclusions fluides carboniques T-4 dans la même trainée que des inclusions fluides aqueuses T-2	
23-C Photomicrographie d'un groupe planaire d'inclusions fluides carboniques T-3 en corrélation spatiale avec des inclusions fluides aqueuses T-2 polyphasées	

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE A : Description et localisation des échantillons du Lac Shortt, du Lac Bachelor et des Indices minéralisés	185
Tableau A-1: Lac Shortt ouest.....	186
Tableau A-2: Lac Shortt est.....	187
Tableau A-3: Lac Shortt- Indices minéralisés	188
Tableau A-4: Lac Shortt-carbonatite et fénites	189
Tableau A-5: Lac Bachelor-Granite pré-minéralisation.....	190
Tableau A-6: Lac Bachelor-Veine principale.....	191
Tableau A-7: Lac Bachelor-Veine A	192
ANNEXE B: Microthermométrie.....	193
Appareillage	194
Fig. B-1: Vues en section et en plan de la platine USGS.....	195
Fig. B-2: Liste des substances employées pour le calibrage de la platine.....	196
ANNEXE C: Résultats microthermométrique.	197
Légende des paramètres des tableaux C-1 à C-9.....	198
Tableau C-1: Lac Shortt ouest.....	199
Tableau C-2: Lac Shortt est.....	204
Tableau C-3: Lac Shortt carbonatite.....	207
Tableau C-4: Lac Shortt indices minéralisés.....	209
Tableau C-5: Lac Bachelor granite pré-minéralisation.....	213
Tableau C-6: Lac Bachelor granite minéralisé.....	214
Tableau C-7: Lac Bachelor granite post-minéralisation	216
Tableau C-8: Lac Bachelor Veine principale.....	217
Tableau C-9: Lac Bachelor Veine A.....	219
ANNEXE D: Résultats d'analyse des échantillons par la spectrométrie de masse	220
Introduction	221
Fig. D-1: Diagramme de la sonde solide	222
Fig. D-2: Illustration de la courte distance entre le bout de la sonde solide et le faisceau d'électrons	222
ANNEXE E: Technique d'analyse à la microsonde	223
Analyse à la microsonde	224
Tableau E-1: Composition chimique de la biotite au Lac Shortt	225
Tableau E-2: Composition chimique de la biotite au Lac Bachelor.....	226
Tableau E-3: Composition chimique des chlorites au Lac Shortt.....	228
Tableau E-4: Composition chimique des chlorites au Lac Bachelor	229
Tableau E-5: Composition chimique des micas blancs au Lac Shortt.....	231
Tableau E-6: Composition chimique des micas blancs au Lac Bachelor	232
Tableau E-7: Composition chimique des plagioclases au Lac Shortt	233
Tableau E-8: Composition chimique des feldspaths potassiques au Lac Shortt.....	234
Tableau E-9: Composition chimique des feldspaths potassiques au Lac Bachelor.....	235
Tableau E-10: Composition moyenne des carbonates déterminée au Lac Shortt	237
Tableau E-11: Composition moyenne des carbonates déterminée au " Lac Bachelor	240

CHAPITRE 1 - INTRODUCTION

1.1 Introduction

L'origine des fluides des dépôts aurifères mésothermaux trouvés dans certains terrains d'association roches-vertes-granitoïdes de l'Archéen représente un des problèmes les plus contestés actuellement. Ces dépôts sont formés dans un milieu géologique complexe caractérisé par des événements simultanés et progressifs de magmatisme, métamorphisme et déformation.

Les associations spatiales de ces dépôts avec certains types lithologiques ainsi que les relations temporelles avec certaines suites d'événements ont engendré de nombreux modèles pour expliquer les liens génétiques possibles. En raison du fait que ces modèles jusqu'à maintenant amènent des interprétations discordantes, qui ne rendent compte que de certaines conditions limites, on s'aperçoit de l'insuccès pour en arriver à un modèle de prédiction plus approprié.

1.2 Problématique

1.2.1 Caractéristiques de la minéralisation aurifère dans l'Archéen

La plupart des dépôts aurifères archéens partagent un ensemble cohérent de caractéristiques particulières:

a) *Ce sont des dépôts du type filonien ou "lode-gold" contrôlés structuralement:*

Au niveau régional, la plupart de ces dépôts sont contigus à des zones de cisaillement ou à des systèmes de fractures reliés aux zones de cisaillement. Ces zones de cisaillement démontrent des caractéristiques résultant de la transition ductile (quasi-plastique) à fragile et les zones minéralisées sont presque toujours restreintes à des structures linéaires-lentiformes, obliques à "dip-slip", souvent à fort pendage (Hodgson, 1990).

b) Ils sont encaissés dans des suites variables de roches

L'or est trouvé dans tous les types lithologiques de l'Archéen, même à l'intérieur d'un même gisement. Les roches encaissantes comprennent des métavolcanites ultramafiques, mafiques et felsiques, des métasédiments clastiques parfois riches en fer et des intrusifs mafiques et felsiques (Colvine *et al.*, 1988).

c) Ils sont associés à des auréoles d'altération

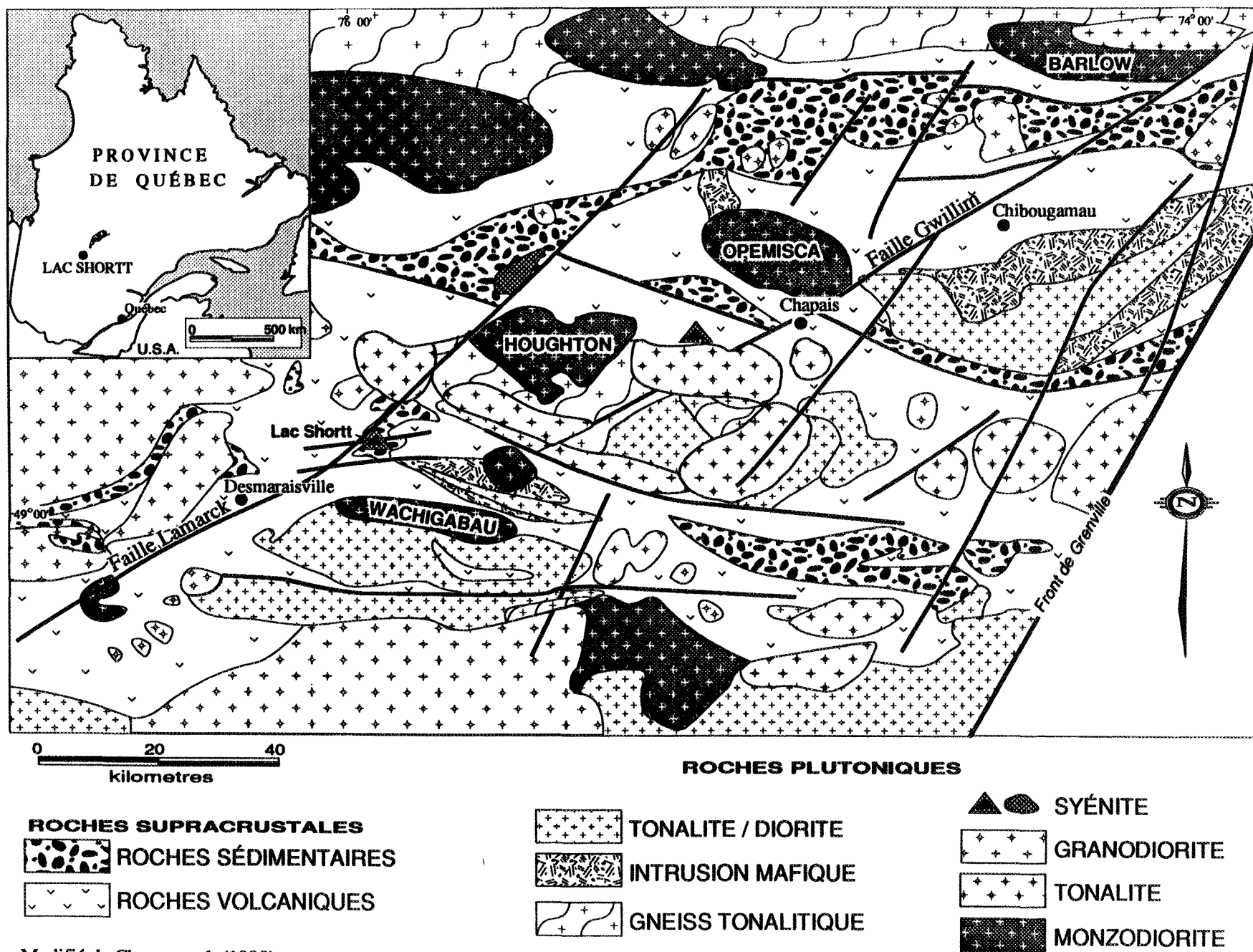
L'expression de métasomatisme varie selon le type de roches hôtes et le degré de métamorphisme. Dans le faciès schiste-vert, les zones d'altération varient d'une forte carbonatation et/ou dolomitisation centrale jusqu'à la formation de calcite à l'extérieur, associée avec la chlorite et la magnétite. Dans des zones fortement minéralisées, on retrouve des phyllosilicates potassiques, biotite et séricite, et, moins répandue, l'altération en feldspaths potassiques. Le degré de silicification est variable ainsi que l'altération en sulfures de fer (Groves *et al.*, 1990).

d) Ils sont fortement enrichis en Au par rapport à d'autres métaux

Dans les dépôts archéens, l'Au est très enrichi par rapport au Cu, Pb, Zn et Ag (Groves *et al.*, 1990). De même, l'Au se trouve en association fréquente avec l'As, W, Ag, Sb, Te, B, et des quantités faibles en métaux de base et molybdène.

1.2.2 Description sommaire de la région étudiée et énoncé de la problématique

Dans la région du lac Shortt (fig.1), l'omniprésence des intrusifs felsiques de composition variable et leurs associations spatiales avec les dépôts aurifères sont notables. Dans la région du lac Shortt, on retrouve les gîtes d'or du lac Shortt et ceux du lac Bachelor. Ceci constitue donc l'environnement idéal pour aborder la problématique décrite ci-dessus. Tant le style de la minéralisation comme les patrons d'altération associés aux mines Lac Short, Lac Bachelor et aux indices diffèrent nettement des dépôts classiques de l'Archéen de type filonien.



Modifié de Chown et al, (1990).

Fig. 1 Carte géologique de la région de Chibougamau-Chapais montrant les roches plutoniques et les séquences volcano-sédimentaires. 3

À la mine du Lac Shortt, la présence des intrusifs d'une suite alcaline qui comporte une carbonatite sövitique, un gabbro alcalin, et une syénite (Morasse *et al.*, 1986), soulève un problème d'interprétation métallogénétique, compliqué par les altérations sodique et hématitique associées à la minéralisation aurifère. Des dykes de carbonatite de 1-2 mètres de largeur se retrouvent dans des zones cisillées subsidiaires. Les indices aurifères qu'on trouve aux alentours de la mine du Lac Shortt se présentent souvent dans des veines de quartz associées à des zones de cisaillement, en contraste avec la minéralisation plutôt disséminée qui caractérise les phases syénitique et carbonatitique définies par forage sur l'Ile d'Opawica.

Les observations géochimiques et pétrographiques (Prud'Homme, 1990; Quirion, 1990) indiquent que la syénite est recoupée par la carbonatite, elle même déformée dans la zone minéralisée, qui est une mylonite pyriteuse, ce qui suggère un emplacement syn- à tardi-tectonique. Une altération en magnésio-arfvedsonite bleue, interprétée par Morasse *et al.*, (1986) comme une fénitisation sodique, accompagnée par la biotite, magnétite, calcite, microcline et albite, est prévalente surtout dans les zones de contact avec l'amas principal de carbonatite. Les données de datation Pb-Pb (Morasse, 1988) encadrent la minéralisation à 2665-2680 Ma, ce qui indique un âge minimum correspondant à l'Archéen tardif.

La minéralisation au Lac Bachelor occupe une zone de cisaillement tardive à la déformation qui a produit la schistosité régionale; la minéralisation typiquement recoupe les unités volcaniques et une partie de l'intrusif d'O'Brien, qui n'affleure pas (Lauzière, 1989). Les assemblages d'altération sont distincts et contiennent des assemblages potassiques et propylitiques qui accompagnent la silicification et l'hématisation. Les observations géochimiques et structurales font coïncider la mise en place de la minéralisation avec l'épisode de l'intrusif; toutefois, la source ultime du fluide reste inconnue.

Ce travail est précédé par des études géochimiques et de géologie structurale locale (Lauzière, 1989; Morasse, 1986 et Prud'Homme, 1990), ainsi que par un projet de recherche sur le contexte tectono-stratigraphique

(Brisson, thèse en préparation). Ces études systématiques, depuis le faciès d'origine jusqu'aux paragenèses d'altération les plus tardives n'ont eu comme résultat que de délimiter et renforcer la représentativité des processus et les épisodes de minéralisation et d'altération dans la spécificité des échantillons prélevés et utilisés pour cette étude. Ceci contribue au contrôle géologique indispensable à une bonne compréhension et interprétation des paramètres associés à la modélisation de la métallogénèse aurifère dans cette région.

1.3 Objectifs de l'étude

Cette étude doctorale s'inscrit dans le cadre d'une étude métallogénique globale de la région du Lac Shortt par une équipe pluridisciplinaire qui a été élaborée dans le but de rechercher plus particulièrement le lien entre les indices aurifères de la région et les fluides responsables de la minéralisation. On s'est attaché à caractériser le contexte de la mise en place des minerais dans deux types différents de gisements de compositions non-similaires mais dans deux contextes similaires et de même que leurs rapports avec les roches encaissantes, les altérations et les structures.

L'objectif principal de cette étude est la caractérisation évolutive des régimes de fluides responsables 1) de la minéralisation des dépôts archéens qui se produisent en association intime avec des complexes intrusifs felsiques d'affinités alcaline et non-alcaline, afin d'en dégager les paramètres chronogénétiques, et 2) des altérations associées ainsi que celles reliées aux événements tectoniques et de déformation. Ce travail est consacré à l'analyse et à la comparaison des éléments importants qui entourent le gisement du Lac Shortt par opposition a) au gisement du Lac Bachelor et b) aux indices minéralisés qui incluent de la minéralisation encaissée dans des roches de compositions très variables.

De fait, plusieurs types de gisements aurifères se produisent dans des contextes et associations divers (Poulsen *et al.*, 1992), et dans la province du Supérieur, une relation temporelle et spatiale remarquable existe entre les dépôts aurifères archéens et des roches alcalines et les zones fénitisées. Par

conséquent, nos résultats serviront à comparer le potentiel métallifère des corps intrusifs vis-à-vis des gisements associés à des roches mafiques aussi à proximité des zones de failles régionales.

Les objectifs spécifiques suivants sont poursuivis:

- 1) Préciser la relation entre les différents types de minéralisation et les intrusifs felsiques
- 2) Déterminer les conditions de pression, température, densité, fugacité et salinité des fluides, et les contrôles du transport, de la précipitation et de la concentration de l'or en vue de caractériser les conditions physico-chimiques des régimes de fluides associés à la minéralisation aurifère aux gisements du Lac Shortt, du Lac Bachelor et dans les indices minéralisés.
- 4) Intégrer les données d'inclusions fluides avec des données tectonostratigraphiques, structurales, géochimiques et caractéristiques des altérations, obtenues des études intégrées de la région pour ainsi formuler un modèle concernant l'évolution du fluide minéralisant.
- 5) Amplifier la base de données d'inclusions fluides provenant des dépôts aurifères archéens et utilisée dans la modélisation thermodynamique des processus de minéralisation.

1.4 Principes méthodologiques

Ce projet se compose principalement d'études des inclusions fluides et des inclusions fluides-fondues puisqu'elles représentent encore une des sources directes d'information sur la composition et le comportement des fluides aurifères archéens. De plus, la reconstruction thermodynamique des caractéristiques du fluide minéralisant sera renforcée par des calculs indépendants basés sur 1) des assemblages d'altération (l'équilibre des phases) et 2) la composition isotopique du carbone des carbonates.

Les inclusions fluides sont des échantillons du paléofluide qui enveloppe le cristal hôte soit pendant ou après sa formation. Les études des inclusions fluides sont d'une valeur inestimable dans la détermination a) des caractéristiques, des composants et des sources du fluide minéralisant et b) des conditions et mécanismes de transport et de mise en place du minerai (Roedder, 1984).

Dans la province du Supérieur, on assiste à un nombre croissant d'études d'inclusions fluides des dépôts aurifères: Doyon (Guha *et al.*, 1982); Sigma (Robert et Kelly, 1987); Timmins-Porcupine (Smith *et al.*, 1984); Renabie (Studemeister et Lilius, 1987), etc. Des données provenant d'autres études similaires sur des dépôts aurifères dans l'Archéen (Roedder, 1984, Groves *et al.*, 1984; Ho, 1987) sont comparables aux résultats obtenus dans les dépôts canadiens (tableau 1). Il est très souvent difficile d'établir une corrélation entre l'or et les différents régimes de fluides présents pendant le transport et la précipitation de l'or. Par conséquent, nous avons prêté une attention toute particulière à la pétrographie des inclusions fluides.

Dû à la mise en oeuvre de techniques instrumentales performantes, on trouve actuellement de nombreuses recherches qui sont réalisées pour permettre un meilleur dosage des espèces ioniques qui composent les fluides intracrystallins, même à partir d'une inclusion isolée. Les méthodes d'analyse ponctuelles se diviseront en deux genres: 1) des méthodes destructives classiques (e.g. spectrométrie de masse et chromatographie en phase gazeuse etc.) et 2) des méthodes non-destructives (e.g. microthermométrie et spectrométrie Raman associées etc.) - (Roedder, 1990).

L'application des procédés non-destructifs précéderont ceux qui sont destructifs pour des raisons évidentes. Il faut bien remarquer que des inconvénients sont présents dans ces deux techniques. Ainsi, pour les méthodes destructives, il faut tenir compte 1) du mélange des générations de fluides différents; 2) de la contamination du fluide par le cristal hôte; 3) de la difficulté d'extraction totale; et 4) des problèmes d'analyse quantitative en fonction de l'appareillage (Cheilletz *et al.*, 1984).

Tableau 1 - Résumé des données d'inclusions fluides de plusieurs dépôts aurifères dans la sous-province de l'Abitibi du Canada et Yilgarn Block, Australie de l'Ouest

Dépôt	Données des inclusions fluides	Interprétation
Doyon, Québec Guha <i>et al.</i> , 1982	Coexistence de deux fluides; Secondaires; H ₂ O-NaCl (CaCl ₂); T _h * = 45°-200°C; Secondaires; CH ₄ (CO ₂)	Fluide possiblement hétérogène; Pression de mise en place : 80 MPa (.80 kbars)
Mine Sigma, Québec Robert et Kelly, 1987	Secondaires; H ₂ O-CO ₂ , <10%pds. équiv. NaCl; 15-30% mol CO ₂ ; T _h =285° à 395°; Coexistence des inclusions riches en H ₂ O et NaCl (25 - 34% pds. équiv.); T _h = 60°-295°; CO ₂ dans fractures cicatrisées;	Démixion intermittente des fluides;
Mine McIntyre-Hollinger Timmins, Ontario Smith <i>et al.</i> , 1984	Primaires/pseudo-secondaires; H ₂ O-CO ₂ ; T _h = 220-385°; 3-4%mol-pds.CO ₂ ; Secondaires; CO ₂ ; T _h =160°-215°; Secondaires; CH ₄ ;	Démixion possible des fluides; Pression de mise en place: .35 à .5 bars
Mine Rénabie, Studemeister et Kilias, 1987	Primaires; CO ₂ (10-25% vol.); T _h = 220°-360°; H ₂ O (10-15% vol.); T _h =120°-220°; 11-14 %pds. équiv. NaCl;	Séparation des phases
Yilgarn block, Australie Ho <i>et al.</i> , 1986	Primaires; H ₂ O-CO ₂ (20 - 30 %mol CO ₂); 2%pds. équiv. NaCl; T _h = 200°-390°; Primaires; coexistence de H ₂ O et CO ₂	Fluide précoce; -possible démixon Fluide tardif, hétérogène

*T_h - Température d'homogénéisation

Quant aux méthodes non-destructives, on doit considérer une sensibilité moins grande aux éléments contenus en traces, en raison des volumes très petits et de l'impossibilité d'analyser les fluides dans les cristaux opaques ou fluorescents.

Pour maximiser l'analyse des inclusions, on appliquera des méthodes non-destructives suivies par celles qui sont destructives afin d'obtenir des renseignements compositionnels qualitatifs, semi-quantitatifs et quantitatifs.

Par les études combinant la microthermométrie, la spectroscopie Raman au laser (Pasteris *et al.*, 1988) et la spectrométrie de masse par sonde solide (Guha *et al.*, 1990a), on vise à 1) cartographier les variations chimiques des fluides à l'échelle du district minier du lac Shortt et 2) définir une/des séquences paragenétiques dans l'évolution physicochimique des fluides en terme de variations des paramètres P-V-T-X-fO₂.

1.5 Conclusions

Ces travaux visent surtout à identifier les régimes de fluides et les conditions de dynamisme thermique associés aux différents événements de déformation et tectonisme dans la région du Lac Shortt.

Le but de ce projet se rapporte spécifiquement à une étude détaillée des caractéristiques et origines des fluides minéralisants dans un contexte convenable pour mettre à l'épreuve les assertions des différents modèles génétiques. La présence des intrusifs felsiques (le complexe granodioritique d'O'Brien au Lac Bachelor et la suite alcaline de syénite et carbonatite au Lac Shortt) ainsi que plusieurs indices minéralisés de contextes variés conviennent particulièrement à une étude au regard des gisements aurifères à l'Archéen dans des roches mafiques qui est associé à des zones de cisaillement mais où l'absence d'intrusifs est à considérer.

CHAPITRE 2 - CARACTÈRE ET DISTRIBUTION DES GÎTES AURIFÈRES

2.1 Introduction

Ce chapitre n'a pas la prétention de présenter une synthèse complète de la géologie de la région du lac Shortt, mais servira plutôt à situer, dans un cadre géologique général mais compréhensif, les formations et les roches dont il va être question.

2.2 Géologie générale de la région du Lac Shortt

La région du Lac Shortt est située dans la partie nord de la Ceinture de roches vertes de l'Abitibi dans la Province du Supérieur du Bouclier Canadien. Située à 120 km au sud-ouest de Chibougamau, la région se trouve à l'ouest de la bande de Caopatina-Desmaraisville (fig.2).

Des travaux récents (Sharma *et al.*, 1987; Chown et Mueller, 1992; Chown *et al.*, 1992) proposent un schéma stratigraphique où les séquences archéennes sont généralement caractérisées par des cycles volcaniques mafiques à felsiques et deux unités sédimentaires épicastiques interstratifiées (fig.3). Mueller et Donaldson (1992) ont subdivisé cette région en deux parties: le Segment de Chibougamau du Nord (NCS) et le Segment de Caopatina du Sud (SCS) où en fait se trouve la région du lac Shortt. Seules des roches volcaniques et sédimentaires appartenant au premier cycle (fig. 4) se retrouvent dans le SCS.

L'ensemble de l'empilement volcano-sédimentaire est recoupé par des plutons pré- syn- à post-cinématiques d'âges protérozoïque (des dykes de gabbro-diabase d'orientation E-NE) et archéen (intrusifs de composition tonalitique, granodioritique et granitique).

Le métamorphisme régional au faciès schiste-vert et la déformation associée sont attribuables à l'orogénie kénoréenne (Duquette, 1970), qui affecte les roches archéennes de la région sauf aux pourtours des intrusifs où on peut observer des assemblages au faciès de cornéenne à amphibole inférieur.

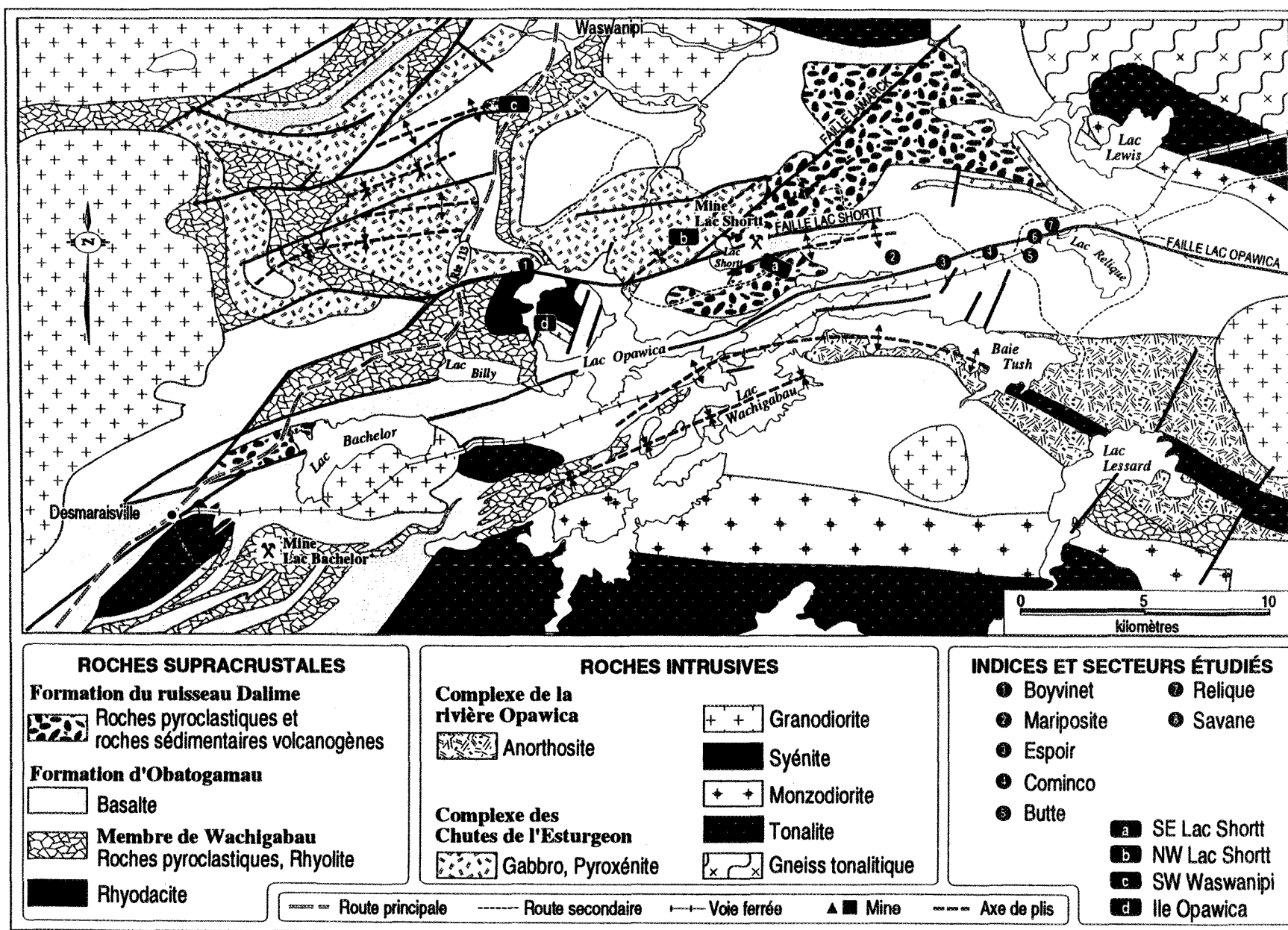


Fig. 2. Carte géologique de la région du Lac Shortt et localisation des Mines du Lac Shortt, Lac Bachelor et les indices minéralisés examinés (modifiée d'après Guha *et al.*, 1990b).

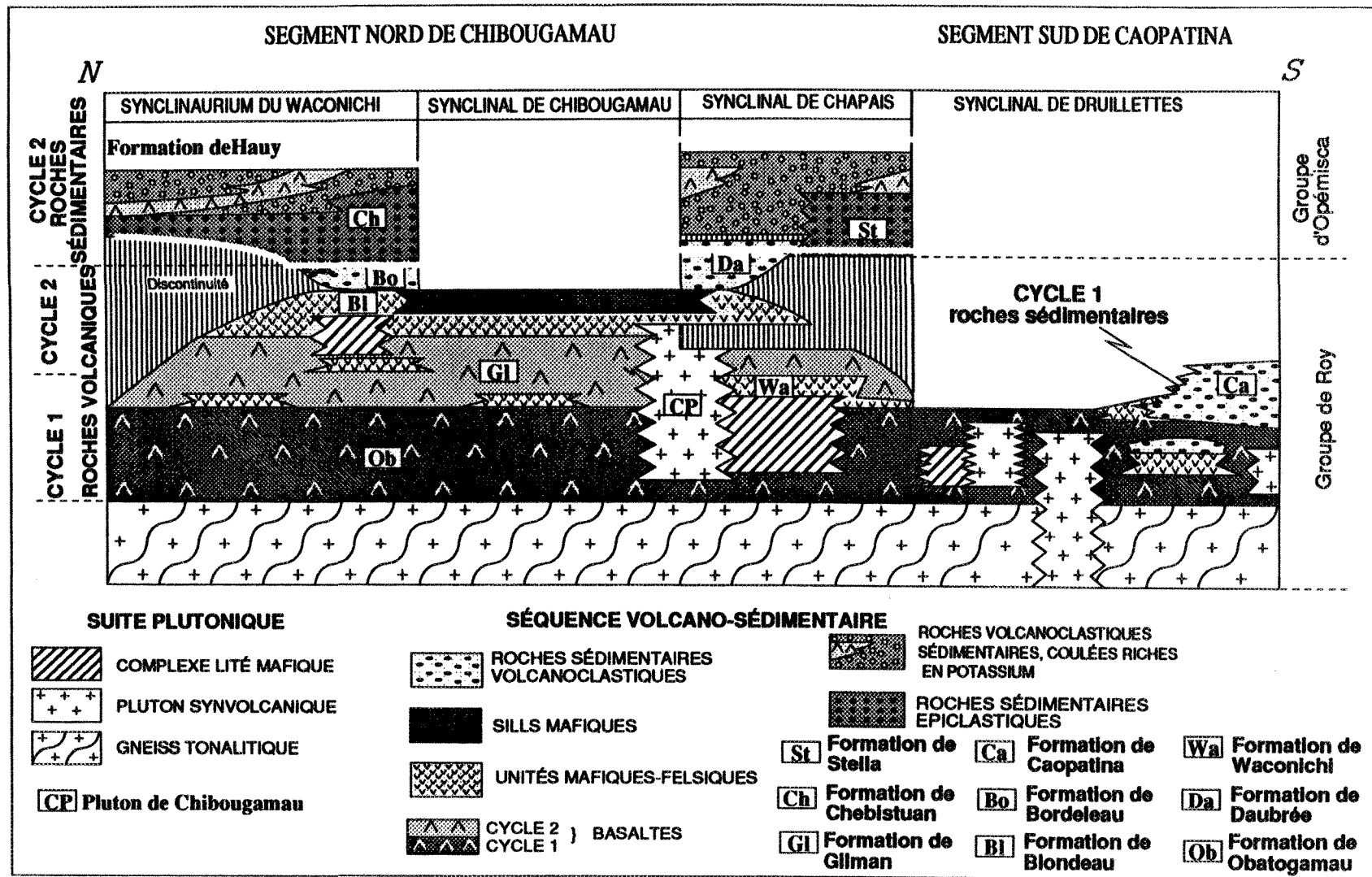


Fig. 3. Relations stratigraphiques de la région de Chibougamau-Caopatina (d'après Mueller *et al*, 1989).

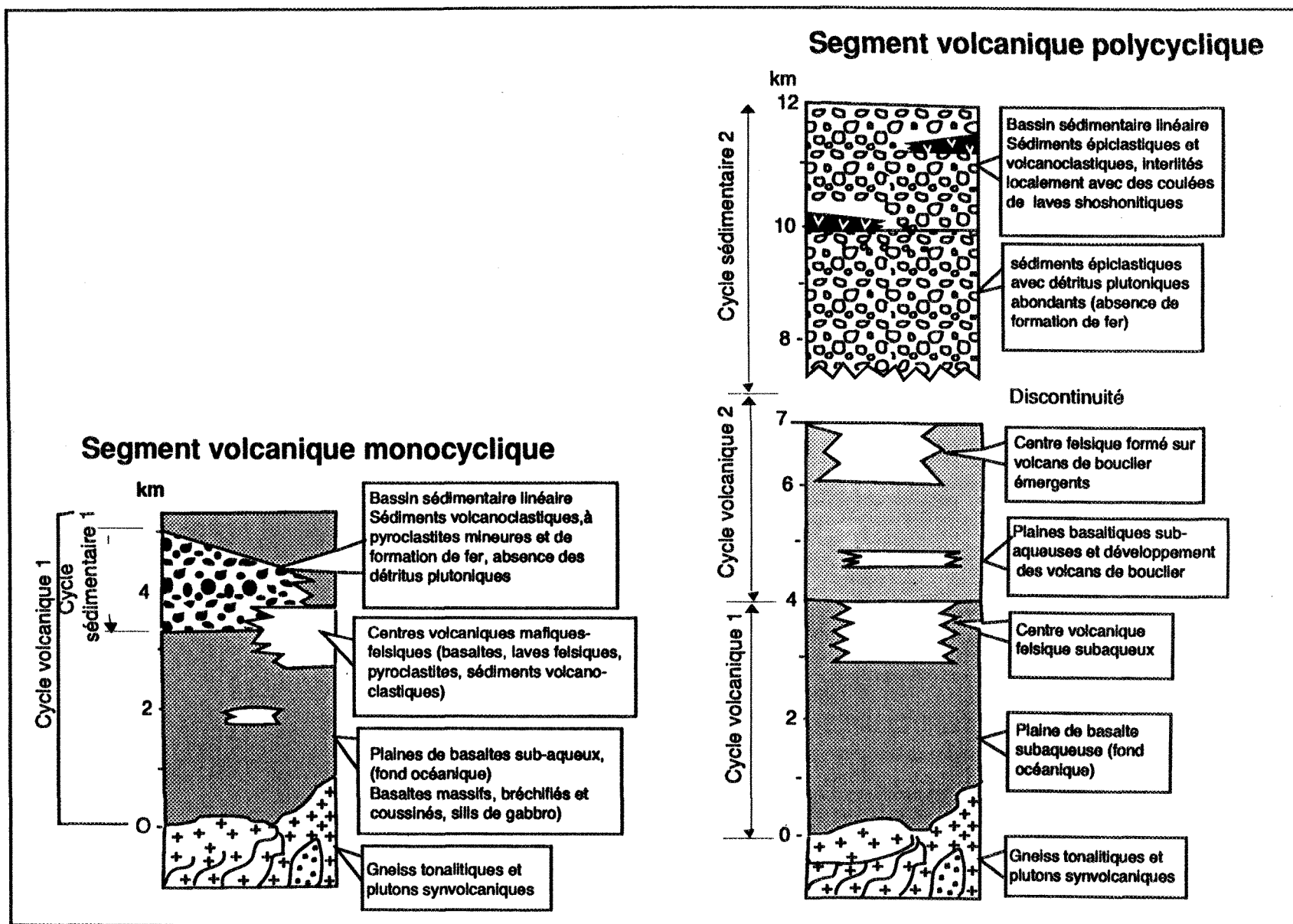


Fig. 4. Colonne stratigraphique de la Zone volcanique du Nord (d'après Chown *et al*, 1990).

On reconnaît deux générations de plis: l'une comprend des plis isoclinaux symétriques à asymétriques, à trace axiale E-NE, avec un plongement axial sub-vertical et une foliation axiale planaire; l'autre inclut des plis dont les traces de la surface axiale sont orientées N-NE avec des axes de plis horizontaux (Lamothe, 1983; Daigneault et Allard, 1984; Daigneault et Allard, 1987).

La plupart des failles dans la région ont une direction générale E-NE, les principales étant la faille du lac Opawica (3 km au sud de la mine du lac Shortt, -fig. 2) et celle du lac Shortt. Un autre système de failles plus tardives de direction NNE à NE est présent (Giovenazzo, 1986). Le sens de déplacement sur ces deux systèmes reste encore inconnu (Brisson et Guha, 1989).

2.3 Mine du Lac Shortt

2.3.1 Géologie locale

Dû au manque d'affleurements dans la propriété, il n'existe pas de cartes de surface détaillées. À la suite des travaux récents parmi lesquels ceux de Cormier *et al.*, 1984, Morasse, 1988, Quirion, 1990, Brisson et Guha, 1989 et Prud'Homme, 1990 se distinguent, la géologie a été divisée en trois zones (fig. 5) délimitées par la faille Lamarck, la faille principale du Lac Shortt et la faille secondaire Mica Vert du Sud.

La zone 1, qui fait partie de la Formation du Ruisseau Dalime (Sharma *et al.*, 1987) représente l'éponte supérieure de la faille du Lac Shortt. Il s'agit d'un tuf mafique à lapillis et blocs formé de fragments volcaniques et granitoïdes dans une matrice feldspathique et chloriteuse (Morasse, 1988). En s'approchant de la faille du Lac Shortt, le degré de mylonitisation s'intensifie et se traduit par la présence des schistes à mica vert.

La zone minéralisée correspond à la zone 2. On y distingue trois secteurs (Quirion, 1990):

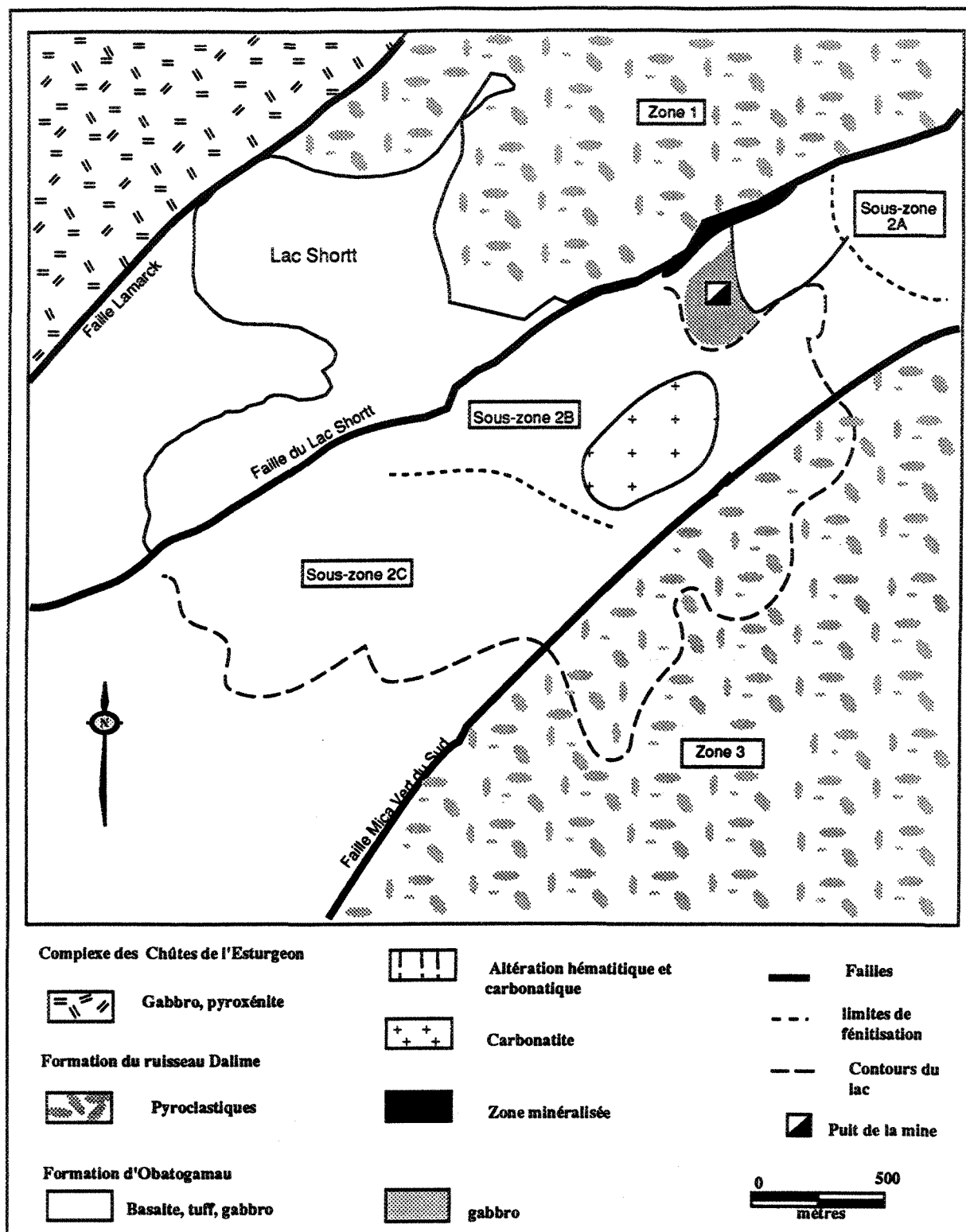


Fig. 5. Géologie de la mine du Lac Shortt (modifié de Prud'Homme, 1990).

-*Sous-zone 2A*: généralement peu altérée, elle est constituée de gabbro, de coulées basaltiques, coussinées ou massives et d'intercalations mineures de volcanoclastites.

-*Sous-zone 2B*: formée d'un tuf intermédiaire, d'un gabbro magnétique et de basaltes, elle est la roche encaissante de la minéralisation.

-*Sous-zone 2C*: mal connue, un forage stratigraphique montre des basaltes, du gabbro et du tuf.

La zone 3 est constituée de brèches pyroclastiques et de tufs à lapillis polygéniques (attribués à la Formation du Ruisseau Dalime par Sharma *et al.*, 1987, dû à son contenu en fragments accessoires de chert et pyrite).

2.3.2 Roches volcaniques

La séquence stratigraphique de la région de Caopatina (fig. 3) contient des unités qui ressemblent à celles de la Formation Haüy de la partie supérieure du Groupe d'Opemisca à Chibougamau, mais cette corrélation est encore à confirmer.

On remarque deux grandes unités lithostratigraphiques. À la base se trouve la formation d'Obatogamau, une unité de 3-5 km d'épaisseur de basaltes tholéïtiques (Midra, 1989) souvent porphyriques, parfois massifs, coussinés et bréchiques, avec une abondance de phénocristaux de plagioclase. Une unité felsique formée de roches pyroclastites et de rhyolites, constitue le Membre de Wachigabau associé à cette formation. Celle-ci est recouverte par la Formation du ruisseau Dalime, formée de pyroclastiques felsiques et intermédiaires et de sédiments volcanogènes.

2.3.3 Roches intrusives

Au nord du lac Shortt (fig. 2), on reconnaît des intrusions archéennes qui sont des plutons granitiques, le complexe anorthositique de la rivière Opawica et le complexe filonien (gabbro-pyroxénite) des Chutes de l'Esturgeon (Lamothe, 1983). Trois intrusions syn-tectoniques, identifiés à des syénites, ont été reconnues: la première à l'ouest de l'île d'Opawica, la deuxième sur l'île d'Opawica et la troisième au sud de la faille du Lac Shortt.

dans la partie ouest de la mine. Ces syénites sont constituées de feldspaths-K granulaires, d'amphiboles, et de magnétite.

À la suite d'une étude qui caractérise principalement la pétrographie et la géochimie de la carbonatite et de la syénite de la Mine Lac Shortt par Prud'Homme (1990), des relations de texture suggèrent une chronologie relative d'âge archéen du complexe alcalin du Lac Shortt qui comprend une syénite et une carbonatite. La carbonatite, une sövite, se présente sous la forme d'une intrusion principale et de dykes et a été mise en place subséquemment à la syénite.

Le complexe filonien des Chutes de l'Esturgeon est considéré comme une intrusion syn-volcanique et montre plusieurs phases de plissement de direction N-E. Il est tronqué par la faille du Lac Shortt dans la partie sud.

On trouve des dykes porphyriques multiples de quartz-feldspath syn- à post tectoniques. Il y a aussi des dykes de lamprophyre tardifs (d'âge indéterminé) qui recoupent la stratigraphie (Quirion, 1990).

Au nord de la carte, le pluton post-tectonique de Waswanipi est composé de phénocristaux de feldspath-K et d'amphiboles dans une matrice quartzo-feldspathique.

L'étude par Prud'Homme (1990) conclut que la déformation de la carbonatite et la présence des dykes déformés dans la mylonite suggèrent une mise en place syn- à tardi-tectonique.

2.3.4 Minéralisation et altération

La zone minéralisée se présente sous forme disséminée dans une mylonite rouge de forme tabulaire à fragments de syénite (planche 1-A) (Morasse, 1988). Elle contient aussi des fragments boudinés et cataclasés de roches mafiques et semble avoir subi une carbonatation ainsi qu'une hématitisation, une pyritisation et une fénitisation (l'albitisation et l'ajout du magnésio-arfvedsonite) (Morasse, 1988).

L'altération se poursuivant, on assiste à une altération en silice qui se manifeste par la présence de nombreuses veines de quartz (pl. 1-B) et plus en profondeur, une deuxième zone d'exploitation, la Veine Sud.

Planche 1

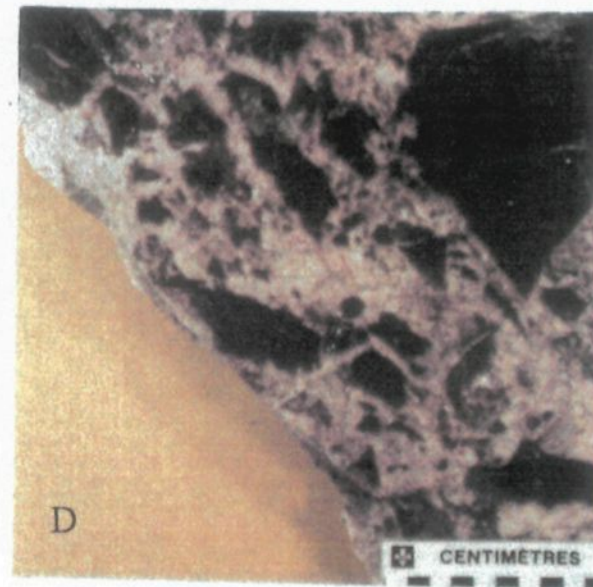
A- Echantillon provenant de la zone minéralisée (sous forme disséminée) au Lac Shortt: une mylonite rouge tabulaire à fragments boudinés et cataclasés de syénite.

B- Veine de quartz minéralisée au Lac Shortt montrant des épontes hématisées et pyritisées.

C- Echantillon de la Veine Sud illustrant les nombreuses veinules de quartz où l'or est associé à l'auréole d'altération.

D- Brèche hydrothermale à matrice de carbonates et d'amphiboles sodiques. Les fragments de volcanites sont très anguleux et souvent altérés en hématite.

Planche 1



Selon Quirion (comm. person.), cette dernière est composée d'un réseau de veines de quartz stériles et l'or est associé plutôt à la pyrite dans l'auréole d'altération (pl.1-C). En général, l'or est sous forme de micrograins accolés à la pyrite ou dans des petites fractures dans la pyrite.

La zone minéralisée recoupe tous les contacts lithologiques de l'éponte inférieure et elle est délimitée par une séquence de tuf intermédiaire à l'ouest, et par le basalte à l'est (fig. 6). D'après Quirion (1990), la zone minéralisée principale s'étend plus en profondeur en se détachant de la faille du Lac Shortt (fig. 7) et renferme une bande de gabbro magnétique et folié. On trouve dans cette zone des dykes multiples de carbonatite et de syénite sporadiquement aurifères.

2.3.5 Géométrie générale des éléments structuraux

La zone minéralisée principale est caractérisée par une foliation intense, la formation de brèches hydrothermales (pl. 1-D), des mylonites à texture marbrée très irrégulière (Morasse, 1988).

Dans la mine Lac Shortt, les principaux éléments structuraux sont la faille Lac Shortt, la faille subsidiaire Mica Vert du Sud et la mylonite de la zone principale (Morasse, 1988). La distribution et la relation entre les différents éléments structuraux sont présentées à la fig. 6.

Les deux failles sont caractérisées par de la roche schisteuse, très cisailée, qui contient de la dolomie, la séricite et du mica vert (fuchsite). Selon Brisson (1988), les failles appartiennent à une famille de failles régionales de direction NE-SO (pendage 80° vers le nord pour la faille du Lac Shortt et 80° vers le sud pour la faille Mica Vert du Sud). Une étude tectono-stratigraphique en cours par H. Brisson de la région du Lac Shortt se soucie des déplacements cinématiques qui sont encore incertains le long de toutes ces failles.

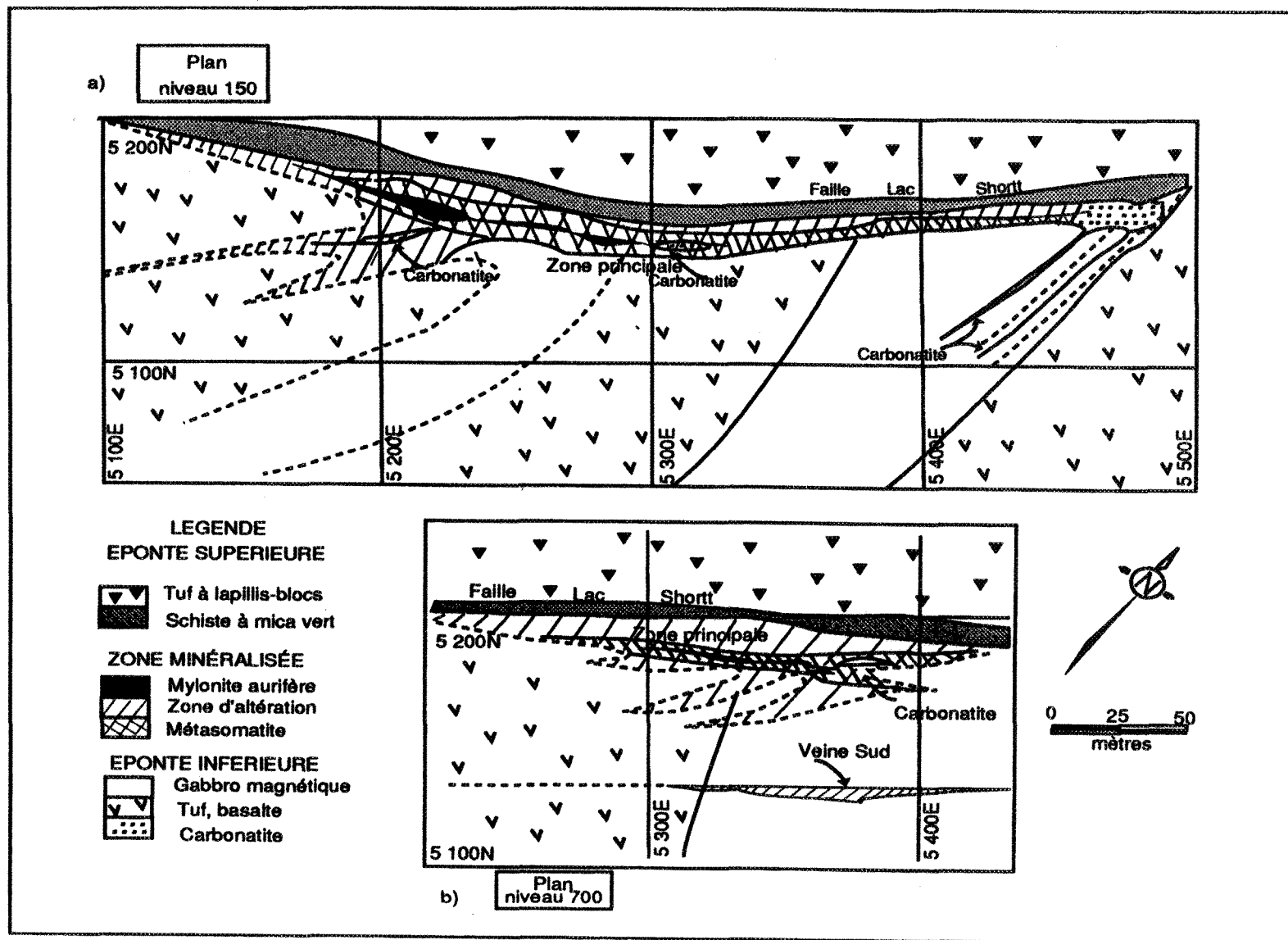


Figure 6 : Géologie des niveaux 150 (a) et 700 (b) à la mine du Lac Shortt. (d'après Quirion, 1990)

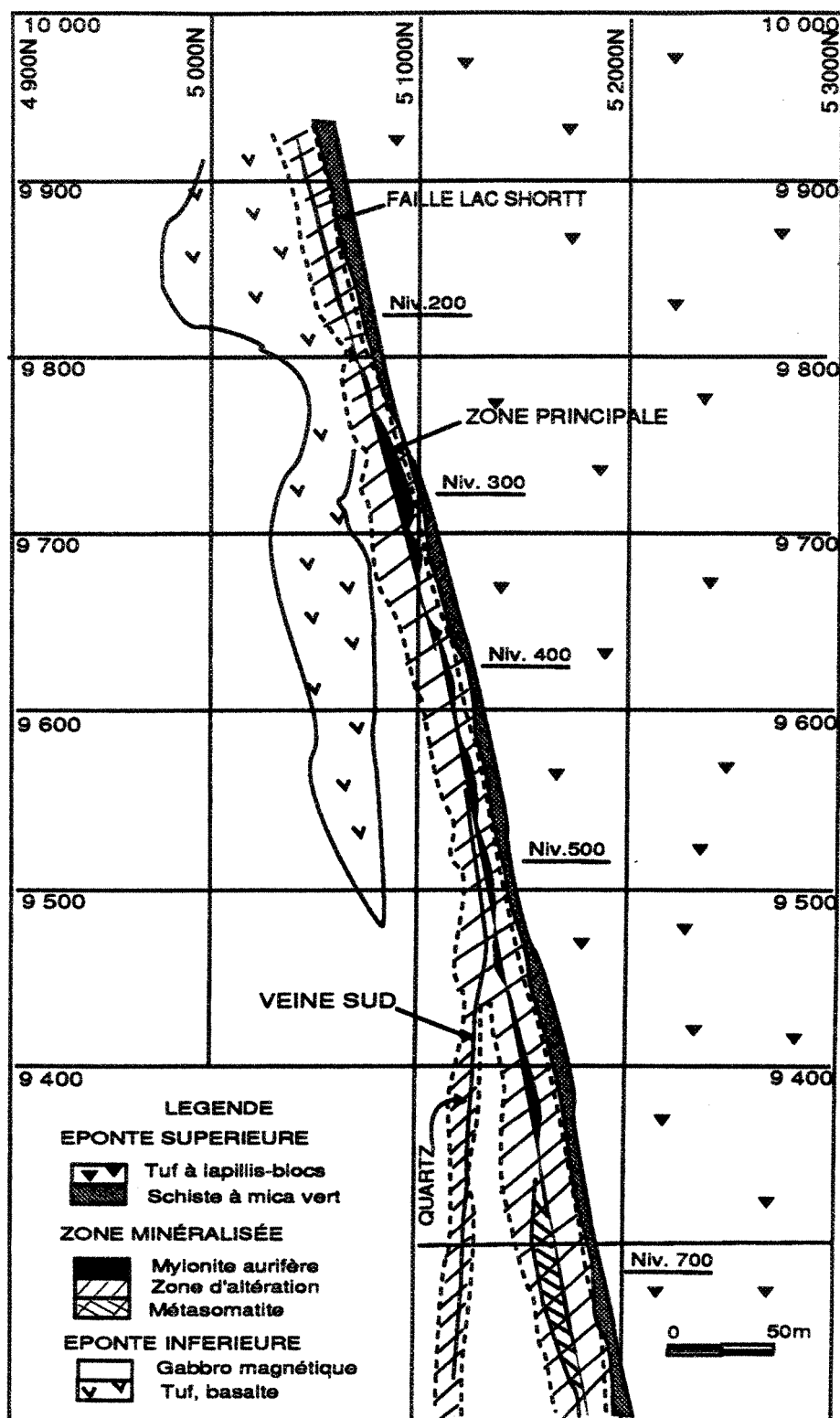


Figure 7. Section transverse dans le gisement du Lac Shortt. La Zone Principale dans la section 5325E; la Veine Sud dans la section composite 5350 à 5400E (d'après Quirion, 1990).

2.4 Mine du Lac Bachelor

2.4.1 Géologie locale

La mine du Lac Bachelor est située à l'est du stock granitique d'O'Brien dans une roche encaissante volcanique. Typiquement, la minéralisation recoupe les roches volcaniques ainsi qu'une section du stock d'O'Brien. Suite à des travaux de terrains réalisés dans la région de Desmaraisville et de la Mine du Lac Bachelor (McQuade, 1981, Buro, 1984, Lauzière, 1989 et Doucet *et al.*, 1993), la carte géologique (fig. 8) peut se résumer au schéma suivant:

- la région est incluse dans des séquences volcano-sédimentaires d'âge archéen;
- l'empilement est formé de coulées volcaniques mafiques et de filons comagmatiques ainsi que de coulées volcaniques intermédiaires et felsiques;
- des intrusions mafiques de composition pyroxénitique à dioritique mises en place dans les volcanites ;
- des plutons pré- à post-tectoniques de composition tonalitique, granodioritique, granitique et syénitique;
- des lamprophyres d'âge incertain et des dykes de gabbro protérozoïques;
- cinq systèmes de failles recoupent la zone minéralisée, orientée à N110° à pendage moyen de 60° vers le sud. Selon Lauzière (1989), la plupart des failles ont la même orientation que les failles régionales d'Opawica et Wachigabau; d'autres sont orientées O-NO, à pendage abrupt (65° à 90°).

2.4.2 Roches volcaniques

On trouve des filons-couches et des coulées intercalées de composition basaltique à andésitique qui sont massives et parfois coussinées et bréchifiées qui recoupent la stratigraphie (Buro, 1984). Le secteur contigu à la mine contient des coulées felsiques de composition rhyolitique et des dacites porphyriques ainsi que des tufs à lapillis stratifiés localement.

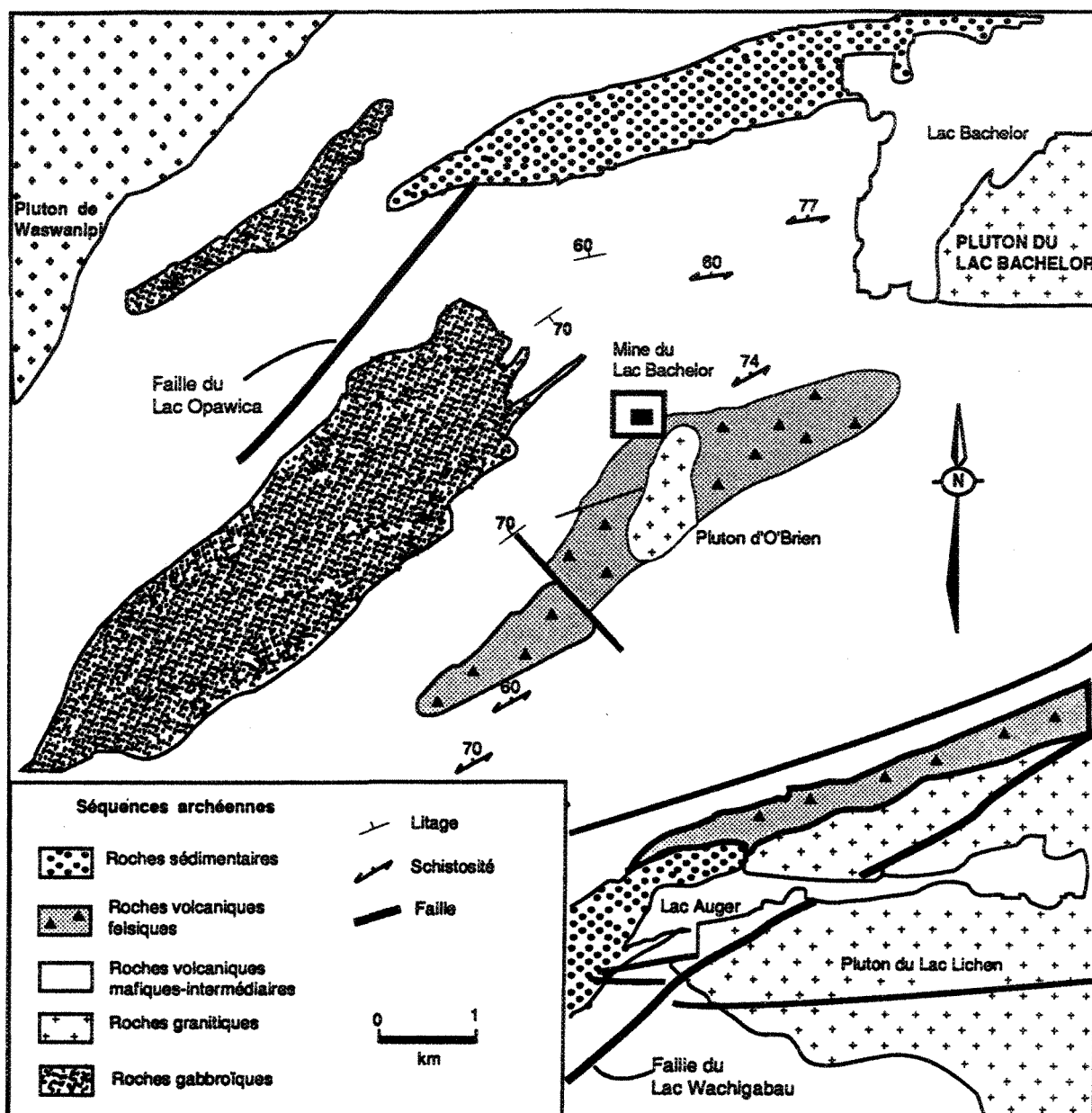


Fig. 8. Géologie locale de la mine du Lac Bachelor (modifié d'après Lauzière, 1989 et Doucet, 1993).

2.4.3 Roches intrusives

La carte géologique (fig. 8) met aussi en évidence la présence de plusieurs corps intrusifs de morphologie et dimension variables:

- le batholite de Waswanipi de composition granodioritique dans le secteur NO et deux unités gabbroïques dans ce même secteur;
- le stock d'O'Brien de composition granitique hétérogène à côté de la mine (Buro, 1984);
- le pluton granitique-syénitique de Bachelor dans le secteur NE
- le pluton tonalitique syn-volcanique de Lichen au SE (Lauzière, 1988).

L'intrusion d'O'Brien n'affleure pas et à partir des études de forages, et Buro (1984) et Lauzière (1988) s'accordent pour distinguer la présence de nombreux dykes ainsi que plusieurs générations de phases: les granites porphyriques recoupés par des phases plus jeunes de granites porphyriques, des aplites et des pegmatites (planche 2-A, 2-B).

2.4.4 Minéralisation et altération

La zone principale de minéralisation (2-13 mètres de largeur) est située dans une zone de déformation altérée d'orientation E-SE à E-O qui recoupe les roches volcaniques, la schistosité régionale et partiellement la bordure du stock d'O'Brien. (fig. 9). L'or est associé avec la pyrite grenue dans une zone hématisée et silicifiée (Lauzière, 1988). Le minerai Au-Cu est parfois massif mais se distribue plutôt dans un système en stockwerk de veinules de quartz (fig. 10 et planche 3-A). De plus, 15% du minerai est contenu dans des brèches à fragments anguleux qui sont cimentés soit par du quartz microcristallin gris ou laiteux (pl. 3-B), ou du matériel de chlorite, fluorite, et carbonates (pl. 3-C).

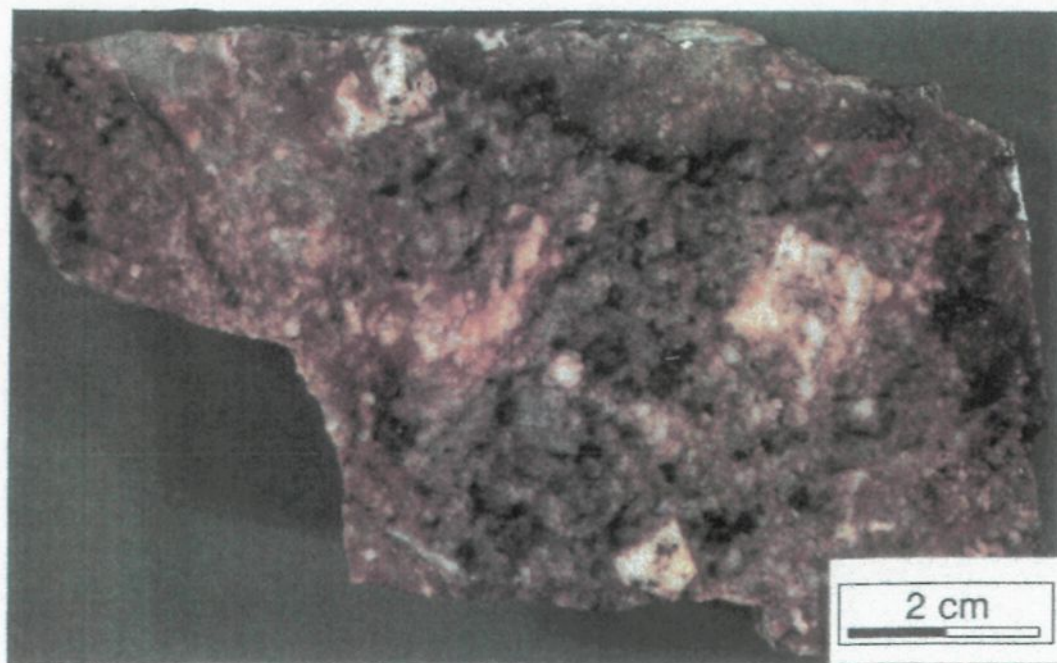
Dans le stock d'O'Brien proprement dit, la minéralisation est localisée dans des veinules de quartz déformé accompagnée par une altération hématitique et en silice dans les épontes du granite (planches 4-A). L'étude synthèse par Lauzière (1988) a permis la description du patron d'altération

Planche 2

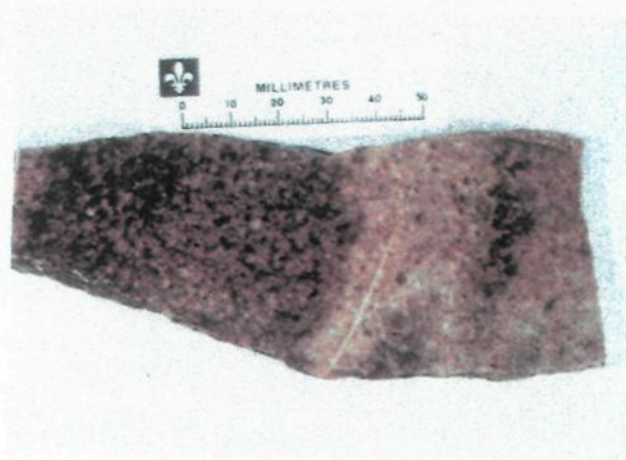
A- Echantillon de la granodiorite porphyrique au Lac Bachelor avec des phénocristaux de feldspaths potassiques centrimétriques.

B- Dyke de granite porphyrique brunâtre qui recoupe la granodiorite porphyrique plus précoce.

Planche 2



A



B

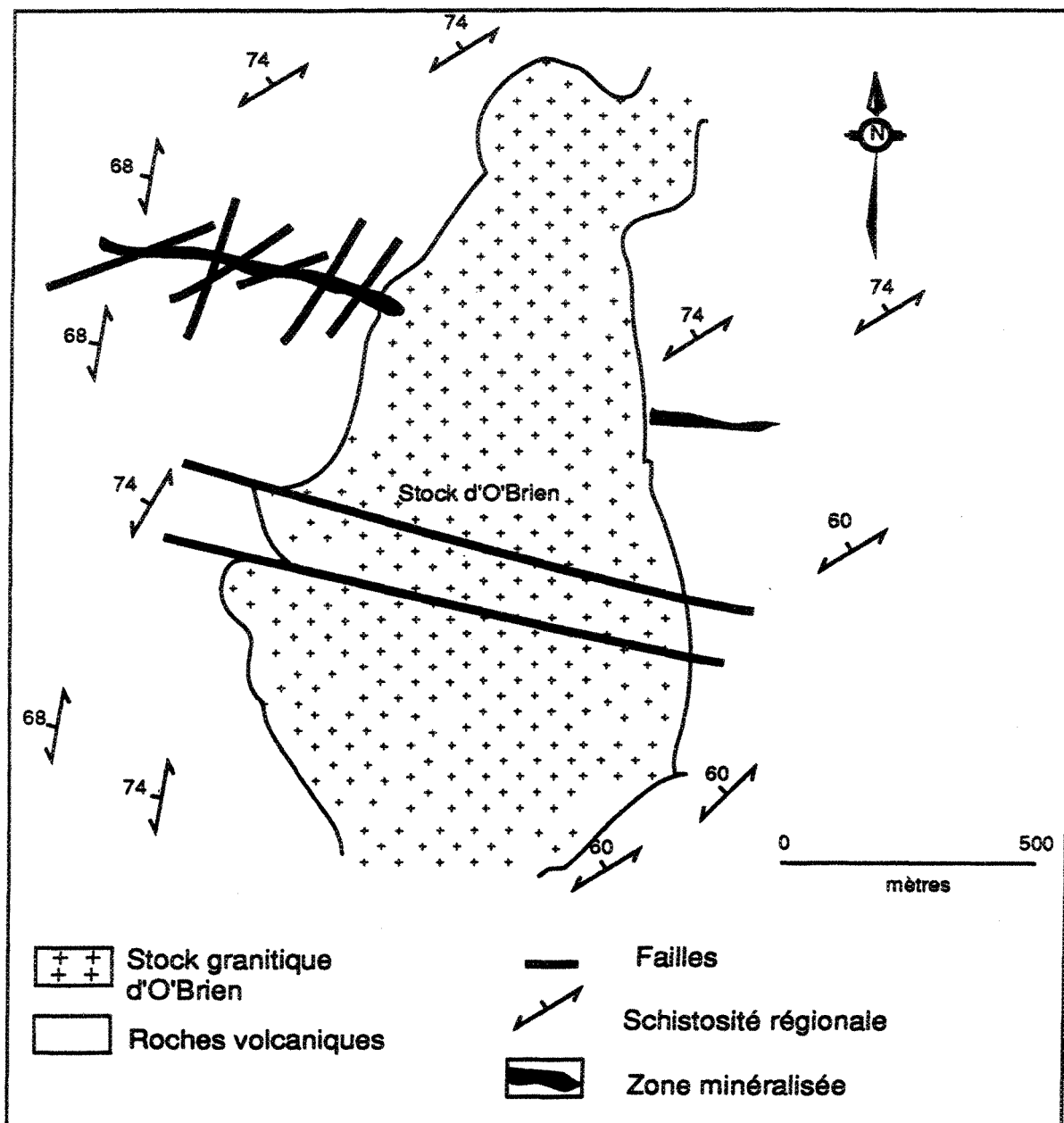


Figure 9. Carte géologique de la zone minéralisée au Lac Bachelor, recoupant la schistosité régionale et une partie de l'intrusif granitique polyphasé d'O'Brien (modifié d'après Lauzière, 1988).

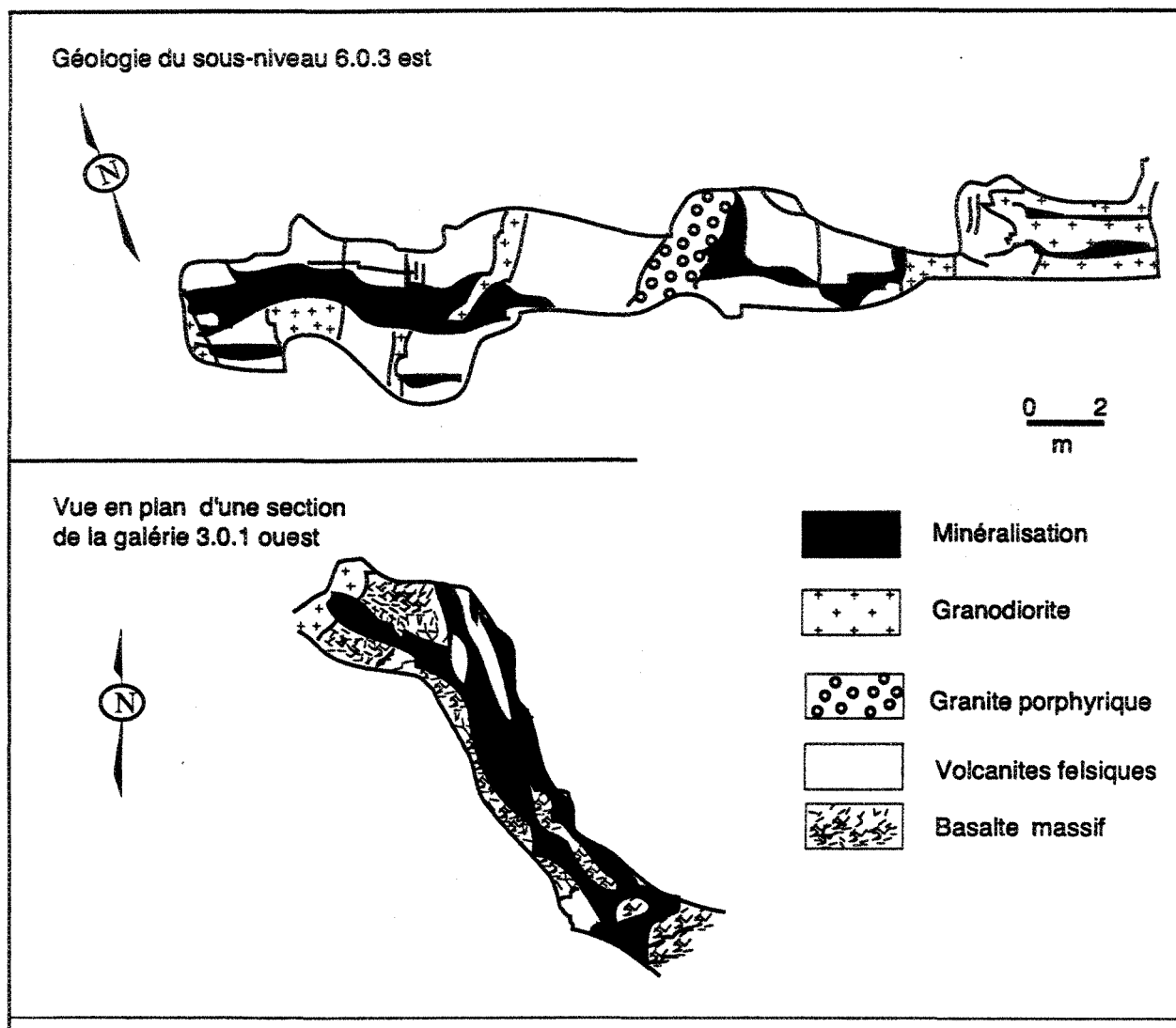


Fig. 10. Géologie de la zone minéralisée de la mine du Lac Bachelor (d'après Lauzière, 1989).

Planche 3

A- Minéralisation massive au Lac Bachelor distribuée dans un système de stockwerk de veinules de quartz

B- Brèche à matrice de quartz laiteux et enfumé comprenant de fragments anguleux de volcanites altérées en pyrite, hématite et carbonates.

C- Photomicrographie d'une brèche à ciment de chlorite, fluorite et carbonates à fragments très anguleux (lumière transmise naturelle). Largeur de la photo: 3 mm.

Planche 3



C

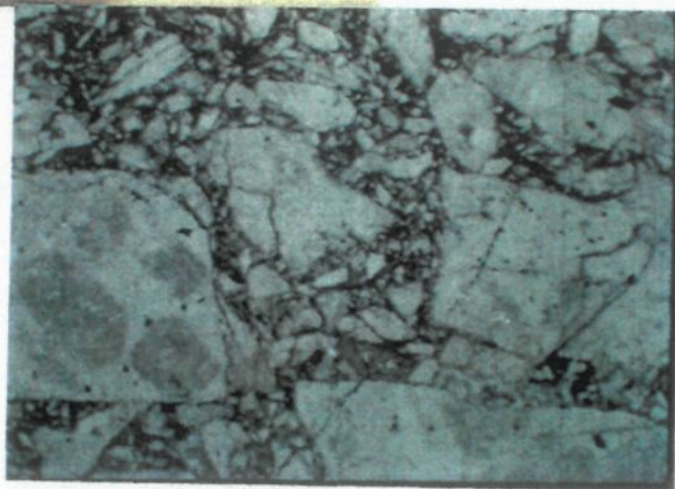


Planche 4

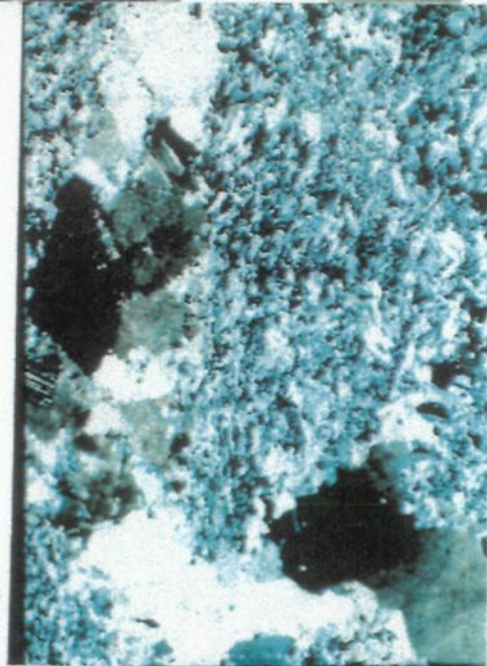
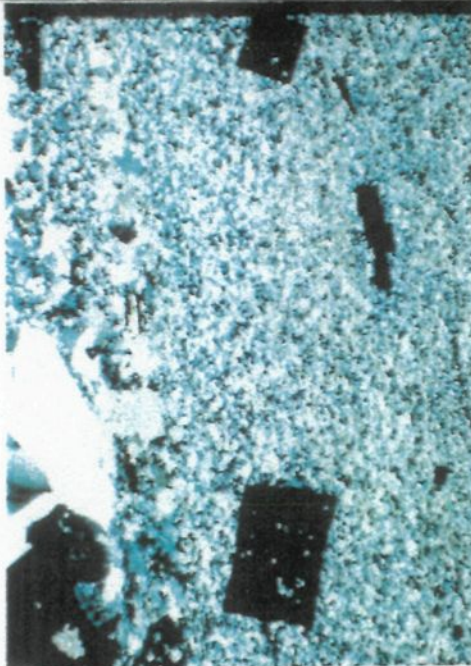
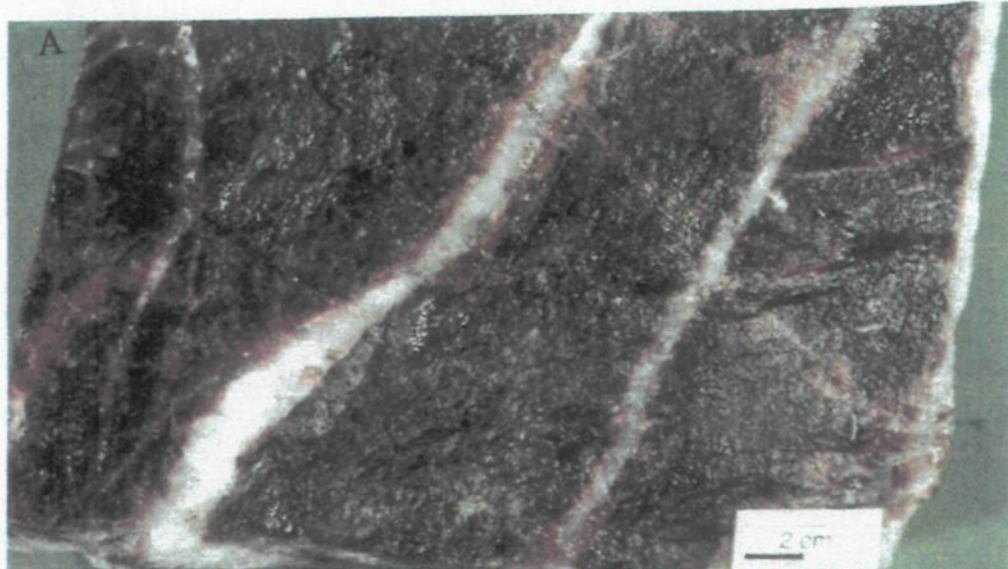
A- Minéralisation typique de la mine du Lac Bachelor distribuée dans un système de stockwerk de veinules de quartz. Notez l'altération en hématite et en pyrite dans les épontes du granite.

B- Photomicrographie de la zone séricitique d'assemblage séricite-quartz-pyrite et magnétite (largeur de la photo: 0,32 mm).

C- Photomicrographie de la zone potassique d'assemblage feldspaths potassiques-hématite-pyrite-ankérite et calcite (largeur de la photo: 0,32 mm).

D- Echantillon provenant de la Veine A secondaire où la minéralisation est comprise dans des veinules de quartz accompagné par la fluorine.

Planche 4



de la zone minéralisée et de ses épontes. La roche encaissante autour du stock est caractérisée par la présence des minéraux correspondant au faciès métamorphique amphibolite inférieur qui superpose les minéraux de l'assemblage métamorphique régional, soit au faciès schiste vert. L'or est contenu dans les zones séricitiques (d'assemblage séricite-quartz-pyrite-magnétite) et potassiques (d'assemblage feldspaths potassiques-hématite-pyrite-ankérite et calcite; -planches 4-B, 4-C).

Une veine minéralisée secondaire, la Veine A, recoupe la Zone principale. La minéralisation se présente soit en veinules de quartz (planche 4-D) souvent accompagné par la fluorine, ou disséminée dans des roches qui ont subi une carbonatation, une pyritisation et un métasomatisme potassique.

2.4.5 Géométrie générale des éléments structuraux

Dans la mine du Lac Bachelor, les éléments majeurs de déformation sont reliés à plusieurs systèmes de failles à caractère fragile à fragile-ductile qui recoupent la schistosité régionale et la zone minéralisée (voir fig. 8).

Les principaux cisaillements de direction NE-SO, quoiqu'ils recoupent la zone minéralisée, sont affectés par les mêmes assemblages d'altération que cette dernière, ce qui indique la possibilité que ces deux événements soient péné-contemporains (Lauzière, 1988). Ces cisaillements reflètent largement la même orientation que les grandes failles régionales d'Opawica et de Wachigabau, suggérant encore un possible synchronisme.

Ce même auteur suggère que la mise en place de l'intrusif d'O'Brien n'a pas occasionné ces cisaillements et que la zone minéralisée, des cisaillements secondaires et certaines failles transversales pourront possiblement être subsidiaires au cisaillement principal d'orientation E-O à NE-SO.

2.5 Indices minéralisés

Dans la région du Lac Shortt, plusieurs indices minéralisés (voir la fig. 2) ont fait l'objet d'une étude de reconnaissance (Brisson, 1988a,b). Ces travaux sur les indices résumés aux tableaux 2 et 3 ont permis d'identifier les différentes roches hôtes de la minéralisation aurifère, les divers types d'altération ainsi que les éléments structuraux associés à cette minéralisation au Lac Shortt.

Ces résultats préliminaires indiquent que les roches hôtes de la minéralisation sont très variées: des laves de composition mafique et intermédiaire, des volcanoclastites, des roches sédimentaires terrigènes et des intrusifs mafiques et felsiques. L'or se retrouve dans des veines pyriteuses ainsi que dans la roche altérée carbonatisée et pyritisée.

Il faut remarquer que la minéralisation est souvent associée à des structures de directions E, NO et NNE. Cependant, les relations qui existent entre ces structures, qui existent dans des couloirs de déformation dont les orientations et les déplacements cinématiques varient, sont encore irrésolues.

2.6 Chronologie relative de la mise en place de la minéralisation à la région du Lac Shortt

Selon Chown *et al.*, (1992), des données détaillées des relations structurales et de textures dans la Zone Volcanique du Nord (ZVN) indiquent que la déformation principale régionale correspond à une compression majeure responsable pour des systèmes de failles d'orientation est-ouest.

Les âges radiométriques U-Pb pour les centres felsiques volcaniques encadrent l'évolution tectonique de la ZVN entre 2730 et 2690 Ma. Des données isotopiques de strontium, néodyme et de plomb établissent une relation génétique intime entre les magmas carbonatitiques et syénitiques (Tilton et Bell, 1994). Ce co-magmatisme correspond à l'âge de 2680 Ma et par conséquent plus jeune que la déformation majeur.

Les données provenant de plusieurs études (Morasse, 1988; Lauzière, 1989 et Prud'Homme, 1990) font coïncider la minéralisation avec la mise en place des intrusifs syn- à tardi-tectoniques.

INDICE	ROCHES ENCAISSANTES
Savane	Basalte (massif)
Relique	Basaltes (massifs, coussinés et bréchiques); interlités par des tufs à silice;
Butte	Laves massives et bréchiques rhyodacitiques à rhyolitiques;
Espoir	Volcanites felsiques;
Mariposite	Sédiments polymictes: conglomérats volcanogènes, grès, siltstones et mudstones;
SE Lac Shortt	Pyroclastites polymictes: brèches , tufs à brèches, à lapillis;
NW Lac Shortt	Gabbros, basaltes interstratifiés avec des tufs à silice, dykes de diorite porphyrique;
Ile Opawica	Gabbros, dykes de diorite porphyrique, syénite très silicifiée;

Tableau 2: Indices minéralisés et les roches encaissantes des minéralisations aurifères dans le secteur du Lac Shortt (modifié après Brisson et Guha, 1988).

Indices	Roches encaissantes	Minéraux d'altération	Coulir de déformation	
			Direction	Mouvement
Savane	laves mafiques	carbonates, pyrite	Est	senestre-décrochant
Relique	laves mafiques	carbonates, pyrite	Est	dextre-oblique
Butte	laves mafiques	carbonates, pyrite, quartz	indét.	indét.
Espoir	volcanites felsiques	carbonates	indét.	indét.
Mariposite	roches sédimentaires terrigènes	carbonates, séricite, chlorite, fuchsite, pyrite	Est	indét.
SE Lac Shortt	pyroclastites	carbonates, pyrite	N-NW	indét.
NW Lac Shortt	gabbro, basaltes	carbonates, pyrite, hématite	Nord	normal-senestre
Île d'Opawica	gabbros, diorite	carbonates, chlorite, quartz, séricite, fuchsite, pyrite	Est N-W N-NE	indét. indét. dextre-oblique

Tableau 3: Synthèse des contextes de la minéralisation aurifère des indices minéralisés dans le secteur du Lac Shortt (modifié après Brisson et Guha, 1988b).

CHAPITRE 3 - PÉTROGRAPHIE, CLASSIFICATION ET CARACTÉRISATION DES INCLUSIONS FLUIDES ET FONDUES-FLUIDES

3.1 Introduction

Dans le but de déterminer avec un certain degré de certitude la nature des fluides minéralisants, on a procédé à plusieurs techniques analytiques des échantillons prélevés. D'abord on discutera les critères d'échantillonnage et les conventions qui ont régi le choix du matériel.

3.2 Critères d'échantillonnage

Il est à peine besoin de faire remarquer l'importance de l'étape d'échantillonnage préalable à toute étude axée sur les inclusions fluides. Étant donné que l'échantillon devrait être représentatif des épisodes de minéralisation et d'altération et posséder une qualité optique convenable à l'étude microthermométrie, le choix du matériel a été fondé sur les prémisses suivantes:

a) Basée sur des études préalables de la structure, la pétrologie et la minéralisation de **chaque** gisement et indice minéralisé, l'étude a porté d'abord

- 1) sur des veines et leurs épontes contemporaines (soit spatialement ou temporellement) avec l'or et la minéralisation de pyrite;
- 2) sur des phases de minéraux déterminées dans la paragenèse (pré-, syn- et post-minéralisation);
- 3) sur des veines de différentes orientations ayant subi divers degrés de déformation;
- 4) sur des phases de minéraux d'altération dans divers faciès métasomatiques;
- 5) sur des phases (minéralisées ou non) qui représentent les différentes unités lithologiques dans ou près des gisements;

Nous avons fait attention tout particulièrement de distinguer entre la minéralisation associée aux veines de quartz et la minéralisation où les veines de carbonates et non pas de quartz prédominent.

b) Nous avons parcouru tout matériel contenant des inclusions fluides pour une investigation menée de manière complète. D'après de nombreuses études, parmi les plus récentes de Perring *et al.*, 1991 et Cameron, 1993, l'or aurait probablement été mis en place lors du pic de métamorphisme par des fluides tardifs. Donc, dans la littérature, le matériel le moins déformé et le plus transparent possible est favorisé afin d'augmenter la possibilité de trouver des inclusions fluides primaires. Ceci reste encore discutable.

Aucun consensus existe sur le moment de l'introduction de l'or dans des systèmes archéens. Cependant, la plupart des études montrent que l'or est tardif surtout dans les niveaux plus élevés des zones de failles. Or, l'approche la plus logique serait d'identifier les inclusions et de les relier à des processus spécifiques. Dans une telle optique, les inclusions fluides de caractère secondaire s'avèrent plus importantes dans l'ensemble des résultats analytiques.

Nous avons procédé à des essais sur le matériel recristallisé pourvu que

- 1) le caractère optique des inclusions fluides qui persistent (qui n'ont pas subi de décrépitation) le permettait, et
- 2) la possible chronologie des différents régimes pouvait être déduite par la géométrie, la distribution et les caractéristiques des inclusions.

La description générale et la localisation des échantillons sont données dans l'annexe A (tableaux A-1 à A-6).

3.3 Pétrographie et classification des inclusions fluides

Dans la région de Lac Shortt, la plupart des inclusions fluides observées dans le quartz, la calcite et la fluorine démontrent une distribution et une géométrie très complexes. On remarque rarement la présence d'une seule génération ou un seul régime par échantillon. Cette complexité rend difficile la discrimination des populations individuelles à partir des relations pétrographiques à température ambiante. Par conséquent, on a dû structurer

pétrographiques à température ambiante. Par conséquent, on a dû structurer une classification en se basant sur des caractéristiques pétrographiques et des compositions déterminées par des essais microthermométriques.

Suite à une analyse pétrographique détaillée, les mesures étaient effectuées, d'une part à l'aide de la platine réfrigérante-chauffante "gas-flow" du U.S.G.S. (annexe B) ce qui a permis une détermination assez précise des changements de phase selon des cycles thermiques et applicable aux très petites inclusions, et d'autre part avec une platine chauffante Leitz 1450 pour analyser les inclusions fluides-fondues et fondues (magmatiques) dont les résultats seront discutés plus tard.

Nous avons utilisé les critères classiques de distinction génétique des inclusions (Roedder, 1984]) basés sur la morphologie des inclusions, leur emplacement, leur distribution, leur géométrie, leur caractère d'inclusions isolées ou en groupes, etc.

On reconnaît quatre types d'inclusions fluides basés sur les proportions relatives des phases à température ambiante ou à des températures sous-zéro (voir tableau 4):

Type 1: Ces inclusions sont aqueuses (H_2O -NaCl - faible salinité ou H_2O pur), riches en liquides, mono-phasées ou bi-phasées (2-5% vol. de vapeur) caractérisées par leur petites dimensions ($< 5-7\mu$), leur formes arrondies, plus ou moins automorphes, se produisant le plus souvent en traînées ou le long des fractures cicatrisées qui recoupent entièrement les grains (pl.5-A). Elles démontrent peu de perturbation, donc elles sont considérées comme étant non seulement secondaires mais tardives dans la séquence.

Type 2: Ces inclusions biphasées (10-20% vol. de vapeur) qui constituent la très grande majorité des inclusions présentes dans les différentes générations de quartz correspondent à des saumures (H_2O -NaCl - $MgCl_2?$, $-KCl?$, $CaCl_2?$) indiquées par la présence de un ou plusieurs minéraux fils, de formes variables: cubique, prismatique, arrondie ou aciculaire. Elles sont rarement monophasées (pl.5-B). Elles se produisent soit en traînées (pl.5-C)

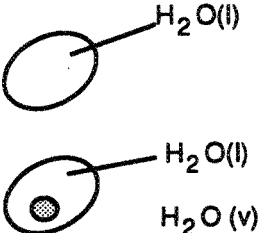
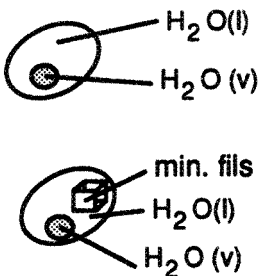
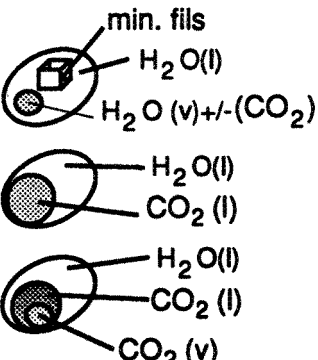
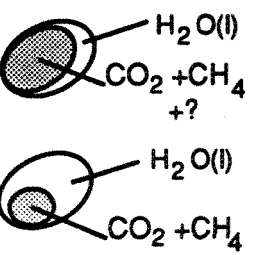
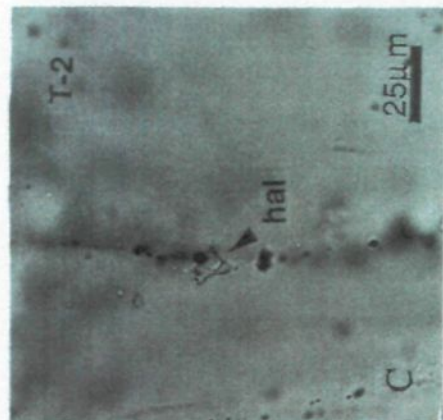
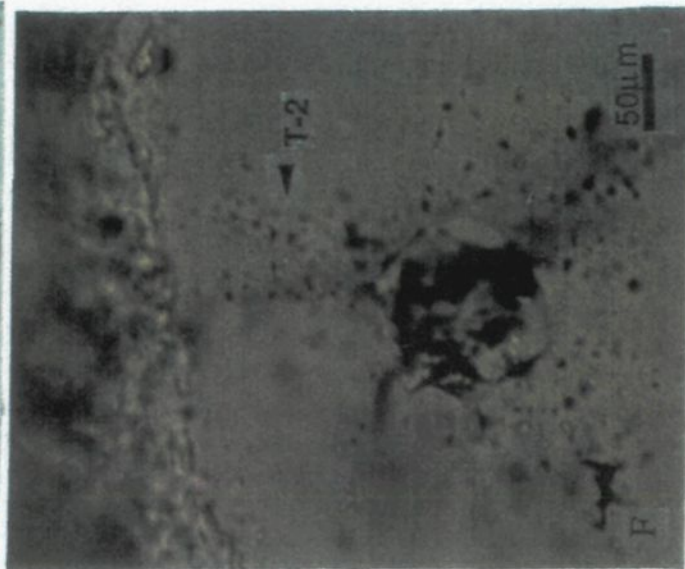
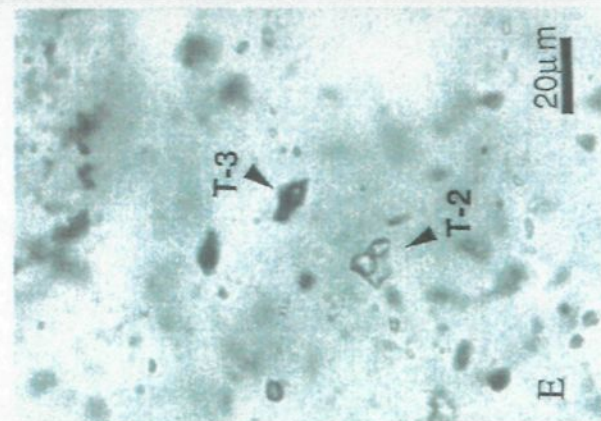
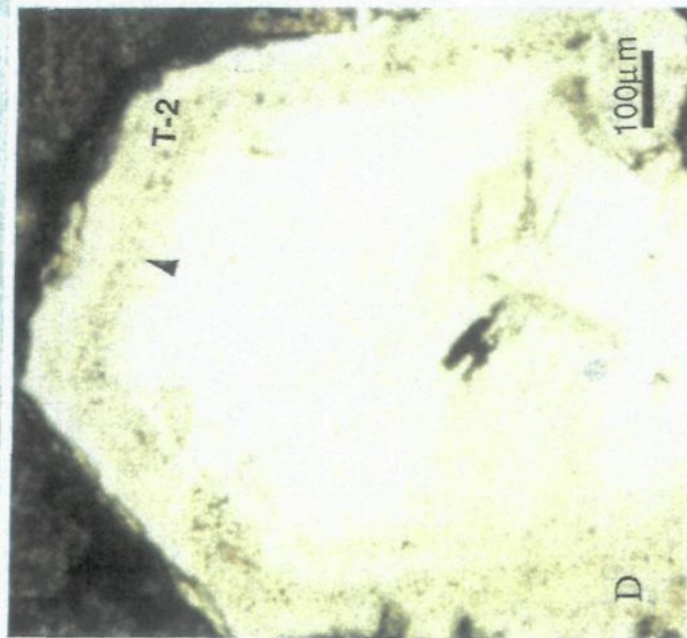
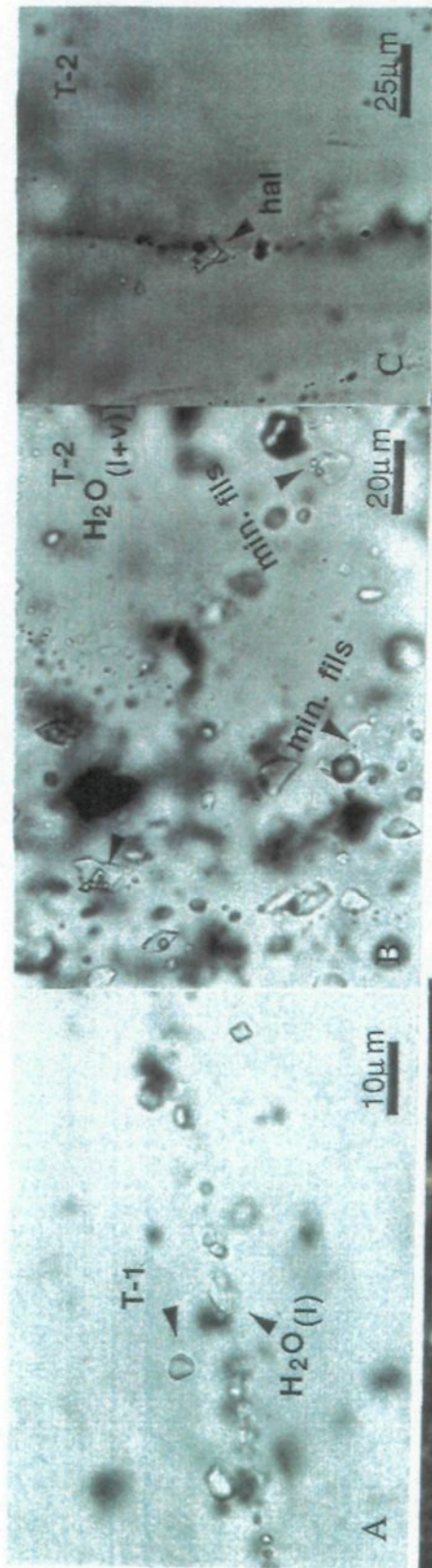
TYPE	COMPOSITION	DISTRIBUTION
1 	$\text{H}_2\text{O (l+v)}$	<i>aqueuses:</i> 5 à 7 μm , dans des traînées et fractures cicatrisées, recoupant les bordures des grains; salinité faible; (secondaires)
2 	$\text{H}_2\text{O (l)} + \text{H}_2\text{O (v)} +$ $\text{NaCl} + \text{KCl} +$ $\text{MgCl}_2 + \text{CaCl}_2$	<i>aqueuses:</i> 5 à 35 μm , dans des groupes planaires, ou isolées (primaires) traînées et fractures cicatrisées; secondaires et pseudo-secondaires; salinité modérée à élevée;
3 	$\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$ $+ \text{NaCl}$	<i>carboniques:</i> 8 à 30 μm , souvent isolées, en distributions aléatoires ou dans des regroupements aléatoires; pseudo-secondaires ou primaires dans des zones de croissance;
4 	$\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + (+\text{CH}_4 + \text{N}_2 + \text{H}_2\text{S})$ $\text{H}_2\text{O (l)} + \text{CO}_2 + \text{CH}_4 \text{ (l+v)}$	<i>carboniques:</i> 6 à 25 μm , groupes aléatoires, planaires ou en échelon; primaires, pseudo-secondaires; formes irrégulières, isolées;

Tableau 4. Résumé des différents types d'inclusions fluides, de leur composition et de leur distribution dans la région du Lac Shortt.

Planche 5

- A- Photomicrographie des inclusions fluides aqueuses du type 1 (T-1) qui se trouvent dans une traînée (donc secondaires d'origine) dans le quartz et qui sont pour la plupart monophasées.
- B- Photomicrographie des inclusions fluides aqueuses du type 2 (T-2) dans le quartz comprenant plusieurs minéraux fils (cubiques: halite?; arrondis: sylvite?, et aciculaires: nahcolite?) montrant des proportions variables de H₂O vapeur.
- C- Photomicrographie d'une traînée d'inclusions fluides aqueuses du type 2 (T-2) dans le quartz avec un cristal de halite.
- D- Photomicrographie des inclusions fluides aqueuses du type 2 (T-2) dans le quartz qui se trouvent dans des zones de croissance d'un cristal de quartz.
- E- Photomicrographie des inclusions fluides aqueuses du type 2 (T-2) coplanaires avec des inclusions carboniques du type 3 (T-3) dans le quartz.
- F- Photomicrographie d'une inclusion fondue-fluide montrant des inclusions T-2 en distribution radiale autour de l'inclusion.

Planche 5



traversant les bordures des grains (secondaires), le long des surfaces ou zones de croissance des cristaux ou contrôlées cristallographiquement (pl.5-D), dans les mêmes plans cristallographiques ou les mêmes plans cicatriciels pseudosecondaires (anciennes fractures) que les inclusions du type 3 ($\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{NaCl}$) (pl.5-E), ou en distribution radiale autour des inclusions fondues (primaires) (pl.5-F). Elles ont des formes tabulaires à très irrégulières, souvent aplaties et varient de 5 à 35 μ .

Type 3: Ces inclusions sont des assemblages de $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{NaCl}$ avec des proportions ou rapports des phases variables: riches en liquide, biphasées (pl.6-A), riches en vapeur, biphasées (pl.6-B) ou polyphasées (CO_2 liq. + vap.)- (pl.6-C), et riches en CO_2 avec un ou plusieurs minéraux fils (pl.6-D). Presque toutes les inclusions se produisent en groupes planaires ou tri-dimensionnels dans des zones de croissance, bien que souvent elles sont isolées au sein du quartz ou font partie d'un groupe plutôt aléatoire (caractéristiques primaires) (pl.6-E). Elles sont grandes (de 8-30 μ) et isométriques, et peuvent se produire dans des traces qui aboutissent visiblement dans le cristal (pseudo-secondaires)- (pl.6-F).

Type 4: Ce dernier groupe d'inclusions inclut des assemblages de $\text{CO}_2-\text{H}_2\text{O}-\text{CH}_4$ (+ $\text{N}_2?$, + $\text{H}_2\text{S}?$) avec des rapports variables des phases: riches en vapeur à une phase apparente (pl.7-A) et riches en liquide et CO_2-CH_4 liq. + vap. (pl.7-B). Elles se présentent en regroupements avec une orientation qui suit des faces cristallographiques, et elles sont grandes (>15 μ), aplaties et irrégulières ou plus petites (6-12 μ), tabulaires et idiomorphes. Ces inclusions peuvent aussi se produire dans des traînées imparfaitement définies et démontrent une abondance importante dans les grains (pl.7-C). On peut les trouver en co-existence avec des inclusions du type 2.

Planche 6

A- Photomicrographie d'une inclusion fluide carbonique biphasée du type 3 (T-3: $(\text{H}_2\text{O}_l + \text{H}_2\text{O}_v + \text{CO}_2)_l$) isolée dans le quartz.

B- Photomicrographie des inclusions fluides carboniques T-3 biphasées riches en vapeur.

C- Photomicrographie des inclusions fluides T-3 de trois phases: $(\text{H}_2\text{O}_l + \text{CO}_2_l + \text{CO}_2_v)$.

D- Photomicrographie d'une inclusion fluide carbonique biphasée du type 3 (T-3: $(\text{H}_2\text{O}_l + \text{H}_2\text{O}_v + \text{CO}_2)_l$) isolée dans le quartz avec un minéral fils aciculaire.

E- Photomicrographie des inclusions fluides aqueuses T-3 dans le quartz distribuées de façon aléatoire et des morphologies isométriques (caractéristiques primaires).

F- Photomicrographie des inclusions T-3 dans des traînées pseudo-secondaires qui aboutissent clairement dans le cristal.

Planche 6

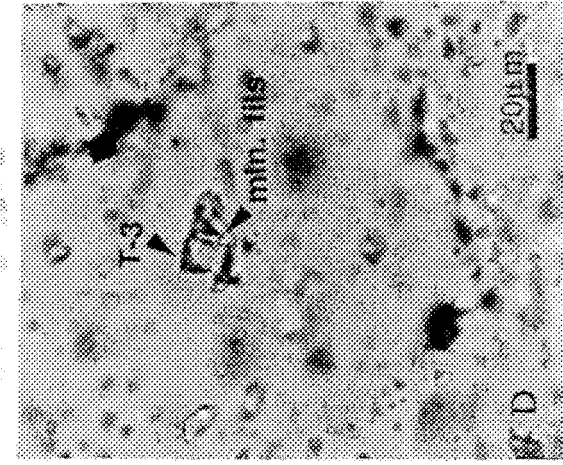
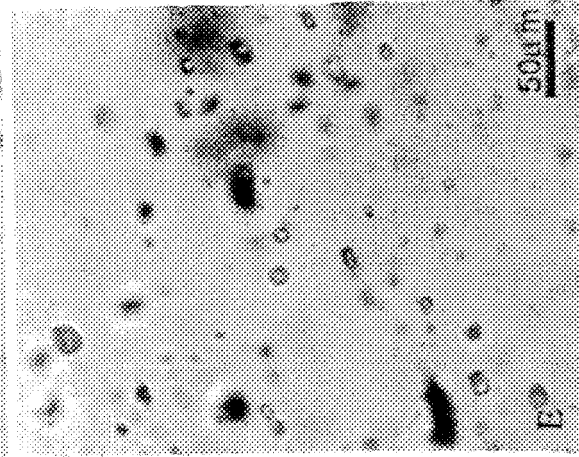
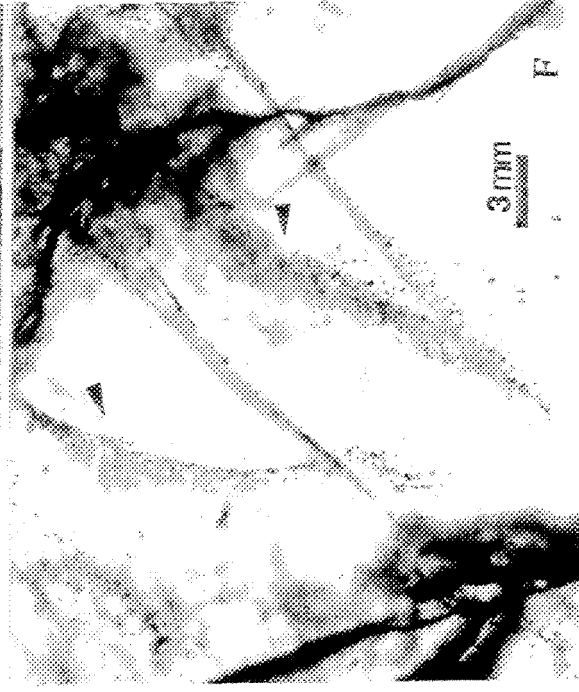
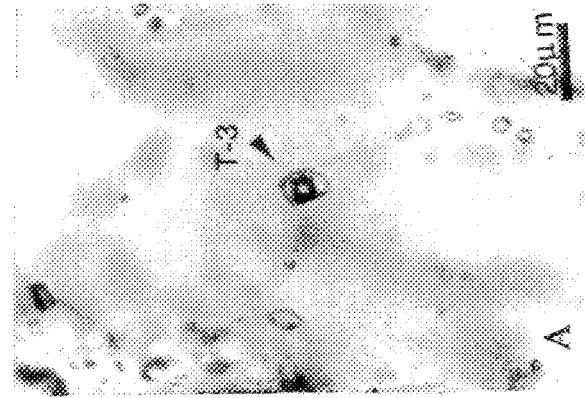
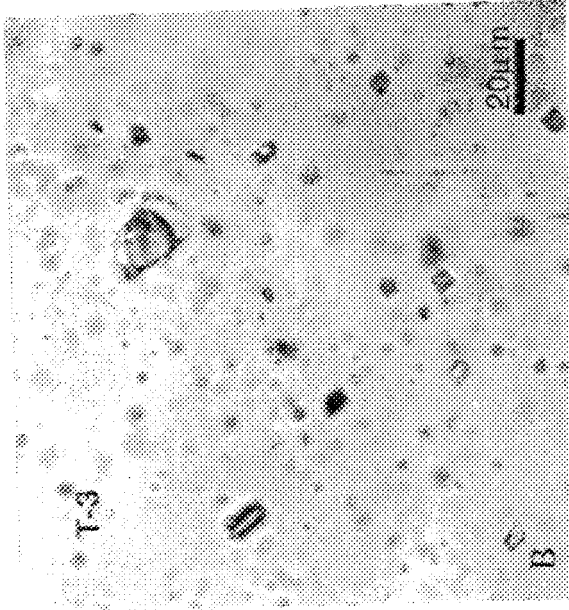
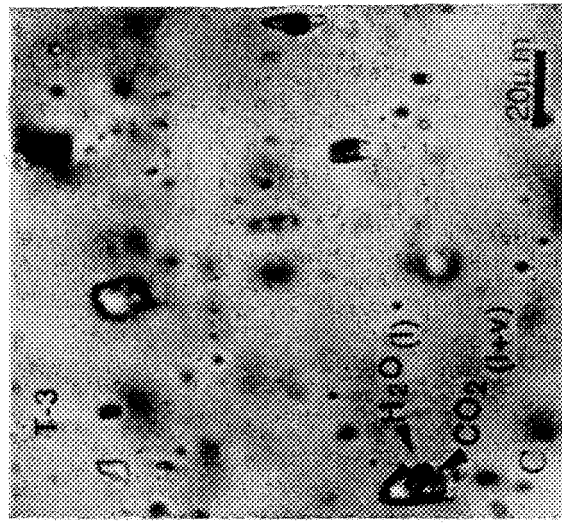


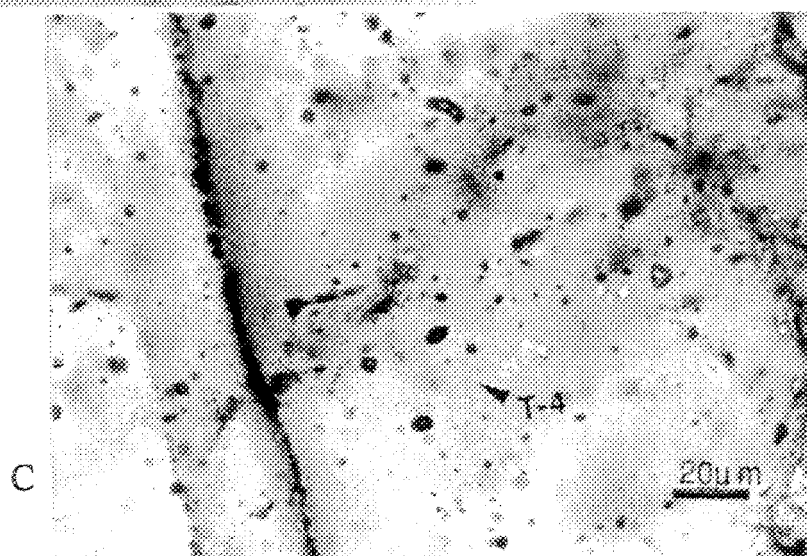
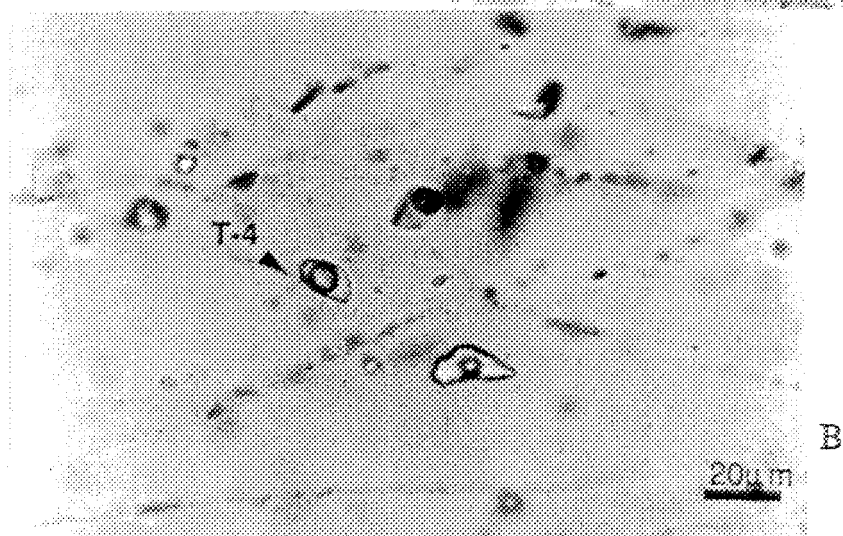
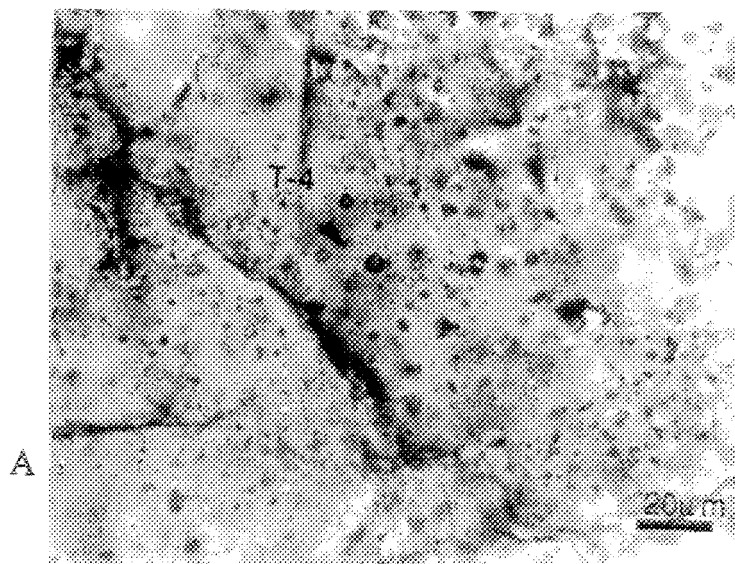
Planche 7

A- Photomicrographie des inclusions fluides carboniques monophasées type 4 (T-4: $(\text{CO}_2\text{-H}_2\text{O-CH}_4 \pm \text{N}_2 \pm \text{H}_2\text{S})$ en distribution planaire dans le quartz.

B- Photomicrographie des inclusions fluides carboniques T-4 biphasées riches en vapeur ($\text{CO}_2\text{-CH}_4 \text{ l+v}$).

C- Photomicrographie des inclusions fluides carboniques T-4 monopha de formes arrondies en distribution planaire.

Planche 7



3.4 Caractérisation des inclusions fluides de la région du Lac Shortt

3.4.1 Introduction

Le contenu de cette partie fait appel à des travaux qui schématisent les relations chronologiques et spatiales existant entre les différents épisodes de mise en place des intrusifs, les paragénèses métallogéniques, les altérations et les événements successifs de déformation. Selon les résultats qui ressortent de ces études, notre investigation des fluides s'est circonscrite aux lithologies représentatives de ces différents phénomènes.

3.4.2 Caractérisation des inclusions fluides à la mine Lac Shortt, dans la carbonatite et les indices minéralisés

Le minerai de plus forte teneur se trouve dans les extrémités est et ouest de la mine (Morasse, 1988), et se présente comme une mylonite rouge à fragments de syénite et de roche mafique dans une matrice pyritisée, hématisée et carbonatée. Des observations de terrain indiquent deux styles de minéralisation prédominants, soit disséminée dans les fragments de syénite (régime de déformation ductile-fragile), ou en veines de quartz-calcite (déformation fragile).

À l'est de la mine, la zone minéralisée est étayée à la faille du Lac Shortt, et il y a peu de silicification tandis qu'à l'ouest, (selon Prud'Homme, 1990) une multitude de dykes de syénite sont localisés à proximité de la faille. La syénite se présente aussi comme des fragments millimétriques ou centimétriques dispersés dans des veines de quartz minéralisées. De plus, la carbonatite minéralisée existe sous la forme d'une intrusion principale, de dykes et de brèches formées avec des fragments de l'encaissant dans une matrice carbonatitique.

Les indices minéralisés avoisinants que nous avons résumés ci-haut démontrent une très grande variabilité lithologique ainsi que des styles de minéralisation très diversifiés.

Mine de Lac Shortt, secteur est:

La déformation s'exprime par une forte mylonitisation. La pyrite disséminée est associée avec des fragments bréchiques qui ont subi un métasomatisme potassique et le degré de silicification est faible à nul. Des 72 inclusions fluides analysées dans 14 lames minces doublement polies, à peu près 78% sont pseudo-secondaires/primaires du type 2 (pl. 8-A), dans des veinules précoces de calcite; elles sont distribuées de manière aléatoire, peu abondantes, et des groupes résultant de la décrépitation ou éclatement sont fréquents (pl. 8-B). Les dimensions s'étalent entre 4-7 μ , presque toujours à deux phases (liquide et vapeur <10%), mais elles peuvent aussi contenir un minéral fils arrondi. Plus en profondeur, dans les veinules de quartz et de carbonates tardives associées à la galène, on distingue des inclusions carboniques secondaires du type 4 qui se produisent en fractures cicatrisées avec >60% vol. de CO₂ liq. (pl.8-C).

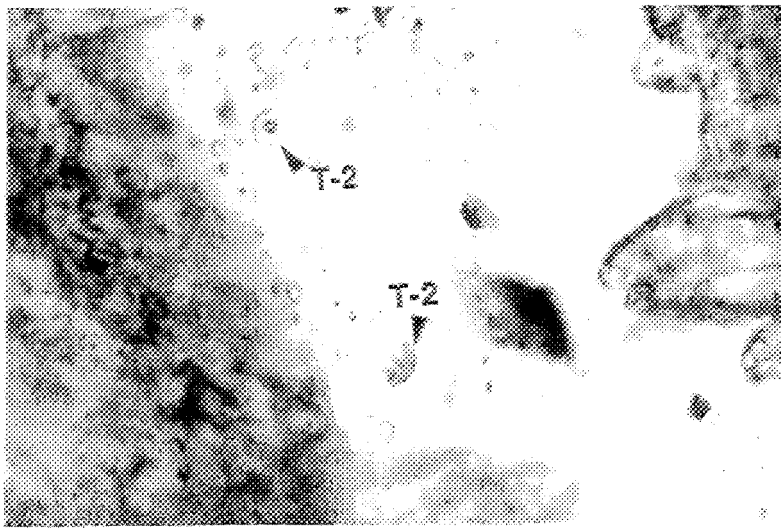
Mine Lac Shortt, secteur ouest

La minéralisation s'y présente soit dans des fragments de syénite hématitisés ou dans des veines de quartz laiteux et translucide et l'or visible, parfois associé à la pyrite, se trouve dans des plages de quartz cataclasé (pl.9-A). Les veines montrent divers degrés de déformation, des grains de quartz laiteux allongés où la charge d'inclusions est notable, entourés par du quartz recristallisé, cataclasé et disposé en texture de mortier, où peu d'inclusions très petites survivent, et ces inclusions sont distribuées en bordures (pl.9-B). Les inclusions analysées (276) dans 18 lames minces doublement polies sont petites (4-10 μ) et varient en composition et distribution. À peu près la moitié des inclusions sont du type 2 et elles se trouvent en relation spatiale avec des inclusions des types 3 et 4 en groupes planaires ou en trois dimensions, elles sont polymorphes, irrégulières et peuvent contenir des minéraux fils cubiques ou aciculaires anisotropes (pl.9-C). Les inclusions des types 3 et 4 sont plus isométriques et montrent des rapports variables de phases, où le volume de CO₂ (liq.+vap) varie de 15-75% (pl.9-D).

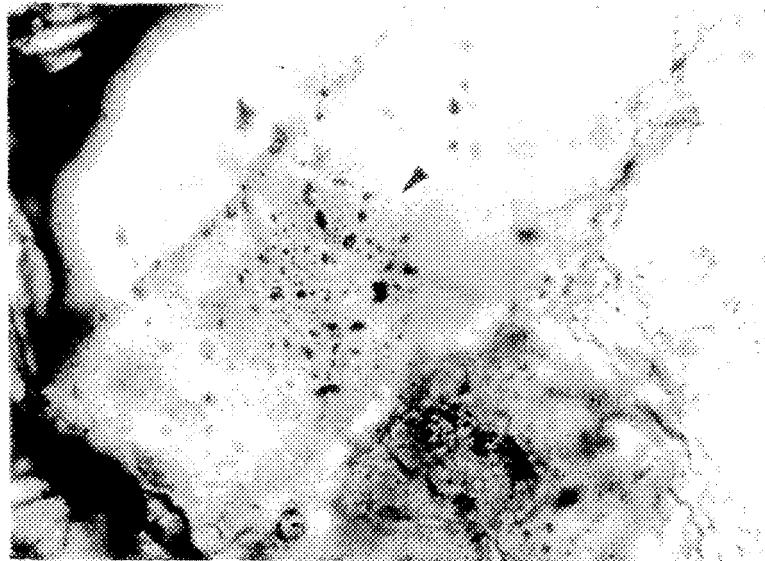
Planche 8

- A- Photomicrographie des inclusions fluides biphasées et polyphasées (avec un cristal de halite visible) du type 2 en distribution planaire dans une veinule de calcite associée à la minéralisation disséminée au Lac Shortt est.
- B- Photomicrographie des inclusions fluides dans un regroupement résultant de la décrépitation des inclusions précoces (*decrepitation cluster*).
- C- Photomicrographie des inclusions fluides carboniques T-4 monophasées de formes arrondies dans une fracture cicatrisée dans le quartz associé à la galène.

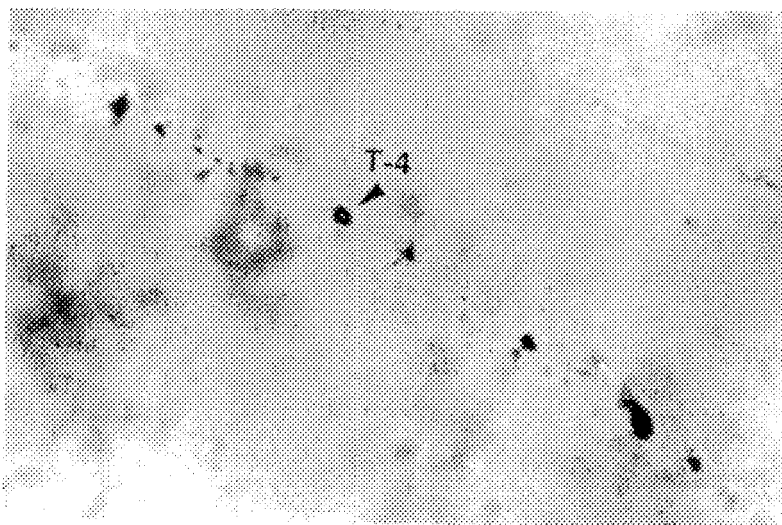
Planche 8



A



B

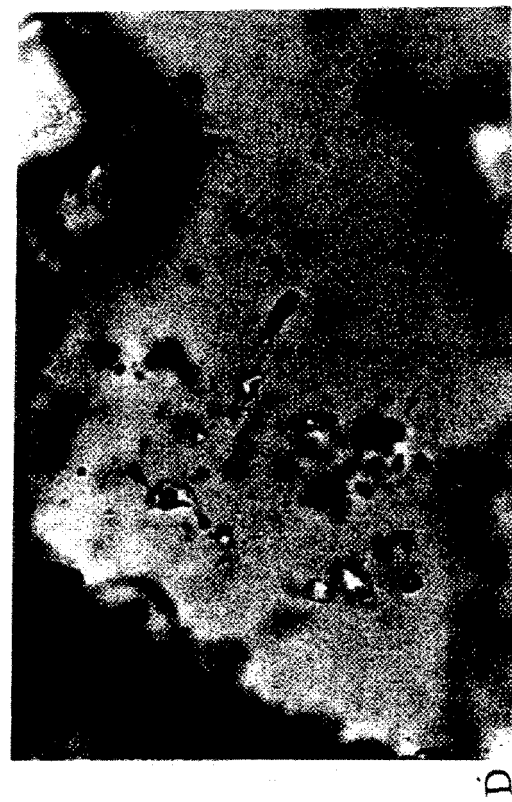
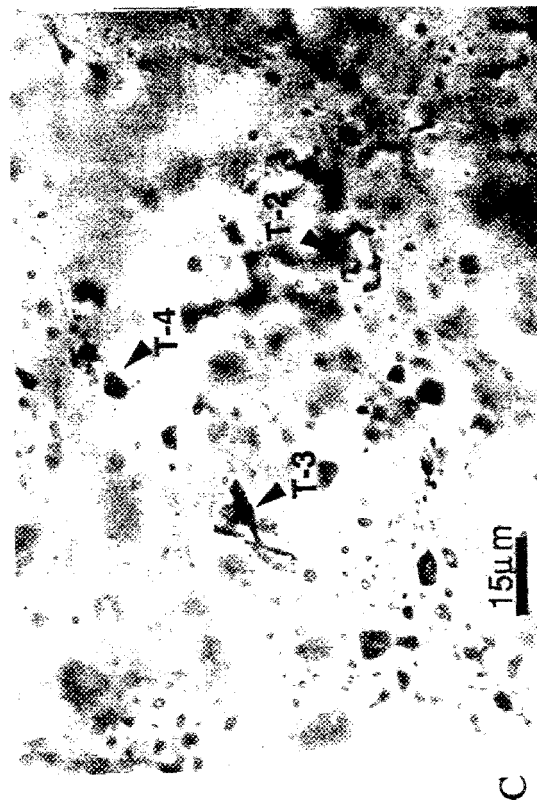
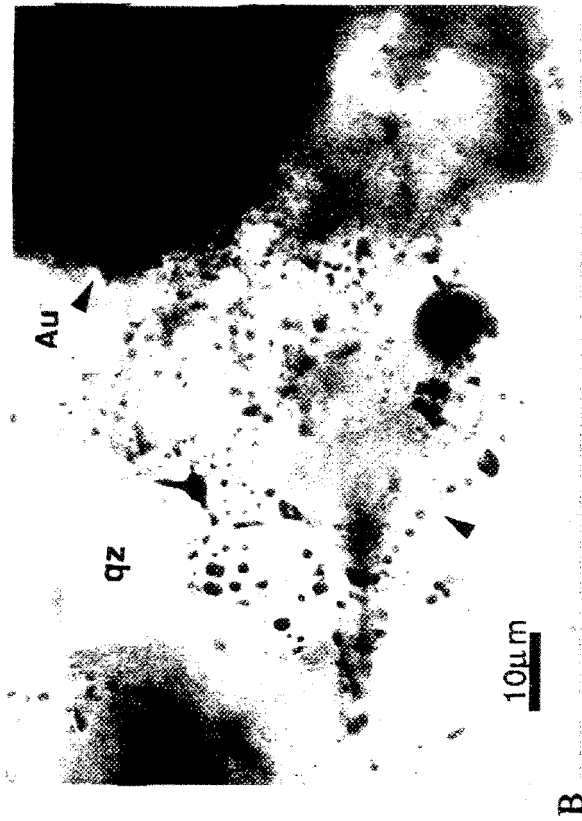


C

Planche 9

- A- Photomicrographie de l'or visible dans des plages de quartz translucide cataclasé typique de la minéralisation en veines de quartz au Lac Shortt ouest.
- B- Photomicrographie des inclusions fluides distribuées en bordures des grains de quartz qui survivent à la recristallisation et à la cataclase.
- C- Photomicrographie des inclusions fluides carboniques T-4 monophasées et T-3 polyphasées en distribution planaire tri-dimensionnelle avec des inclusions T-2 aqueuses polyphasées.
- D- Photomicrographie des inclusions fluides carboniques T-4 monophasées et T-3 biphasées isométriques montrant des rapports variables de phases.

Planche 9



La carbonatite

On a étudié 50 inclusions primaires et pseudosecondaires du type 2, biphasées (5% vol. vap.) dans les carbonates (calcite, dolomite, strontionite et ankérite). Les inclusions sont souvent isolées et parsemées, orientées selon les mâcles du cristal, et parfois contiennent des minéraux fils prismatiques et cubiques (pl.10-A). Plus en profondeur, on peut trouver des inclusions du type 4 (14 analysées), qui sont rares, très foncées, et qui montrent souvent des indices de fuite ou perte de phases volatiles (pl.10-B).

Les indices minéralisés (voir tableau 3)

Les indices minéralisés se divisent en deux groupes selon les styles de minéralisation soit disséminée ou dans des veines de quartz.

a) *Disséminée*: La syénite de l'Île d'Opawica est altérée (pyritisée, carbonatisée et hématitisée). Ces altérations sont associées à des inclusions primaires du type 2 qui sont très petites ($<6\mu$), biphasées (10 % vol. vap.), solitaires et elles ont des formes trapues, reflétant un peu la symétrie du quartz hôte (pl.11-A). On assiste à une distribution régulière des cavités miarolitiques avec des bordures automorphes des grains semi-corrodées avec des inclusions isolées (pl.11-B)

b) *En veines de quartz* peu déformées qui recoupent les gabbros. L'abondance des inclusions fluides secondaires des type 2 et 3 est très élevée en distribution planaire (pl.11-C). L'abondance relative des inclusions secondaires du type 4 augmente avec la pyritisation mais leur petite dimension ne permet pas des manipulations microthermométriques.

Des veines aurifères de carbonates et de quartz encaissées dans les volcanites felsiques sont caractérisées par une abondance d'inclusions primaires du type 3, biphasées, disposées en groupes tri-dimensionnels ou planaires (pl.12-A). Dans des veines plus déformées, l'abondance relative des inclusions polyphasées du type 4 augmente devenant plus polymorphes, riches en CO_2 ($>50\%$) et démontrant une orientation plus aléatoire (pl.12-B).

Planche 10

A- Photomicrographie des inclusions fluides T-2 primaires (isolées) et pseudosecondaires à phases variables dans la calcite provenant de la carbonatite du Lac Shortt.

B- Photomicrographie des inclusions fluides carboniques T-4 monophasées en distribution planaire tri-dimensionnelle avec des inclusions T-2 aqueuses polyphasées.

Planche 10

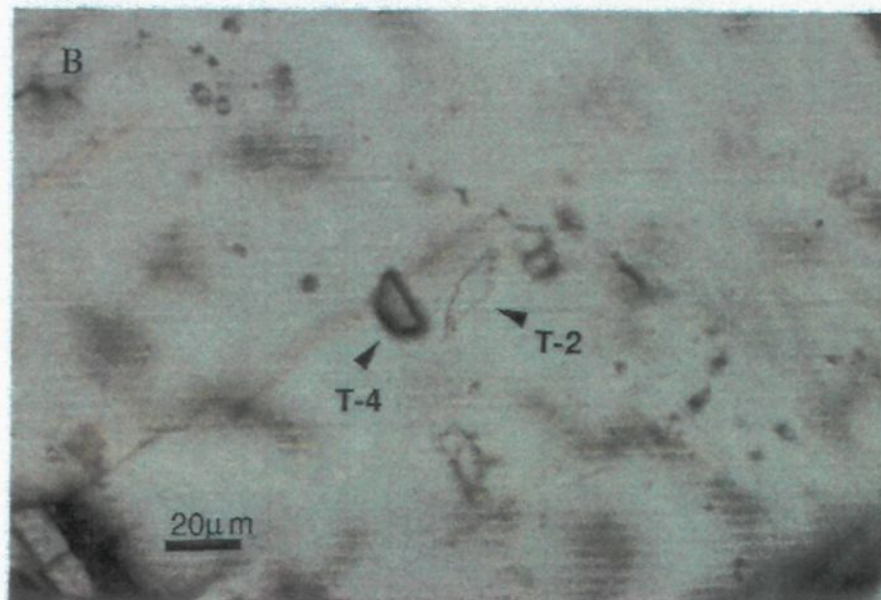
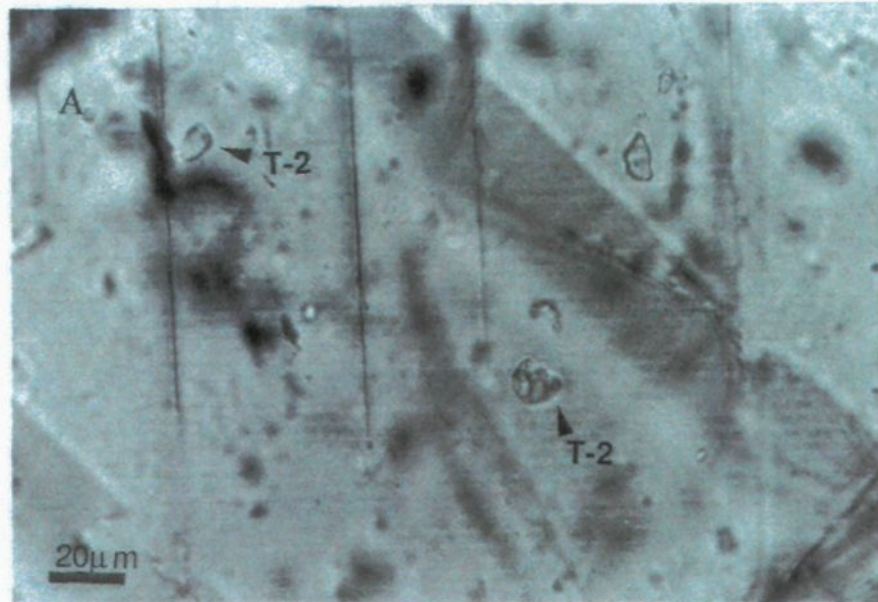
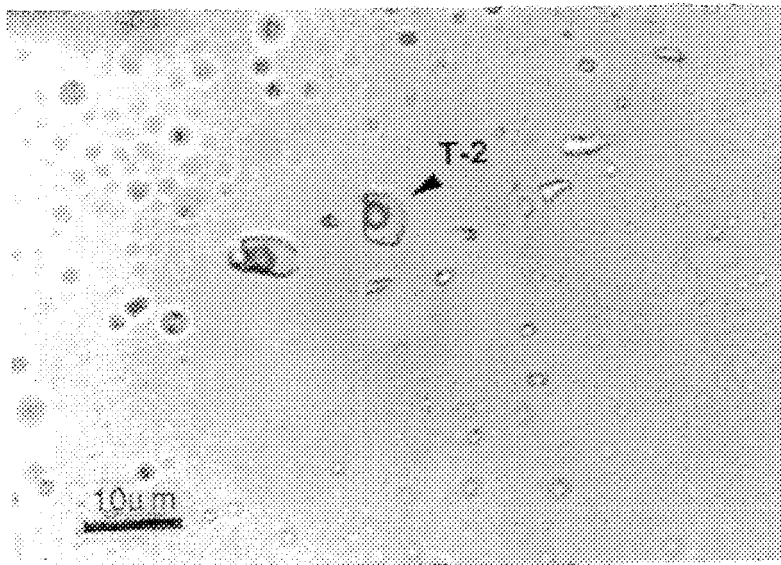


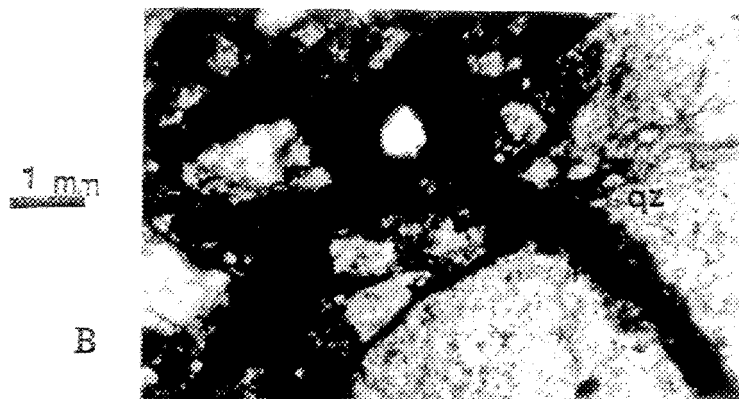
Planche 11

- A- Photomicrographie des inclusions fluides T-2 primaires (isolées) biphasées dans le quartz provenant de la syénite sur l'Île d'Opawica au Lac Shortt (Indices minéralisés).
- B- Photomicrographie d'une cavité miarolitique dans la syénite de l'île d'Opawica montrant un degré élevé de corrosion des bordures des grains de quartz.
- C- Photomicrographie des inclusions fluides T-4 primaires (isolées) biphasées dans le quartz des veines minéralisés des indices minéralisés. On remarque la présence des inclusions des différents types: T-3 et T-2.

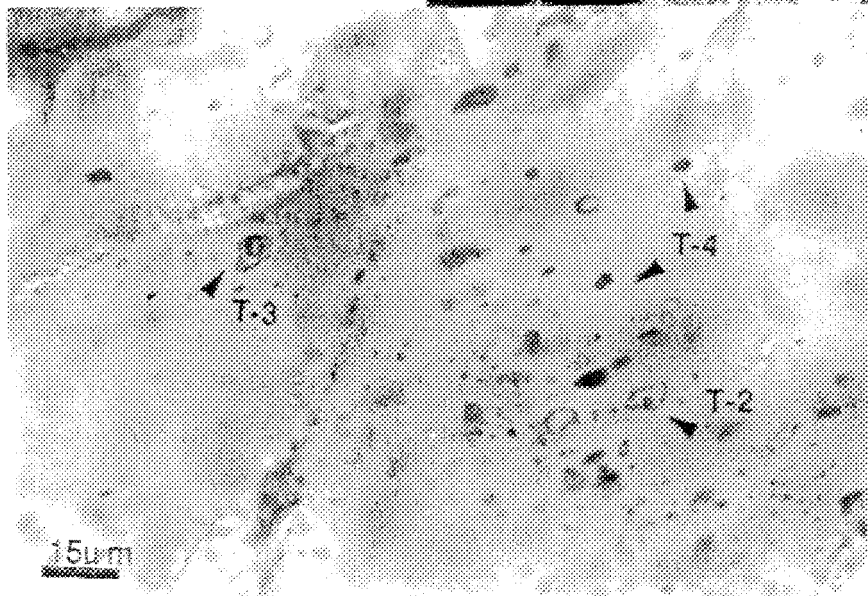
Planche 11



A



B



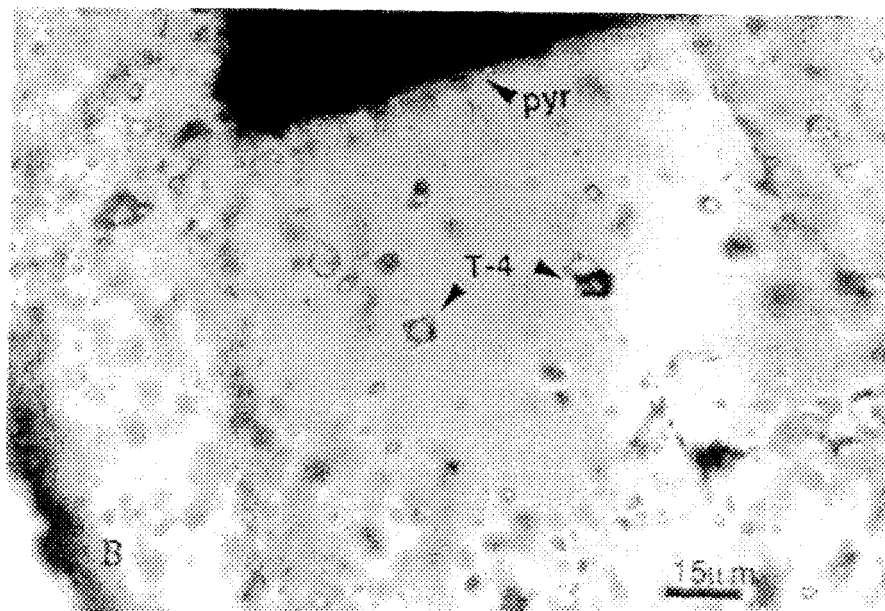
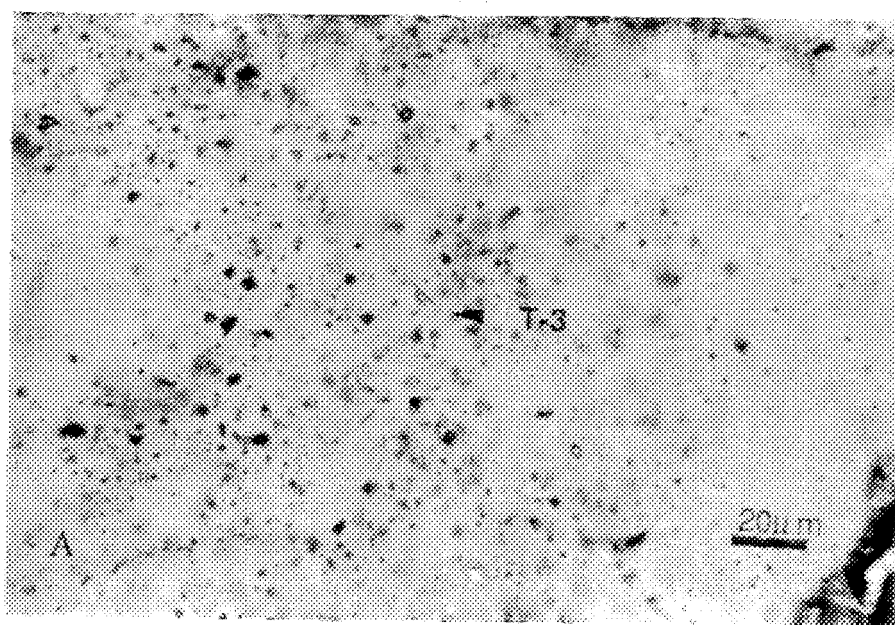
C

Planche 12

A- Photomicrographie des inclusions fluides T-3 primaires (isolées) triphasées dans le quartz des veines minéralisées des indices minéralisés au Lac Shortt.

B- Photomicrographie des inclusions fluides monophasées et bi-phasées T-4 polymorphes riches en CO₂ en association avec la pyrite en distribution aléatoire.

Planche 12



3.4.3 Caractérisation des inclusions fluides à la mine du Lac Bachelor

D'après l'étude de Lauzière (1988), la minéralisation s'inscrit dans un contexte qui relie des événements superposés: l'intrusion du stock d'O'Brien(avec des phases précoces et des granites porphyriques tardifs), la déformation ductile de cisaillement et la mise en place du minerai.

Les trois âges de minéralisation déterminés par le travail précédent, se traduisent chronologiquement par 1) la minéralisation massive et en stockwerk, qui ne contient pas de structures primaires (pl.13-A); 2) des brèches à matrice de quartz, avec des fragments qui montrent différentes phases de remplacement (pl.13-B); et 3) des veines de quartz qui recoupent les deux autres phases (pl.13-C). Comme dans le cas du gisement du Lac Shortt que nous avons déjà décrit, on s'en est tenu à des faciès représentatifs des phénomènes qui précèdent, accompagnent, ou post-datent la mise en place de la minéralisation: la Zone principale minéralisée, la Veine A secondaire et les phases pré-minéralisation, minéralisation, et post-minéralisation du gisement.

La Zone principale minéralisée

On a analysé des inclusions fluides dans les différents faciès de la zone principale. Dans des veinules de quartz laiteux et enfumé, les inclusions secondaires du type 2 sont très abondantes, sont grandes (22-26 μ) se trouvant dans des plans diagonaux échelonnés et qui traversent souvent les grains (pl.14-A). Les inclusions du type 3 sont plutôt isolées, plus petites (5-8 μ), peuvent contenir un minéral fils semi-arrondi, riches en CO₂, ou avec une bulle de 5-10% vol. qui se déplace, même parfois agitée. La minéralisation est associée avec la fluorine qui contient des inclusions du type 2 isolées et parfois grandes. Le quartz est plus déformé et cataclaté en texture de mortier autour des grains plus grossiers. Les veinules de quartz transparent sont toujours tardives et on y trouve soit des inclusions pseudo-secondaires (primaires?) du type 2 en groupes planaires ou des inclusions secondaires que recoupent les bordures des grains (pl.14-B).

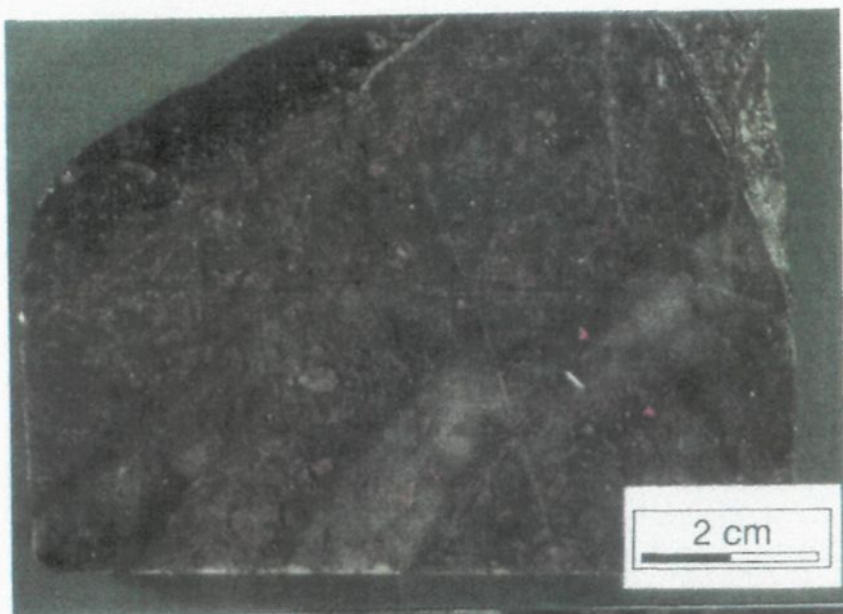
Planche 13

A- Minéralisation en stockwerk de la mine du Lac Bachelor. On remarque la présence des veinules déformées de quartz enfumé.

B- Brèche à matrice de quartz enfumé à fragments anguleux fortement altérés en hématite.

C- Veine de quartz laiteux et transparent avec un fragment de granite fortement hématisé.

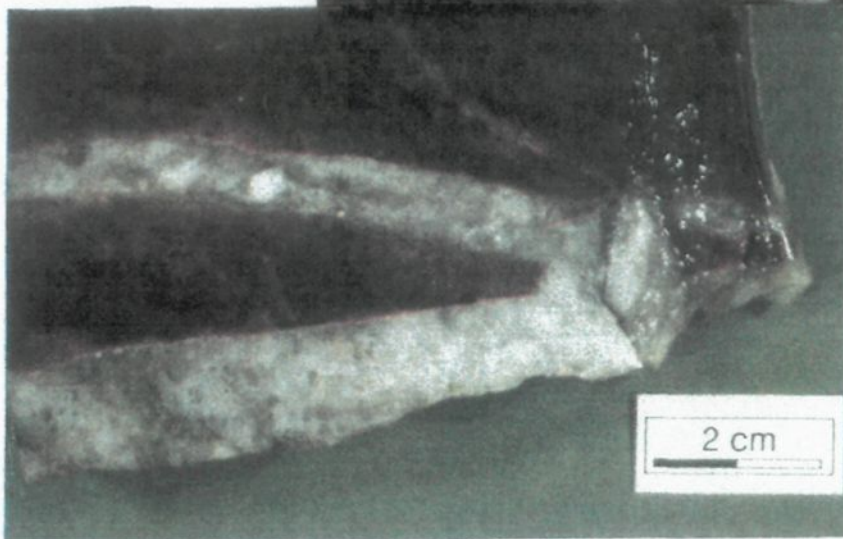
Planche 13



A



B



C

Planche 14

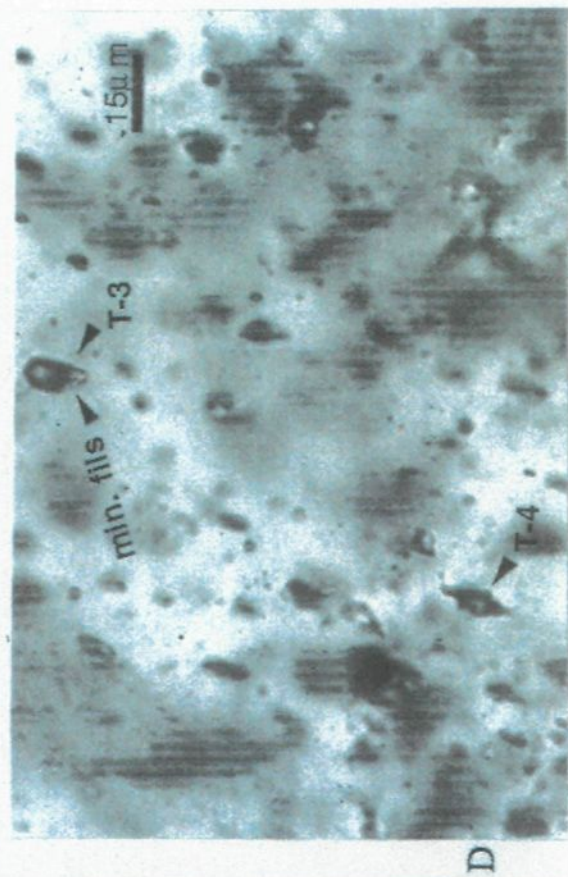
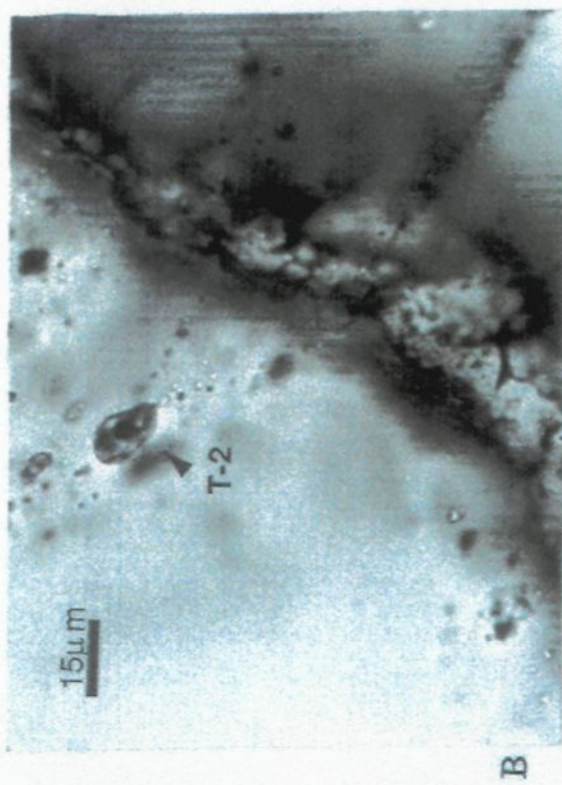
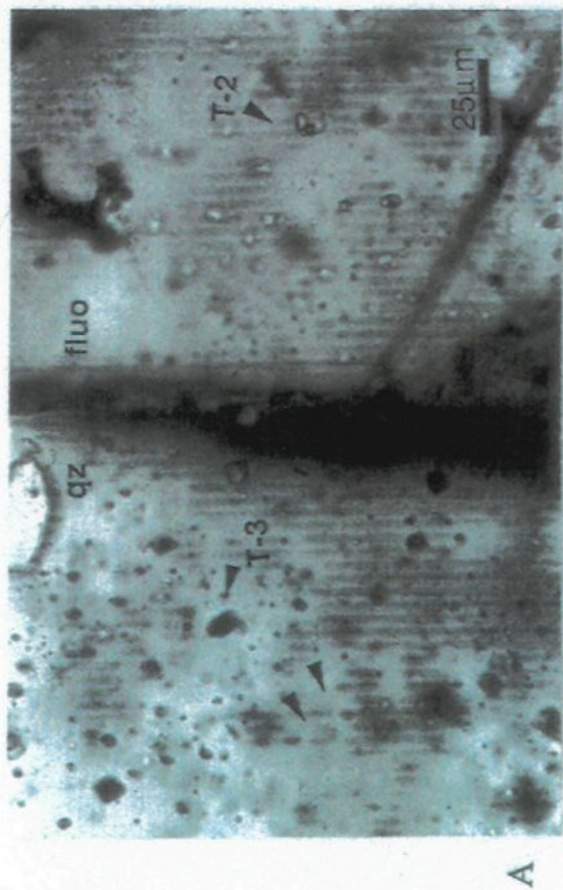
A- Photomicrographie des inclusions fluides dans le quartz laiteux associé à la fluorine dans la Zone principale minéralisée au Lac Bachelor. Notez les inclusions en disposition diagonale échelonnée (double flèches). Les inclusions carboniques T-3 primaires (isolées) dans le quartz sont riches en CO₂ et des inclusions aqueuses du type 2 dans la fluorine contiennent souvent des minéraux fils très réfringents (calcite?).

B- Photomicrographie des inclusions fluides aqueuses T-2 (avec un minéral fils) dans une traînée qui recoupe la bordure du grain.

C- Photomicrographie d'un grain de quartz dans le granite au Lac Bachelor comprenant des inclusions aqueuses T-2 fortement salines et T-1 faiblement salines qui recoupent le grain.

D- Photomicrographie des inclusions fluides carboniques T-3 et T-4 dans la matrice du quartz enfumé. On remarque une abondance relativement élevée des inclusions qui sont très riches en vapeur.

Planche 14



Dans les brèches à matrice de quartz laiteux ou enfumé avec des fragments de granite ou de volcanites et de la pyrite, on reconnaît trois types d'inclusions fluides:

- a) dans les fragments de granite, les grains de quartz contiennent des inclusions du type 1, aqueuses à faible salinité, souvent monophasées, dans des traînées cicatrisées, très petites ($<5\mu$) et du type 2, secondaires (se produisant presque toujours dans des fractures cicatrisées), aplaties, plus ou moins isométriques, biphasées (10-15% vol. vap.) ou avec un minéral fils cubique (pl.14-C);
- b) dans la matrice de quartz laiteux, des inclusions du type 3, de trois phases ou avec un minéral fils, et du type 4 très foncées, $>70\%$ CO_2 , dans des traînées pseudosecondaires (pl.14-D).

La Veine A

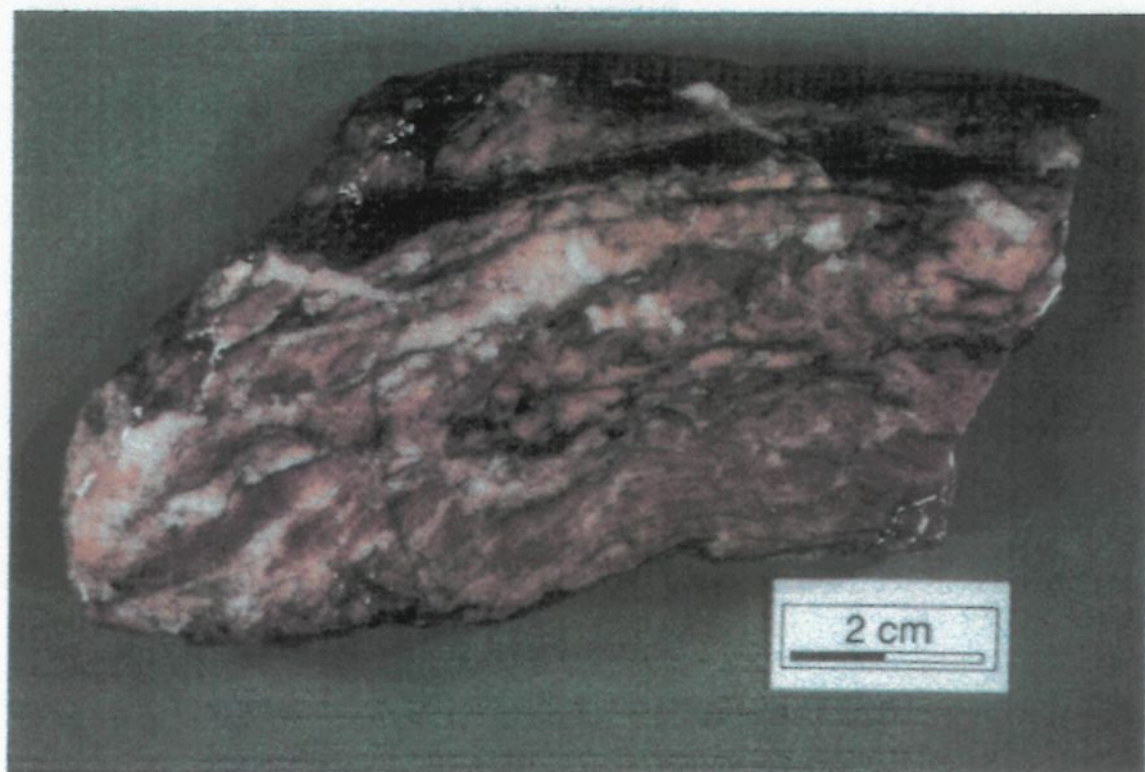
La minéralisation dans cette veine se trouve dans une zone de cisaillement d'orientation E-NE, où on assiste à une altération brun pâle et à un rubannement mylonitique (pl.15-A). Les inclusions étudiées dans des veines de quartz-F π -pyr-fluo sont moins abondantes que dans la Zone principale. Dans le quartz rubanné, entouré du quartz déchiqueté, on trouve des inclusions très grandes (15-40 μ) du type 3 (parfois avec un minéral fils anisotrope) et du type 4 biphasées, les deux en groupes dispersés (pl.15-B).

Dans la minéralisation en veines semi-déformées, les inclusions (8-12 μ) du type 2 biphasées, en traînées qui aboutissent à l'intérieur des grains (pseudo-secondaires), ont un rapport constant de 2-5% vol. de vapeur (pl.15-C). Associées à la minéralisation disséminée dans le quartz entourant des fragments bréchiques de feldspaths altérés, on trouve des inclusions carboniques des type 3 et 4 monophasées ou avec une fine pellicule de H_2O , où la phase CO_2 s'étale entre 50 et 70% volume (pl.15-D). Dans la fluorine blanche et mauve, des inclusions (12-15 μ) du type 2 polyphasées (avec un minéral cubique, verdâtre, réfringent et anisotrope) se retrouvent dans des traînées recoupantes (pl.15-E).

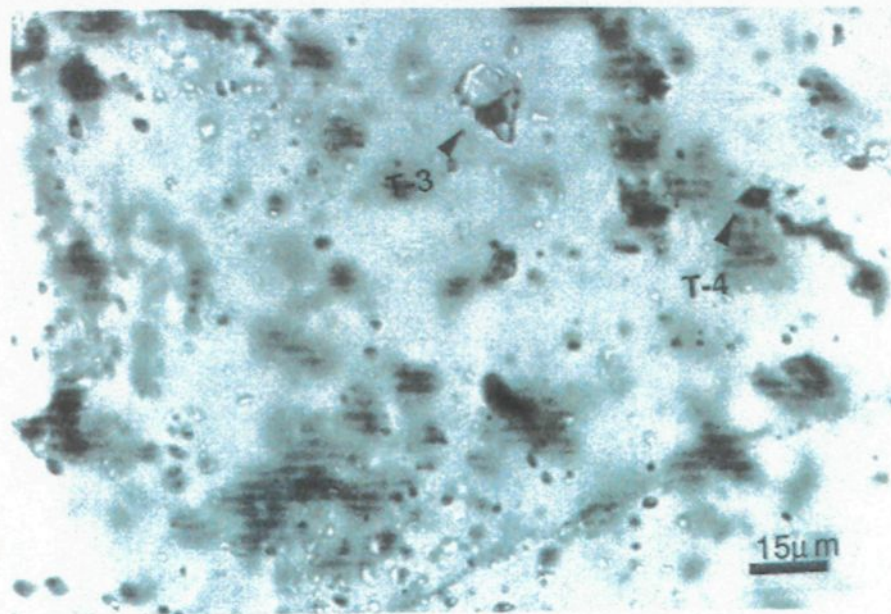
Planche 15

- A- Minéralisation typique de la Veine A secondaire de la mine du Lac Bachelor. On remarque des veinules de quartz et de calcite, une altération brunâtre et une mylonitisation dans l'échantillon.
- B- Photomicrographie des inclusions fluides T-2 (on remarque le minéral fils cubique - halite) associées à des inclusions T-4 monophasées et biphasées en groupes dispersés dans le quartz laiteux.
- C- Photomicrographie des inclusions fluides T-2 biphasées dans le quartz laiteux montrant des rapports constants des phases (5% vol. vapeur).
- D- Photomicrographie des inclusions fluides T-4 biphasées dans une traînée dans le quartz. Ces inclusions sont très riches en vapeur (60% vol. vapeur).
- E- Photomicrographie des inclusions fluides T-2 biphasées dans la fluorine blanche et mauve montrant la présence d'un minéral fils.

Planche 15

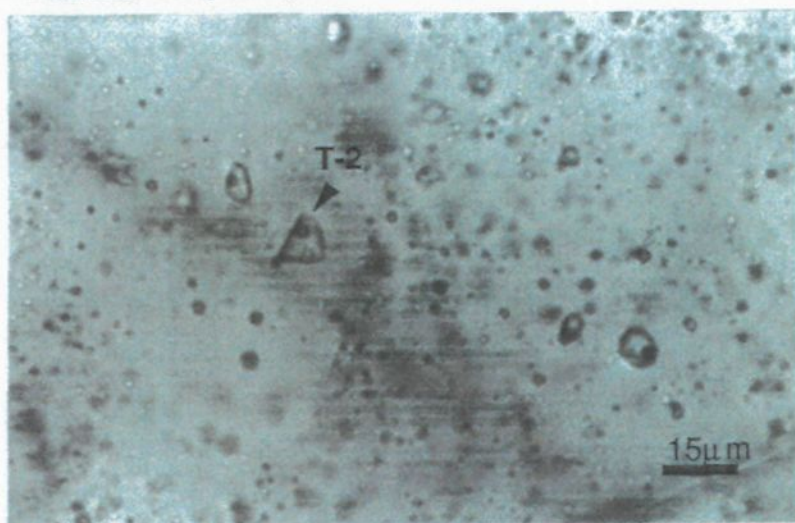


A

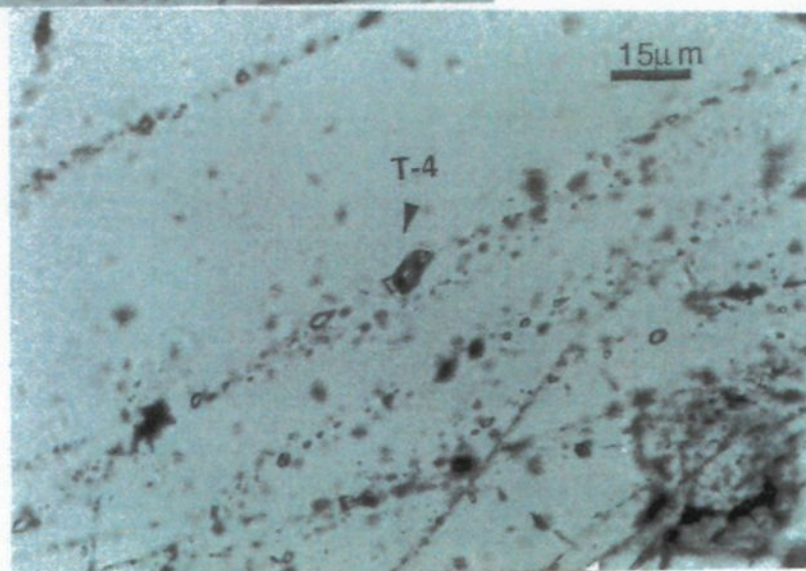


B

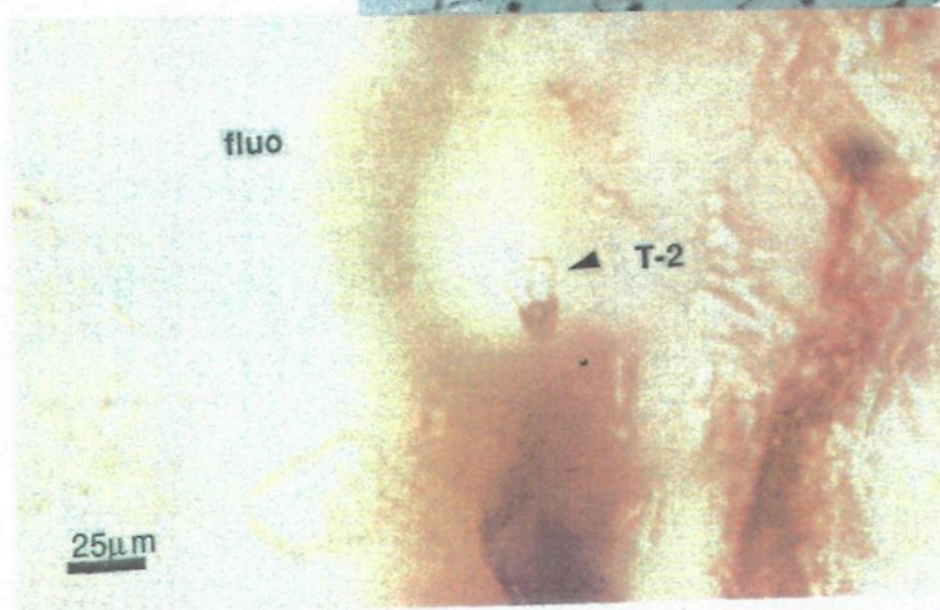
Planche 15 (cont.)



C



D



E

Les phases granitiques

Préminéralisation:

Dans le granite gris préminéralisé, les grains limpides de quartz transparent contiennent des inclusions primaires/pseudosecondaires du type 2, en distribution aléatoire et moins abondantes, avec une morphologie variable, de 6 à 20 μ de grandeur. De même, on trouve des inclusions secondaires du type 4, arrondies ou idiomorphes, dans des fractures cicatrisées traversant les grains ou en bordure des grains, (pl.16-A). Cette phase granitique est recoupée par des veines altérées de quartz, où les inclusions des types 2 et surtout 4 sont plus abondantes se disposant en traînées à intersections orthogonales ou réparties aléatoirement mais suivant plus ou moins les bordures des grains hôtes (pl.16-B).

Minéralisation :

La minéralisation dans le granite est presque toujours associée avec une augmentation de la silicification (stockwerk) et elle se concentre dans les bordures des veines de quartz laiteux, et dans les épontes altérées, on remarque une hématitisation et une carbonatation (pl.16-C). Les inclusions secondaires du type 3 sont très abondantes, de tailles très grandes (8-54 μ) et se disposent plutôt en traînées ou en groupes planaires (pl. 16-D). Des inclusions aqueuses du type 2 sont moins abondantes, et se trouvent soit isolées ou en coexistence avec des inclusions du type 3 (pl. 16-E). Dans des veines de quartz-fluorine plus tardives, des inclusions carboniques du type 4 sont polyphasées (>65%vol. CO₂) rarement avec un minéral fils cubique ou arrondi (pl.16-F).

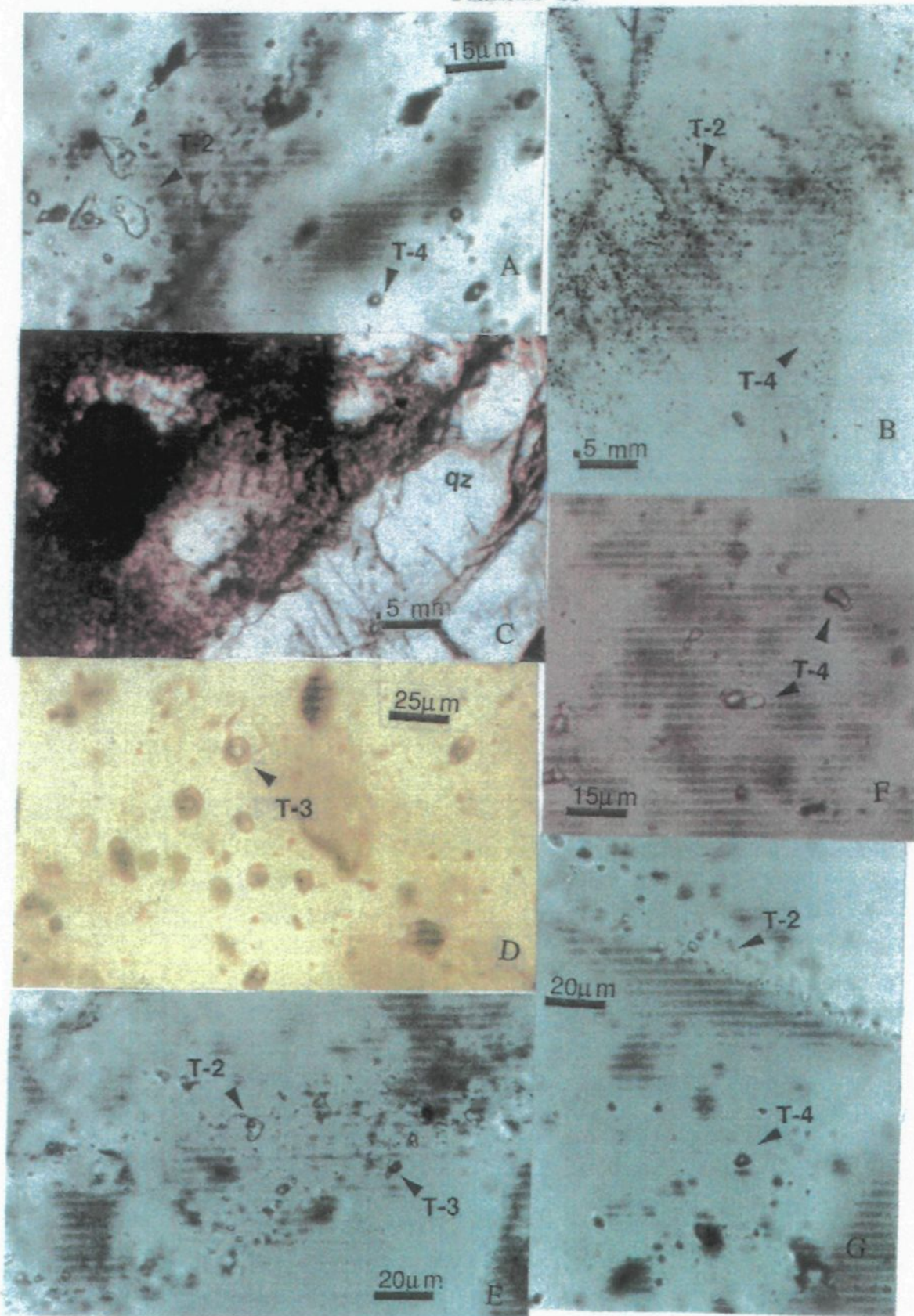
Postminéralisation:

Dans du granite pegmatitique, les inclusions primaires/pseudosecondaires du type 4 (6-12 μ) sont dans des groupes planaires ou isolées et contiennent souvent plus de 45% vol. CO₂. Les inclusions secondaires du

Planche 16

- A- Photomicrographie des inclusions fluides dans le quartz associé au granite pré-minéralisation avec des inclusions fluides aqueuses T-2 dans un groupe planaire avec des inclusions fluides carboniques T-4 arrondies.
- B- Photomicrographie des groupes planaires d'inclusions fluides T-2 recoupés par des traînées plus tardives d'inclusions fluides carboniques T-4.
- C- Photomicrographie d'une veine de quartz laiteux en contact avec le granite minéralisé. Dans le granite, on remarque des grains de quartz limpides et les bordures altérées en hématite et pyrite-aurifère.
- D- Photomicrographie d'une inclusion fluide T-3 de trois phases ($H_2O_l + H_2O_v + CO_2$) dans un groupe planaire des inclusions T-3 (dans le quartz).
- E- Photomicrographie d'un plan cicatriciel qui contient des inclusions fluides aqueuses T-2 et carboniques T-3 dans le quartz.
- F- Photomicrographie des inclusions carboniques T-4 dans des veines de quartz transparentes plus tardives.
- G- Photomicrographie des inclusions fluides dans le granite pegmatitique post-minéralisation. Notez les inclusions carboniques T-4 dans un groupe planaire et des inclusions aqueuses T-2 disposées dans une traînée recoupante.

Planche 16



type 2 sont biphasées (5-10%vol. vap.) et se retrouvent dans des traînées qui recoupent les grains (pl.16-G).

3.5 Caractérisation des inclusions fondues et fluides-fondues de la région du Lac Shortt

3.5.1 Introduction

L'analyse d'inclusions de fondus silicatés ou magmatiques pourrait être une source fondamentale de renseignements concernant l'évolution des phases volatiles dans les roches plutoniques. Cependant, les études de ce genre sont exceptionnelles étant donné que l'évolution du stade magmatique n'est guère préservée lors des interactions fluide-roche complexes. Malgré cela, selon Touret et Frezzotti (1993), les inclusions magmatiques ou leurs vestiges peuvent être préservés dans des roches profondes.

Les inclusions fondues sont des gouttelettes de fondu silicaté enserrées dans différents minéraux pendant leur croissance. Au Lac Shortt, une étude de ces inclusions a été menée dans des roches intrusives afin de déterminer la température de piégeage magmatique (donnée par la température d'homogénéisation à laquelle le fondu silicaté, la bulle de gaz et éventuellement les minéraux fils deviennent une seule phase homogène).

Pour leur étude, nous avons d'abord 1) identifié les textures magmatiques et choisi des échantillons propices; 2) mené une étude pétrographique afin de caractériser les inclusions fondues et les changements subis lors du piégeage et, 3) fait des analyses microthermométriques à haute température pour déterminer les transitions de phases.

3.5.2 Identification et analyses

Nous avons constaté la présence des textures magmatiques par la forme automorphe des minéraux du liquidus dans la carbonatite du Lac Shortt (pl.17-A) et/ou dans les cavités miarolitiques de la syénite du Lac Opawica (pl.17-B), et dans le granite à Lac Bachelor (pl.17-C). Les inclusions fondues-fluides diffèrent des inclusions solides par la présence 1) d'une ou

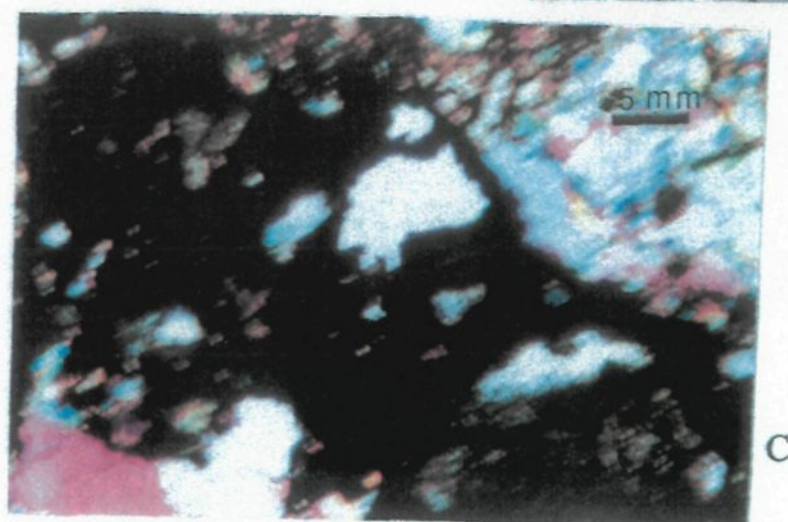
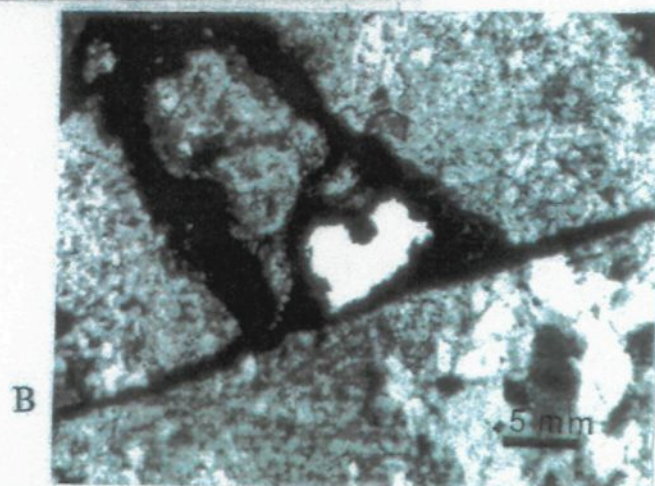
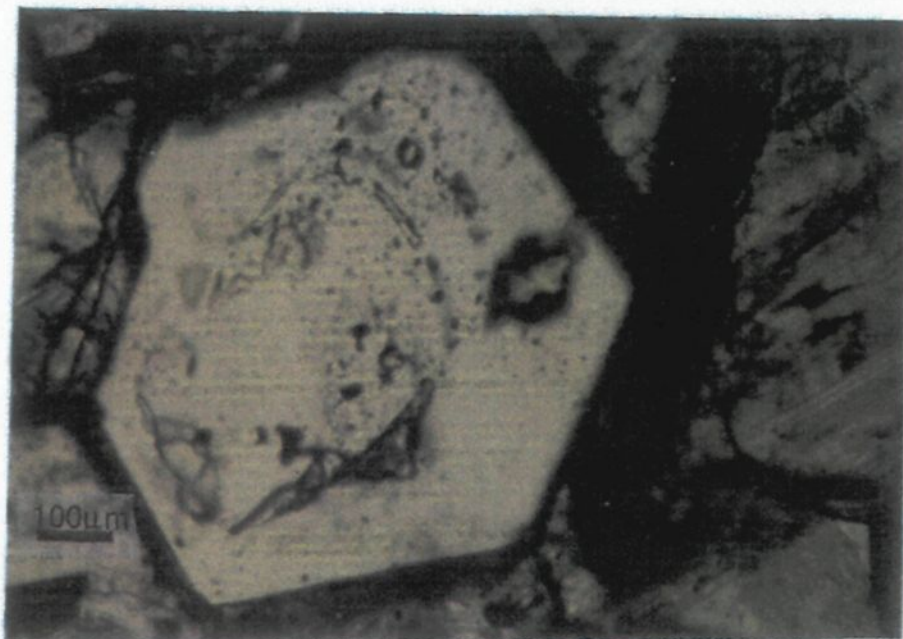
Planche 17

A- Photomicrographie d'un grain de quartz dans la carbonatite au Lac Shortt illustrant une forme automorphe .

B- Photomicrographie d'une cavité miarolitique dans la syénite sur l'île d'Opawica avec des bordures corrodées des grains de quartz et feldspaths.

C- Photomicrographie d'une cavité miarolitique dans le granite au Lac Bachelor.

Planche 17



de plusieurs bulles de gaz, peu importe le degré de déformation et 2) de matière vitreuse qui démontre une anisotropie tachetée due aux divers degrés de dévitrification (planches 18-A,B).

À température ambiante, les inclusions dans le quartz sont typiquement foncées, ayant un aspect granulaire opaque noir ou brunâtre (pl.18-C). L'apparence complètement noire (pl.18-D) pourrait être causée par une pellicule de H₂O en interaction avec des phases fluides dans les parois de la cavité. Les caractéristiques des inclusions fondues varient selon la roche qui les encaissent:

-au Lac Shortt: Dans la *carbonatite du Lac Shortt*, les inclusions sont les plus abondantes dans l'apatite (pl.19-A), >70%, avec des rapports de phases très variables: solides>fluides>fondus. Les inclusions sont souvent allongées parfois avec des phases réfringentes (calcite?), de l'hématite et d'autres minéraux opaques (pl.19-B). Dans la *syénite du Lac Shortt*, les inclusions fondues sont rares dans des grains de quartz altérés et fracturés.

-au Lac Bachelor: Les inclusions se trouvent dans des phénocristaux de quartz bipyramidaux d'origine possiblement ignée dans le granite (pl. 19-C). Les inclusions sont très grandes (entre 5 à 120 μ), montrant plusieurs phases solides et opaques, et les phases vapeurs sont presque impossibles à détecter.

En suivant les critères de Touret et Frezotti (1993), nous avons déterminé les températures approximatives du solidus et du liquidus du système (fig. 11). Les résultats de la microthermométrie à température élevée (jusqu'à 1200°C) des inclusions fondues sont résumés aux pl. 20 A,B et C.

Planche 18

A- Photomicrographie d'une inclusion fondue à matière vitreuse brunâtre indiquant un degré avancé de dévitrification et une pellicule fine (foncée) de vapeur. L'inclusion se trouve dans un grain de quartz dans la syénite de l'île d'Opawica.

B- Photomicrographie des inclusions fondues-fluides montrant une anisotropie tachetée. Elles sont très dévitrifiées, et montrent des évidences de fuites de phases volatiles (petites traînées d'inclusions disposées radialement autour des inclusions).

C- Photomicrographie d'une inclusion fondue avec un aspect très granulaire opaque.

D- Photomicrographie d'une inclusion fondue très opaque et foncée indiquant la possibilité d'une pellicule de H_2O adjacente au parois de la cavité.

Planche 18

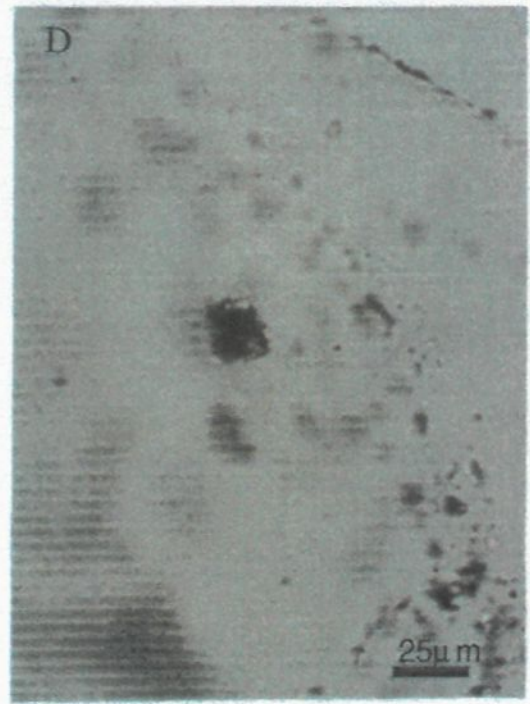
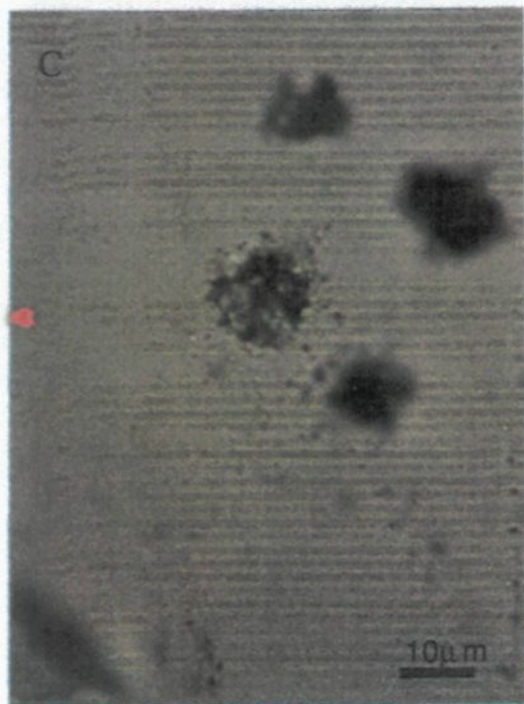
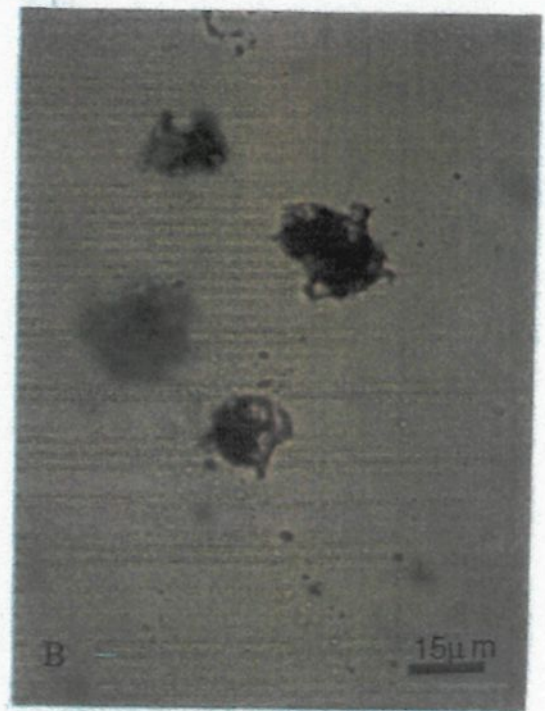
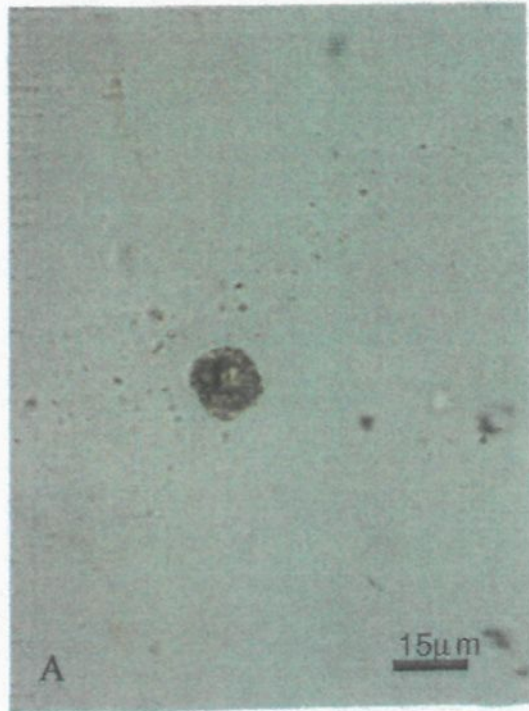


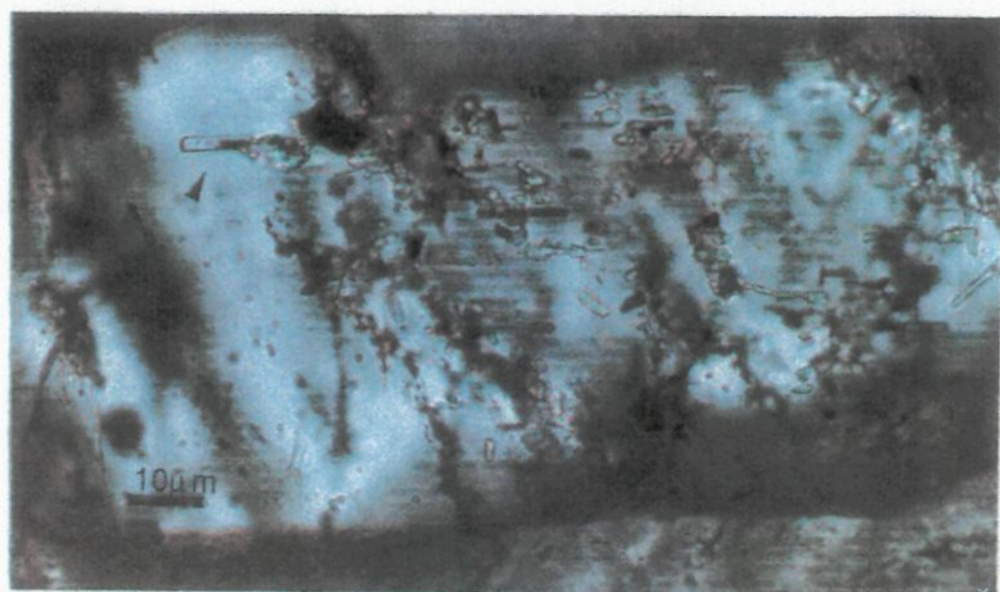
Planche 19

A- Photomicrographie d'un grain d'apatite dans la carbonatite du Lac Shortt. On remarque une abondance des inclusions solides, fondues et fluides. Les inclusions fondues sont souvent allongées.

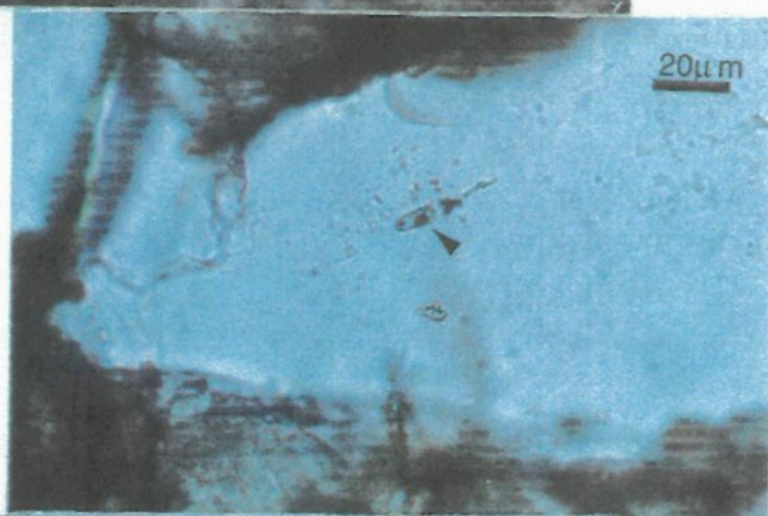
B- Photomicrographie d'une inclusion fondue qui contient un grain visible d'hématite.

C- Photomicrographie d'une inclusion fondue dans un phénocristal de quartz provenant du granite au Lac Bachelor. L'inclusion comprend plusieurs phases cristallines et montre des évidences de fuites.

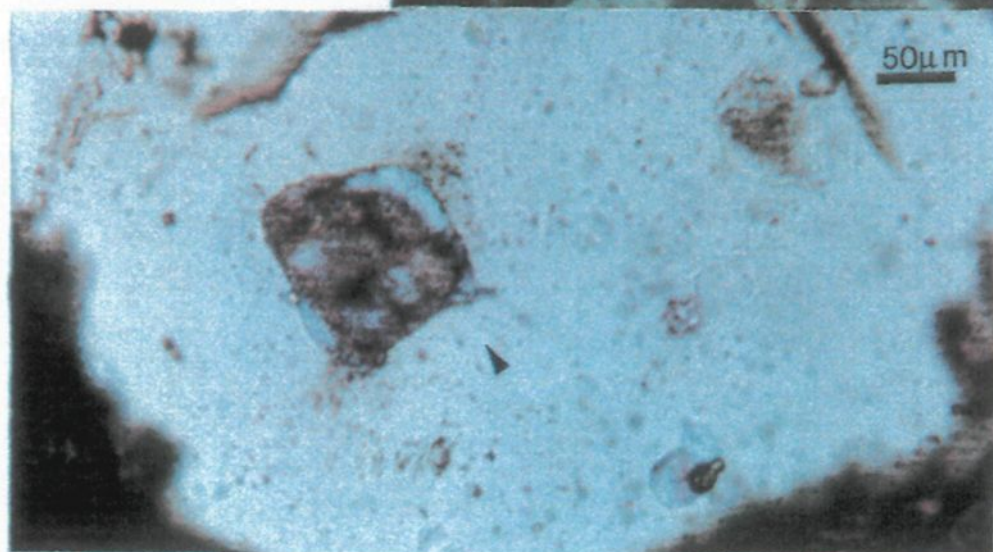
Planche 19



A



B



C

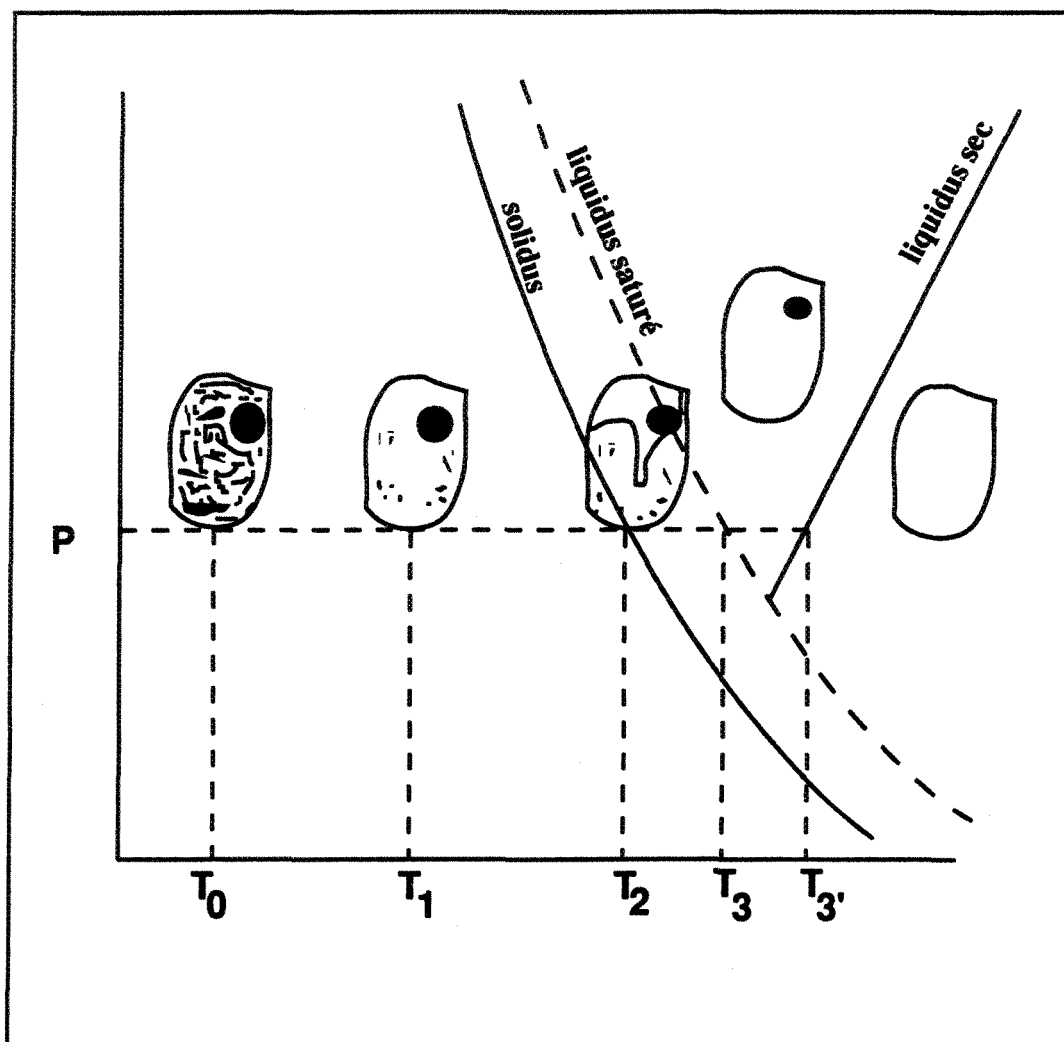


Fig 11. Evolution théorique de P - T des inclusions fondues d'un système granitique: T_0 : température ambiante. T_1 : dévitrification de la masse vitreuse. T_2 : début de fusion (solidus du système). T_3 , T_3' : fin de fusion - (d'après Touret et Frezzotti, 1993).

Planche 20

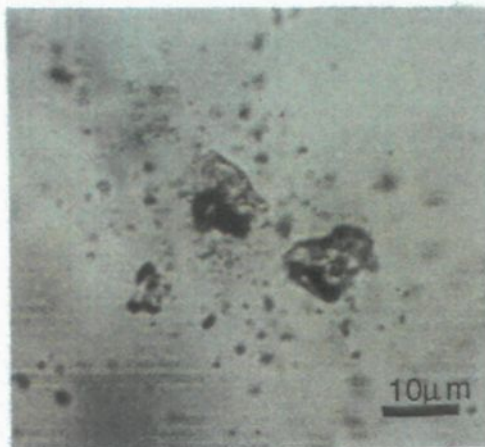
A- Photomicrographie de trois inclusions fondues-fluides dans un phénocrystal de quartz du granite au Lac Bachelor. Le solidus était atteint entre 650° et 700°C (ne figure pas). On remarque que le point du liquidus saturé (voir fig. 11) est atteint entre 1 000 et 1 050°C, et il ne restent que quelques grains des minéraux opaques.

B- Photomicrographie d'une inclusion fondue légèrement dévitrifiée avec une bulle de vapeur visible à température ambiante. Cette inclusion, qui provient de la syénite de l'Île d'Opawica, montre que le solidus est atteint entre 900 à 950°C.

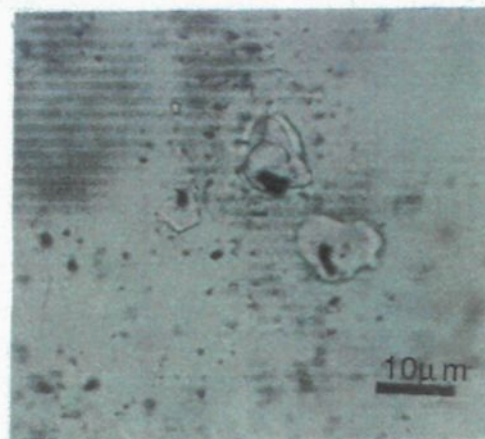
C- Photomicrographie d'une inclusion fondue tubulaire et allongée qui atteint le liquidus avant 600°C. L'inclusion se trouve dans la carbonatite du Lac Shortt.

Planche 20

A

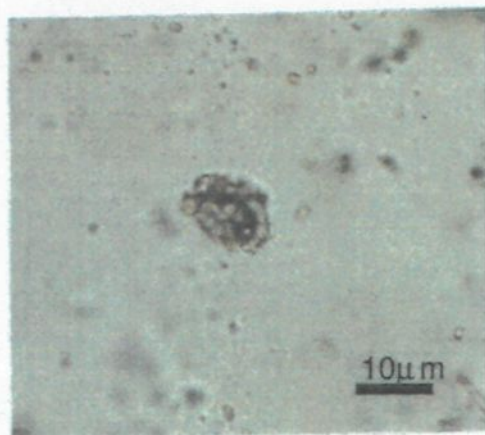


$T_{amb} = 22^{\circ}\text{C}$

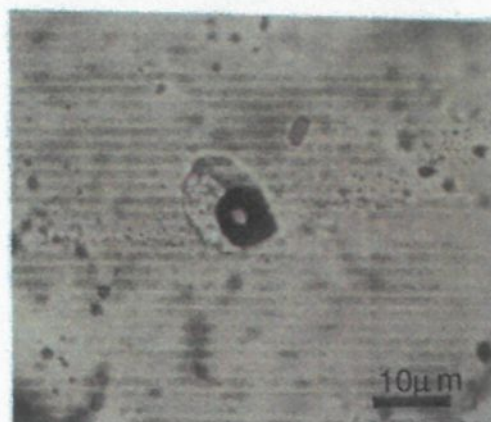


$T = 1\ 000^{\circ}\text{C} - 1\ 050^{\circ}\text{C}$

B

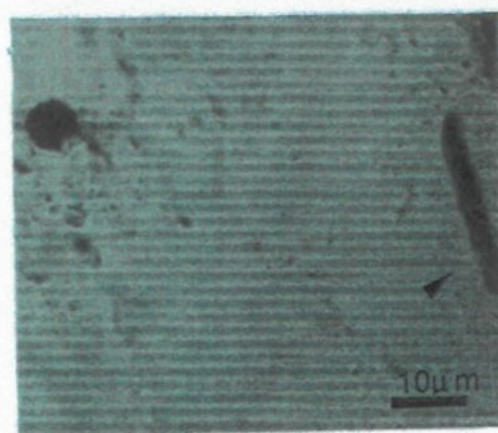


$T_{amb} = 22^{\circ}\text{C}$



$T = 900 - 950^{\circ}\text{C}$

C



$T_{amb} = 22^{\circ}\text{C}$



$T_{hom} = < 600^{\circ}\text{C}$

CHAPITRE 4 - ANALYSES DES INCLUSIONS FLUIDES ET FONDUES-FLUIDES

4.1 Introduction

Nous avons précédemment souligné dans le premier chapitre l'importance de plusieurs techniques analytiques applicables à des inclusions fluides et fondues-fluides. Le contenu de ce chapitre reprend l'essentiel des considérations sur la séquence des dites applications ainsi que des descriptions des procédés suivis, soit

- a) l'application de la microthermométrie ($-190^{\circ}\text{C} < T < 1350^{\circ}\text{C}$) ;
- b) l'application de la spectrométrie de masse par sonde solide et
- c) l'application de la spectroscopie Raman au laser.

4.2 Étude microthermométrique (EM)

4.2.1 Introduction

L'étude microthermométrique implique l'analyse détaillée des changements critiques de phase pendant la cryoscopie (refroidissement) et la pyroscopie (réchauffement). Utilisée conjointement avec des diagrammes de changement de phase de plusieurs systèmes expérimentaux (e.g. Oakes *et al.*, 1990, Sterner *et al.*, 1988, Seitz et Pasteris, 1990 et Van Den Kerkhof, 1990), elle permet

- a) d'estimer la composition globale et le volume molaire des inclusions fluides intracristallines;
- b) de définir statistiquement les populations d'inclusions géologiquement significatives et
- c) de calculer les températures, les pressions et les densités des fluides contenus dans les inclusions par recoupement des isochores (Brown et Lamb, 1989), en plus des coefficients de fugacité des espèces moléculaires à l'aide d'équation d'état du type Redlich-Kwong (Nicholls et Crawford, 1985).

Il faut noter que cette méthode est essentielle et indispensable comme préalable aux méthodes qui suivent.

4.2.2 Méthodologie

Les inclusions fluides dans des lames minces doublement polies (épaisseurs variant entre 55-120 μ) ont été étudiées sur platine U.S.G.S. adaptée par Fluid Inc. (Roedder, 1984 - voir l'annexe B) par la cryométrie ($20^{\circ}\pm 3^{\circ}$ (température ambiante) à -190°C) et la pyrométrie ($20^{\circ}\pm 3^{\circ}$ à 650°C). Nous avons évité systématiquement toute inclusion démontrant un comportement métastable incongruent.

L'étalonnage dans le domaine des basses températures a été effectué par l'utilisation de deux témoins de quartz du Fluid Inc., des inclusions $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$, dont le point triple du CO_2 était à $-56,6^{\circ}\text{C}$, la température de fusion de la glace à $0,0^{\circ}\text{C}$, et la température de l'hydrate (clathrate) à $+9,9-10,0^{\circ}\text{C}$. Les corrections sont inférieures à $0,5^{\circ}\text{C}$ de la température ambiante jusqu'à -120°C .

De même, le calibrage dans le domaine des hautes températures a été réalisé avec les substances-étalons énumérées à la fig. B-2, dans l'annexe B. À des températures plus élevées ($>285^{\circ}\text{C}$), les corrections sont plus importantes, dû probablement à la réponse thermique très rapide de l'appareil utilisé.

Devant la possibilité d'abîmer les inclusions par la décrépitation précoce, nous avons toujours fait des mesures cryométriques avant la pyrométrie. Pour augmenter la précision, les mesures étaient prises en double et le taux de réchauffement soutenu à $<0,5^{\circ}\text{C}$ par minute pendant les intervalles où on devrait observer des changements critiques des phases. Dans le cas de la pyrométrie réalisée sur des inclusions très petites, nous avons appliqué la technique des essais cycliques afin de déterminer des températures reproductibles à $\pm 2,0^{\circ}\text{C}$.

4.2.3 Résultats

Sur les différents échantillons, environ 900 mesures thermométriques des inclusions fluides ont été faites. Les résultats sont rassemblés dans l'annexe C, où figurent également les valeurs déduites et calculées des différents paramètres compositionnels et thermodynamiques (tableaux C-1 à C-6) qui seront discutées au chapitre 5.

Les changements de phases suivants ont été mesurés:

- T_f CO₂: fusion du CO₂ solide en présence de vapeur;
- T_f glace: fusion de la glace
- T_e: première fusion ou reconnaissance du liquide formé lors du réchauffement;
- T_f hydrate: fusion du clathrate complexe;
- T_h CO₂: homogénéisation du CO₂
- T_h: homogénéisation globale des phases de l'inclusion

Le comportement ou la séquence des changements de phases lors de la microthermométrie pour chaque type d'inclusions fluides est ainsi décrit.

Type 1: Au cours du refroidissement, la partie aqueuse de ces inclusions presque toujours biphasées se fige soudainement entre -48 à -65°C et on remarque la formation des cristaux de glace (indiquée par un aspect légèrement chagriné), et les bordures de la bulle de vapeur (qui apparaissent faibles voire nulles) acquièrent souvent un ménisque irrégulier ou, occasionnellement elles disparaissent. Pendant le réchauffement graduel, la bulle s'accroît légèrement, et la masse de cristaux de glace subit des changements visibles: les cristaux de glace grossissent et fondent. Entre -2° à 0,0°C, la bulle grossit un peu, la glace disparaît complètement, ce qui est souvent indiqué par une libération brusque de la bulle. L'homogénéisation de ce type d'inclusions se caractérise par la diminution et la disparition éventuelle de la bulle à des températures élevées.

Type 2: Plus grandes que les inclusions précédentes et souvent caractérisées par la présence des minéraux fils, leur partie aqueuse se fige subitement donnant un aspect tacheté, foncé ou pâle, parfois brunâtre avec cristaux de glace (l'hydro-halite ou clathrate complexe) entre -50° et -75°C . La bulle peut disparaître ou s'écrase soudainement. Les minéraux fils ont des bordures dentelées et persistent durant le refroidissement. Lors du réchauffement, les cristaux de glace s'amalgament en grossissant jusqu'à leur fonte totale entre -9° à $-1,8^{\circ}\text{C}$ et la bulle ré-apparaît soit graduellement ou d'un seul mouvement. Dans la plupart des cas, la température d'homogénéisation liquide-vapeur ($l-v$) est inférieure à celle du NaCl. Les phases solides anisotropes (soit en agrégats aciculaires ou en baguettes allongées) sont rarement dissoutes à haute température et subsistent inchangées après l'homogénéisation en phase liquide de l'inclusion.

Type 3: Typiquement, ces inclusions contiennent trois phases à température ambiante: H_2O_l , CO_{2l} + CO_{2v} , moins souvent deux phases ($\text{H}_2\text{O}_l + \text{CO}_{2l}$), parfois avec un minéral fils de forme cubique ou semi-arrondie. En refroidissant à -35°C , du CO_{2v} , apparaît ou grandit et le CO_{2l} diminue et gèle. Vers -50°C , la bulle de vapeur s'écroule et devient difforme. Entre -90°C et -105°C , la phase carbonique se solidifie dans une masse amorphe et foncée. On observe pendant le réchauffement que le point de fusion abrupt du CO_2 est à $-56,7 \pm 0,7^{\circ}\text{C}$. La bulle reste fixe avec un bord épais, foncé et irrégulier. Près de -3°C , la fusion de la glace de la partie aqueuse débute tandis que la phase vapeur carbonique reste distordue. Le réchauffement se poursuivant, le clathrate complexe du $\text{CO}_2 \cdot 5,75\text{H}_2\text{O}$ fond autour de $+10^{\circ}\text{C}$, signalé par une libération de la bulle désencombrée par la fusion du clathrate. L'homogénéisation du CO_2 ($v \rightarrow l$) a lieu à $+30,6 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$. Une décrépitation précoce a empêché avec quelques exceptions de mesurer la température d'homogénéisation totale ($l \rightarrow v$).

Type 4: Les inclusions riches en liquide démontrent les mêmes changements de phase lors du refroidissement que les inclusions biphasées du type 3. Par contre, les inclusions riches en vapeur (qui peuvent contenir des traces d' H_2O non-détectables), au cours du refroidissement, montrent la

formation d'une bulle qui s'accroît et, à près de -90°C , elle se solidifie rapidement. À -184°C , on a pu observer soit des changements subtiles ou la séparation du CH_4 parfois volumétriquement mesurable. Les deux genres d'inclusions montrent toujours un abaissement de la température critique du CO_2 de $-56,6^{\circ}\text{C}$ et de la température de fusion de l'hydrate du CO_2 . La température d'homogénéisation s'étale entre $+3^{\circ}\text{C}$ à $+20^{\circ}\text{C}$.

La composition globale(x), la teneur en sel (salinité globale-%pds.équiv. NaCl), la densité (d), les fractions molaires, les pressions (P) et le volume molaire des inclusions des quatre types (résumés à l'annexe C) ont été estimés et calculés dans différents systèmes d'après les équations données par Nicholls et Crawford (1985) et Brown et Lamb (1989).

4.3 Spectrométrie de masse par sonde solide (SMSS)

4.3.1 Introduction

Afin de contourner les problèmes de corrélation des compositions correspondant à des générations spécifiques d'inclusions qui résultent de la décrépitation ou de l'écrasement global, on a utilisé le procédé décrit par Guha *et al.*, (1990) pour analyser les compositions des éléments volatiles des inclusions fluides. Avec cette méthode, l'utilisation d'un spectromètre de masse quadripôle VG 12-250 (annexe D) avec une sonde solide insérée directement dans la chambre d'ionisation réduit la possibilité de contamination de la source permettant l'analyse de petites quantités de matériel, même des inclusions ponctuelles.

4.3.2 Méthodologie

Une fois qu'on a déterminé les types et les générations d'inclusions par pétrographie et microthermométrie facilement repérables et qu'on peut isoler sans difficulté, on a divisé les échantillons en fragments minuscules et on les a introduits dans l'éprouvette à l'échantillon. Dans le but d'éliminer l'eau absorbée, on a chauffé les échantillons pendant 24 heures à 100°C ; de même, l'éprouvette et le bout de la sonde ont été réchauffés sous vide à

650°C pendant 15 minutes. L'échantillon est par conséquent étuvé par étages ou échelons de 20°C par minute jusqu'à 650°C.

4.3.3 Résultats

Les émissions produites par l'éclatement des inclusions isolées ou des générations d'inclusions (décrépitation thermique) sont captées par le détecteur formant les spectres de masse et chaque pic de ces spectres définit qualitativement par sa position et quantitativement par son amplitude la composition du faisceau ionique. Ensuite, les aires des surfaces des pics sont intégrées automatiquement et la ligne de base ou du zéro est tracée, en éliminant au complet le bruit de fond des spectres. L'analyse quantitative à partir des surfaces des pics met en évidence la présence des espèces suivantes: CH₄, H₂O, N₂(CO?), H₂S et CO₂. L'abondance totale et les variations compositionnelles en pourcentage molaire (mole %) sont résumées au tableau 6.

4.4 Spectroscopie Raman au laser.

On a eu recours à la microspectrométrie Raman au laser pour déterminer la fraction molaire des différentes espèces moléculaires plus volatiles que l'eau, démixées à température ambiante dans les inclusions (Pasteris *et al.*, 1988), et pour caractériser certaines phases solides présentes dans les inclusions fluides. Les analyses ont été réalisées à l'Université de Washington à St. Louis, Missouri aux Etats Unis par Mme. Brigitte Wopenka.

Les résultats, étant limités, seront discutés dans le contexte des résultats compositionnels dans les chapitres subséquents. Etant donné les dimensions très réduites des inclusions et les problèmes associés à la fluorescence des inclusions, seuls CO₂ et H₂O ont été identifiés sans ambiguïté par cette méthode. D'autres phases, comme le graphite dans des inclusions fondues, les carbonates et des vanadates comme minéraux fils, ont été aussi identifiées.

Tableau 5. Composition et abondance totale (en %mol) des phases volatiles des inclusions fluides analysées par la spectrométrie de masse.

	CH ₄	H ₂ O	N ₂	H ₂ S	CO ₂
Lac Shortt					
Veines minéralisées					
LS 90-2 (Type 2)	4.68	76.37	5.05	1.03	12.87
LS 88-12A (Type 3)	2.02	87.41	5.66	0.04	4.88
LS 88-12B (Type 3 et 4)	3.22	77.18	12.26	0.01	7.33
Minéral. disséminée					
LS 85-109 (Type 2)	1.74	80.54	12.61	0.01	5.09
LS 85-21 (Type 2)	3.82	62.39	24.08	1.13	8.58
Carbonatite					
LSC-20 (Types 2 et 4?)	43.82	14.26	35.46	4.57	1.89
Lac Bachelor					
BAL 300 (Type 3) Z.M.	4.13	71.52	9.46	0.02	14.87
LB 88-8 (Types 3 et 4) Veine A	3.90	79.18	2.43	0.04	14.45

CHAPITRE 5 - INTERPRETATION DES DONNÉES D'INCLUSIONS FLUIDES

5.1 Introduction

Dans les derniers chapitres, la caractérisation des inclusions fluides et les données physicochimiques présentées fournissent des contraintes importantes pour le ou les fluides de minéralisation et des altérations associées. Dans la région du Lac Shortt, la concordance ou correspondance spatio-temporelle n'est pas toujours parfaitement établie entre la minéralisation et les altérations associées dans les deux gisements. Cependant, les estimations des conditions de formation établies par l'étude des inclusions fluides pour les minéralisations doivent représenter, avec une bonne approximation, les caractéristiques des fluides d'altération et vice-versa. Ceci implique que cette relation génétique entre la minéralisation et l'altération peut se considérer comme des expressions du comportement d'un ou plusieurs fluides convergents.

Cette supposition *a fortiori* exige que la composition initiale des fluides reste immuable lors du refroidissement. Or, les inclusions fluides ne devront pas montrer de changements post-piégeage, tels que l'étranglement et les fuites. C'est ainsi qu'on assure le plus possible la représentativité des dits fluides.

On discutera dans ce chapitre les interprétations des données microthermométriques afin de caractériser les composants majeurs et mineurs et les paramètres physiques, chimiques et thermodynamiques des fluides. Par la suite, les conditions plausibles de la métallogénèse aurifère seront déduites.

5.2 Caractérisation physico-chimique des fluides minéralisants

5.2.1 Composition des fluides

C'est à partir des résultats des manipulations de cryométrie qu'on définit grossièrement la composition des fluides (Roedder, 1984). Entre -100°C et $-56,6^{\circ}\text{C}$, la fusion observée est celle du CO_2 solide.

Aux fig. 12 et 13, les températures de fusion des inclusions fluides carboniques au Lac Shortt et au Lac Bachelor se regroupent autour de $-56,6^{\circ}\text{C}$, température qui correspond au point triple du CO_2 pur. On constate que certaines températures mesurées sont inférieures à cette valeur de quelques degrés, et ceci laisse supposer l'existence d'autres composés volatils miscibles, tels que le méthane et l'hydrogène sulfuré. On remarque que la distribution des $T_f\text{CO}_2$ observées est bimodale dans la carbonatite (LS-carb), la minéralisation disséminée à l'est (LS-est) du Lac Shortt et dans les indices minéralisés (LS-IM).

Comme les mesures sont insuffisantes pour identifier la phase solide dont on mesure la température de fusion, nous avons fait des analyses par spectrométrie de masse par sonde solide (SMSS) à l'U.Q.A.C. et la microspectrométrie Raman (SR) (méthodes décrites au Chapitre 4) afin d'identifier les phases volatiles sans ambiguïté. La présence du CO_2 et du H_2O , comme constituants majeurs dans les inclusions des types 3 et 4 pseudosecondaires, est confirmée par les deux méthodes.

Les températures de fusion de la glace des inclusions (T_f glace) des types 3 et 4 sont difficiles à déterminer dû au volume important de la phase vapeur. Elles s'étalent entre $-6,5$ et $-2,7^{\circ}\text{C}$ (figs. 14 et 15). Ces températures trop basses indiquent que l'eau est probablement soustraite pendant la formation des hydrates carboniques ou clathrates complexes.

Les températures de fusion des hydrates de CO_2 pur (T_f hydrate CO_2) est à 10°C . Par contre, au Lac Shortt, ces températures varient entre $2,2^{\circ}$ et $13,8^{\circ}\text{C}$ et 1° et $11,6^{\circ}\text{C}$ au Lac Bachelor (figs. 16 et 17). Ce comportement anormal varie en proportion de la quantité de sel présente dans le fluide.

Typiquement, les inclusions du type 4 montrent des températures d'homogénéisation CO_2 liq-vap ($T_{\text{hom}} \text{CO}_2 \text{ l-v}$) très inférieures à celles du type 3 (figs. 18 et 19), les deux types étant en-dessous du point critique du CO_2 pur, soit $31,1^{\circ}\text{C}$. Ce comportement anormal indique encore une fois la présence d'autres phases. Les données microthermométriques

Fig. 12 : Histogramme des températures de fusion du CO_2 (Tf CO_2) au Lac Shortt.

LS-O : Lac Shortt ouest
 LS-E : Lac Shortt est
 LS-IM : Lac Shortt-indices minéralisés
 LS-C : Lac Shortt- carbonatite
 -56,6 : point triple de CO_2

T-3 : Type 3
 T-4 : Type 4

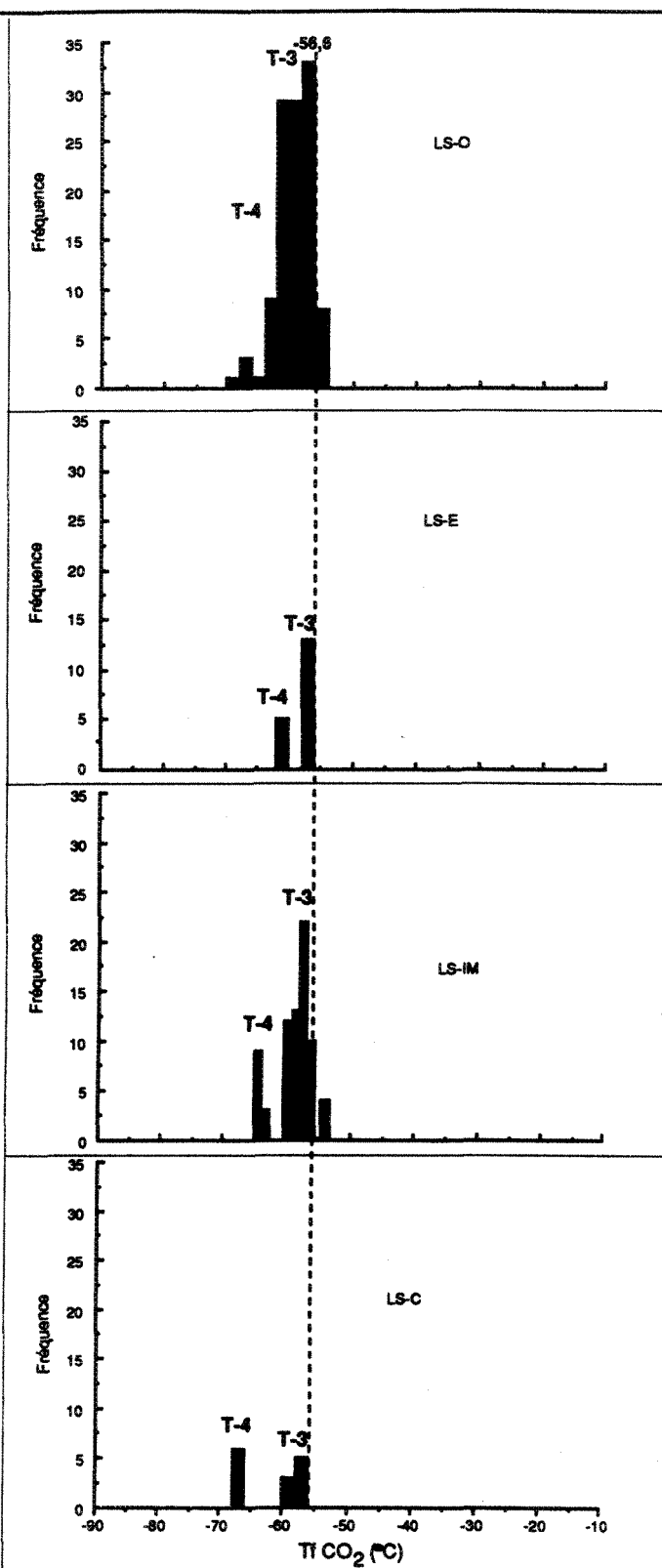


Fig. 13 : Histogramme des températures de fusion du CO_2 ($T_f \text{ CO}_2$) au Lac Bachelor.

LB-pré. : granite (pré-minéralisation)
 LB-G : granite minéralisé
 LB-post : granite (post-minéralisation)
 LB-ZP : Zone minéralisée
 LB-VA : Veine A

-56,6 : point triple de CO_2

T-3 : Type 3

T-4 : Type 4

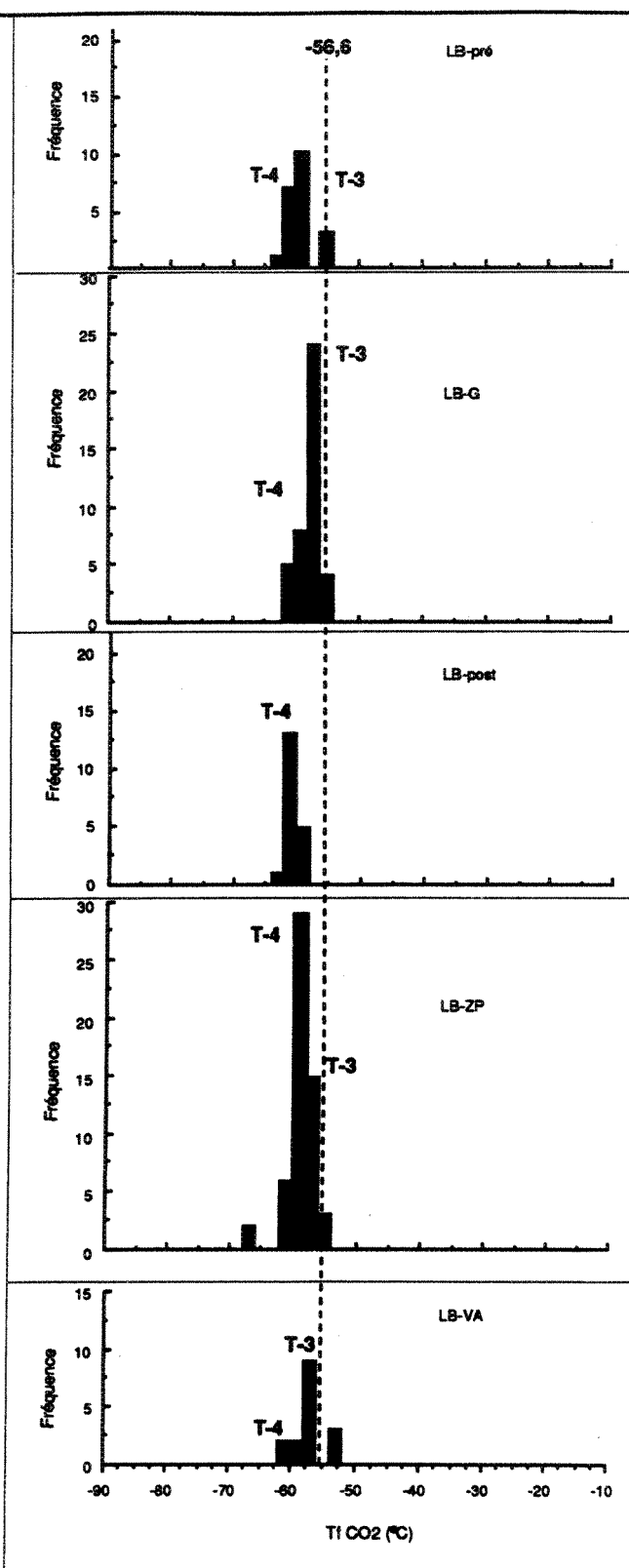


Fig. 14 : Histogramme des températures de
fusion de la glace (T_f glace) au Lac Shott.
T-1 : Type 1
T-2 : Type 2

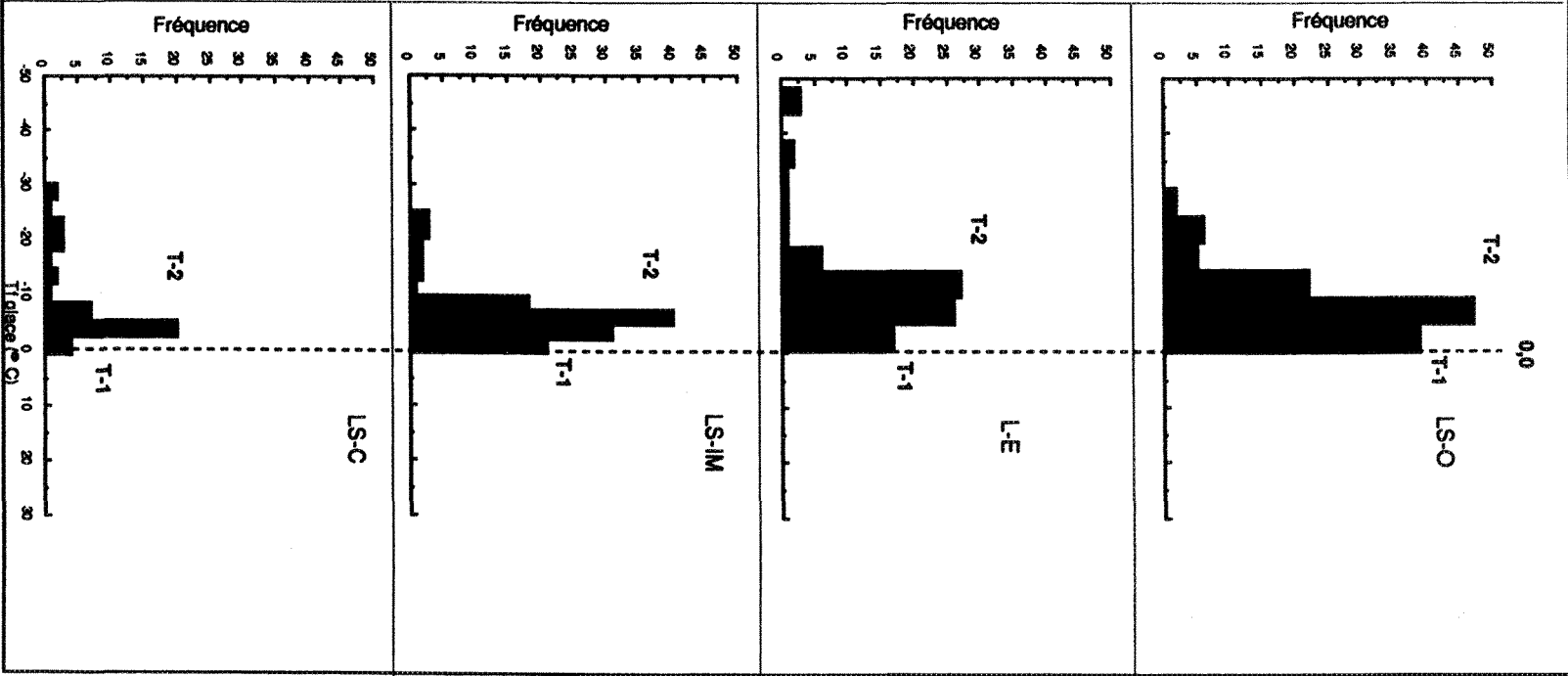


Fig. 15. Histogramme des températures
fusion de la glace (T_f glace) au
Lac Bachelor

T-1 : Type 1
T-2 : Type 2

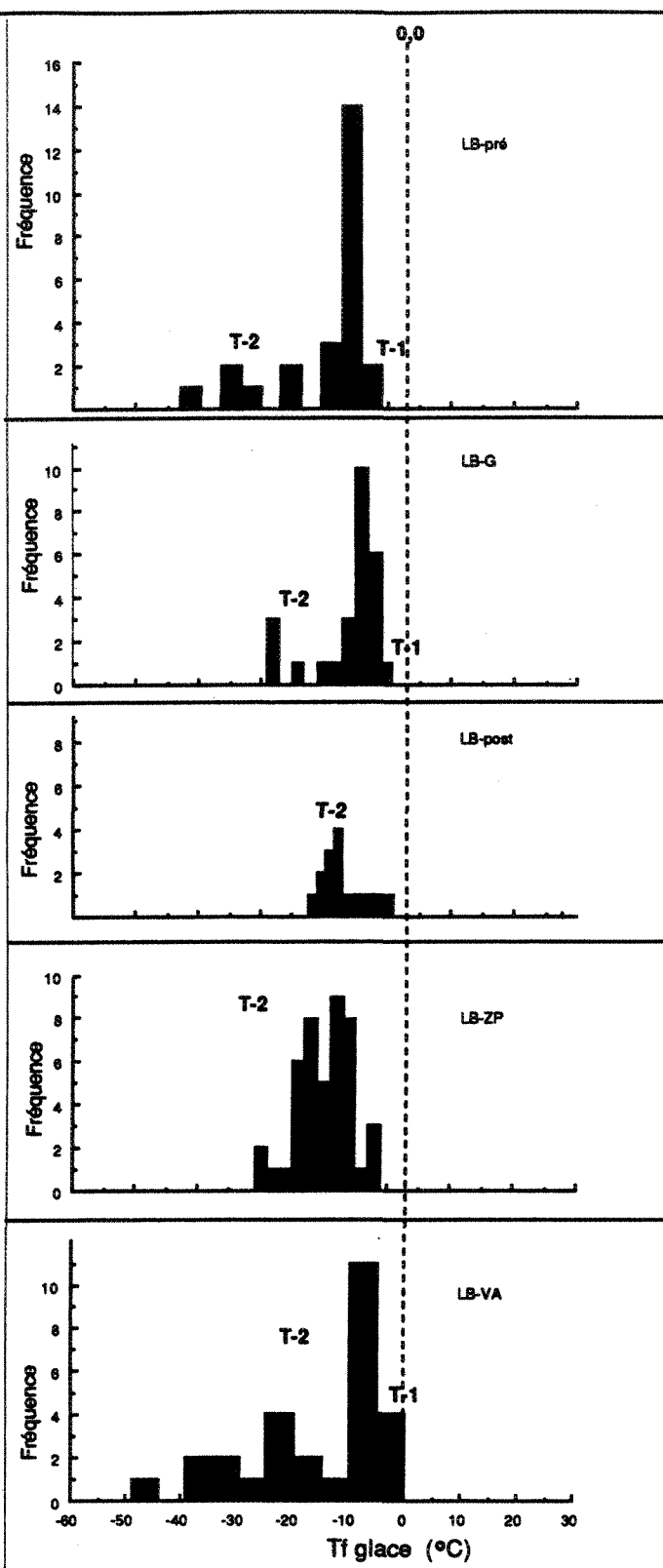


Fig. 16 : Histogramme des températures de fusion des hydrates de CO_2 (Tf hyd.) au Lac Shortt. (Tf hydrate du $\text{CO}_2 = +10^\circ\text{C}$)

T-3 : Type 3

T-4 : Type 4

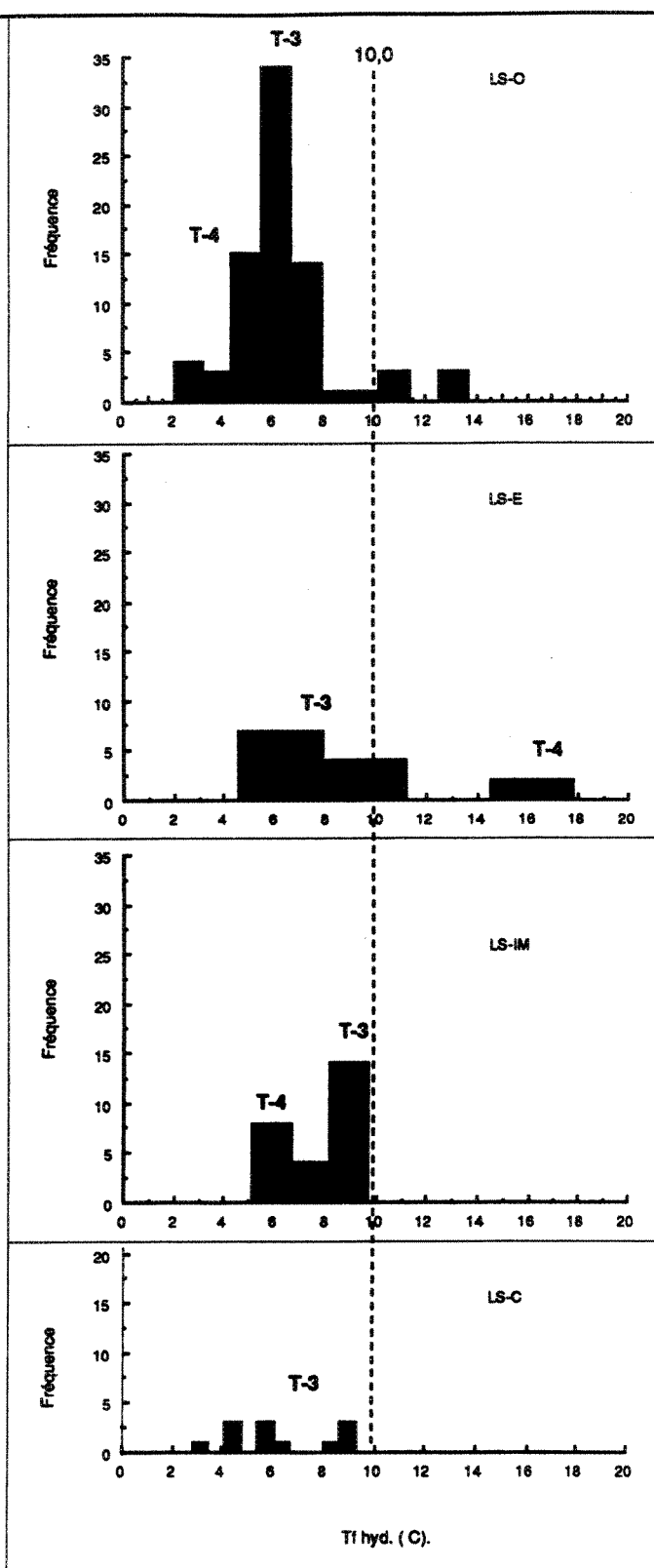


Fig. 17 : Histogramme de températures de fusion des hydrates de CO_2 (Tf CO_2) au Lac Lac Bachelor. (Tf hydrate du $\text{CO}_2 \Rightarrow +10^\circ\text{C}$)

T-3 : Type 3

T-4 : Type 4

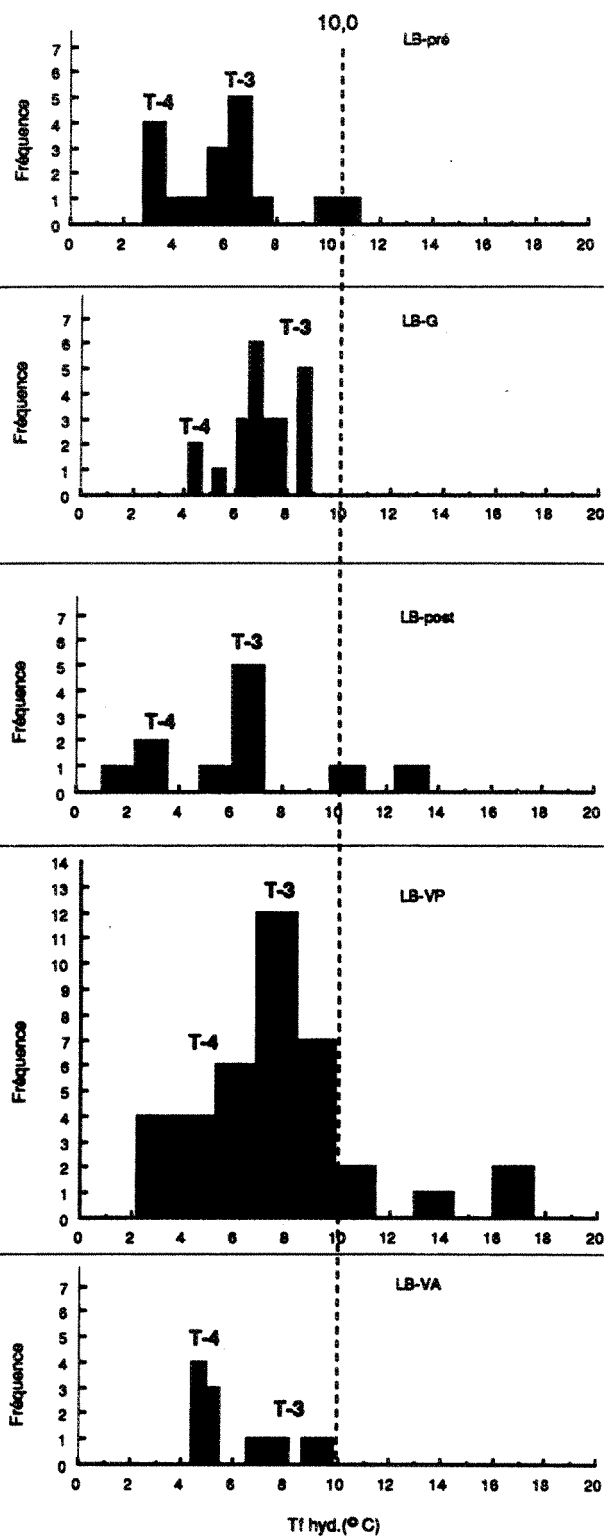


Fig. 18. Histogramme des températures d'homogénéisation du CO_2 (Th CO_2) au Lac Shortt.

+31,1°C = point critique du CO_2 pur

T-3 Type 3

T-4 Type 4

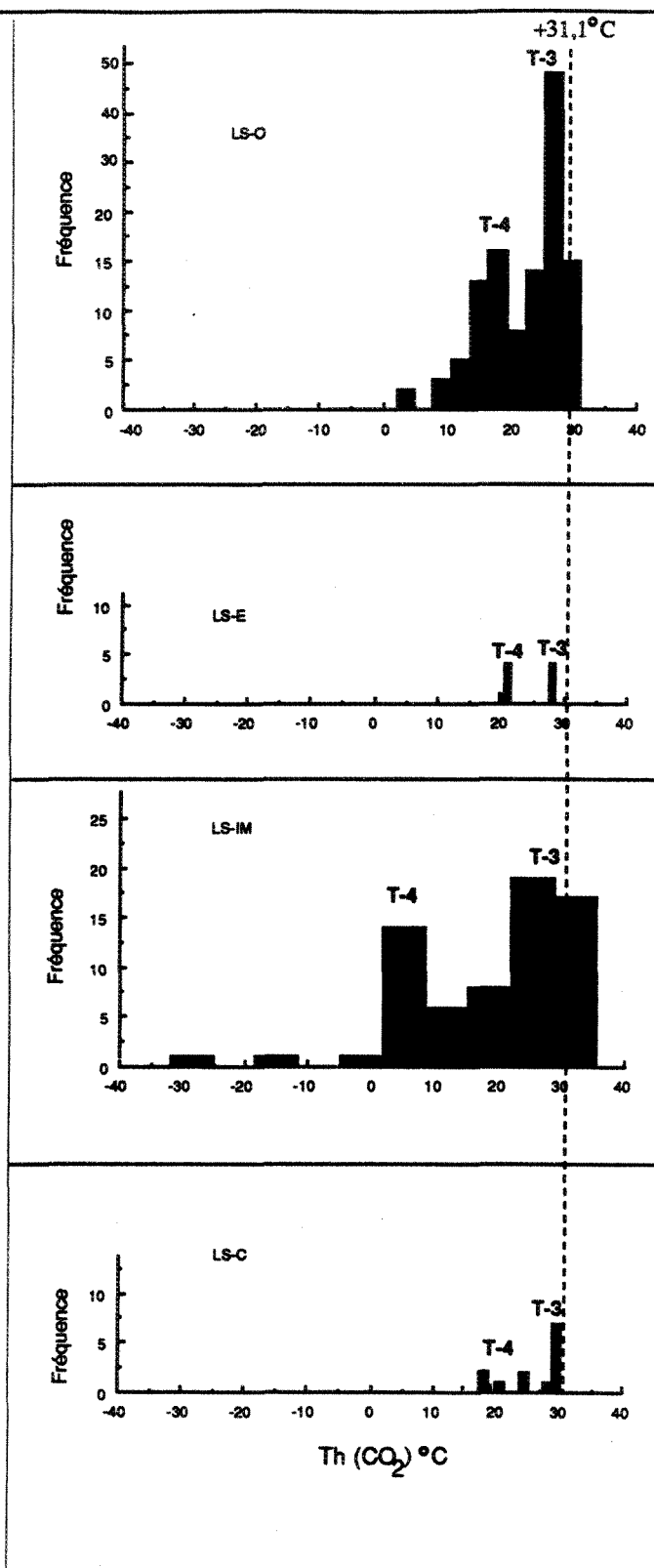
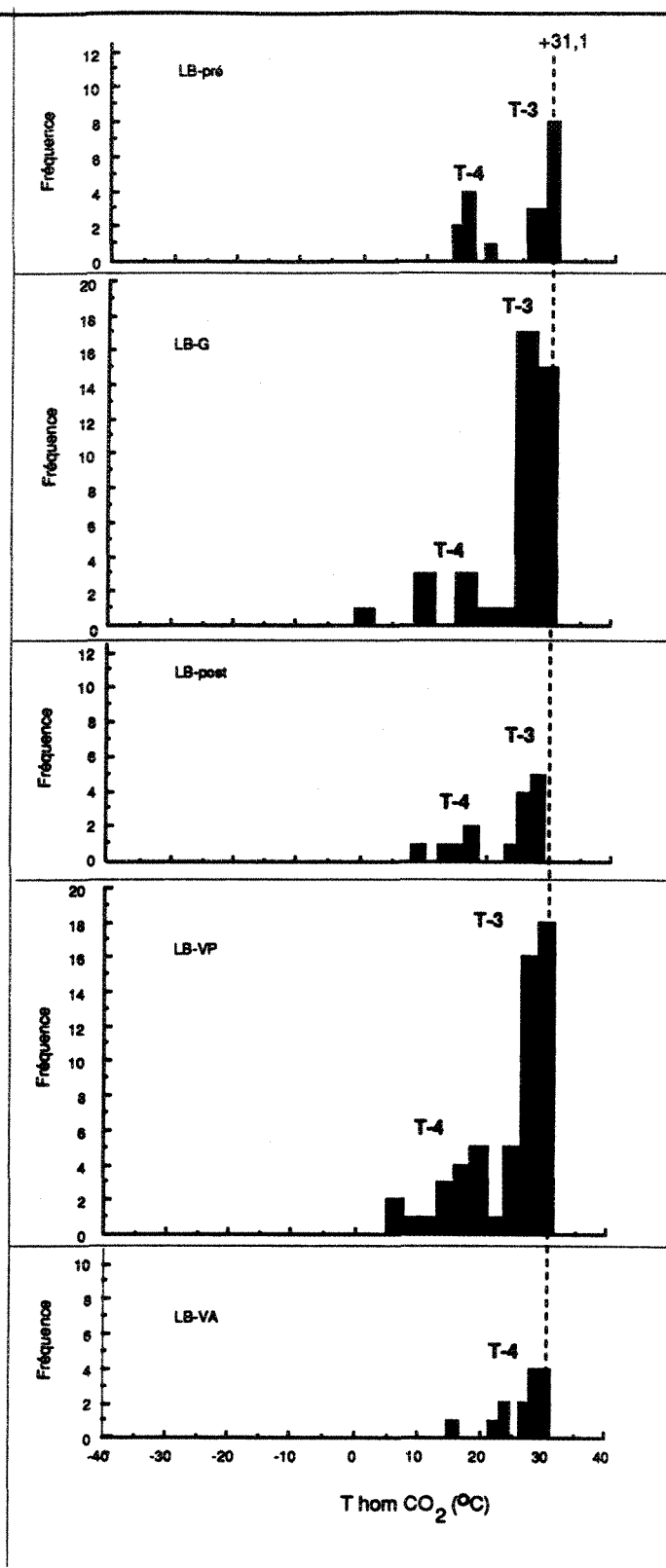


Fig. 19 : Histogramme des températures d'homogénéisation du CO_2 (Th CO_2) au Lac Bachelor.
 $+31,1^\circ\text{C}$ = point critique du CO_2 pur

T-3 : Type 3

T-4 : Type 4



suggèrent la présence du CH_4 qui a un point triple de $-182,5^\circ\text{C}$ et une température critique de $-82,5^\circ\text{C}$, transitions difficiles et rarement observées sans ambiguïté. Cette interprétation est confirmée par les analyses par SMSS. On remarque la présence de CH_4 , N_2 et du H_2S avec CO_2 et H_2O .

Quoique la spectrométrie Raman n'est pas la méthode de choix pour analyser le H_2O , les analyses ont décelé sa présence avec le CO_2 . Aucun autre composant volatil n'a été mis en évidence par cette méthode. On interprète ce fait soit par le degré élevé de fluorescence de certains échantillons, ou parce que la bulle de vapeur en mouvement continuuel est difficile à fixer, ou bien parce que les composants volatils supposés présents sont en dessous de la limite de détection de l'appareil. De ce fait, il faut examiner d'autres possibilités pour expliquer les résultats obtenus par la spectrométrie de masse qui révèlent une abondance relative significative en CH_4 , H_2S et N_2 .

Cheilletz *et al.* (1984) ont comparé des résultats de l'analyse des espèces moléculaires des fluides riches en eau et en composants volatils en utilisant les deux méthodes, soit la spectrométrie de masse et la spectrométrie Raman. Leur étude suggère que la spectrométrie de masse, une méthode destructive, peut mettre en évidence l'ion oxygène (masse principale de 16, comme le méthane) qui peut provenir du "cracking" des molécules H_2O , CO_2 , SO_2 et d'autres. Ce même phénomène peut produire d'autres composants, ayant les mêmes masses que les molécules analysées, engendrés par la dissociation de composés organiques plus lourds (comme par exemple, l'oxygène et le méthane). L'analyse Raman révèle la présence de graphite dans certains échantillons, et parfois on observe des particules opaques dans des grains hôtes (voir la planche 6-D) qui pourraient être la source des espèces carbonées et de H_2 moléculaire.

Pour cette raison, nous avons évité les échantillons où il y avait du matériel exotique dans l'analyse par SMSS. On exclut la possibilité de ce phénomène exploré au paragraphe précédent pour deux raisons: 1) les échantillons étaient assidûment écaillés pour isoler les générations d'inclusions et les petites quantités qui en résultent tendent à exclure du matériel étranger; 2) le temps d'ionisation n'est pas suffisamment long pour

permettre le phénomène décrit ci-haut; et 3) la position du bout de la sonde est très proche du faisceau électronique et les gaz sont ionisés sans perte.

Les données microthermométriques, en particulier pour certaines inclusions des types 3 et 4, montrent parfois des $T_{\text{hom CO}_2(l-v)}$ (31,2 à 31,6°C) qui sont légèrement au-dessus de la température critique du CO_2 (31,1°C), ceci étant attribuable à la présence de H_2S (température critique = +100°C, et $T_f \text{H}_2\text{S} = -85^\circ\text{C}$ - Dubessy *et al.*, 1984; Cheilletz *et al.*, 1984). Les mesures microthermométriques obtenues sur des inclusions fluides possiblement carbonno-azotées pourront aussi donner les mêmes étalonnages de $T_f \text{CO}_2$ et $T_h \text{CO}_2$ (d'après les résultats de Darimont et Heyen, 1988) que ceux obtenus dans la région du Lac Shortt. Actuellement, des données expérimentales pour ces différents systèmes ne permettent pas une quantification de ces effets opposants.

Afin de déterminer la concentration des composants inconnus piégés dans les inclusions aqueuses, on peut utiliser les températures de dissolution ou de fusion des phases solides qui sont présentes soit comme minéral fils ou comme matériel précipité pendant la cryométrie. Cette technique utilise les températures eutectiques (Coveney *et al.*, 1987; Davis *et al.*, 1990) pour identifier les composants principaux et les températures de fusion finale des phases solides (ex. glace, sel et hydro-sels) et pour établir leur abondance relative.

Aux figs. 20 et 21, les températures eutectiques dans les inclusions fluides du Lac Shortt et du Lac Bachelor varient selon les types de minéralisation et les lithologies, ce qui permet d'envisager la présence possible des plusieurs systèmes salins. Davis *et al.* (1990) ont décrit le comportement détaillé de la congélation et de la fusion des différents systèmes et les températures eutectiques à l'équilibre ou stables (à différencier des premières températures de fusion perceptibles métastables) qui se manifestent comme une vraie éclosion soudaine ("melting burst"). Les eutectiques stables sont: $-21,2^\circ\text{C}$ (5,2 mol NaCl) dans le système $\text{NaCl-H}_2\text{O}$, $-22,9^\circ\text{C}$ (4,67 m NaCl et 1,05 m KCl) dans le système $\text{NaCl-KCl-H}_2\text{O}$, $-35,2^\circ\text{C}$ (1,10 mol NaCl , 2,48 mol MgCl_2) dans le système $\text{NaCl-MgCl}_2\text{-H}_2\text{O}$ et -52°C (,51 mol NaCl , 3,78 mol CaCl_2) dans le système $\text{NaCl-CaCl}_2\text{-H}_2\text{O}$.

Fig. 20. Histogramme des températures de l'eutectique (Te - première fusion) au Lac Short.

Températures eutectiques stables :

- a -21,2°C : $\text{NaCl-H}_2\text{O}$
- b -22,9°C : $\text{NaCl-KCl-H}_2\text{O}$
- c -35,2°C : $\text{NaCl-MgCl}_2\text{-H}_2\text{O}$
- d -52°C : $\text{NaCl-CaCl}_2\text{-H}_2\text{O}$

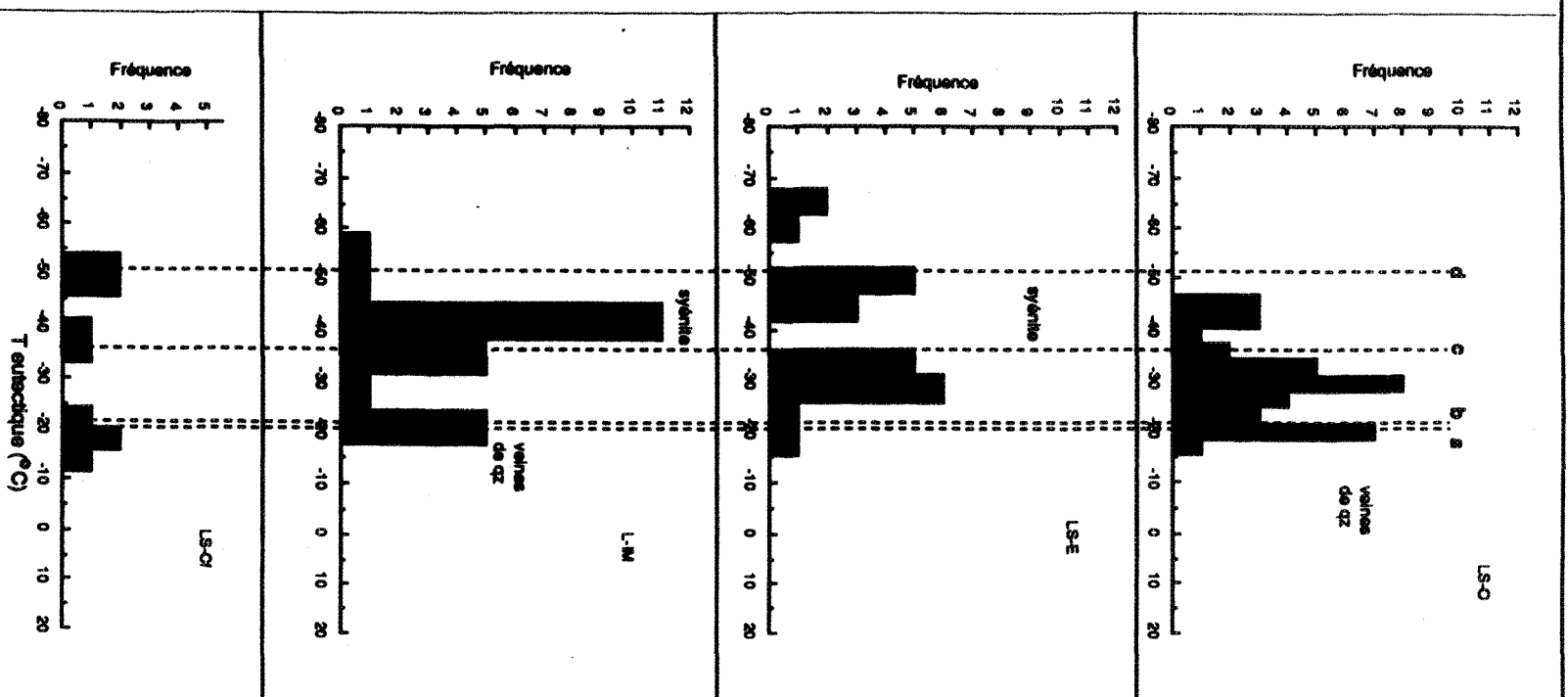
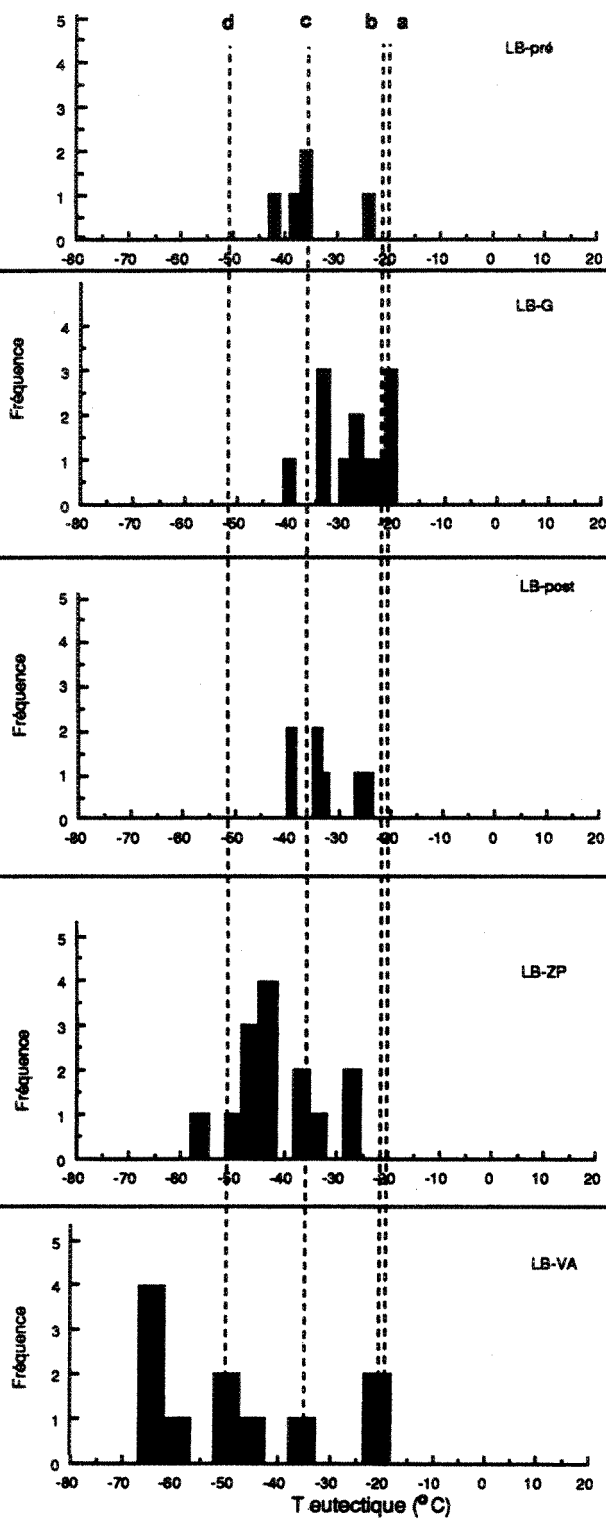


Fig. 21. Histogramme des températures de l'eutectique (Te - première fusion) au Lac Bachelor.

Températures eutectiques stables:

- a -21,2°C : NaCl-H₂O
- b -22,9°C : NaCl-KCl-H₂O
- c -35,2°C : NaCl-MgCl₂-H₂O
- d -52°C : NaCl-CaCl₂-H₂O



Ces histogrammes offrent un nombre de maxima assez bien marqués mais la présence d'autres valeurs est probablement due au fait qu'il était très difficile de distinguer entre les premières manifestations de fusion métastables et les fusions stables. Les températures déterminent quand même avec une bonne approximation l'existence des sels complexes et même la possibilité des systèmes poly-composants.

Dans des veines minéralisées à l'ouest du Lac Shortt, on remarque la présence de saumures NaCl-KCl-MgCl₂-H₂O. Par contre, dans la partie est du gisement et dans les inclusions associées aux phases syénitiques des indices minéralisés, les maxima révèlent une présence importante des espèces bicationiques (Mg²⁺ et Ca²⁺).

Au Lac Bachelor, la Veine principale minéralisée contient des solutions où le système NaCl-MgCl-KCl-H₂O prédomine. Les phases granitiques démontrent un contenu important de NaCl-KCl-H₂O et la Veine A tardive est caractérisée par des saumures NaCl-CaCl₂-H₂O.

5.2.2 Salinité des fluides

La salinité globale de inclusions H₂O-sel (types 1 et 2) est calculée à partir des températures de fusion de la glace et généralement on utilise les données du système H₂O-NaCl pour déterminer une salinité d'équivalent pondéral de NaCl, puisqu'à l'heure actuelle, il n'y a pas d'information concernant d'autres électrolytes qui peuvent contribuer à l'abaissement de la température de fusion de la glace (0,0)°C).

La salinité des inclusions fluides aqueuses-types 1 et 2 a été déterminée en utilisant l'équation cubique de Hall *et al.* (1988), révisée et analysée par régression aux moindres carrés par Bodnar (1993) (voir tableau 6). Cette équation emploie l'abaissement des points de fusion comme variable dépendante et la salinité comme variable indépendante:

$$\text{Salinité} = 0,00 + 1,78 \theta - 0,0442\theta^2 + 0,000557\theta^3 \quad (11)$$

où θ est l'abaissement du point de fusion en degrés Celsius. La salinité apparente des inclusions fluides carboniques du type 3 a été déterminée par

A.P.F.	.0	.1	.2	.3	.4	.5	.6	.7	.8	.9
0.	0.00	0.18	0.35	0.53	0.71	0.88	1.05	1.23	1.40	1.57
1.	1.74	1.91	2.07	2.24	2.41	2.57	2.74	2.90	3.06	3.23
2.	3.39	3.55	3.71	3.87	4.03	4.18	4.34	4.49	4.65	4.80
3.	4.96	5.11	5.26	5.41	5.56	5.71	5.86	6.01	6.16	6.30
4.	6.45	6.59	6.74	6.88	7.02	7.17	7.31	7.45	7.59	7.73
5.	7.86	8.00	8.14	8.28	8.41	8.55	8.68	8.81	8.95	9.08
6.	9.21	9.34	9.47	9.60	9.73	9.86	9.98	10.11	10.24	10.36
7.	10.49	10.61	10.73	10.86	10.98	11.10	11.22	11.34	11.46	11.58
8.	11.70	11.81	11.93	12.05	12.16	12.28	12.39	12.51	12.62	12.73
9.	12.85	12.96	13.07	13.18	13.29	13.40	13.51	13.62	13.72	13.83
10.	13.94	14.04	14.15	14.25	14.36	14.46	14.57	14.67	14.77	14.87
11.	14.97	15.07	15.17	15.27	15.37	15.47	15.57	15.67	15.76	15.86
12.	15.96	16.05	16.32	16.24	16.34	16.43	16.53	16.62	16.71	16.80
13.	16.89	16.99	17.08	17.17	17.26	17.34	17.43	17.52	18.47	17.70
14.	17.79	17.87	17.96	18.04	18.13	18.22	18.30	18.38	19.29	18.55
15.	18.63	18.72	18.80	18.88	18.96	19.05	19.13	19.21		19.37
16.	19.45	19.53	19.60	19.68	19.76	19.84	19.92	19.99	20.07	20.15
17.	20.22	20.30	20.37	20.45	20.52	20.60	20.67	20.75	20.82	20.89
18.	20.97	21.04	21.11	21.19	21.26	21.33	21.40	21.47	21.54	21.61
19.	21.68	21.75	21.82	21.89	21.96	22.10	22.10	22.17	22.24	22.31
20.	22.38	22.44	22.51	22.58	22.65	22.71	22.78	22.85	22.91	22.98
21.	23.05	23.11	23.18							

Tableau 6. Salinités (en % pds.) correspondant à des abaissments du point de fusion (A.P.F.) mesurées pour des inclusions fluides de composition H₂O-NaCl (d'après Bodnar, 1993).

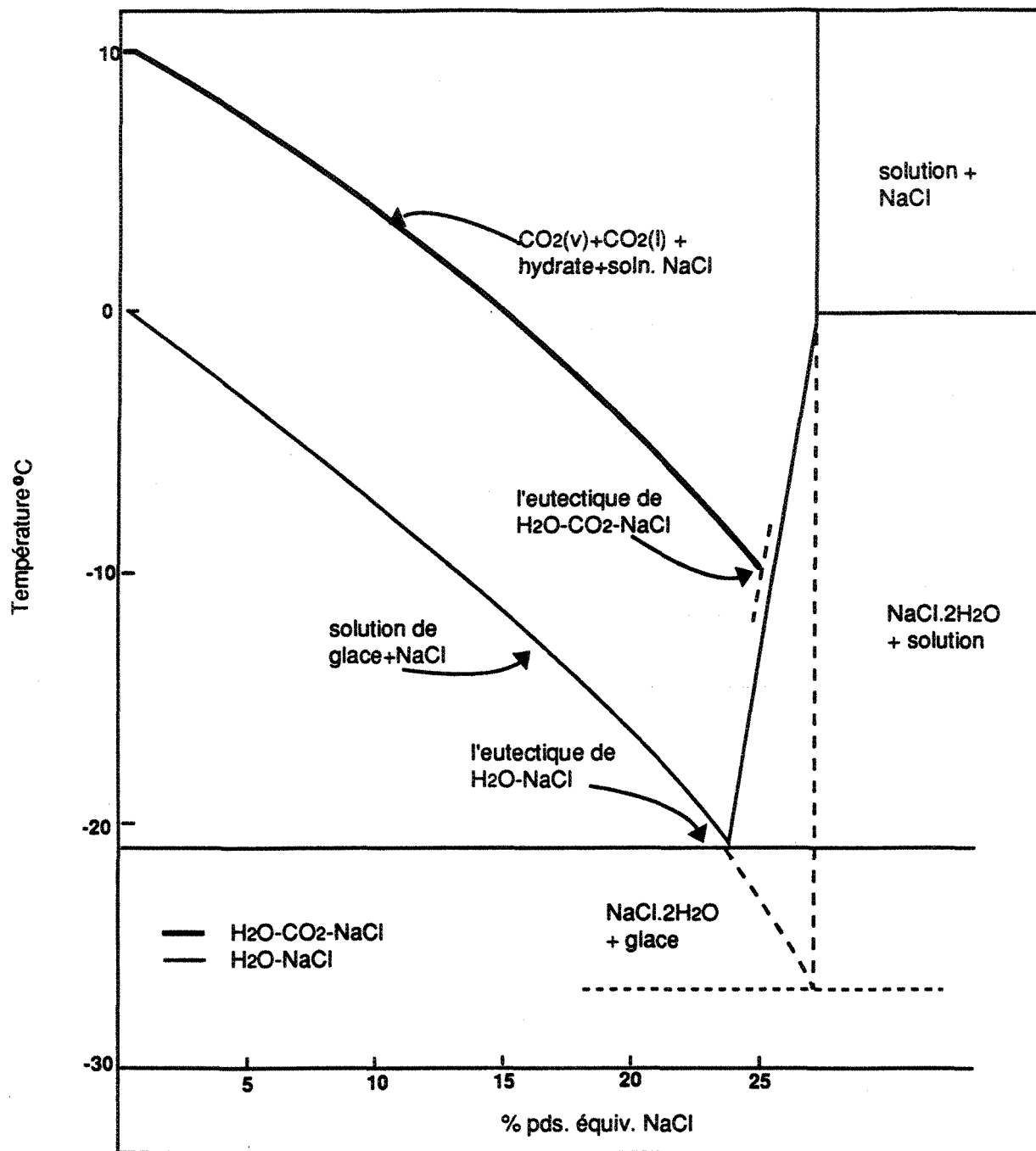


Fig. 22. Abaissement de la température de fusion de la glace en présence NaCl et de la température de décomposition de l'hydrate de CO₂ en présence de NaCl, de CO₂-H₂O (v) et CO₂ (l) - (modifié d'après Collins, 1979).

combinaison des résultats de fusion de la glace et du clathrate de CO_2 ($\text{CO}_2 \cdot 7,5\text{H}_2\text{O}$) dans les inclusions de CO_2 liquide et vapeur (fig. 22). Cette approche n'est pas applicable à des inclusions du type 4. Le clathrate formé est un mélange de CH_4 - CO_2 qui introduit un effet s'opposant à l'abaissement de la température de fusion de l'hydro-sel ou du clathrate normal.

Donc, en utilisant la température de fusion de la glace pour calculer la salinité par rapport au système H_2O - NaCl , il faut tenir compte de la présence d'autres cations, tels que K^+ , Mg^{++} ou Ca^{++} , et les molécules de bicarbonates contribueront aussi à l'abaissement de T_f de la glace, donc à réduire le contenu en NaCl dans la phase aqueuse (Roedder, 1984). Par conséquent, la salinité calculée, en se basant sur le système H_2O - NaCl , des inclusions appartenant au système H_2O - NaCl - KCl - CaCl_2 , comme celles déduites des températures eutectiques au Lac Shortt, est plus faible que les vraies salinités. Selon Vanko (1988), on peut sous-estimer les salinités par autant que 10% équiv. NaCl pondéral.

5.2.3 La composition et la densité des fluides

Le but ultime des analyses microthermométriques à hautes températures est de déterminer la température d'homogénéisation liquide-vapeur (les phases deviennent complètement miscibles) totale (figs. 23 et 24), ainsi que celle de la dissolution des minéraux fils. Cette température d'homogénéisation en combinaison avec des données compositionnelles résultant des études cryométriques, peut être utilisée pour calculer la densité globale des inclusions fluides individuelles.

Comme on peut rarement déterminer la densité directement, on a eu recours à deux programmes de calculs pour estimer les densités globales et les isochores des mélanges de H_2O - NaCl , H_2O - NaCl - KCl , H_2O - CO_2 , H_2O - CO_2 - NaCl -sels, et de H_2O - CO_2 - CH_4 : Fortran Programs (Nicholls et Crawford, 1985) et FLINCOR (Brown, 1989) qui incluent des équations d'état complexes que l'utilisateur peut comparer, ainsi que des approches de réduction de données.

Les équations employées sont dérivées des systèmes suivants:

Fig. 23 : Histogramme des températures
d'homogénéisation (T_{hom}) au Lac Shortt.

T-2(P,PS) : Type 2, primaires, pseudo-secondaires
T-2(PS,S) : Type 2, pseudo-secondaires, primaires
T-2(S) : Type 2, secondaires
T-3 : Type 3

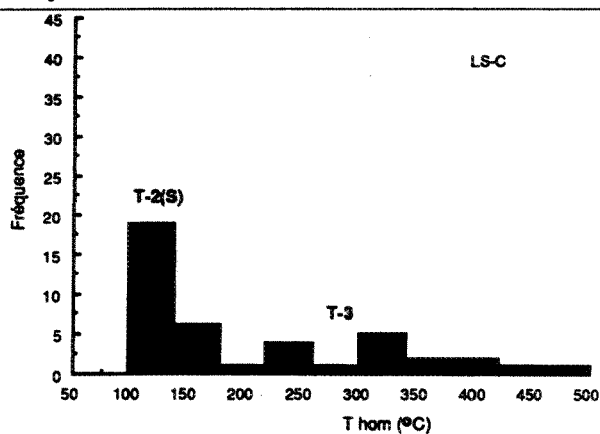
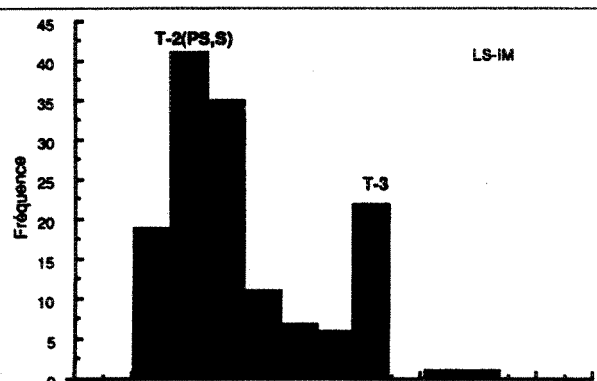
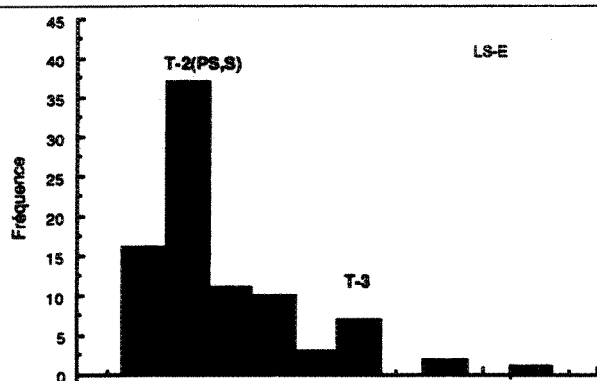
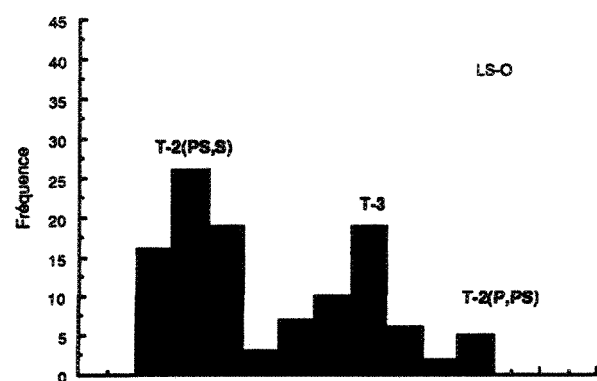
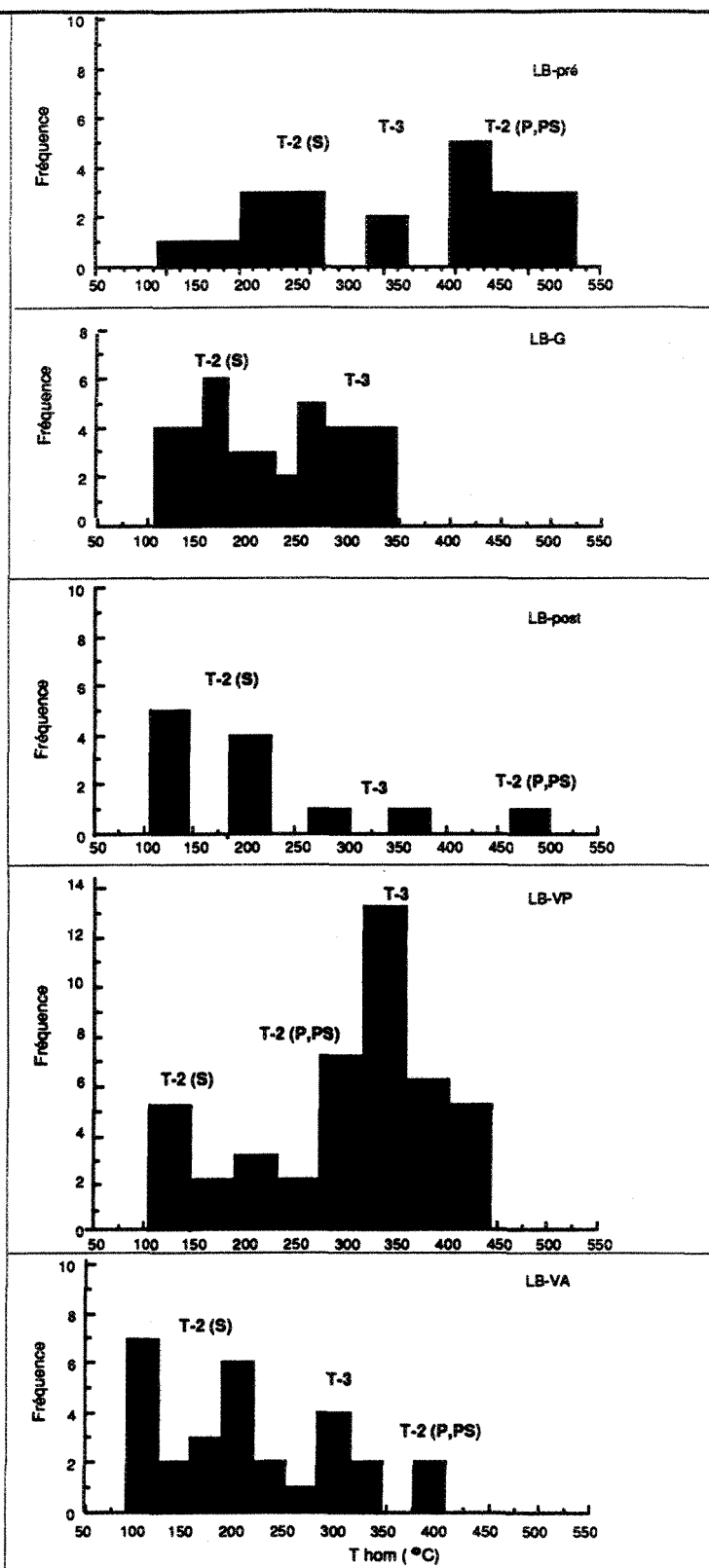


Fig. 24 : Histogramme des températures d'homogénéisation (T_{hom}) au Lac Bachelor.

T-2 (P,PS) Type 2, primaires, pseudo-secondaires
 T-2 (S) Type 2, secondaires
 T-3 Type 3



- H₂O pur: équation Redlich-Kwong modifié (MRK) de (Holloway, 1981; Haar *et al.*, 1984);
- H₂O-NaCl: (Knight et Bodnar, 1989);
- H₂O-CO₂: (Kerrick et Jacobs, 1981);
- H₂O-CO₂-NaCl: (Tourigny *et al.*, 1989; Bowers et Helgeson, 1983);
- H₂O-CO₂-CH₄: (Kerrick et Jacobs, 1981);
- CO₂-CH₄: (Swanenberg, 1980; Heyen *et al.*, 1982);
- H₂O-NaCl-KCl-CaCl₂: (Saxena et Fei, 1987)

Les densités des phases gazeuse et liquide, ainsi que les fractions molaires des différentes phases et les volumes molaires apparaissent dans les tableaux de l'annexe C.

5.2.4 Résumé

Lac Shortt

Comme nous l'avons déjà souligné, nous avons affaire à deux styles de minéralisation au Lac Shortt: une minéralisation disséminée, surtout associée à la partie est (LS-est) de la mine, et à la carbonatite du Lac Shortt, et une minéralisation en veines de quartz et dans des brèches, associée à la partie ouest de la mine et à d'autres indices minéralisés. Les données microthermométriques sont résumées à la fig. 25.

Indices minéralisés

Les indices minéralisés montrent deux styles de minéralisation: disséminée (les syénites sur l'Île d'Opawica) et dans des veines de quartz encaissées dans des roches de lithologie variable. Les données microthermométriques sont résumées à la fig. 26.

Lac Bachelor

Nous avons appliqué la microthermométrie à de différentes phases minéralisées, soit le granite, la Zone Principale et la Veine A. Les données microthermométriques sont résumées à la fig. 2.

Lac Shortt - Veines de quartz

Analyses	Données	Interprétations
T hom totale	Type 1: 123 - 289°C Type 2: 116 - 394°C Type 3: 230 - 322°C Type 4: 187 - 340°C	Inclusions aqueuses T hom: L+V->L (T diss NaCl) Types 2 et 3 coexistants T décrépitation: 380 - 420 C
T eutectique	-45 ° à -21,2°C	H ₂ O-NaCl-KCl-MgCl ₂
Tf glace	Type 1: +0,1 à +1,0°C Type 2: -25 à -1,5°C	Salinités: 0,66% pds. équiv. NaCl 7,3-7,48% pds. équiv. NaCl
Tf hydrate	Type 3: +5,5 à +10°C Type 4: +4,4 à +13,2°C	Salinités: 3,5 à 7,7 % pds. équiv. NaCl 4,4 à 8,2% pds. équiv. NaCl
Tf CO ₂	-56,6 à -69,6°C	CO ₂ +CH ₄ +N ₂ confirmés par SMSS
T hom CO ₂	21,5 à 31,1°C	Homogénéisation L+V->L Densité CO ₂ : 0,6 à ,79
xCO ₂	4- 78%	xCO ₂ < xH ₂ O

Lac Shortt - Minéralisation disséminée et carbonatite

Analyses	Données	Interprétations
T hom totale	Type 1: 386°C Type 2a: 90 à 145°C Type 2b: 150 à 462°C Type 3: 205 à 305°C Type 4: 97 à 100°C	Inclusions aqueuses Deux populations de fluides salins H ₂ O-CO ₂ NaCl Trop petits, >70% vol. vapeur
T eutectique	- 50°C -21 ° à -27°C	H ₂ O-NaCl-CaCl ₂ H ₂ O-NaCl-KCl
Tf glace	Type 1: -0,6°C Type 2: -22,3 à -5,2°C	Salinités: 1,22 % pds. équiv. NaCl (T 1) 6,11-18,32 % pds. équiv. NaCl (T 2)
Tf hydrate	Type 3: +6,8 à +9,3°C Type 4: +3,0 à +17,6°C	Salinités: 3,5 à 9,5 % pds. équiv. NaCl 0,02 à 5,7% pds. équiv. NaCl
Tf CO ₂	-56,6 à -68°C	CO ₂ +CH ₄ +N ₂ +H ₂ S confirmés par SMSS
T hom CO ₂	-19 à 28,9°C	Densité CO ₂ : 0,66 à ,79 (g/cm ³)
xCO ₂	5 - 63 %	xCO ₂ < xH ₂ O

Fig. 25. Résumé des données microthermométriques au Lac Shortt.

Lac Shortt - Indices minéralisés- Veines de quartz

Analyses	Données	Interprétations
T hom totale	Type 1: 171 - 383°C Type 2: 143 - 442°C Type 3: 161 - 327°C Type 4: 247 - 301°C	Inclusions aqueuses T hom: L+V->L (T diss NaCl) Types 2 et 3 coexistants T décrépitation: 230 -366 C
T eutectique	-59 `à -21,7°C	H ₂ O-NaCl--MgCl ₂ CaCl ₂
Tf glace	Type 1: -0,1 à -1,4°C Type 2: -25,3 à -1,5°C	Salinités: 0,87% pds. équiv. NaCl (T1) 2,6-à 26,2% pds. équiv. NaCl (T2)
Tf hydrate	Type 3: +5,2 à +10°C Type 4: +4,4 à +13,2°C	Salinités: 1,6 à 7,0 % pds. équiv. NaCl(T3) 1,0 à 7,1% pds. équiv. NaCl(T4)
Tf CO ₂	-56,1 à -64,2°C	CO ₂ +CH ₄ +N ₂ confirmés par SMSS
T hom CO ₂	15,9 à 30,6°C	Homogénéisation L+V->L Densité CO ₂ : 0,3 à ,68
xCO ₂	10- 63%	xCO ₂ < xH ₂ O

Lac Shortt - -Indices minéralisés - Minéralisation disseminée (syénite d'Opawica)

Analyses	Données	Interprétations
T hom totale	Type 2a: 109 à 122°C Type 2b: 170 à 316°C Type 3: 161 à 245°C Type 4: 247 à 301°C	Inclusions aqueuses Deux populations de fluides salins H ₂ O-CO ₂ NaCl >70% vol. vapeur
T eutectique	- 59°C -35 `à -45°C	H ₂ O-NaCl-CaCl ₂ H ₂ O-NaCl-KCl-MgCl ₂ -CaCl ₂
Tf glace	Type 2: -22,3 à -5,2°C	Salinités: 4,63-22,3 % pds. équiv. NaCl (T 2)
Tf hydrate	Type 3: +5,7 à +8,3°C	Salinités: 3,8 % pds. équiv. NaCl
Tf CO ₂	-56,6 à -64,5°C	CO ₂ +CH ₄ +N ₂ +H ₂ S confirmés par SMSS
T hom CO ₂	-15,5 à 28,1°C	Densité CO ₂ : 1,2 à ,62 (g/cm ³)
xCO ₂	15 - 85%	xCO ₂ < xH ₂ O

Fig. 26. Résumé des données microthermométriques des indices minéralisés au Lac Shortt.

Analyses	Données	Interprétations
T hom totale	Type 1: 240° - 304°C Type 2: 117° - 282°C Type 3: 314° - 348°C Type 4: 260° - 305°C	Inclusions aqueuses (fluorine) T hom: L+V->L < (T diss NaCl) Types 2 et 3 coexistants
T eutectique	-35 °à -21,2°C	H ₂ O-NaCl-KCl
Tf glace	Type 1: -6,3 à -1,6°C Type 2: -19 à -8°C	Salinités: 5,6 % pds. équiv. NaCl 12,7 % pds. équiv. NaCl
Tf hydrate	Type 3: +4,2 à +8,9°C Type 4: +5,2 à +6,7°C	Salinités: 6,2 % pds. équiv. NaCl 6,6% pds. équiv. NaCl
Tf CO ₂	-56,6 à -61,6°C	CO ₂ +CH ₄ +N ₂ confirmés par SMSS
T hom CO ₂	10,4 à 31,1°C	Homogénéisation L+V->L Densité CO ₂ : 0,6 à ,86
xCO ₂	3 - 94 %	xCO ₂ < xH ₂ O

Lac Bachelor -Veine principale et Veine A

Analyses	Données	Interprétations
T hom totale	Type 1: 347 à 378°C Type 2a: 125 C, 350°C Type 2b: 108 à 400°C Type 3: 266 à 407°C Type 4: 301 à 343°C	Inclusions aqueuses (L+V-> L) Veine principale-dist. bimodale Veine A H ₂ O-CO ₂ -NaCl T2+T4 coexistants dans V.P.
T eutectique	- 56 C à -27°C (V.P.) -21 °à -69°C(V.A.)	H ₂ O-NaCl-KCl-MgCl ₂ -CaCl ₂ H ₂ O-NaCl-KCl H ₂ O-NaCl-CaCl ₂
Tf glace	Type 1: -1,4°C Type 2: -11°C	Salinités: 0,42-3,69 % pds. équiv. NaCl 10,1-14,55 % pds. équiv. NaCl
Tf hydrate	Type 3: +3,2 à +9,3°C Type 4: +2,2 à +17,6°C	Salinités: 8,3 à 10,6 % pds. équiv. NaCl 3,3 à 8,2 % pds. équiv. NaCl
Tf CO ₂	-56,6 à -66,6°C	CO ₂ +CH ₄ +N ₂ +H ₂ S confirmés par SMSS
T hom CO ₂	7,9 à 31°C (Z.P.) 20 à 31°C (V.A.)	Densité CO ₂ : 0,62 à ,89 (g/cm ³) 0,77 à ,89 (g/cm ³)
xCO ₂	2- 63 %	xCO ₂ < xH ₂ O

Fig. 27. Résumé des données microthermométriques au Lac Bachelor.

On remarque que le gisement du Lac Shortt et les indices minéralisés présentent dans leurs caractéristiques physiques et chimiques des variations semblables dans les deux styles de minéralisation. L'ensemble de ces résultats nous conduit à envisager un seul contexte et par conséquent, une tendance évolutive générale qui caractérise les deux milieux décrits. En effet, les indices minéralisés montrent des comportements analogues à ceux du gisement du Lac Shortt.

5.3 Evolution des fluides minéralisants et discussion de modèles possibles d'évolution des fluides

Dans cette section, on se servira de toutes les données discutées précédemment pour préciser l'évolution des fluides pendant la minéralisation aurifère dans les deux gisements et dans les indices minéralisés dans la région du Lac Shortt. Les variations observées seront discutées dans le cadre des gisements individuels et des styles de minéralisation.

Dans presque tous les échantillons, l'une des caractéristiques les plus marquantes est le grand éventail des compositions de fluides compte tenu des mélanges variables: aqueux à deux phases (types 1 et 2) et aqueux-carboniques à deux ou trois phases (types 3 et 4) qui coexistent en proximité intime. Afin d'expliquer la coexistence des différents types d'inclusions fluides, on fait appel à quatre mécanismes possibles, selon Pichavant *et al.* (1982):

a) *Par exsolution ou démixion* d'une solution parentale homogène.

Dans une optique purement physique, l'exsolution d'un fluide parental homogène produit deux fluides coexistants, immiscibles, avec des caractéristiques et comportements distincts et des compositions appartenant aux deux axes ou pôles ("end-members") quand le trajet P-T-x du fluide rencontre la surface du solvus (fig. 28). En effet, pour que deux types différents d'inclusions correspondent à des phases immiscibles, Ramboz *et al.* (1982) suggèrent trois critères auxquels il faut répondre:

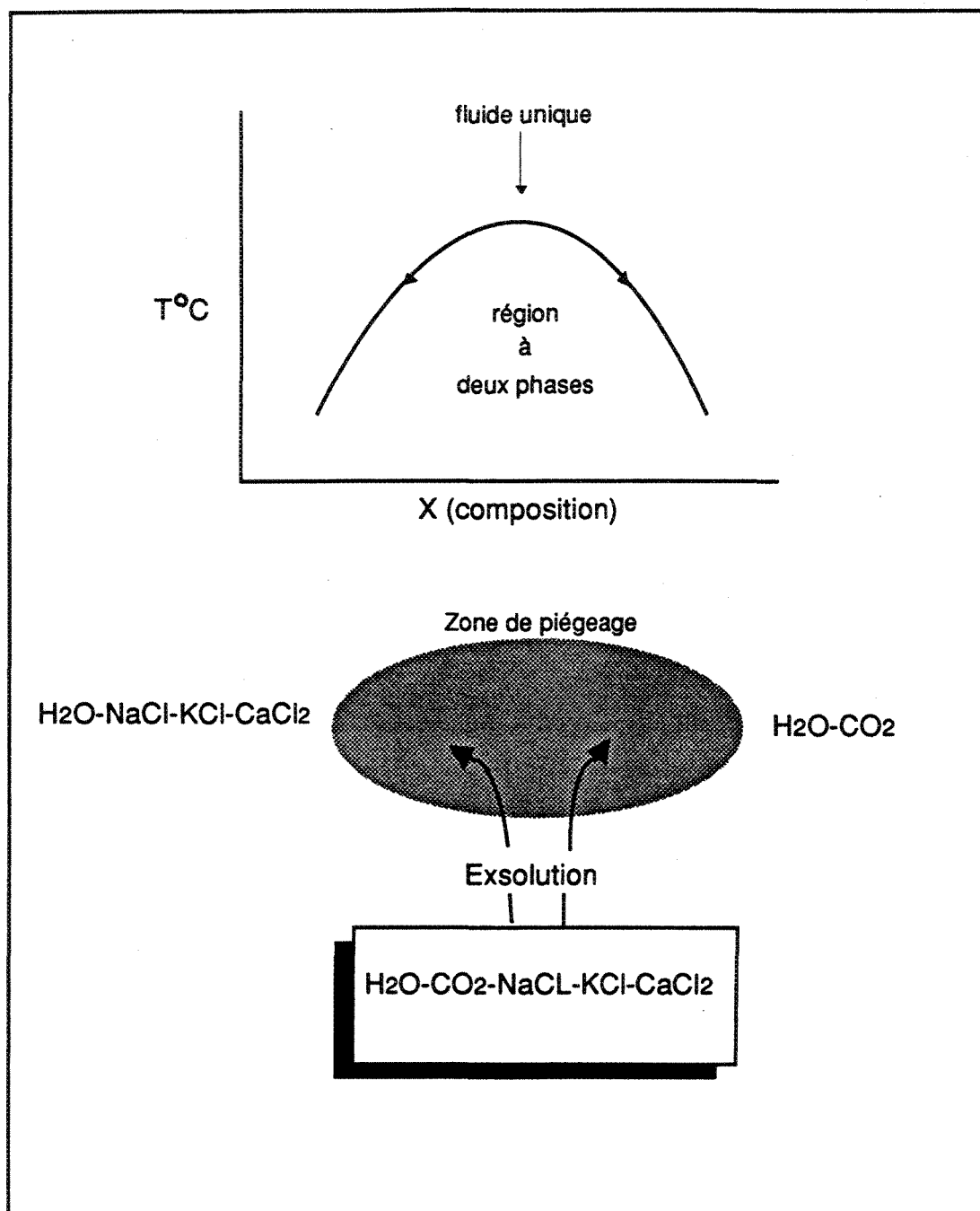
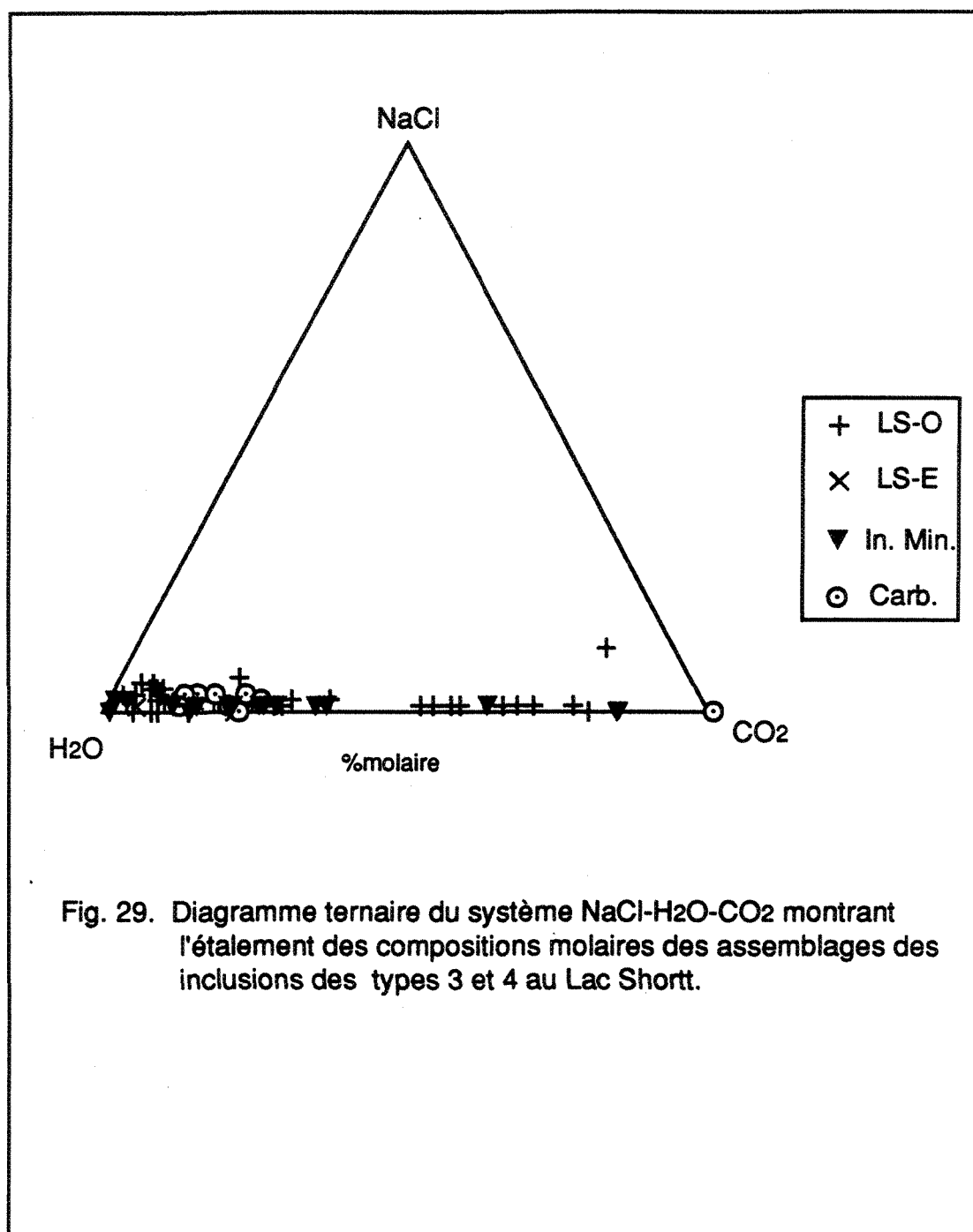
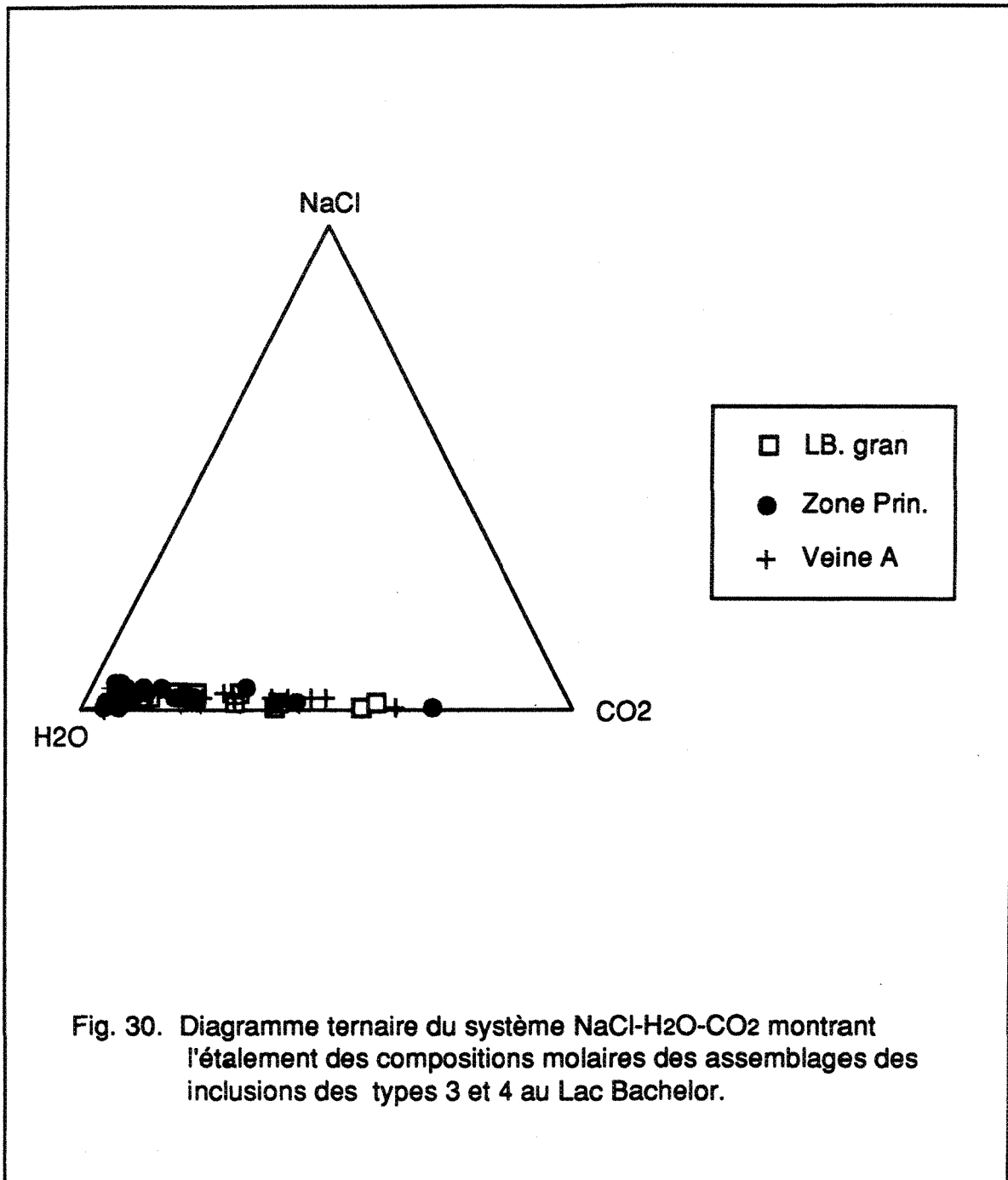


Fig. 28. Modèle par exsolution ou démixion d'une solution parentale homogène (modifié d'après Roedder, 1984).





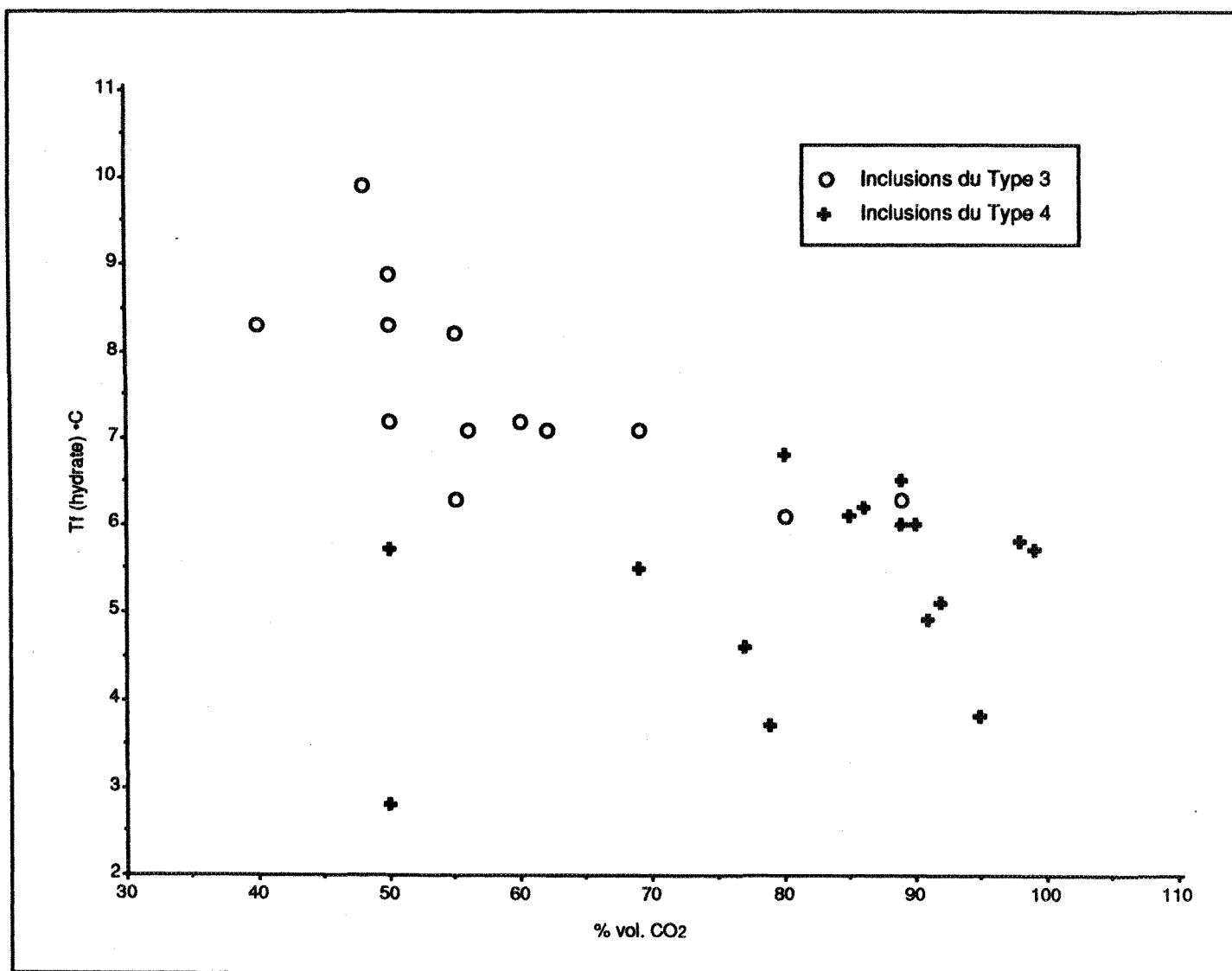


Fig. 31. Relation entre le %volume CO₂ versus la température de fusion de l'hydrate du CO₂ des assemblages au Lac Shortt.

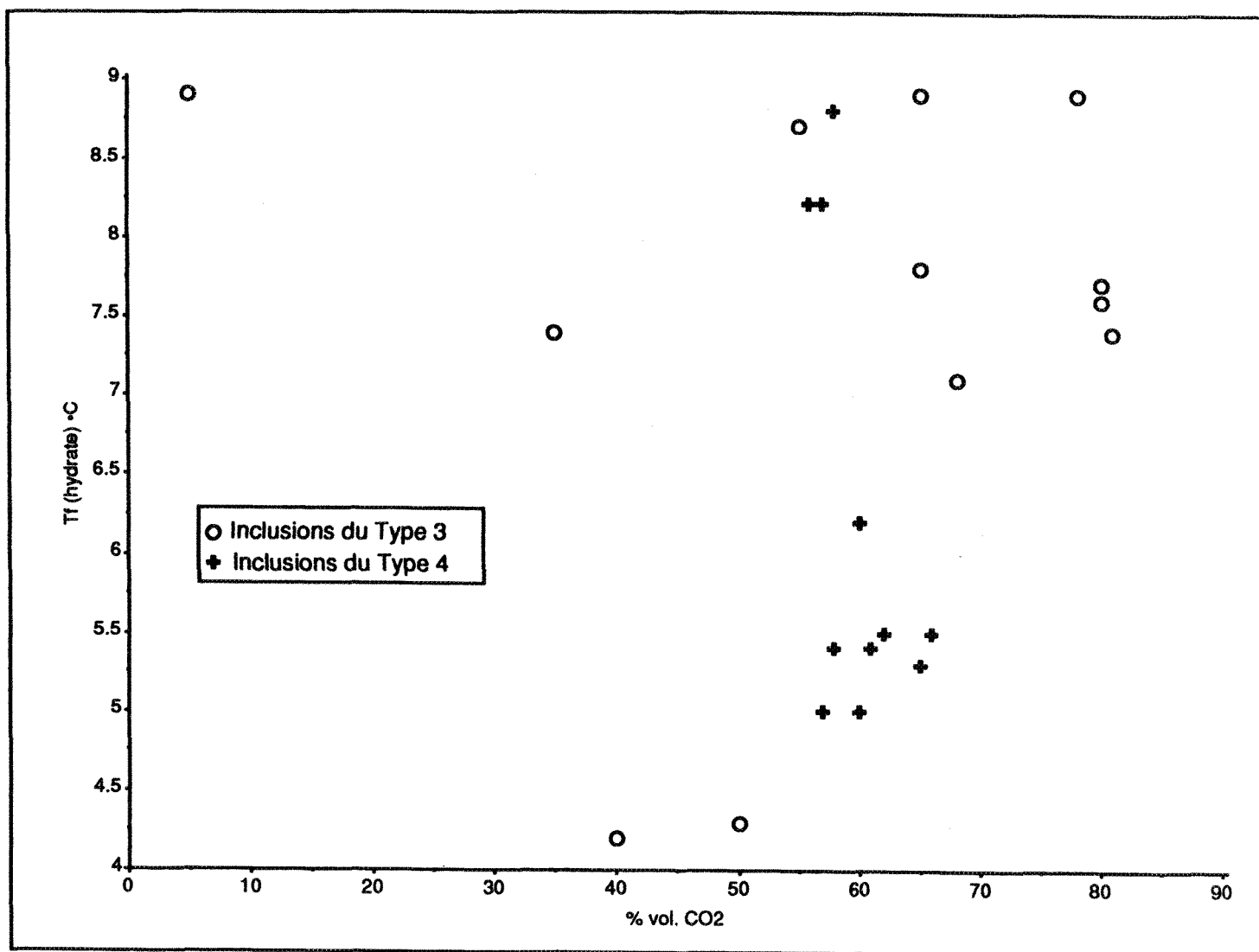


Fig. 32. Relation entre le % volume CO₂ versus la température de fusion de l'hydrate du CO₂ des assemblages au Lac Bachelor.

Cette coexistence des inclusions avec des contenus variables en CO₂, qui montrent un comportement d'homogénéisation critique plus souvent à la phase liquide mais aussi parfois à la phase vapeur, représente encore un autre problème. Néanmoins, *Craw et al.* (1993), ont interprété, en modélisant ce phénomène, cette vaste gamme de compositions variables comme des mélanges fortuits ou "accidentaux" des deux fluides immiscibles.

b) *Par mélange de deux fluides homogènes*, originalement non-reliés qui produisent des compositions variables par piégeage hétérogène des fluides aqueux et carboniques, à l'intérieur de la région sub-solvus à deux phases (fig. 33). Selon *Ramboz et al.* (1982), ce mécanisme de piégeage hétérogène est indiqué quand

- 1- toutes les inclusions dans une même population sont piégées simultanément;
- 2- les inclusions montrent une grande variation dans les compositions et le degré de remplissage;
- 3- il n'y a aucune évidence de fuite ou d'étranglement.

Quoique les inclusions montrent une variation importante dans les compositions et le degré de remplissage, les inclusions fluides associées à la minéralisation dans la région du Lac Shortt montrent souvent des relations d'intersection entre les inclusions aqueuses et les inclusions carboniques. Ceci suggèrent que les inclusions ne sont probablement pas contemporaines, et que le piégeage des inclusions aqueuses peut parfois post-dater celui des inclusions carboniques (pl. 21-A, 21-B). En plus, des évidences de fuite (pl. 21-C) et d'étranglement (pl. 21-D) sont reconnues dans les deux types d'inclusions.

c) *Par piégeages successifs des fluides de compositions contrastantes*. Il est possible d'inférer ce mécanisme de piégeage à partir des relations de texture du quartz que nous avons vues dans la section antérieure, ainsi que dans les relations entre les T_{hom} et T_f aux figs. 34 et 35. On remarque les observations suivantes:

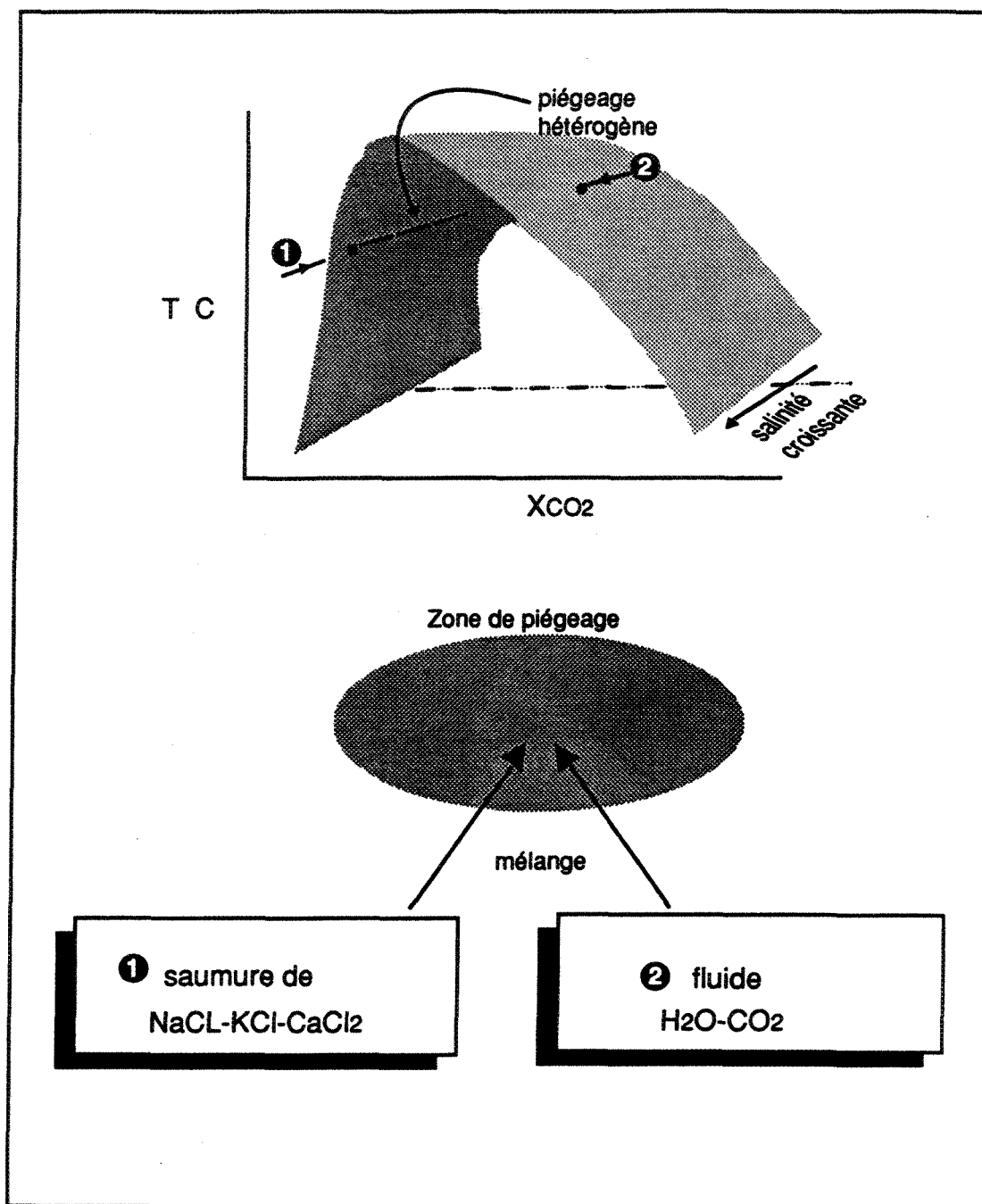


Fig. 33. Modèle par mélange de deux fluides homogènes dans la région sub-solus à deux phases (modifié d'après Roedder, 1984).

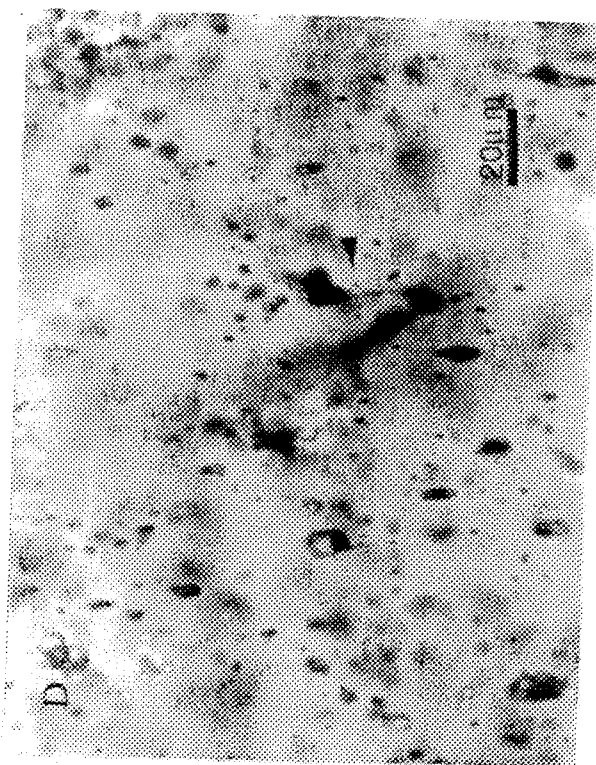
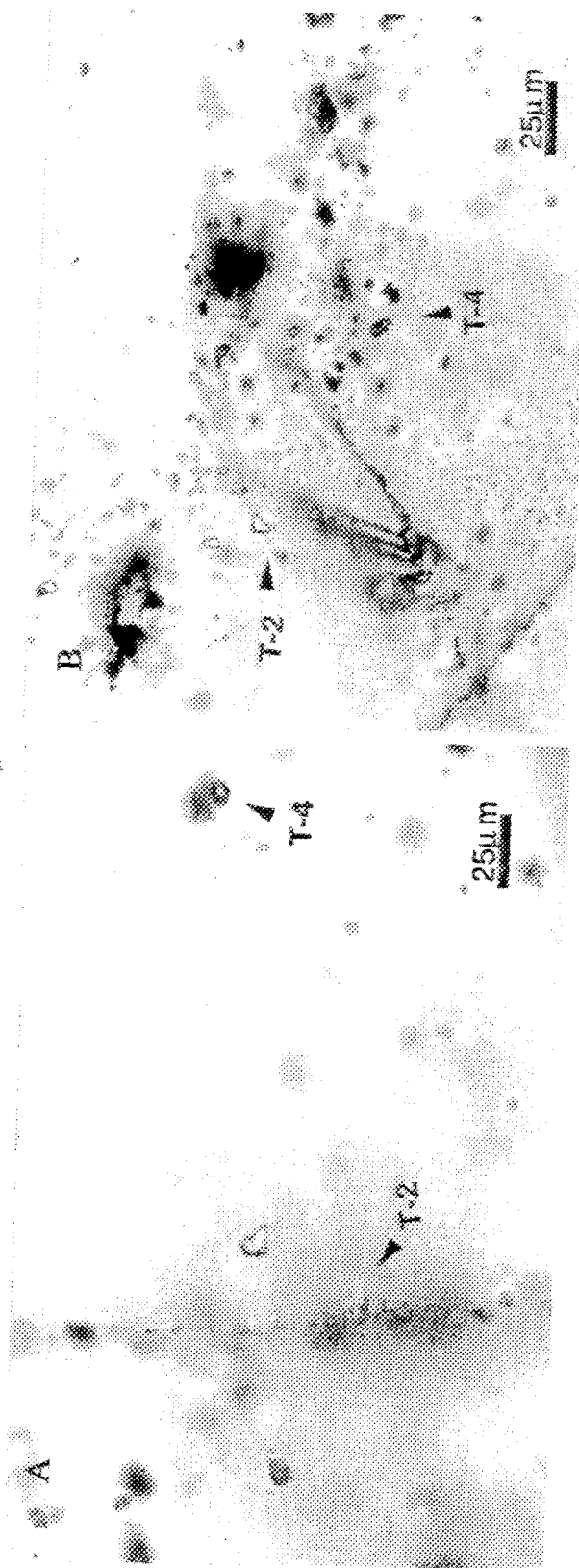
Planche 21

A et B- Photomicrographies d'une traînée plus tardive d'inclusions fluides aqueuses T-2 qui recoupe le grain de quartz hôte; à côté, on remarque la présence des inclusions carboniques T-4 isolées, disposées de façon aléatoire.

C- Photomicrographie des inclusions fluides à 50% volume de vapeur qui montrent des évidences de fuite (*leakage*).

D- Photomicrographie d'une inclusion fluide en voie d'étranglement (*necking*).

Planche 21



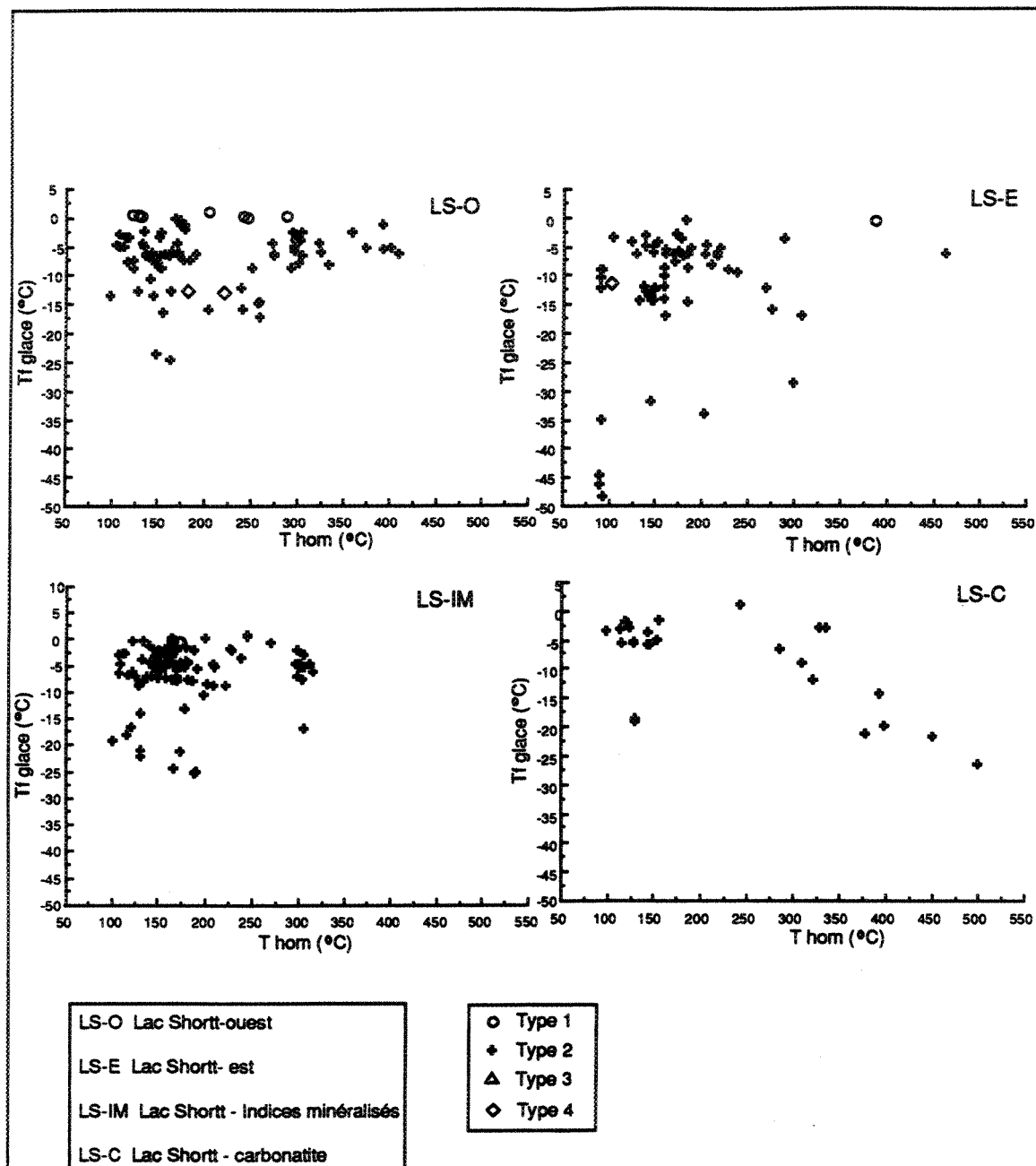


Fig. 34. Relation entre les températures d'homogénéisation et les températures de fusion de la glace des inclusions aqueuses et carboniques au Lac Shortt..

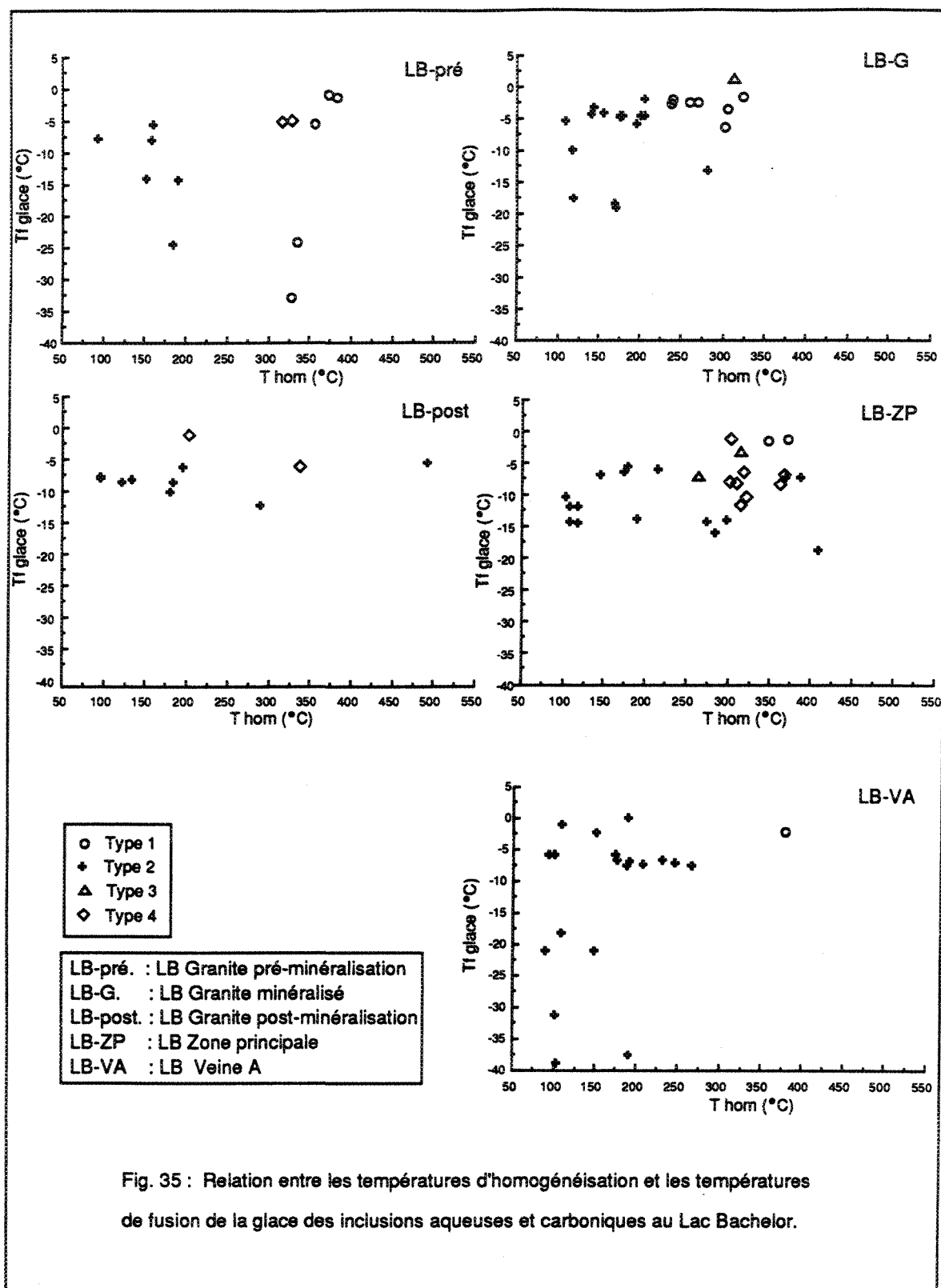


Fig. 35 : Relation entre les températures d'homogénéisation et les températures de fusion de la glace des inclusions aqueuses et carboniques au Lac Bachelor.

Fig. 34. - La température de la glace de certaines inclusions du type 2 est inférieure à celle des inclusions carboniques (types 3 et 4), surtout au Lac Shortt-est, malgré le fait que la présence de sels et du CO_2 tend à diminuer T_f ; les températures des types 3 et 4 ne dépassent pas de 350°C au Lac Shortt-ouest.

Fig. 35 - dans la Veine ou Zone principale du Lac Bachelor et la Veine Sud du Lac Shortt, on remarque qu'il y a presque une dichotomie entre les inclusions aqueuses (types 1 et 2) et les inclusions carboniques (types 3 et 4).

Dans les deux gisements, on peut en déduire de manière très globale au moins deux stades hydrothermaux, l'un qui comporte des inclusions aqueuses-carboniques et le deuxième qui correspond à une contribution d'un fluide aqueux plus tardif dû probablement à une fracturation causant la formation des veines et des brèches.

d) *Par perte du H_2O lors du piégeage.* Hollister (1990) avait proposé un modèle ("leakage model") applicable à des inclusions pendant une déformation subie lors du piégeage pour expliquer les densités incompatibles des inclusions riches en CO_2 et riches en H_2O . Le changement plus vraisemblable qui se produit est une fuite préférentielle de H_2O (\pm sel) des inclusions qui contiennent des mélanges de CO_2 - $\text{H}_2\text{O}\pm$ sel. Pendant la déformation, la cavité se déforme elle aussi selon les conditions de P et T ambiantes, et le fluide résiduel ou restite acquiert une densité pour refléter ces conditions de rajustement (Bakker et Jansen, 1990, 1991). Ceci peut indiquer que les inclusions riches en CO_2 ont pu, à un moment donné, contenir des quantités importantes de H_2O .

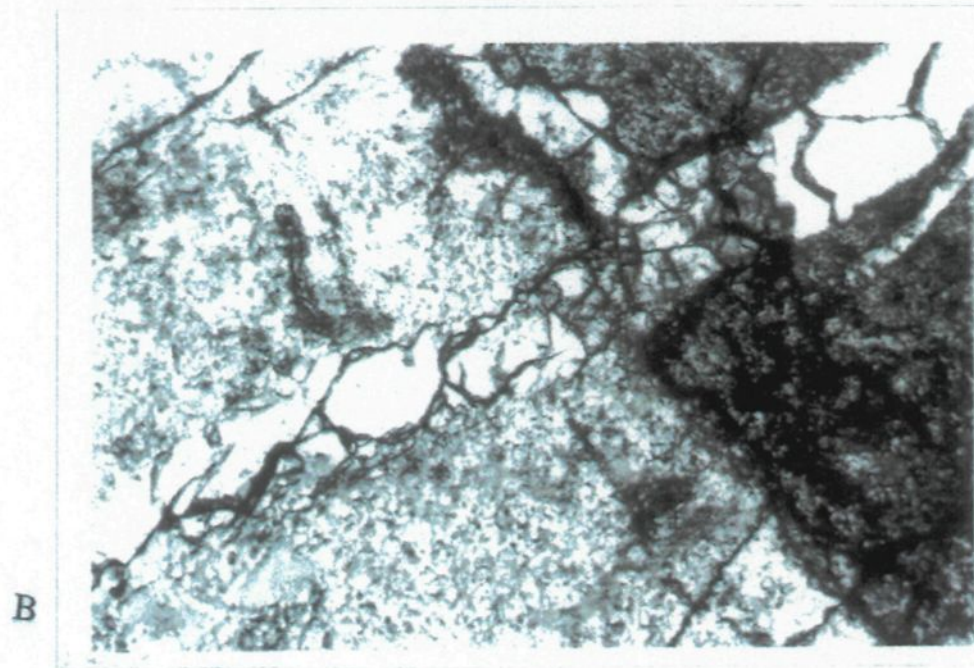
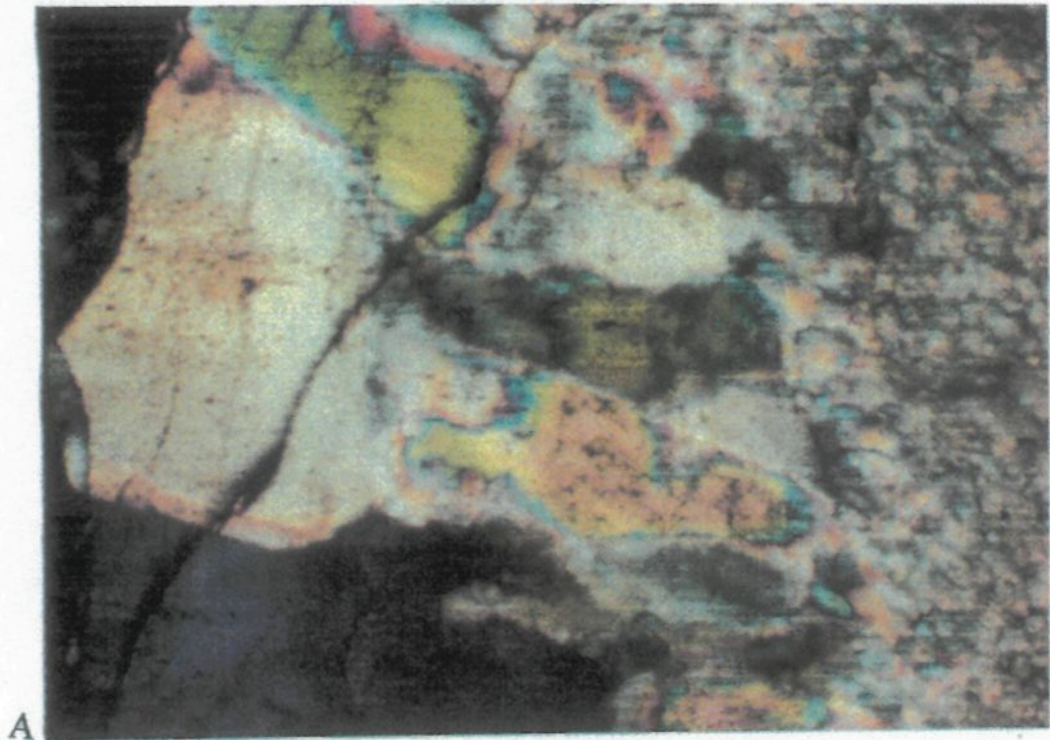
Dans la région du Lac Shortt, la plupart des veines de quartz minéralisées sont caractérisées par une matrice qui manifestent une mise en place épisodique. Celle-ci est reliée à des événements successifs de déformation ductile et fragile: du quartz laiteux en grains grossiers avec une forte extinction ondulatoire (pl. 22-A) entourés par du quartz plus transparent, recristallisé, et polygonal. On assiste à des événements de déformation fragile, montrés par les réseaux multiples des veinules de quartz qui recoupent les structures produites par la déformation ductile (pl. 22-B).

Planche 22

A - Photomicrographie du quartz laiteux en grains grossiers avec une forte extinction ondulatoire associé à du quartz recristallisé en petits grains polygonaux. Les couleurs d'extinction sont anormales dû à l'épaisseur des sections double-polies (largeur de la photo: 6 mm).

B- Photomicrographie d'une veinule tardive de quartz transparent (déformation fragile) qui recoupe la syénite hématisée (foncée) et la veine de quartz laiteux (larguer de la photo: 5 mm).

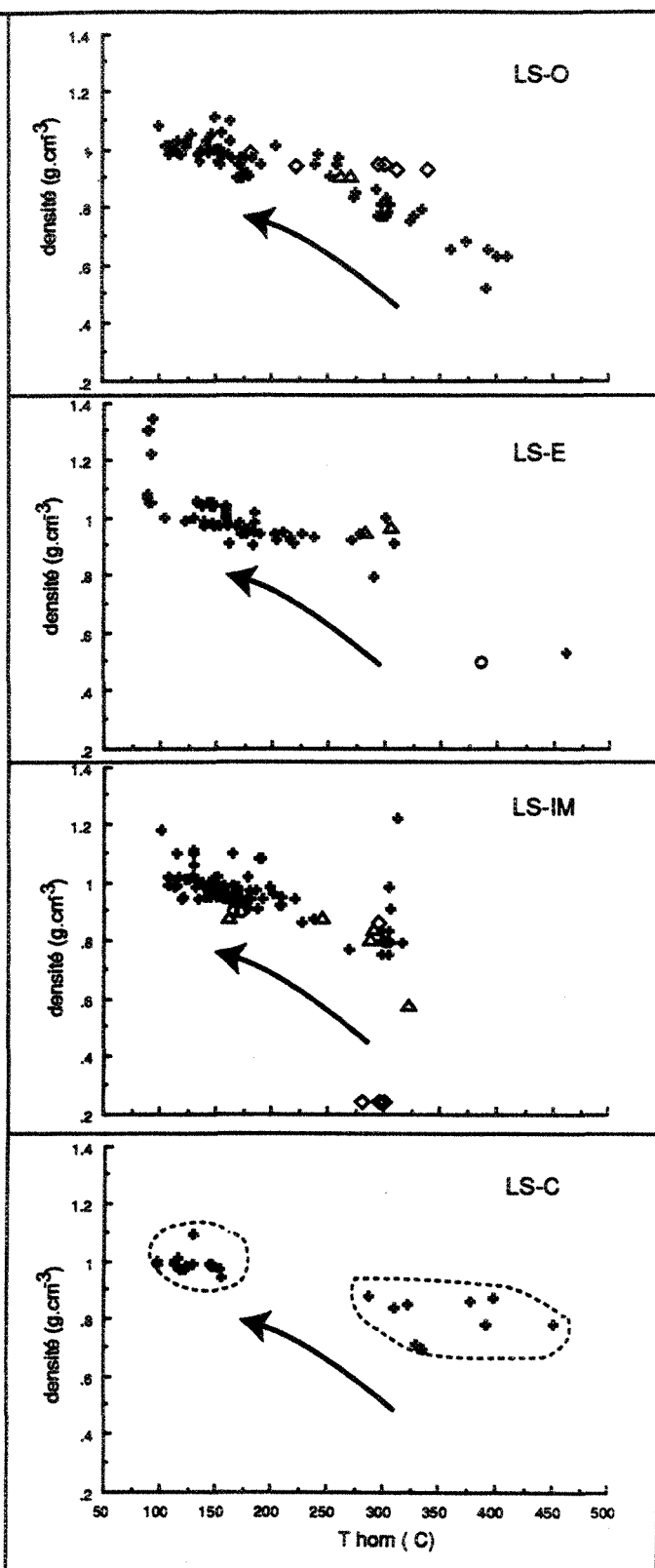
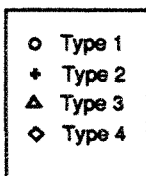
Planche 22



L'étalement des densités apparentes des inclusions carboniques et aqueuses pourrait aussi indiquer la possibilité de ce phénomène. Aux figs. 36 et 37, la densité globale des différents types d'inclusions, surtout du type 2, montre des écarts importants (0,6 à 1,3 g/cm³.) Selon (Cathlineau *et al.*, 1993), on peut interpréter les changements appréciables dans la densité comme le résultat de fluctuations importantes dans la pression avant ou après la formation des microfissures ou tout événement qui peut causer une perte de H₂O.

Cependant, Bodnar (1983) a utilisé des calculs de densité des fluides de composition H₂O-NaCl de diverses combinaisons de P-T-X et il a trouvé que un fluide originalement à faible salinité et à faible densité se sépare pour produire un fluide de densité et salinité plus élevées. Ce fluide refroidi et à température ambiante peut contenir un minéral fils de halite et une plus petite bulle.

Fig.36 : Variation des températures d'homogénéisation avec la densité globale ou apparente des inclusions aqueuses et carboniques au Lac Shortt.



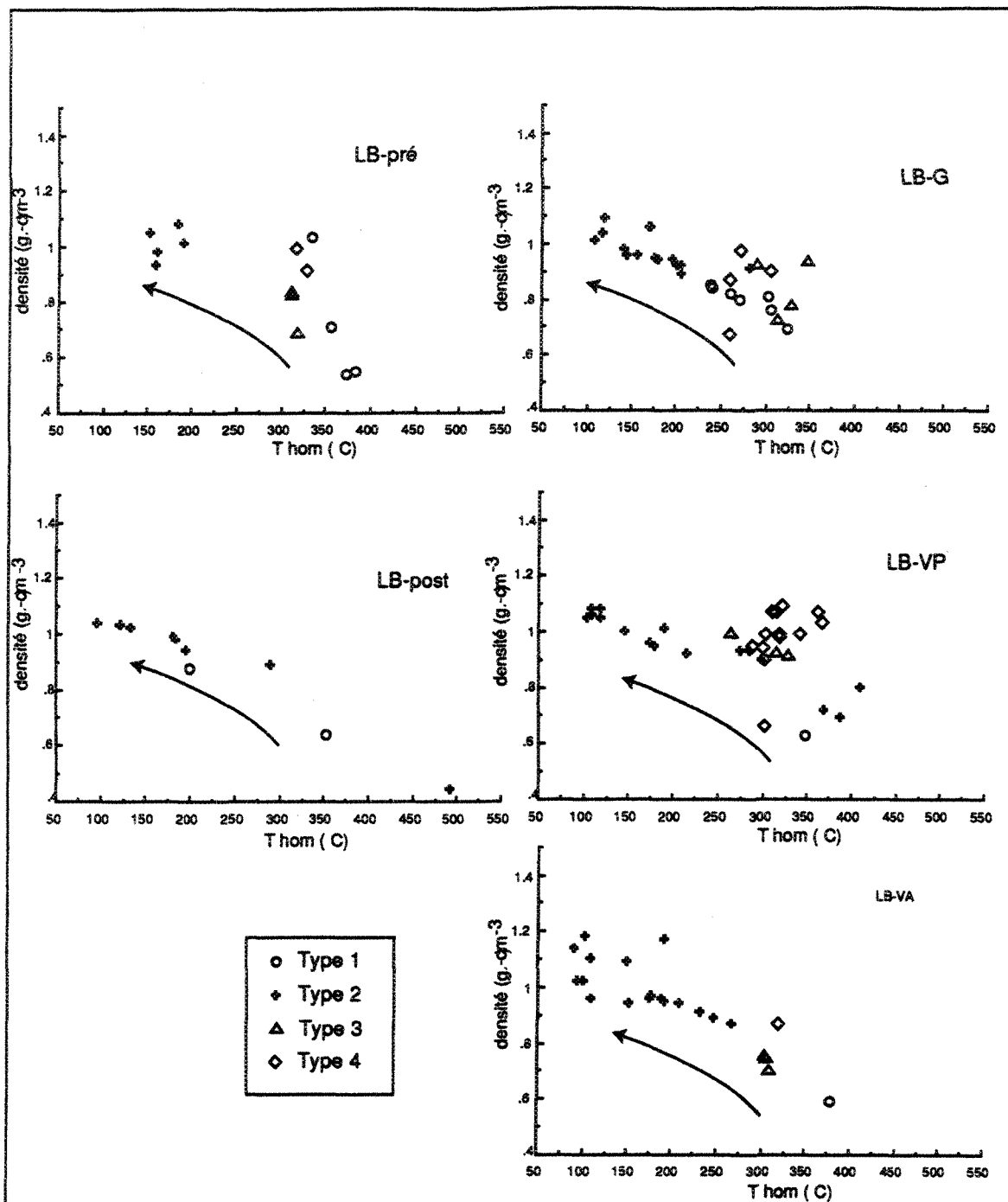


Figure 37 : Variation des températures d'homogénéisation avec la densité globale ou apparente des inclusions aqueuses et carboniques au Lac Bachelor.

CHAPITRE 6 - ESTIMATIONS INDEPENDANTES PAR LA THERMOBAROMETRIE ET LA COMPOSITION ISOTOPIQUE ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$) DES FLUIDES

6.1 Introduction

Il y a un consensus que la modélisation génétique des dépôts aurifères est irréductiblement reliée à la source des fluides et de ses composants. Il y a une tendance dans la plupart des modèles de faire allusion à une source pour tous les composants à partir des types de données très spécifiques. On accepte quand même que des réactions métasomatiques entre les fluides hydrothermaux et les roches encaissantes auront des effets potentiels sur la chimie du fluide, le transport des métaux et la minéralisation.

C'est pour cette raison qu'on a déterminé les paramètres ou conditions de mise en place en utilisant d'autres approches complémentaires à la microthermométrie, soit la thermobarométrie de certains assemblages métamorphiques des gîtes en question. De plus, nous avons estimé la composition isotopique du carbone et de l'oxygène dans plusieurs phases.

6.2 Géothermométrie des paires calcite-dolomite et calcite-ankérite

Un des traits qui caractérise l'altération associée à la minéralisation aurifère dans la région du Lac Shortt est la présence des phases des carbonates, surtout l'ankérite, la dolomite et la calcite. La géothermométrie de la paire calcite-dolomite a été déjà utilisée largement pour déterminer la température atteinte pendant le métamorphisme régional des carbonates (Phillips et Myers, 1987, Clark *et al.*, 1989). Dans l'hypothèse que les carbonates sont synchrones à la pyrite et à l'or, on peut utiliser ce thermomètre pour estimer la température lors de la mise en place de la minéralisation aurifère au Lac Shortt.

Ce géothermomètre est basé sur la solubilité du magnésium dans la calcite en équilibre avec la dolomite en fonction de la température (Powell

et al., 1984). L'effet du fer et du magnésium sur les températures estimées a toujours posé un problème. En effet, dès que la température passe au-dessus de 500°C, la stabilité de la magnétite ou de l'hématite réduit la solubilité du FeCO_3 dans les carbonates. Malgré le fait qu'une plus grande proportion de fer est incorporée normalement dans la dolomite et non pas dans la calcite coexistante, la calcite peut parfois contenir plus de fer que de magnésium. Cette correction du fer a déjà été faite par Powell *et al.*, 1984.

Un des calibrages le plus récent pour la thermométrie avec la calcite et la dolomite ferrique a été dérivé par Anovitz et Essene (1987) par un ajustement d'une équation empirique au membre calcitique du solvus ternaire des carbonates. On préfère l'application de ce modèle parce qu'il s'étend à des teneurs en fer plus élevées que les autres modèles.

L'approche thermométrique choisie emploie la largeur du solvus comme thermomètre (fig. 38). Basé sur ce solvus, un ajustement aux moindres-carrés de l'équation suivante a été obtenu pour l'intervalle de 473-1173°K pour calculer le fraction molaire de MgCO_3 :

$$T = A(X_{\text{Cc}}^{\text{MgCO}_3}) + B / (X_{\text{Cc}}^{\text{MgCO}_3})^2 + C(X_{\text{Cc}}^{\text{MgCO}_3})^2 + D(X_{\text{Cc}}^{\text{MgCO}_3})^{0.5} + E(T, K). \quad (1)$$

Les paramètres sont résumés au tableau 7. Chaque membre de la paire des carbonates est utilisé pour calculer séparément une température. Par expansion de l'équation (1), on obtient un thermomètre ternaire:

$$\begin{aligned} T^{\text{FeMg}} = T^{\text{Mg}} + a(X_{\text{Cc}}^{\text{FeCO}_3}) + b(X_{\text{Cc}}^{\text{FeCO}_3})^2 + c(X_{\text{Cc}}^{\text{FeCO}_3} / X_{\text{Cc}}^{\text{MgCO}_3}) + \\ d(X_{\text{Cc}}^{\text{FeCO}_3} \cdot X_{\text{Cc}}^{\text{MgCO}_3}) + e(X_{\text{Cc}}^{\text{FeCO}_3} / X_{\text{Cc}}^{\text{MgCO}_3})^2 + f(X_{\text{Cc}}^{\text{FeCO}_3} / X_{\text{Cc}}^{\text{MgCO}_3})^2 (T, K) \end{aligned} \quad (2)$$

Il faut remarquer que la température obtenue est moins sensible à la ré-équilibration d'une phase ou à des imprécisions dans les analyses. Les coefficients alphabétiques sont présentés au tableau 7, et ils sont fixés à partir des diagrammes ternaires à 400°, 500° et 700°C dans les limites $X_{\text{FeCO}_3} \leq 0.08$ à 400°C et ≤ 0.20 à 550° et 700°C (Anovitz, 1987).

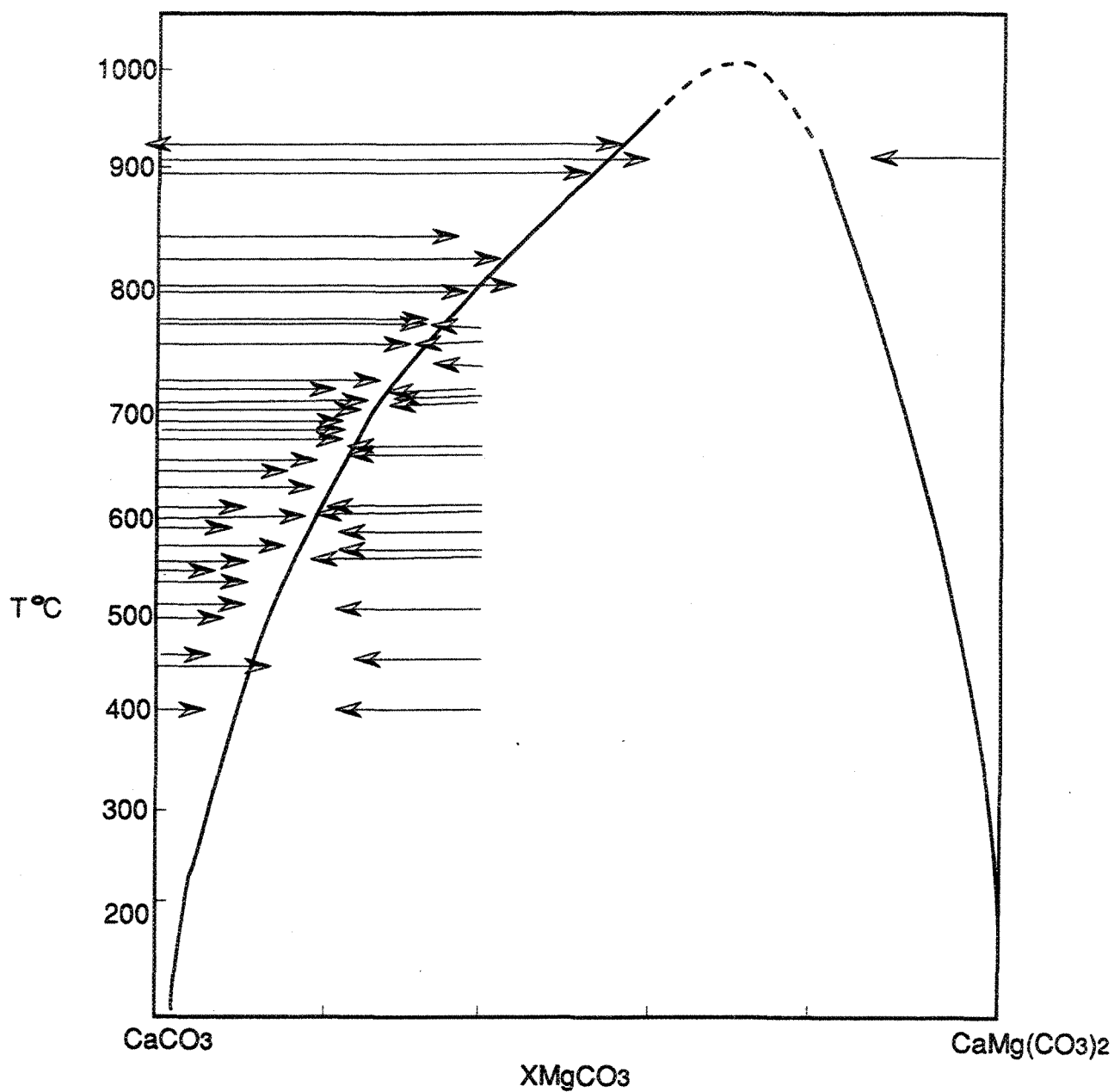


Fig. 38. Le solvus calcite-dolomite ajusté aux interversions. Les pointes des flèches indiquent les compositions finales et la direction de la flèche donne la direction du changement compositionnel. Les pressions expérimentales sont corrigées à 2 kb (200 MPa).
-modifié d'après Anovitz et Essene, 1987 - fig. 3)

Tableau 7. Données statistiques et les coefficients pour les équations (1) et (2). R^2 et les valeurs de déviation standard (*standard error, S.E.*) sont aussi énumérés pour les sections MgCO_3 et FeCO_3 de l'équation. s ou le facteur pondéral (*significance factor*) démontre la probabilité que la valeur du coefficient soit égale à zéro.

Coefficient	Valeur	S.E.	s
A	-2360,0	968,0	0,024
B	-0,01345	0,00225	0,000
C	2620,0	1404,0	0,077
D	2608,0	412,0	0,000
E	334,0	47,0	0,000

$R^2 = 0,99893$

S.E. de l'estimation des compositions binaires $\text{CaCO}_3\text{-MgCO}_3 = 7,1254$

a	1718,0	187,0	0,000
b	-10610,0	532,0	0,000
c	22,49	1,97	0,000
d	-26260,0	2940,0	0,000
e	1,333	0,079	0,000
f	$0,32837 \times 10^7$	$0,18406 \times 10^6$	0,000

$R^2 = 0,99884$

S.E. de l'estimation des compositions ternaires = 7,9311

Sauf dans des cas exceptionnellement rares, la géothermométrie de la paire calcite-dolomite n'est pas utile quand elle est appliquée à des carbonatites parce que les températures obtenues sont pour la plupart trop basses, en dessous des températures ignées (600-900°C). Knudsen et Buchardt (1991) affirment que les faibles températures sont quand même anticipées à cause de la ré-équilibration sub-solidus observée dans les carbonates. Donc, les températures obtenues représentent au mieux une valeur minimum, pas du liquidus, mais plutôt du point où la diffusion du magnésium devient insignifiante.

La relation entre le contenu en magnésium et $\log T$ a été résolue dans l'équation suivante:

$$\text{Log}_{10} X_{\text{MgCO}_3}^{\text{cal}} = \frac{-1690}{T^{\circ}\text{K}} + 0.795 \quad (3)$$

par l'analyse aux moindres carrés des données expérimentales par Rice (1977) et demeure l'équation utilisée dans l'estimation géothermométrique des carbonatites.

La méthode employée pour obtenir la composition globale ainsi que les contenus en MgCO_3 des paires de carbonates a été l'analyse à la microsonde électronique. Cette méthode n'est pas applicable sur des grains de calcite en exsolution ou des grains de calcite avec des exsolutions dolomitiques en très fines lamelles. Une étude pétrographique des textures assure la présence de la dolomite dans le même échantillon afin d'établir que la calcite était saturée par rapport à la dolomite à la température maximum du métamorphisme. Ceci a été réalisé sur des échantillons représentatifs de l'événement minéralisant dans les gîtes du Lac Bachelor (la Zone minéralisée et le granite minéralisé) et du Lac Shortt (la Zone minéralisée et la syénite). *

Dans les échantillons de la carbonatite, les exsolutions de dolomite sont trop petites et ne se prêtent pas bien à l'analyse par microsonde. La coloration avec des solutions mélangées de 2% vol. HCl + Alizarin Rouge S et de ferricyanide de potassium a révélé la présence de très fines lamelles de

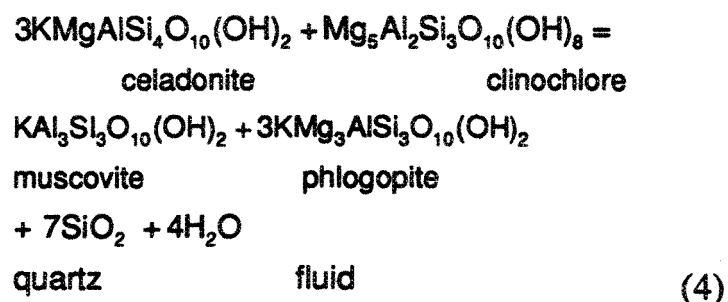
dolomite ferrière. Les températures estimées en utilisant les deux approches sont résumées au tableau 8.

6.3 Géobarométrie des phengites

6.3.1 Introduction

L'application des techniques géothermométriques et des grilles pétrogénétiques permettent d'établir les températures métamorphiques mais il n'en va pas de même pour les pressions métamorphiques qui sont mal délimitées surtout dans les faciès de faible intensité. L'assemblage invariant de muscovite-biotite-feldspath-K-quartz plus clinocllore est caractérisé par cinq réactions univariantes dont leurs positions qualitatives sont montrées à la fig. 39.

Selon Powell et Evans (1983), le composant de celadonite semble fortement dépendant de la pression et ils ont calculé la thermodynamique d'équilibre de l'assemblage limité de chlorite-biotite-muscovite de cette réaction:



La constante d'équilibre pour cette réaction dans une version alternative de ce géobaromètre est donnée par

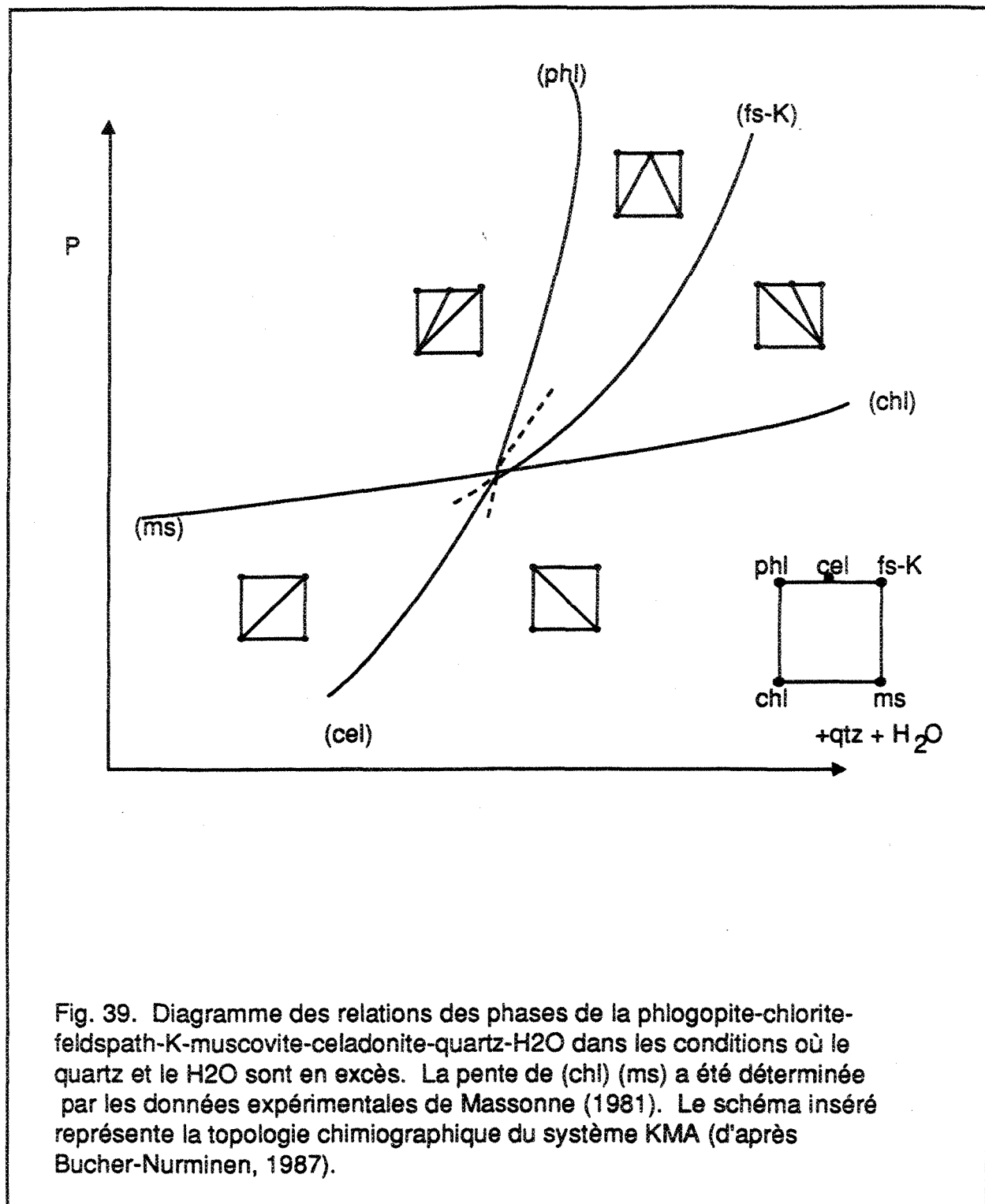
$$\begin{aligned}
 \log K_{\text{fk}} = & -\log a_{\text{chl}} - 4\log a_{\text{cel}} + 7\log a_{\text{qtz}} \\
 & + \log a_{\text{ms}} + 3\log a_{\text{phl}} + 4\log a_{\text{H}_2\text{O}}
 \end{aligned} \quad (5)$$

Tableau 8. Analyse sommaire des compositions des paires calcite-dolomite et des températures d'équilibration inférées.

Echantillons	X Fe,cc	XFe,ank	X Mg,cc	XCa,cc	XMg,ank	T°(cc)
C-8	0.003	0.230	0.027	0.971	0.269	414.700
BAL 33 cc	0.005	0.151	0.041	0.969	0.326	494.565
LS 85 109cc	0.007	0.062	0.015	0.971	0.240	305.400
LS 89-1cc	0.003	0.303	0.007	0.992	0.167	266.577
LSC 8936cc	0.039	0.213	0.036	0.918	0.251	510.288
LSc 688-1	0.009	0.168	0.012	0.974	0.036	254.762
SOLVUS		FeO	MnO	MgO	CaO	T°(cc)
LSC 65		0.23	0.53	0.25	55.12	485.870
LSC6 88 1		0.620	0.380	0.440	51.740	287.16
LSC20		0.150	0.490	0.670	55.060	385.87

XFe,cc représente la fraction molaire du fer dans la calcite;

XMg,dol représente la fraction molaire du magnésium dans la dolomite;



Nous avons utilisé cette équation dérivée par Bucher-Nurminen (1987) avec le diagramme P-T (voir fig. 40) pour estimer la pression dans les échantillons qui présentaient les phases apparemment en équilibre, en utilisant les relations d'activité- composition (Powell et Evans, 1983):

$$\begin{aligned} X_{\text{cel}} &= 4X_{K,A}X_{Mg,M1}X_{Al,M1}X_{\Theta,M2}X_{Si,T}^4X_{OH,V}^2 \\ X_{ms} &= 9.4X_{K,A}X_{Al,M1}^2X_{\Theta,M2}X_{Al,T}X_{Si,T}^3X_{OH,V}^2 \\ X_{\text{clin}} &= 64X_{Mg,M2}^3X_{Mg,M1}^2X_{Al,M1}X_{Al,T}X_{Si,T}^3X_{OH,V}^8 \end{aligned} \quad (6)$$

et de Bucher-Nurminen (1987):

$$a_{\text{phl}} = X_{K,A}X_{Mg}^3 \quad \text{où} \quad X_{Mg} = \frac{N_{Mg}}{N_{Mg} + N_{Fe}} \quad (7)$$

6.3.2 Analyses

Des minéraux silicatés ont été sélectionnés dans des assemblages d'altération associés à la minéralisation dans les deux gîtes et ils étaient analysés en utilisant la microsonde électronique à l'Université du Québec à Chicoutimi. Des standards de silicates, carbonates et oxydes ont été utilisés pour chaque groupe respectif. Les concentrations apparentes étaient corrigées par la méthode de Bence et Albee (1968). Les formules structurales des minéraux étaient calculées afin de satisfaire la balance et les sites cationiques. Le fer ferrique a été déterminé par stoïchiométrie. Les compositions sont données dans l'annexe E.

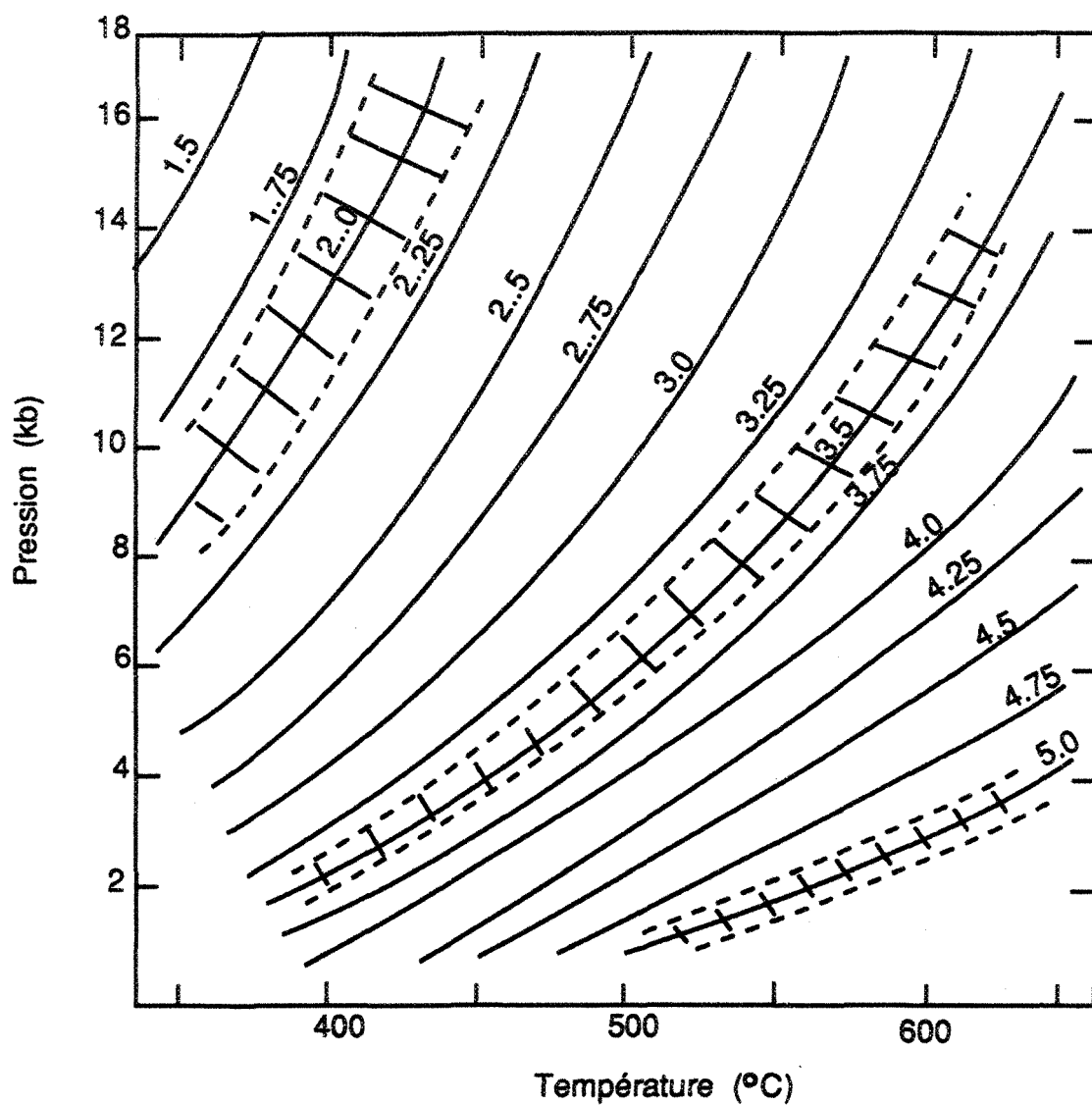


Fig. 40. Contours de la constante d'équilibre pour l'équation (4) avec le feldspath-K absent (voir la fig. 39). Les régions hachurées représentent les marges d'erreurs pour $\log K = 2,0, 3,5$ et $5,0$, respectivement (d'après Bucher-Nurminen, 1987).

6.4 Composition isotopique du carbone et de l'oxygène

6.4.1 Introduction

La présence répandue des carbonates hydrothermaux dans des dépôts aurifères à l'Archéen et du CO₂ liquide observé dans des inclusions fluides (Colvine *et al.*, 1984, Kerrich, 1983 et Smith et Kesler, 1985) suggèrent fortement que le réservoir du fluide a pu contenir des composés carbonatés (Kerrich, 1987a). La source du CO₂ hydrothermal constitue un des problèmes les plus tenaces et irrésolus dans la genèse des dépôts d'or de l'Archéen. Selon Ohmoto (1986), la composition isotopique du carbone des carbonates peut servir de traceur des sources du CO₂.

L'application de la géochimie des isotopes stables dans la recherche métallogénique est basée sur nos connaissances des facteurs qui gouvernent l'équilibre isotopique de fractionnement en fonction de la température ainsi que les effets cinétiques des isotopes qui accompagnent la conversion d'une substance en une autre. Cependant, au Lac Shortt, nous n'avons pas réussi à appliquer la géothermométrie des isotopes stables dû au fait que les échantillons ne sont pas favorables à la thermométrie par fractionnement isotopique. Les minéraux se produisent en paragenèse trop intime et donc, très peu adéquate à la séparation homogène requise.

Nous avons utilisé la méthode indirecte pour estimer la composition isotopique des fluides. Elle est du côté technique plus facile et consiste à mesurer le $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$ de la calcite et utiliser ces valeurs avec la température estimée de minéralisation (dans notre cas, la température d'homogénéisation ou remplissage, i.e. une température minimum) et des équations des facteurs de fractionnement isotopique entre le minéral et H₂O et CO₂:

$$1000 \ln_{\text{CO}_2-\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2} = 8.914 \left(10^8 / T^3 \right) - 8.737 \left(10^6 / T^2 \right) + 18.11 \left(10^3 / T \right) - 8.44 \leq 600^\circ \text{C} \quad (8)$$

$$1000 \ln_{CO_2-CaCO_3} = 8.914(10^8 / T^3) - 8.557(10^6 / T^2) + 18.11(10^3 / T) - 8.27 \leq 600^\circ C \quad (9)$$

(d'après Ohmoto et Rye, 1979).

6.4.2 Analyses

Au Lac Shortt les carbonates se retrouvent soit comme des cristaux euhédriques grossiers dans les amas et les dykes de carbonatite où ils sont cogénétiques avec le quartz, ou comme remplissage des veinules et des fractures tardives. Des techniques de coloration par des solutions 2% de HCl+rouge d'Alizarin et 2% de ferricyanide révèlent la présence des différents types des carbonates: calcite, dolomite et ankérite.

Pour l'analyse isotopique, les échantillons ont été sélectionnés sur les critères suivants: a) ils consistent en carbonates les moins altérés possibles, préférablement des dolomites ferrifères (les plus précoces); b) ils proviennent des lithologies bien définies et circonscrites dans les séquences minéralisées.

Les échantillons ont été réduits en une poudre homogène et analysés par des méthodes de spectrométrie de masse à l'Université de Waterloo, Ontario.

6.4.2 Résultats

Les résultats des analyses isotopiques sont présentés au tableau 9. Les valeurs mesurées sont reliées au standard PDB (Peedee belemnite) pour $\delta^{13}C$ et SMOW (Standard Mean Ocean Water) pour $\delta^{18}O$ par l'équation suivante (Kyser, 1987):

$$\delta^{18}O_{SMOW} = 1.03086 \delta^{18}O_{PDB} + 30.86 \quad (10)$$

La distribution de la composition isotopique du carbone et de l'oxygène des échantillons provenant du Lac Shortt et du Lac Bachelor est résumée à la fig. 41 et au tableau 9.

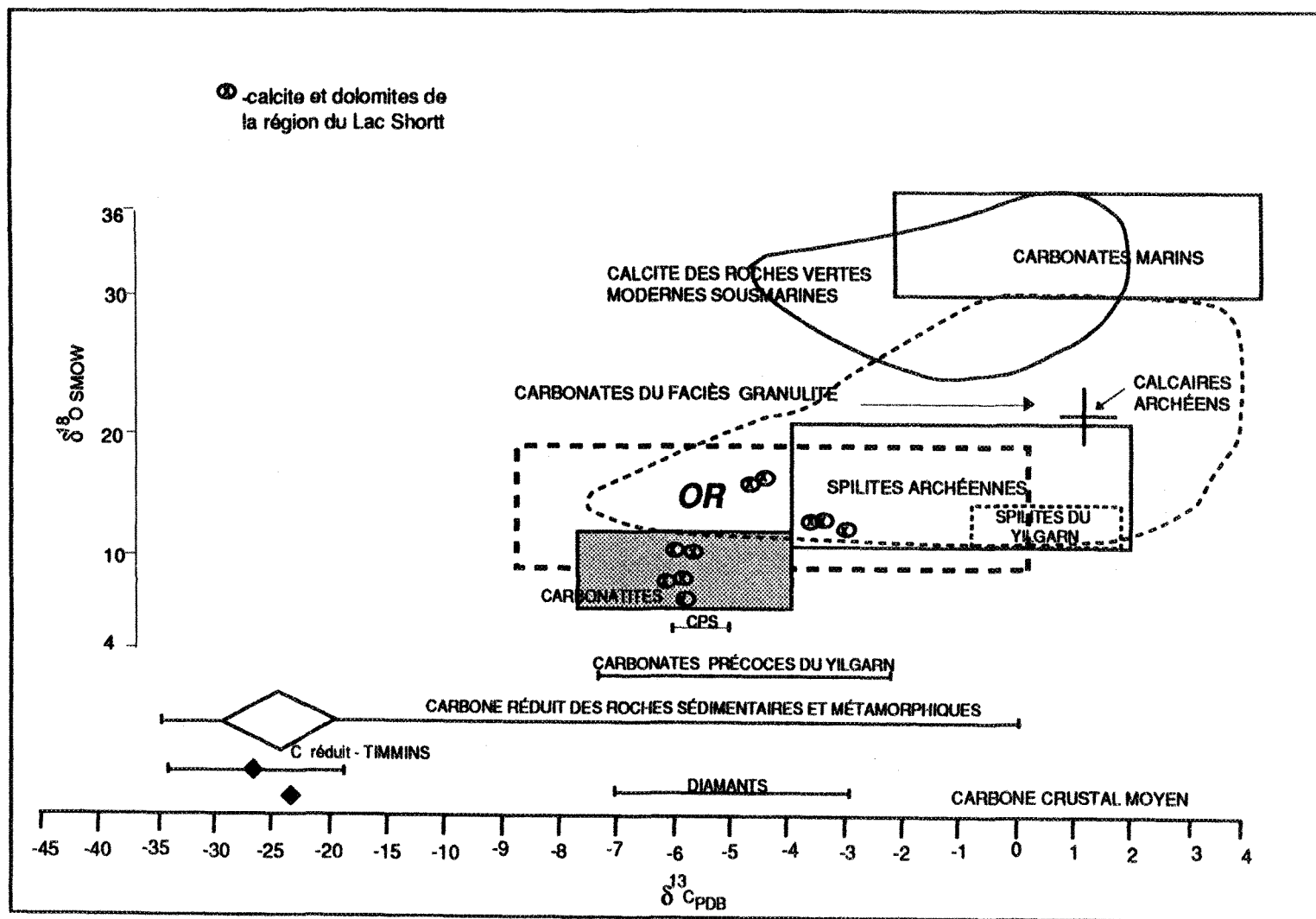


Fig. 41. Distribution des $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ et $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ des carbonates provenant de la région du Lac Shortt dans des champs isotopiques des réservoirs spécifiques compilés et résumés par Kerrich, 1987.

Tableau 9. Compositions isotopiques ($\delta^{13}\text{C}$ PDB et $\delta^{18}\text{O}$ SMOW) des carbonates de la région du Lac Shortt, ainsi que la composition $\delta^{18}\text{O}$ H₂O estimée du fluide (en unités ‰). PDB: Peedee belemnite, SMOW: Standard Mean Ocean Water, M.T.: températures d'homogénéisation déterminées par la microthermométrie.

Echantillons	$\delta^{13}\text{C}$ PDB	$\delta^{18}\text{O}$ SMOW	T°C (M.T.)	$\delta^{18}\text{O}$ H ₂ O
LSC 65 (dol.)	-5.94	8.28	348.80	4.67
LSC 88 (ank.)	-5.85	9.24	330.33	5.17
	-5.64	10.09		
LS-85-17 (dol.)	-4.35	12.86	239.30	8.42
LS-85-17 (dol.)	-4.54	12.82	239.30	8.42
LS-85-55(dol.)	-2.71	12.81	270.70	7.11
LS-89-1(cal.)	-5.40	11.19	336.10	4.10
HB-88-284(cal.)	-3.18	12.42	298.90	5.11
HB-88-284(cal.)	-3.36	12.30	298.90	5.11
LSC-20 (dol.)	-5.85	10.69	300.30	6.07
LSC-20 (dol.)	-5.85	10.93	300.30	6.07
BAL 126 (dol.)	-2.62	12.14	322.60	5.39

CHAPITRE 7 - MODÉLISATION GÉNÉTIQUE DE LA MINÉRALISATION AURIFÈRE DU LAC SHORTT ET DU LAC BACHELOR

7.1 Introduction

Dans la formulation d'un modèle génétique, il est souvent nécessaire d'interpréter des observations empiriques qui se veulent limitées. Néanmoins, une meilleure compréhension des aspects essentiels est possible et, dans ce chapitre, on tentera d'analyser les relations critiques pour développer un modèle plus complet de la formation de ces dépôts.

7.2 Conditions de formation des gisements

7.2.1 Températures et pressions de piégeage

Une estimation de la température ou la pression en se basant sur l'étude des inclusions fluides requiert des données sur la composition des inclusions et sur le comportement des différentes phases.

En général, toutes les propriétés de P-V-T-X de chaque inclusion étudiée définissent un isochore (ligne reliant des points à volume constant) dans un plan P-T. Le fluide de l'inclusion a été piégé dans des conditions de P-T le long de l'isochore. Tous les isochores des fluides reliés à la minéralisation dans les mines du Lac Bachelor et du Lac Shortt ont été calculés à l'aide du programme FLINCOR (Brown, 1989) et des programmes Fortran de Nicholls et Crawford (1985).

Toutes les températures d'homogénéisation présentées par les isochores correspondent à des températures minimales de piégeage des solutions impliquées; une correction due à la pression lors de la formation des inclusions doit être apportée. Ceci a été réalisé en utilisant soit 1) les températures de formation estimées indépendamment par le géothermomètre du système calcite-dolomite afin d'obtenir des pressions de formation ou de piégeage (P_t - "trapping") et/ou 2) les pressions estimées par le géobaromètre

des phengites afin d'obtenir les températures de formation ou piégeage (T_f). Les résultats de cette correction de pression sont présentés au tableau 10.

Il faut remarquer que les conditions de piégeage des fluides ciblés dans notre étude varient selon la lithologie et les styles de minéralisation. Il s'agit maintenant de discuter les conditions estimées pour le gisement du Lac Shortt vis-à-vis celui du Lac Bachelor et les indices minéralisés.

Lac Shortt- minéralisation disséminée

À la fig. 42 (Lac Shortt est), on remarque que les températures d'homogénéisation corrigées par la pression (tableau 10) sont en dessous des températures magmatiques. Ce manque d'inclusions fondues et la déformation sévère ductile-fragile indiquent que la recristallisation de la syénite entraîne une perte concomitante des inclusions fluides primaires (Roedder, 1984, p. 397). On remarque aussi à la fig. 43 qu'il y a une diminution de pression et de température entre le piégeage des inclusions carboniques et aqueuses.

Ce type de fluide notamment riche en H_2O et le manque de CO_2 dans ces roches (le CO_2 est présent en quantités très réduites) rendent plus difficiles qu'une démixion du système H_2O-CO_2-NaCl soit à l'origine de ces saumures. Cependant, il y a quelques inclusions qui semblent contenir une seule phase vapeur carbonique. Il est possible qu'elles contiennent un peu de H_2O qui n'est pas visible et puissent, à la limite, représenter les membres du pôle riche en CO_2 d'un fluide parental CO_2-H_2O encore miscible. Ces inclusions se présentent le plus souvent comme des groupes ayant subi une auto-décrépitation avec des inclusions satellites plus petites.

À la figure 44, on remarque que des fluides avec des salinités plus élevées sont associés à la minéralisation disséminée prédominante surtout dans la partie est de la mine (LS-E). Ce genre de fluide peut être généré de plusieurs façons:

- a) par exsolution d'une saumure très saline et immiscible (Roedder et Coombs, 1967)

Tableau 10. Conditions de pression et température de piégeage des fluides au Lac Shortt après la correction de pression d'homogénéisation (selon Roedder, 1984) en utilisant des estimations indépendantes obtenues du géothermomètre calcite- dolomite et du géobaromètre des phengites.

Lac Shortt	T hom(°C)	P hom (MPa)	T (cal.-dol.)-°C	P (géob. phen.) (MPa)	T piégeage (°C)	P piégeage (MPa)
minér. disséminée syénite bréchique mylonite	200	50-280	255	180	300-330	130-190
	300	130-300	305	180	335-460	130-190
minér. veines de qz.	250	60-150	267	-	250-303	150-180
	303	50-240	267	-	250-303	200-220
carbonatite	300	250-300	solvus: 486-510		-	240-490
Lac Bachelor						
granite	275	50-110	495	280	Intersection:	260
	285	50-120	495	280		310
Zone principale	300	62-110	410	-		400
	370	20-200	410	-		190
						310
Veine A	231	110-140	-	-	440	240

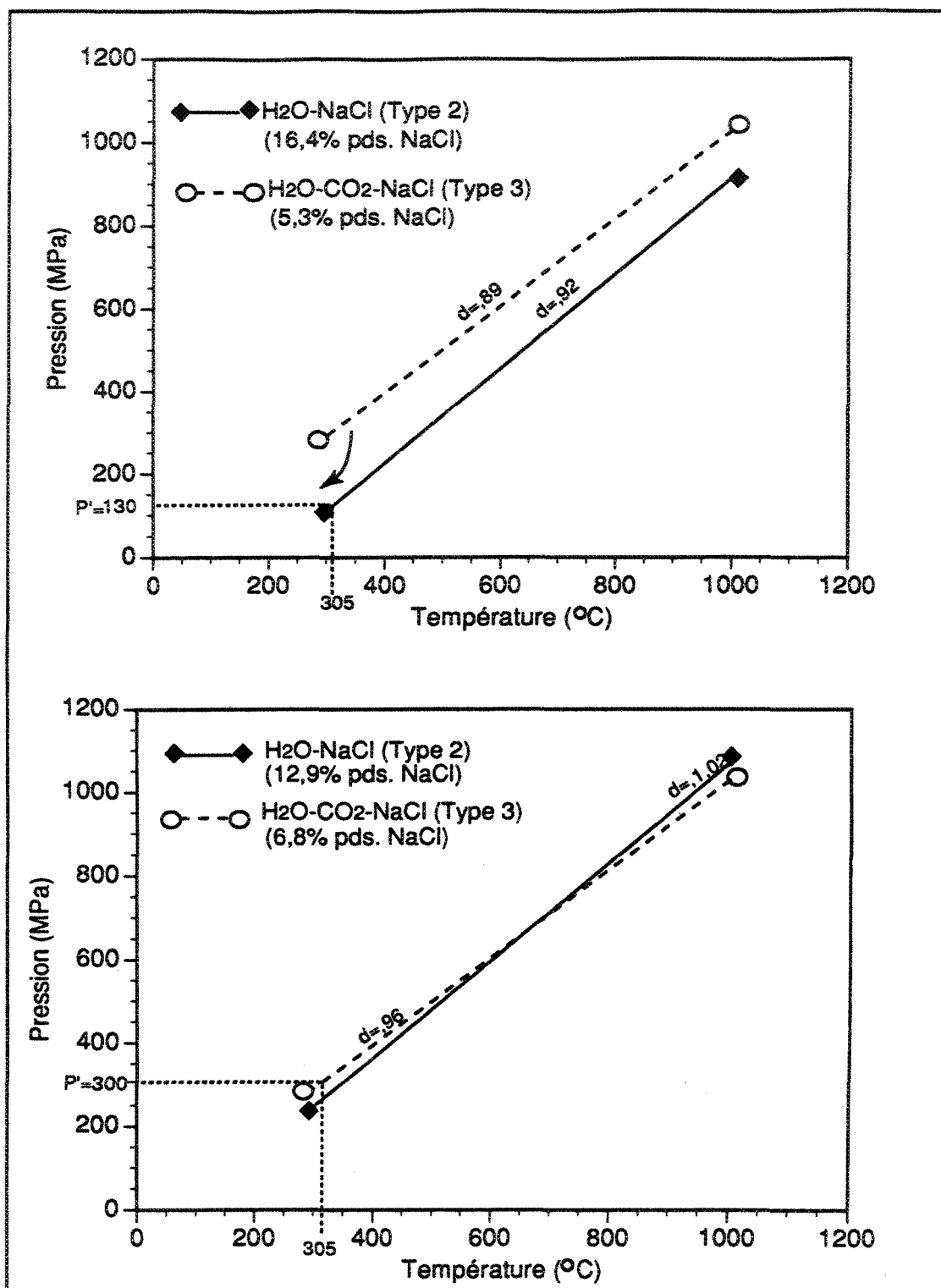


Fig. 42. Diagramme de pression-température des conditions estimées de piégeage au Lac Shortt-est. Les isochores (en g/cm^3) pour des fluides aqueux et carboniques sont montrés. P' est la pression corrigée à 305°C , la température obtenue du géothermomètre cal-dol.

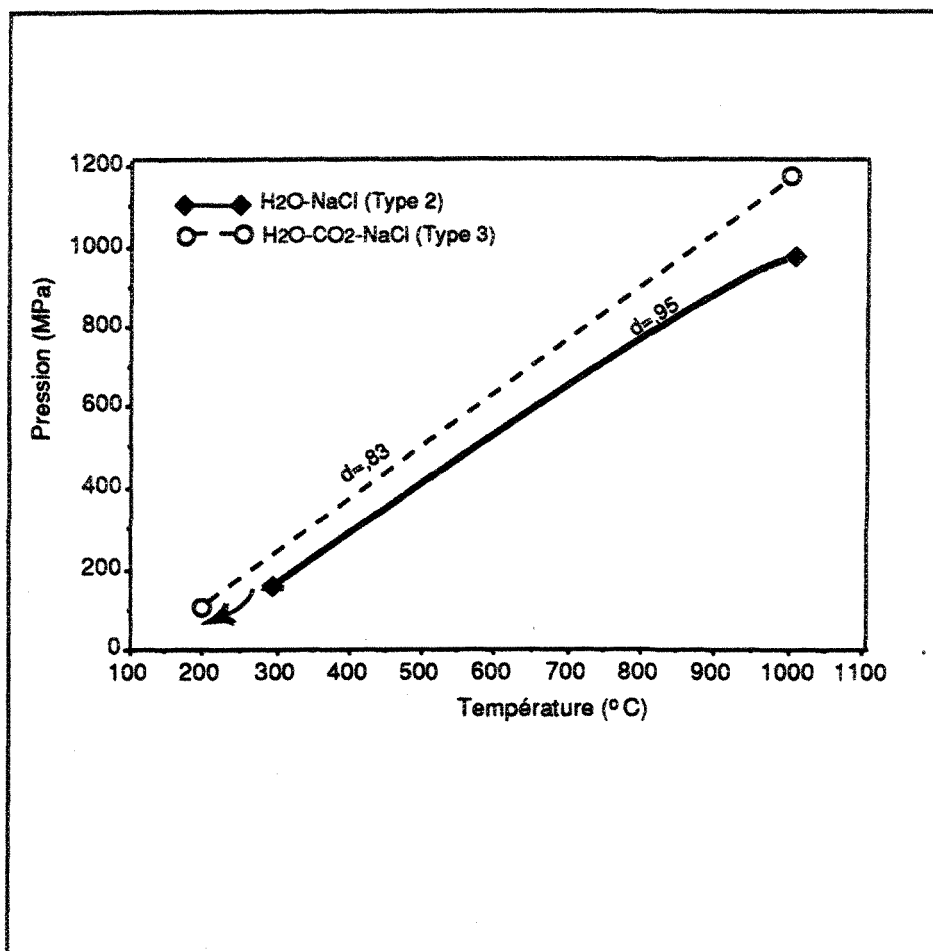


Fig. 43. Diagramme de pression-température des conditions estimées de piégeage des fluides associés à la minéralisation disséminée des indices minéralisés (les isochores sont en g/cm³).

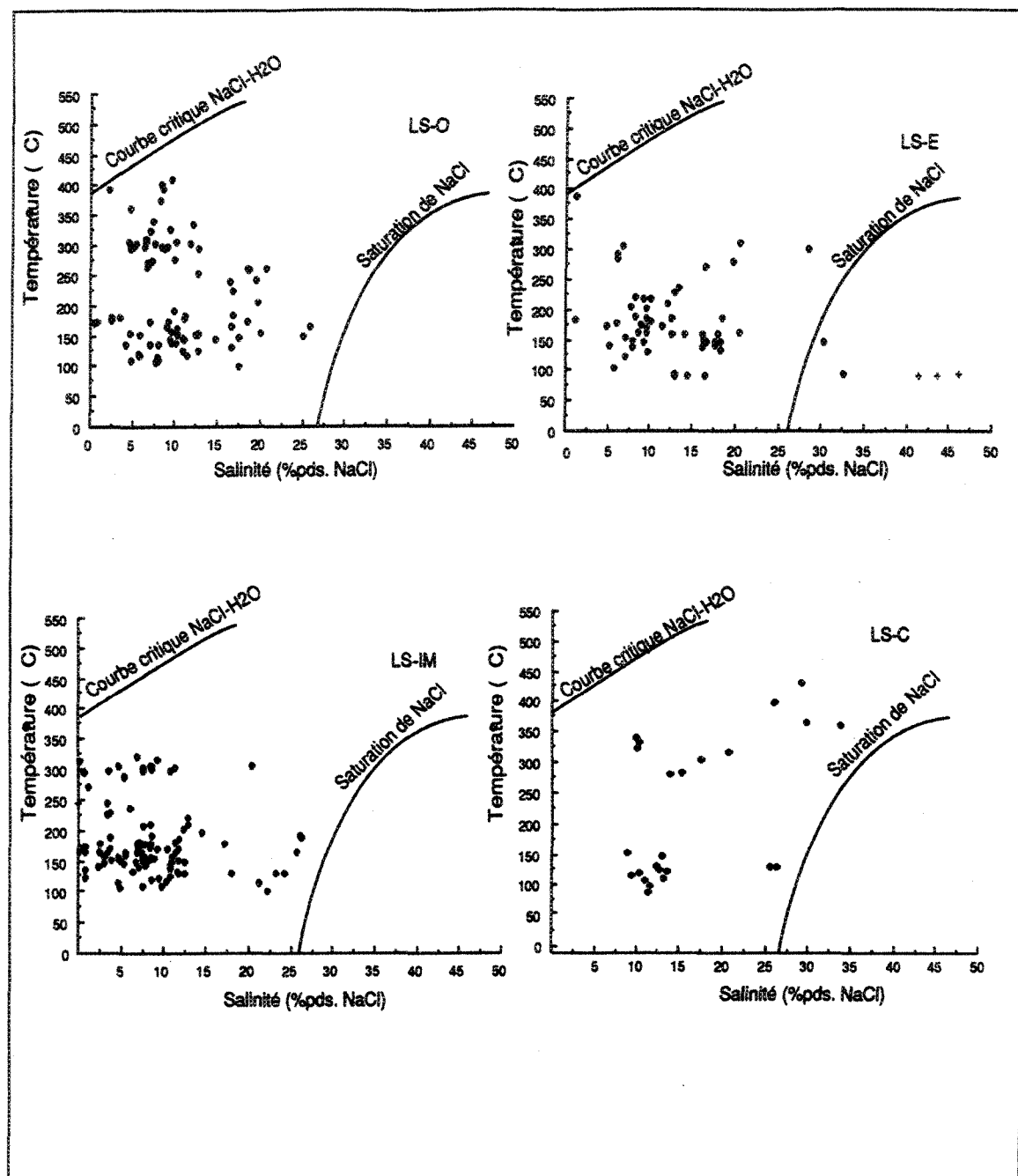


Fig. 44. Variation des températures d'homogénéisation avec la salinité des inclusions aqueuses (du type 2) au Lac Shortt.

- b) par "ébullition" (Roedder, 1984);
- c) par condensation (Henley et McNabb, 1978);
- d) par "effervescence" (Bowers et Helgeson, 1983, Trommsdorff *et al.*, 1985) et
- e) par dissolution des évaporites. L'absence d'évaporites surtout dans les séquences sédimentaires exclut la probabilité de l'écoulement des saumures dans ces roches.

Les inclusions à salinité élevée (20-47% pds. équiv. NaCl) sont prédominantes surtout dans la partie est de la mine et associées à des phases syénitiques. En fait, il y a une gamme importante de compositions intermédiaires telle que montrée par la variabilité importante des rapports volumétriques des phases. Ceci indique qu'au moment de la croissance du quartz, des espèces aqueuses et carboniques étaient présentes séparément et qu'elles ont été piégées de façon hétérogène.

Selon Bowers et Helgeson (1983a), l'ajout de NaCl au système H₂O-CO₂ augmente le champ de deux phases à des températures encore plus élevées; de même, le solvus du système H₂O-CH₄ est localisé à des températures de 100°C plus élevées que dans le système H₂O-CO₂ (fig. 45). Dans les conditions estimées de P-T (200-220 MPa, 300-310°C), il est peu probable que le fluide ait été piégé dans le champ d'une seule phase. Pour les compositions observées, l'équilibre de phases de ce système suggère qu'un piégeage hétérogène sub-solvus des mélanges de deux fluides doit être considéré: une saumure de plus faible température et un fluide riche en CO₂ de température plus élevée. Les inclusions aqueuses dans le secteur est ont probablement été formées par le refroidissement des saumures plus salines et la dilution des fluides moins salins responsables de la formation des veines de quartz.

Lac Shortt - minéralisation en veines de quartz

Dans les veines de quartz minéralisées au Lac Shortt ouest (fig. 46) et dans les indices minéralisés (fig. 47), les fluides sont faiblement à modérément salins (4,5 à 12,3% pds. équiv. NaCl -salinité moyenne). Les températures d'homogénéisation totale des inclusions des types 3 et 4 sont souvent difficiles à déterminer dû à une décrépitation précoce. À la fig. 46,

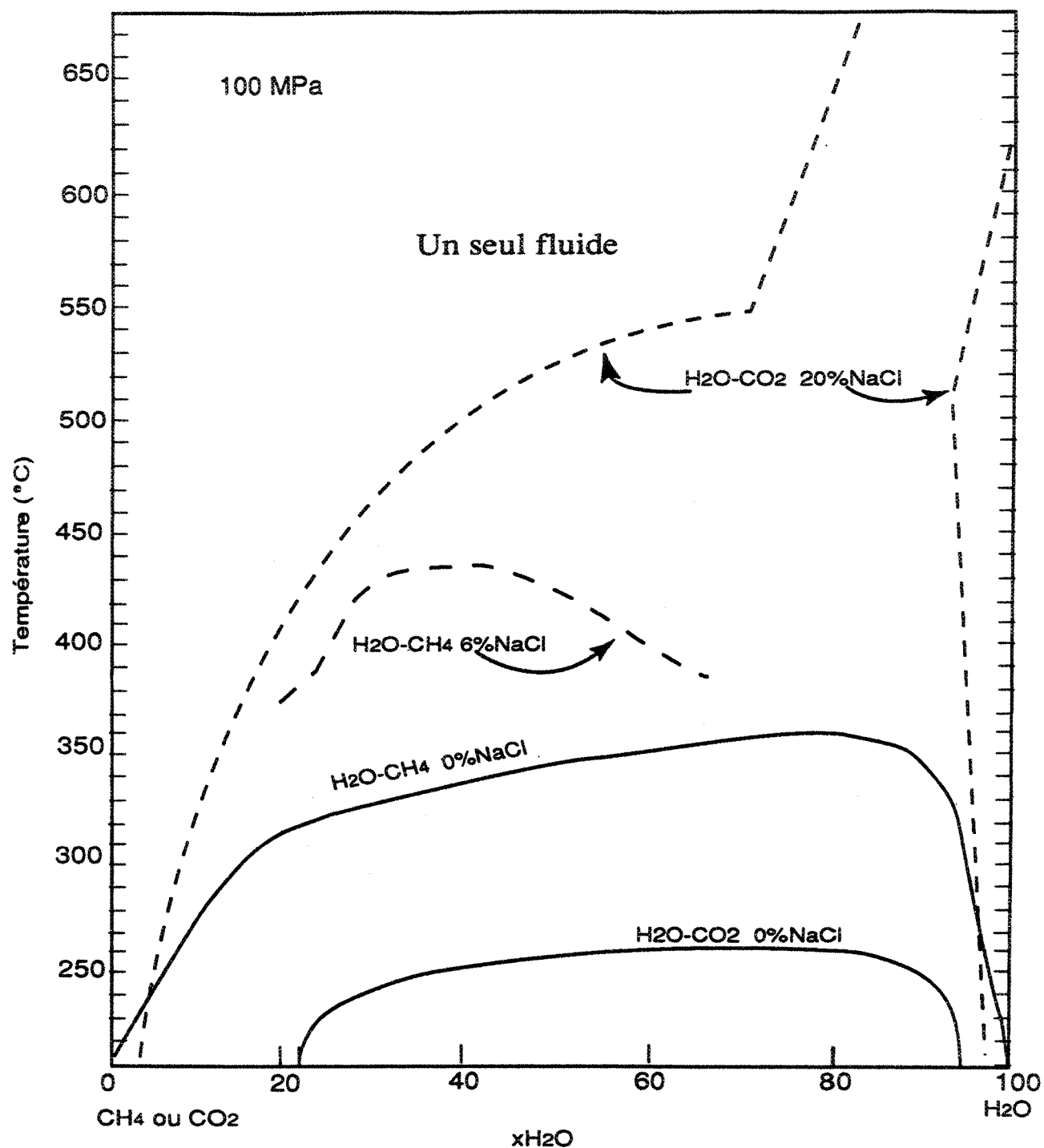


Fig. 45. Relations entre T et $x\text{H}_2\text{O}$ pour les systèmes $\text{H}_2\text{O}-\text{CH}_4$ et $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$ à diverses concentrations de NaCl et à 100 MPa. Le solvus de 0% pds. NaCl du système $\text{H}_2\text{O}-\text{CH}_4$ provient de Holloway (1984), et du système $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$ de Takenouchi et Kennedy (1964), et les solvus de 6% et 20% pds. NaCl de Bowers et Helgeson (1984).

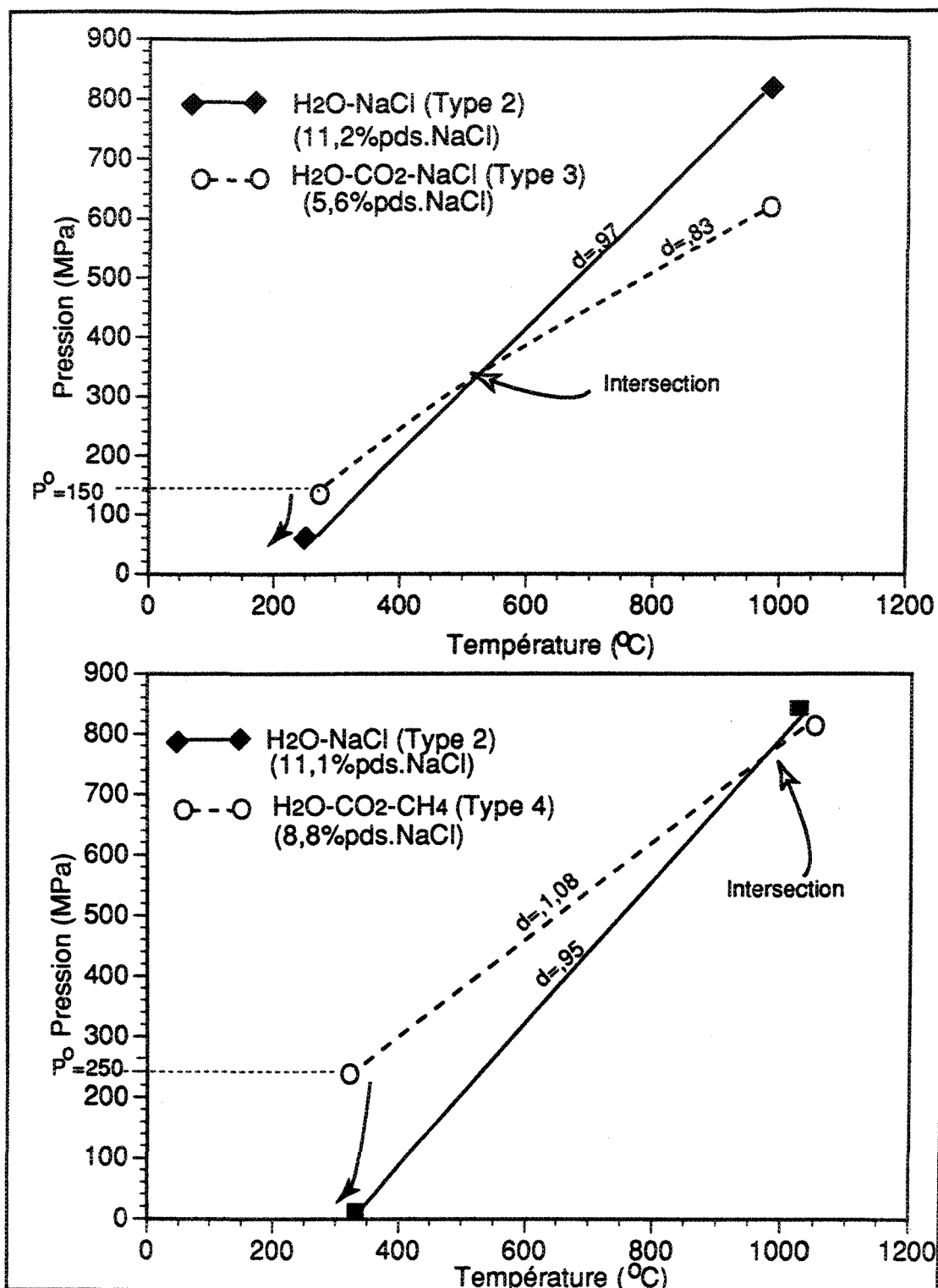


Fig. 46. Diagramme de pression-température des conditions estimées de piégeage au Lac Shortt-ouest. Les isochores (en g/cm³) pour des fluides aqueux et carboniques sont montrés. P^0 est la pression de piégeage.

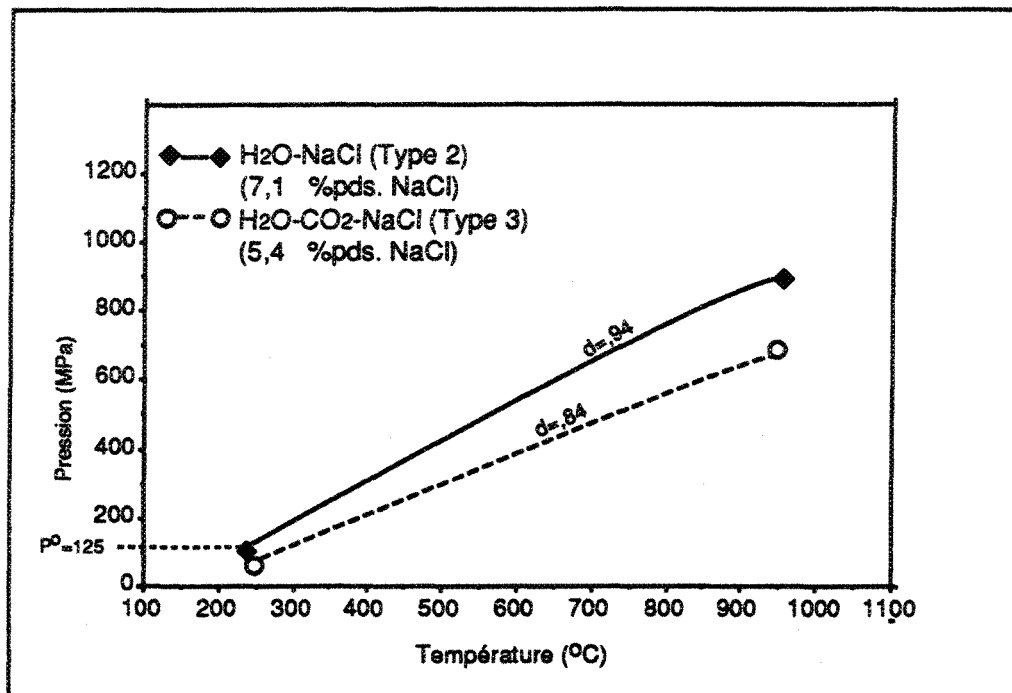


Fig.47. Diagramme de pression-température des conditions estimées de piégeage des veines de quartz minéralisées des indices minéralisés au Lac Shortt. Les isochores (en g/cm^3) pour des fluides aqueux et carboniques sont montrés. P^0 est la pression de piégeage.

on remarque que les intersections des isochores des inclusions des types 3 et 2 sont localisées à des températures trop élevées et peu réalistes.

Typiquement la stabilité des assemblages de minéraux au faciès schiste-vert des roches hôtes, comme c'est le cas au Lac Shortt, implique des températures qui s'étalent entre 335-460°C à ± 180 MPa à une profondeur maximum de 3 à 4 kilomètres. Dans les veines plus tardives comme la Veine Sud, on a pu démontrer la séparation des phases fluides surtout dans la fluorine (pl. 23-A et 23-B) et dans des veines de quartz (pl. 23-C)

Quelques études récentes des gisements aurifères associés à des zones de cisaillements (Boiron *et al.*, 1990) et (Cathlineau *et al.*, 1991) démontrent que des fluides aqueux ont été piégés à des températures et des pressions inférieures à celles des fluides carboniques. Cependant, au Lac Shortt, les veines minéralisées démontrent une décompression isothermique (ou presque). À température constante, une chute dans la pression diminue ainsi la densité, et cette baisse peut favoriser la séparation des phases.

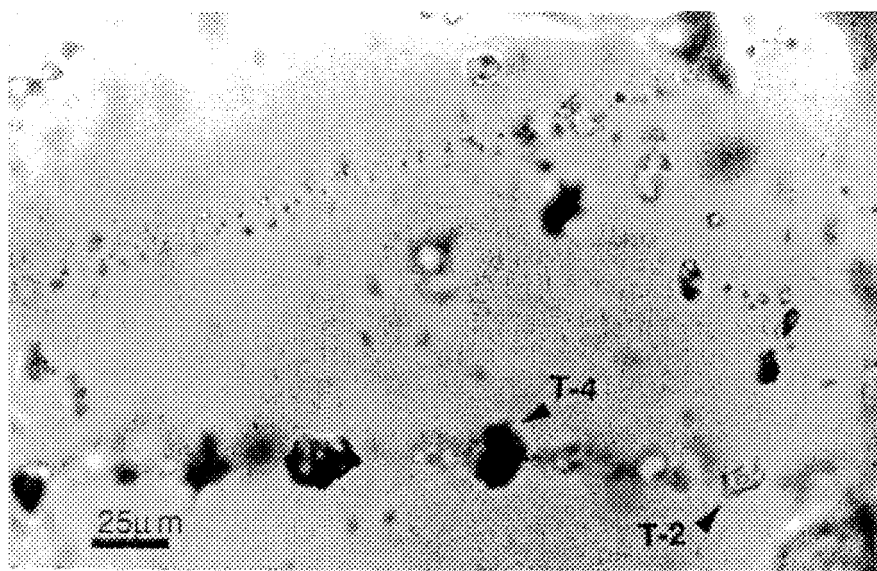
On doit aussi considérer l'évolution de ces fluides passant d'un régime lithostatique à un autre régime où les pressions sont infra-lithostatiques. Gregory et Backus (1990) ont trouvé que la pression du fluide dans un bassin sédimentaire changeait graduellement de lithostatique à hydrostatique à une profondeur de 5,5 km (130 MPa) à 3 km (30 MPa). Si l'on peut appliquer ces données à des roches métamorphiques, les faciès mafiques-felsiques placés entre 3 et 4 km de profondeur dans la séquence stratigraphique (Mueller et Donaldson, 1992), excluent la possibilité d'un relâchement de surpression isothermique de plus de 300 MPa à < 50 MPa. Une déformation fragile est plus susceptible de se produire pour de telles chutes de pression.

La variabilité importante des densités des inclusions aqueuses peut être interprétée comme le résultat des oscillations de la pression du fluide autour de la pression lithostatique à une profondeur quasi-constante, si on présuppose peu ou pas de changements de la température. Le piégeage à des pressions maximales est du type lithostatique (entre 400-500 MPa). Ces pressions diminuent lors des événements de bréchification, fracturation

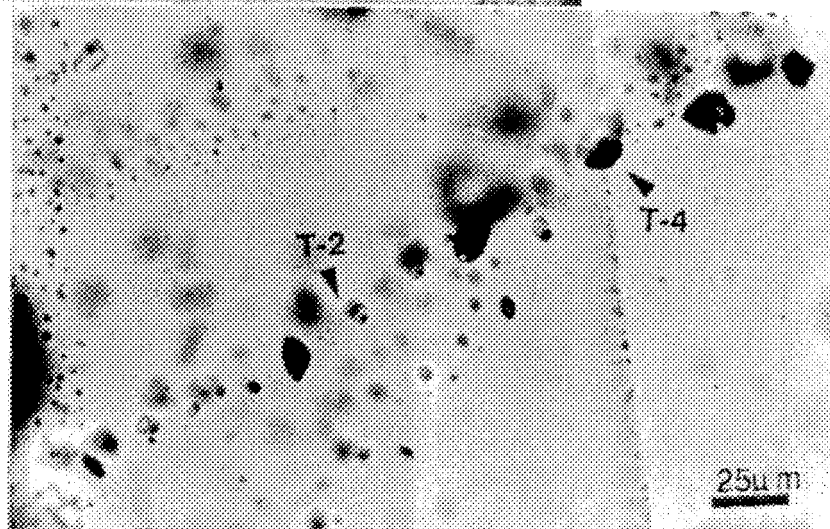
Planche 23

A et B- Photomicrographie des inclusions fluides carboniques T-4 dans la même traînée que des inclusions fluides aqueuses T-2 dans la fluorine associée à la Veine Sud de la mine du Lac Shortt.

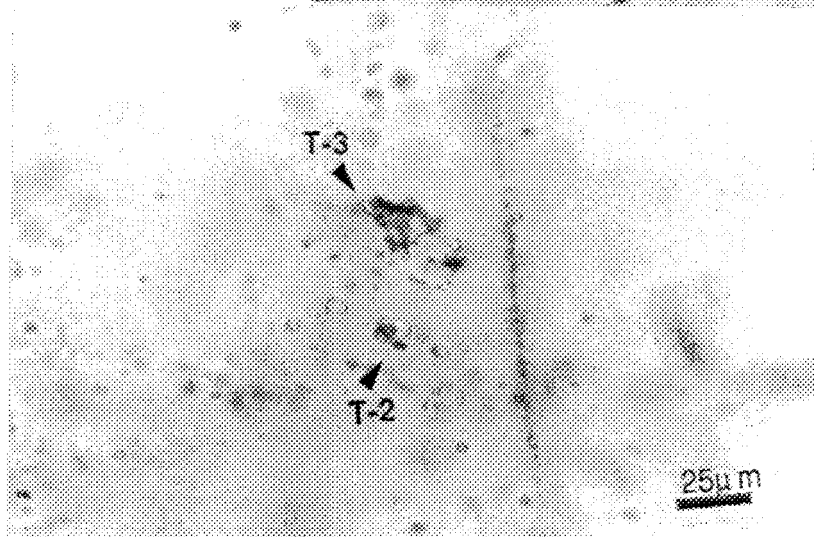
C- Photomicrographie d'un groupe planaire d'inclusions fluides carboniques (T-3) en corrélation spatiale avec des inclusions fluides aqueuses T-2 (avec un minéral fils).



A



B



C

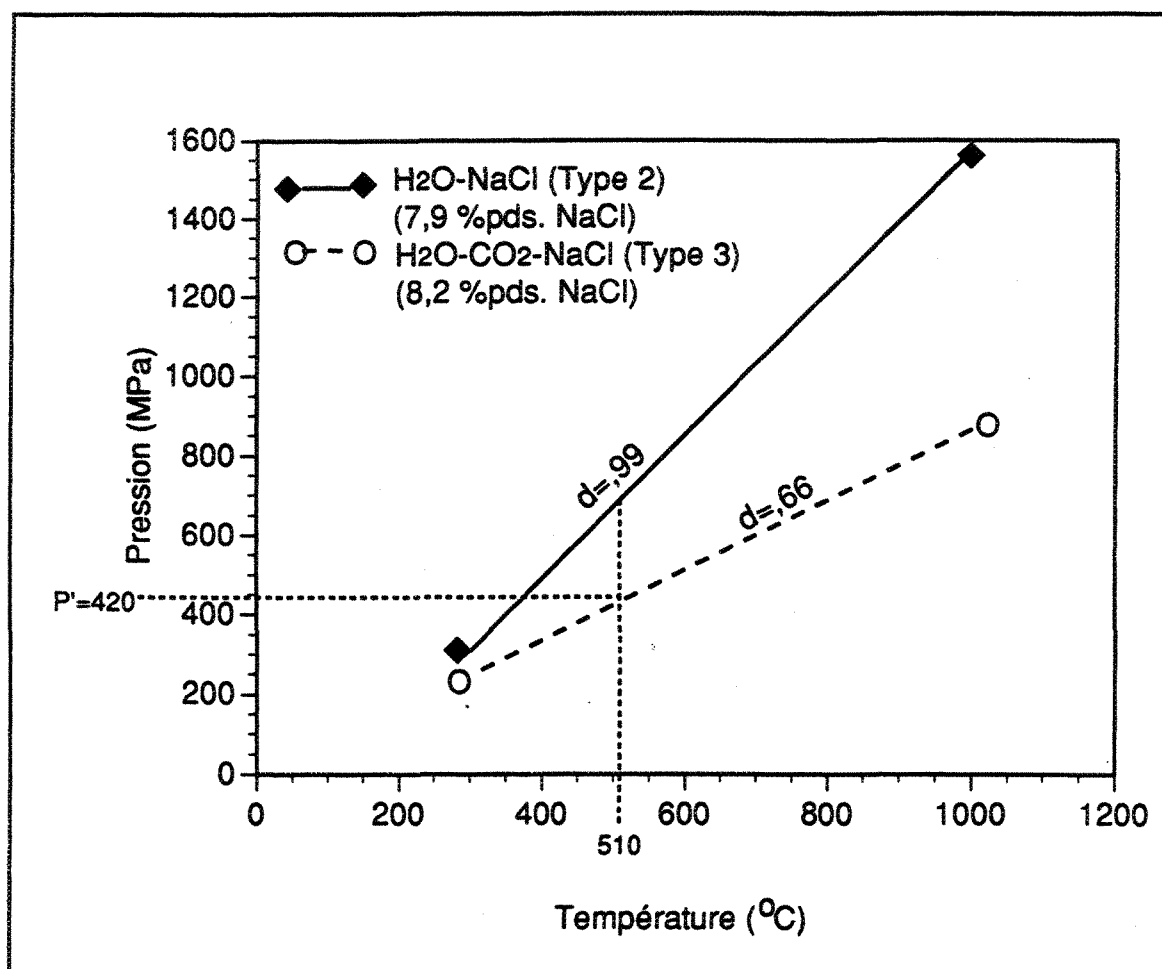


Fig. 48. Diagramme de pression-température des conditions estimées de piégeage dans la carbonatite au Lac Shortt. Les isochores (en g/cm³) sont montrés. P' est la pression de piégeage corrigée à 510°C, la température obtenue du géothermomètre du solvus.

et microfracturation autour de 180-220 MPa. Les conditions P-T (fig. 48) pour la carbonatite indiquent un piégeage entre 240 à 420 MPa pour une température maximale de 510°C. On fait appel à deux fluides indiqués dans la fig. 46 de salinités similaires, un piégé à une température plus élevée suivi par le piégeage d'un fluide de plus faible température.

Lac Bachelor:

Au Lac Bachelor (comme au Lac Shortt), des phases multiples de bréchification impliquent une évolution progressive des fluides issus possiblement des phases intrusives mises en place séparément dans le temps: la granodiorite suivie par le granite porphyrique-pegmatitique, puis la syénite suivie par la carbonatite. Ceci pourrait ainsi expliquer la présence des fluides salins à deux moments dans les zones minéralisées.

À la fig. 49, on remarque que les fluides aqueux et carbonique dans le granite minéralisé ont été piégés probablement dans des conditions d'équilibre à 400 MPa et 675°C. Les textures primaires, les températures et les salinités modérément élevées indiquent que ces fluides représentent des phases séparées d'un magma en voie de cristallisation.

Cependant, nous avons vu que les températures du solidus saturé déduites des données des inclusions fondues dans le granite étaient entre 650 à 700°C. Les températures mesurées de piégeage des fluides sont donc inférieures. Il est quand même intéressant de noter que des températures de solidus à 470°C à 100MPa ont été calculées par London *et al.*, (1989) pour une "Macusanite" de composition granitique ayant 1,3% de fluor. Le granite du Lac Bachelor est très riche en fluor et il est possible que celui-ci agisse pour abaisser la température du solidus du magma (Manning et Pichavant, 1985). Étant donné que des inclusions à plus faible salinité sont présentes, il est possible qu'elles représentent des portions de fluides précoces exsolvés, ayant subi un refroidissement et piégés de manière hétérogène par la suite.

À la fig. 50, la Veine dans la zone minéralisée enregistre un patron de dilution à plus faibles températures. La distribution des fluides carbonique et aqueux indique un piégeage hétérogène par mélange successif des fluides avec refroidissement. Dans la Veine A (fig. 51), on déduit une

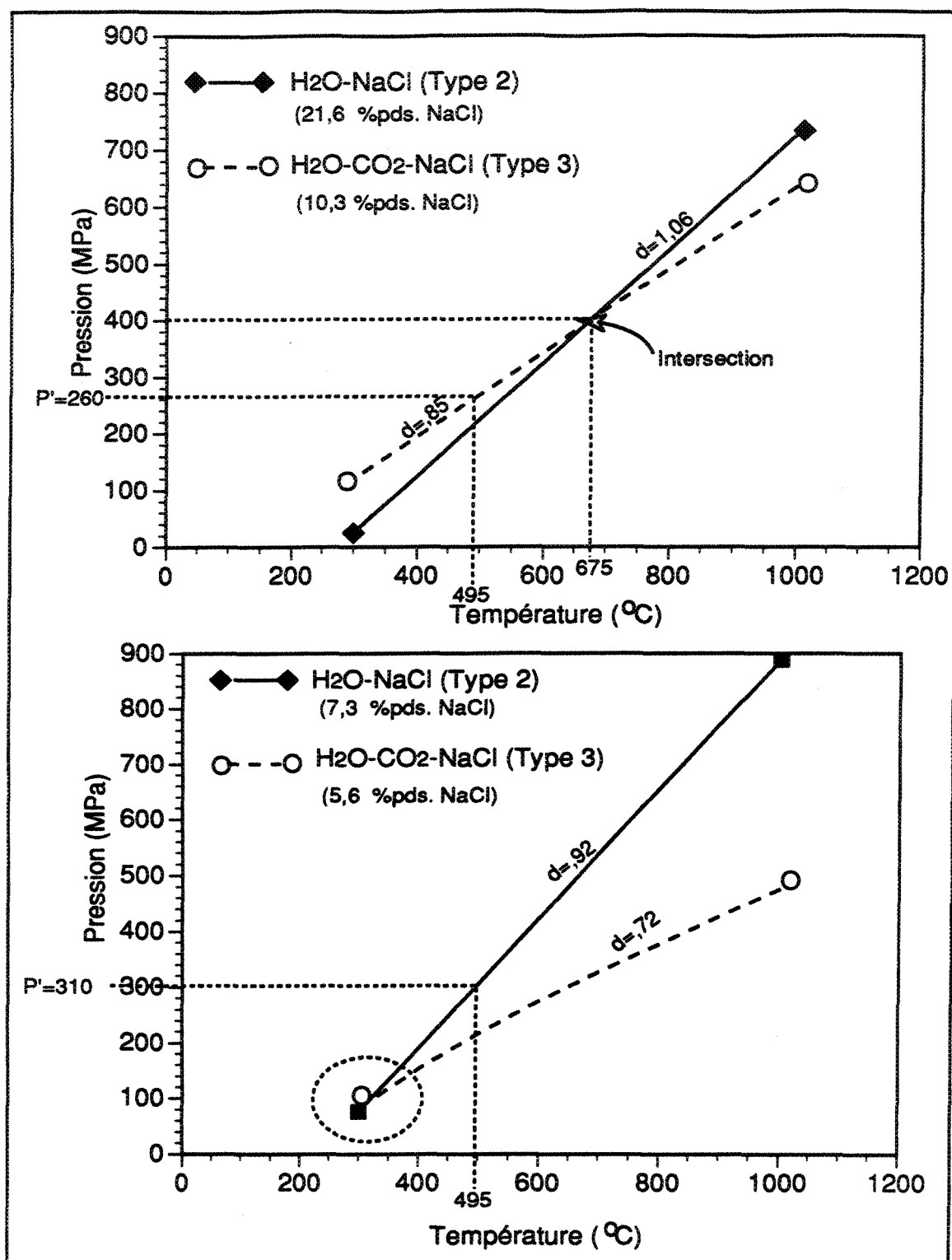


Fig. 49. Diagramme de pression-température des conditions estimées de piégeage dans le granite minéralisé au Lac Bachelor. Les isochores (en g/cm³) sont montrés. P' est la pression de piégeage corrigée à 495°C, la température obtenue par le géobaromètre des phengites. L'intersection montrent des conditions à 400 MPa et 675°C.

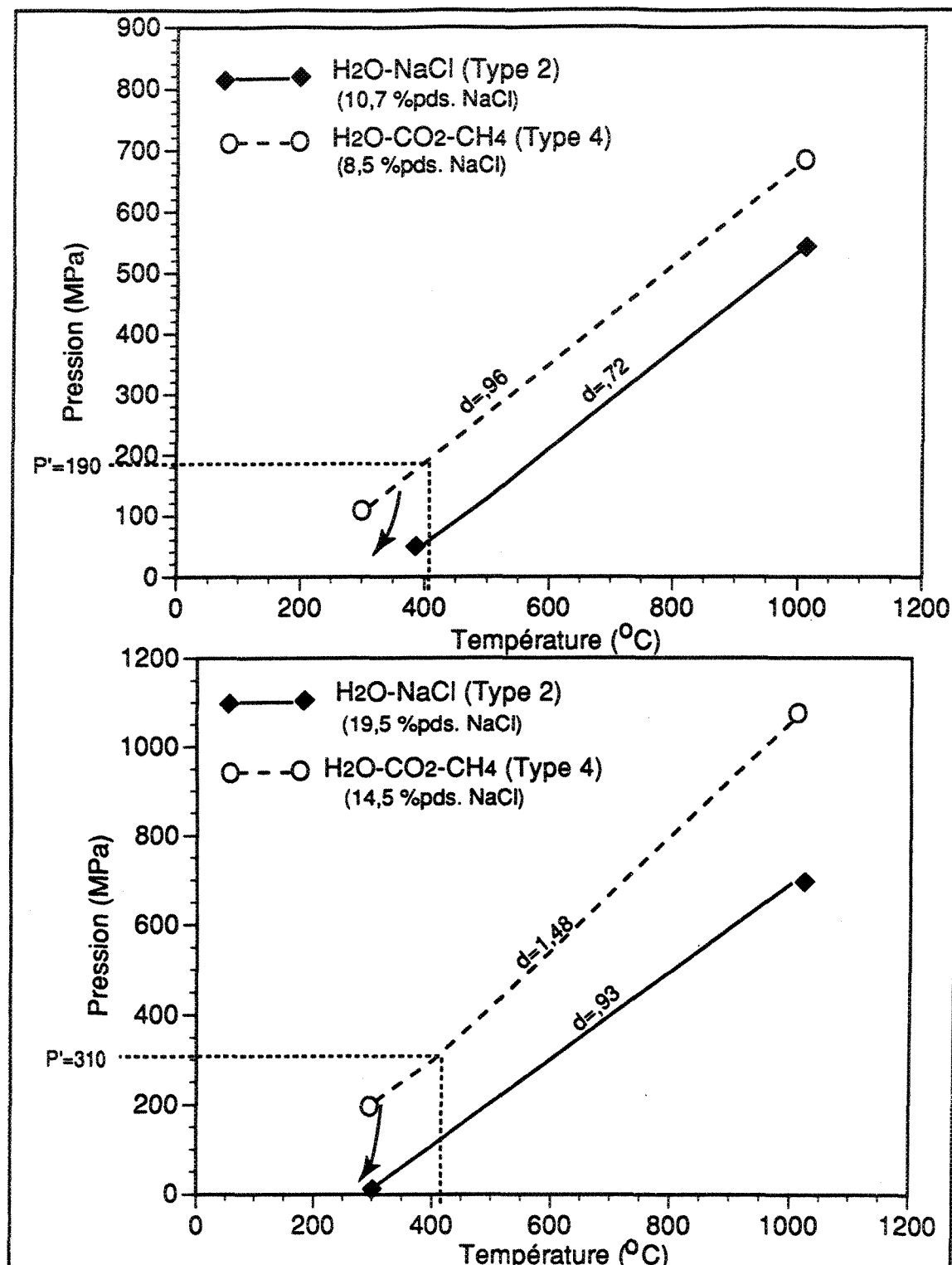


Fig. 50. Diagramme de pression-température des conditions estimées de piégeage dans la Veine de la Zone minéralisée. Les isochores (en g/cm^3) pour des fluides aqueux et carboniques sont montrés. P' est la pression corrigée à 410°C la température obtenue du géothermomètre cal-dol.

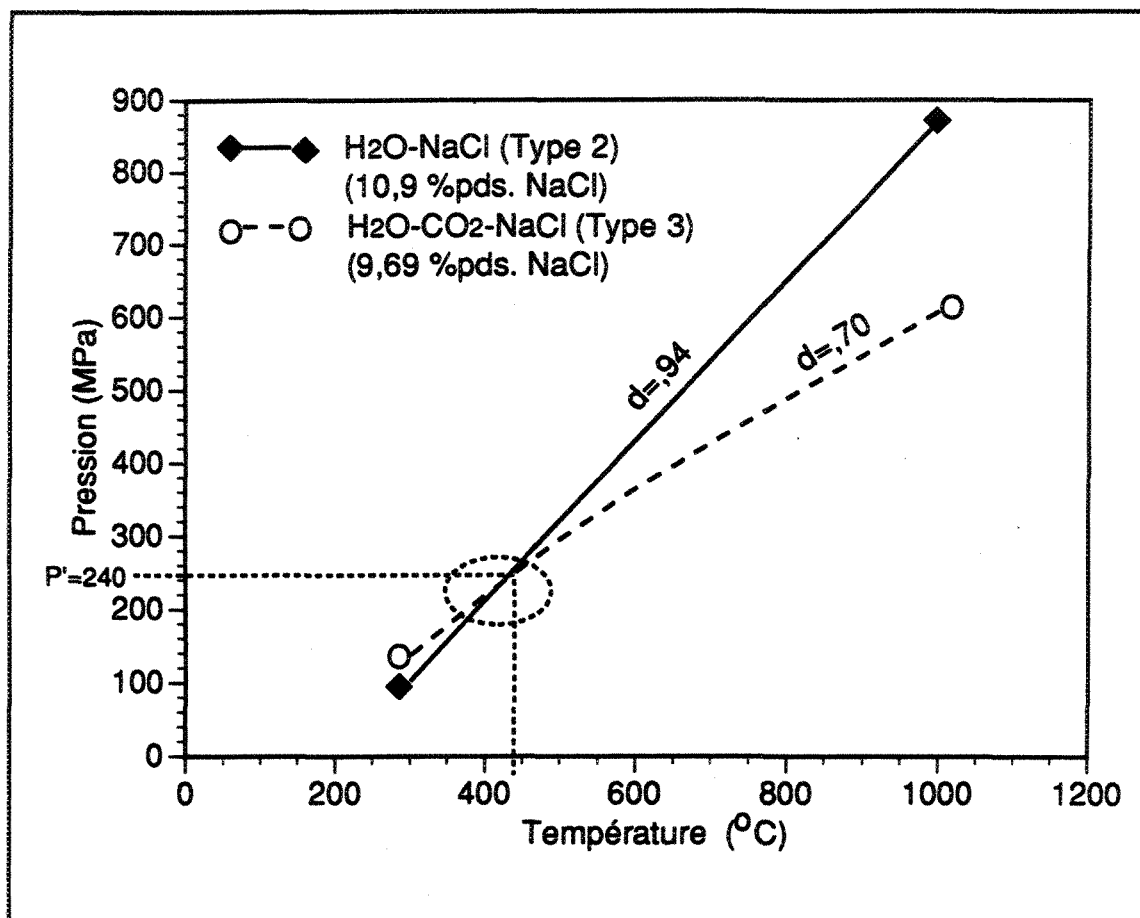


Fig. 51. Diagramme pression-température des conditions estimées de piégeage dans la Veine A au Lac Bachelor. Les isochores (en g/cm^3) pour des fluides aqueux et carboniques sont montrés. P' est la pression qui correspond à l'intersection des deux isochores.

possible démixion des phases fluides à 240 MPa et 440°C, avec une phase riche en vapeur $\text{CO}_2\text{-CH}_4\text{-H}_2\text{O}$ et la présence de N_2 . Dans cette veine plus tardive, une séparation de phases par ébullition est indiquée.

Dans la Veine principale de la zone minéralisée, les inclusions aqueuses représentent plutôt un membre compositionnel d'une paire immiscible. Cette paire est en coexistence avec des inclusions montrant une très grande variabilité dans le contenu en CO_2 et qui en grande partie homogénéisent à l'état liquide avec d'autres à l'état vapeur. Les conditions de pression et de température ne semblent pas varier de façon dramatique et on suggère qu'il s'agit d'un simple mélange accidentel de deux membres compositionnels extrêmes.

7.2.2 $f\text{O}_2$ du fluide minéralisant

Selon Speer (1984), la composition de la biotite dans une roche ignée peut être utilisée pour estimer soit la fugacité maximum de l'oxygène ou la fugacité minimum de H_2O ou H_2 , constituants de la biotite. Pour que ceci soit valable, la biotite devrait être en équilibre avec la magnétite et des feldspaths alcalins, une condition satisfaite dans les échantillons des deux gisements. En se basant sur les travaux expérimentaux de Wones et Eugster (1965), nous avons estimé de façon approximative la fugacité d'oxygène de la roche. Le principe est basé sur le membre compositionnel de l'annite dont on détermine le pourcentage molaire basé sur les concentrations maximums de K, Fe^{2+} , (Al, Si₃) et OH dans leur sites respectifs.

Selon Hewitt et Wones (1984), les solutions solides de la biotite dans le système ternaire ($\text{KFe}_3^{2+}\text{AlSi}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2\text{-KMg}_3\text{AlSi}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2\text{-KFe}_3^{3+}\text{AlSi}_3\text{O}_{12(-1)}$) sont stables pour plusieurs solutions tampons qui figurent dans le diagramme ternaire $\text{Fe}^{+2}\text{-Fe}^{3+}\text{-Mg}^{+2}$ (fig. 52): magnétite-hématite (HM), Ni-NiO (NNO) et $\text{FeSiO}_4\text{-SiO}_2\text{-Fe}_3\text{O}_4$ (QFM). Nos résultats sont aussi tracés sur ce même diagramme afin d'obtenir une idée qualitative des conditions d'oxydation pendant la cristallisation.

Au Lac Bachelor, les compositions des biotites se regroupent autour de la courbe du tampon QFM. Le faible contenu en Fe^{3+} et la présence de

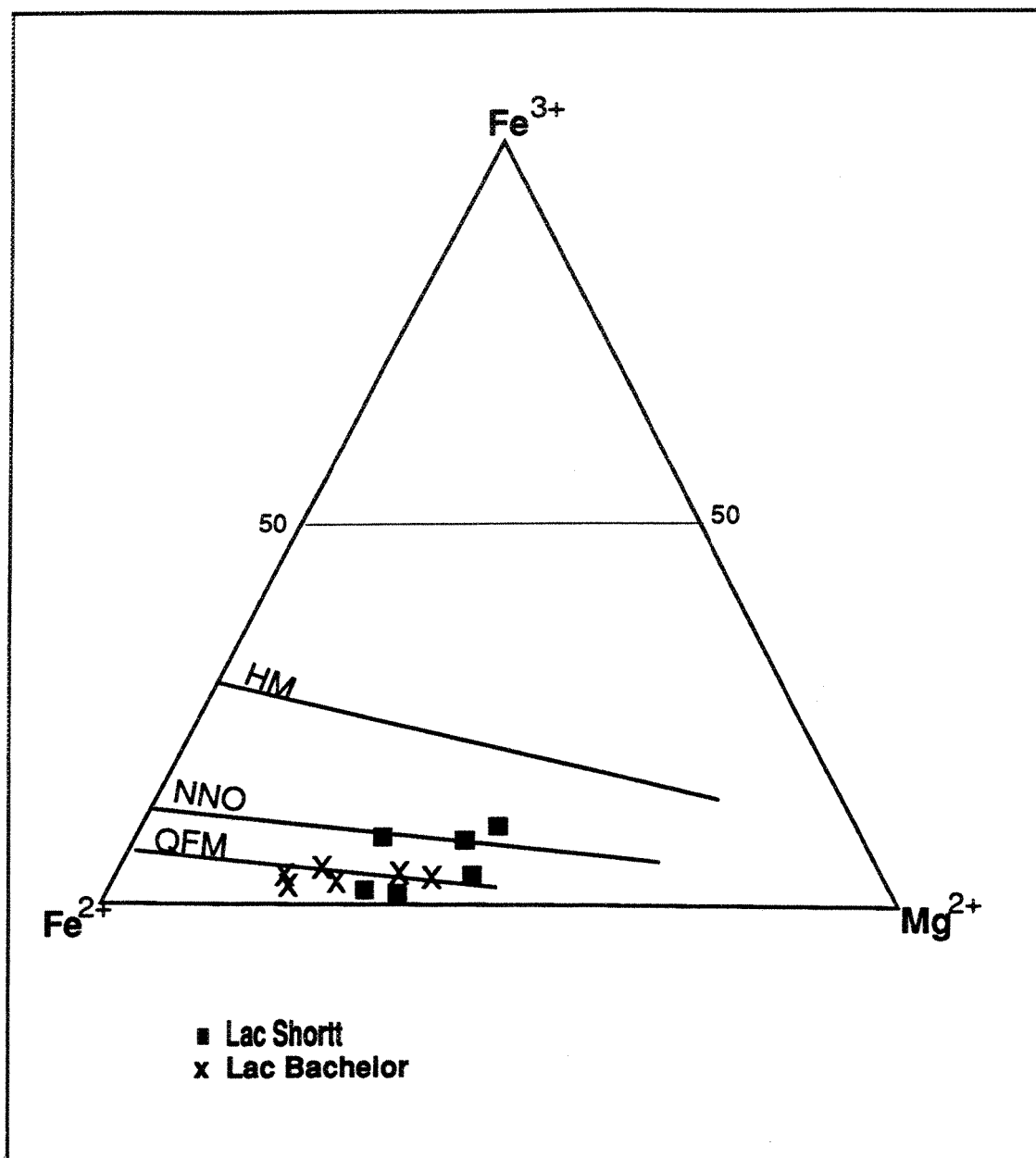


Fig. 52. Contenu en Fe^{3+} - Fe^{2+} - Mg^{2+} des biotites dans la région du Lac Shortt. Les lignes de tampon de HM (hématite-magnétite), NNO (nickel-oxides de nickel) et QFM (quartz-fayalite-magnétite) sont des compositions "tamponnées" de Wones et Eugster (1965) et modifiées de Speer (1984).

pyrrhotite et muscovite dans les roches impliquent une plus faible fugacité d'oxygène qu'au Lac Shortt. Les biotites au Lac Bachelor s'alignent parallèlement à la courbe QFM et ceci indique qu'elles sont cristallisées dans des conditions tamponnées avec la fugacité d'oxygène qui diminue avec une diminution concomitante de la température.

Au Lac Shortt, les compositions recoupent les tampons solides et les compositions de la biotite indiquent que les biotites ont cristallisé à des fugacités très différentes, dans des conditions non tamponnées. Il est possible que les différences entre les deux gisements reflètent des conditions de régions-sources aussi différentes.

Dubessy (1984) et Dubessy *et al.* (1989) ont déjà utilisé des données V-X pour reconstruire les valeurs de f_{O_2} pour des conditions de P-T de piégeage des fluides. Nous avons calculé les fugacités d'oxygène pour des inclusions carboniques aux conditions de pressions et température de piégeage à partir de l'équation



en utilisant le constant d'équilibre de Ohmoto et Kerrick, 1977, exprimé par

$$K = \frac{(f_{CH_4})(f_{O_2})^2}{(f_{CO_2})(f_{H_2O})^2} \quad (12)$$

Ainsi, les coefficients de fugacité ont été calculés avec les équations de Kerrick et Jacobs (1981) et Jacobs et Kerrick (1981). Les valeurs calculées sont présentées au tableau 11.

Le diagramme de fugacité de l'oxygène-température (fig. 53) montre la limite supérieure pour la graphite, les courbes tampons du point triple de pyrite-pyrrhotite-magnétite, de l'hématite-magnétite, du Ni-NiO et du système quartz-fayalite-magnétite (d'après Shi, 1992; Huebner, 1971 et Eugster et Skippen, 1967). Les contraintes suivantes sont déduites de ce diagramme:

Tableau 11. Les coefficients de fugacité d'oxygène (fO_2) calculés avec les équations de Kerrick et Jacobs (1981) des fluides associés à la minéralisation dans la région du Lac Shortt.

Echantillons		T (°C)	K	log fO_2
Lac Shortt	LS 85-109	350	3.30E+68	-20
	LSC 20	386	7.20E+64	-19
	LSC 65	490	1.70E+56	-14
	LS 90-1	350	3.30E+63	-21
	LS 88-12	275	5.01E+77	-26
	LS 10138	250	2.13E+81	-29
Lac Bachelor	C 8	421	4.70E+61	-16
	BAL 603	400	3.50E+63	-18
	BAL 166	350	3.30E+68	-22
	BAL 700	380	2.75E+65	-23

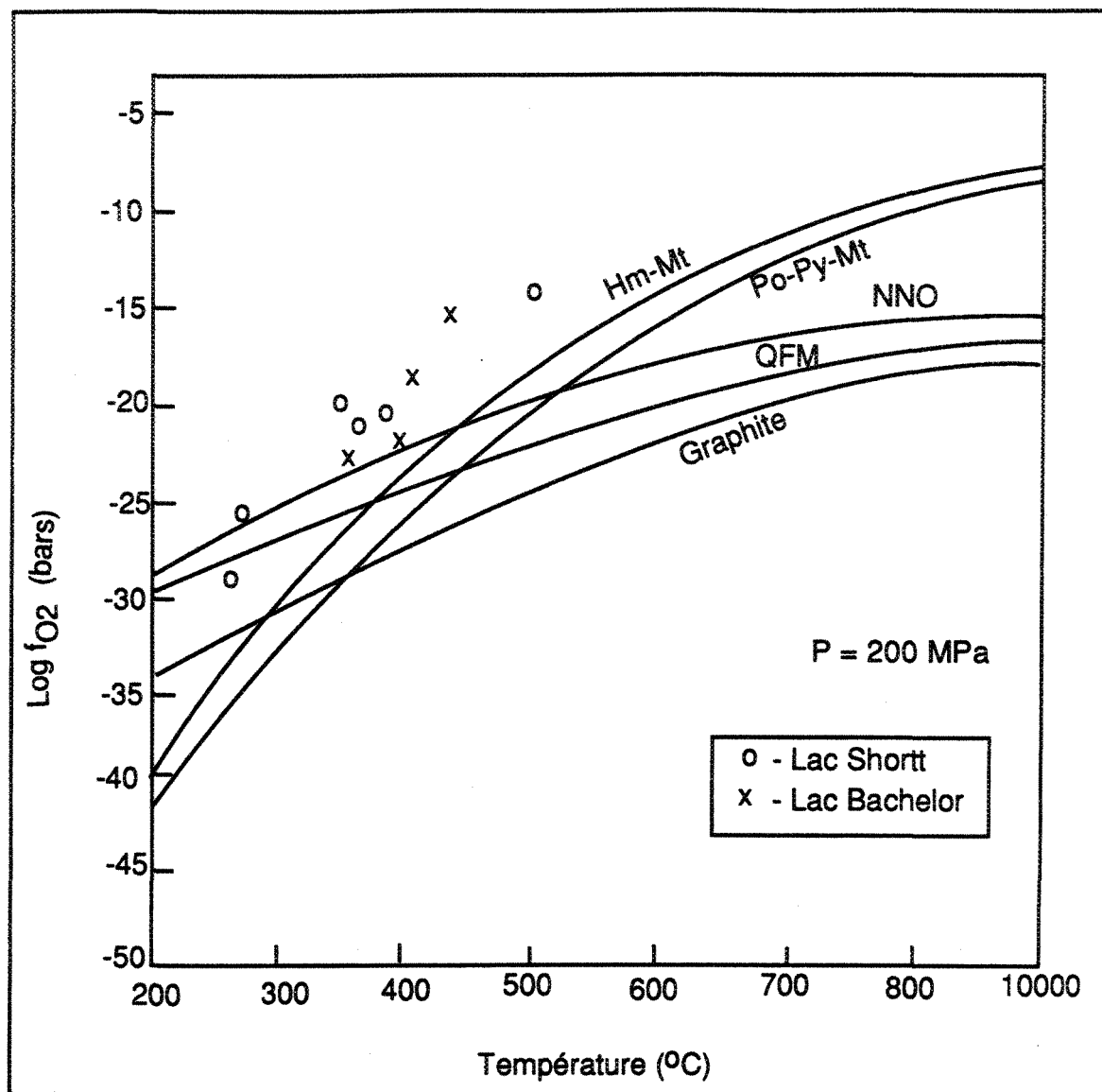


Fig. 53. Estimations de l'activité de l'oxygène à différents stades de l'évolution hydrothermale des fluides associés aux gisements du Lac Shortt et du Lac Bachelor. Les courbes de référence du système QFM, HM et PPM sont tirées de Shi (1992); celle du N-NO de Huebner (1971) et du graphite de Eugster et Skippen (1967).

a) Les oxydes principaux sont l'hématite et la magnétite, et la courbe Po-Py-Mt représente la limite inférieure pour les conditions de piègeage.

b) Les calculs montrent que la fO_2 décroît avec la température elle aussi décroissante: Lac Shortt- de 10^{-14} à 10^{-19} (carbonatite), 10^{-20} à 10^{-28} (minéralisation disséminée); Lac Bachelor- de 10^{-16} (granite) à 10^{-23} (zone principale minéralisée); cette transition correspond à un abaissement dans la fO_2 d'au moins 4 à 8 unités log.

c) Au Lac Shortt, les estimés de fO_2 enregistrent un abaissement où les valeurs franchissent la courbe NNO. Ceci coïncide avec des échantillons où les évidences microthermométrique et pétrographique indique une possible séparation des fluides aqueux et carboniques qui ne sont pas dans des conditions tamponnées. Au Lac Bachelor, par contre, les valeurs de fO_2 sont disposées parallèlement à la courbe tampon de Hm-Mt, reflétant une décroissance progressive avec la température. Dans ce cas, les fluides sont piégés dans des conditions tamponnées.

7.2.3 Discussion des résultats de la fO_2

La chimie globale des fluides peut être modélisée de la façon suivante:

En général, pendant la montée et le refroidissement, l'évolution hypothétique des fluides exsolvés suit la trajectoire de fO_2 -température parallèlement aux courbes de tampons principaux.

Au Lac Shortt, la carbonatite moins altérée et les phases syénitiques à la mine et aux indices minéralisés sont caractérisées par des conditions de fugacité plus élevée, tandis que dans des veines et des brèches minéralisées, la fugacité baisse jusqu'en dessous de la courbe QFM.

Au Lac Bachelor, les fugacités calculées sont compatibles avec des valeurs typiquement trouvées dans des systèmes granitiques (Whitney, 1984), entre les courbes QFM et HM, devenant progressivement plus réductrice dans les zones et les veines de déformation minéralisées.

Il est possible que les conditions changent au fur et à mesure que les phases fluides rentrent en équilibre avec la roche encaissante où du matériel graphitique a déjà été observé. D'après les données résultant de la spectrométrie de masse, des phases vapeur de CH_4 , N_2 et H_2S détectées se sont possiblement partagées dans les fluides riches en CO_2 , d'où une chimie plus réductrice. Une explication alternative fait appel à plusieurs concours de fluides de compositions variables tels que des saumures à forte salinité reliées à des périodes discontinues de fracturation.

7.3 Genèse de la minéralisation aurifère

7.3.1 Evolution et sources des fluides

L'évolution des fluides est tracée pour les phases minéralisées et d'altération en utilisant les températures obtenues de l'étude d'inclusions fluides, des données de salinité, des compositions et fugacités d'oxygène des inclusions fluides ainsi que de la composition isotopique des fluides d'altération dans les carbonates.

Cette étude d'inclusions fluides des dépôts aurifères du Lac Shortt et du Lac Bachelor indiquent que les fluides minéralisants avaient une composition $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2 \pm \text{CH}_4-\text{N}_2-\text{H}_2\text{S}$ (fig. 54), avec une salinité modérée à élevée (6 à 13% pds. équiv. NaCl). Les conditions de température et de pression s'évaluent typiquement entre 190° à 350°C et 130 à 320 MPa respectivement pour le Lac Shortt et de 275° à 410°C et 110 à 310 MPa pour le Lac Bachelor.

Comme on le montre aux figs. 55 et 56, l'ajout de NaCl élargit la région à deux phases pour des fluides $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$ ayant 6 et 12 %pds. NaCl au Lac Shortt et au Lac Bachelor respectivement à 150 MPa. Dans les deux cas, les rapports des phases aqueuses et carboniques sont très variables, indiquant qu'au moment du piégeage, les deux espèces étaient présentes séparément dans le système hydrothermal et elles ont été piégées de manière hétérogène.

Des composants volatils tels que le N_2 et H_2S , contribuent aussi à "gonfler" le solvus. Le N_2 détecté par la spectrométrie de masse provient

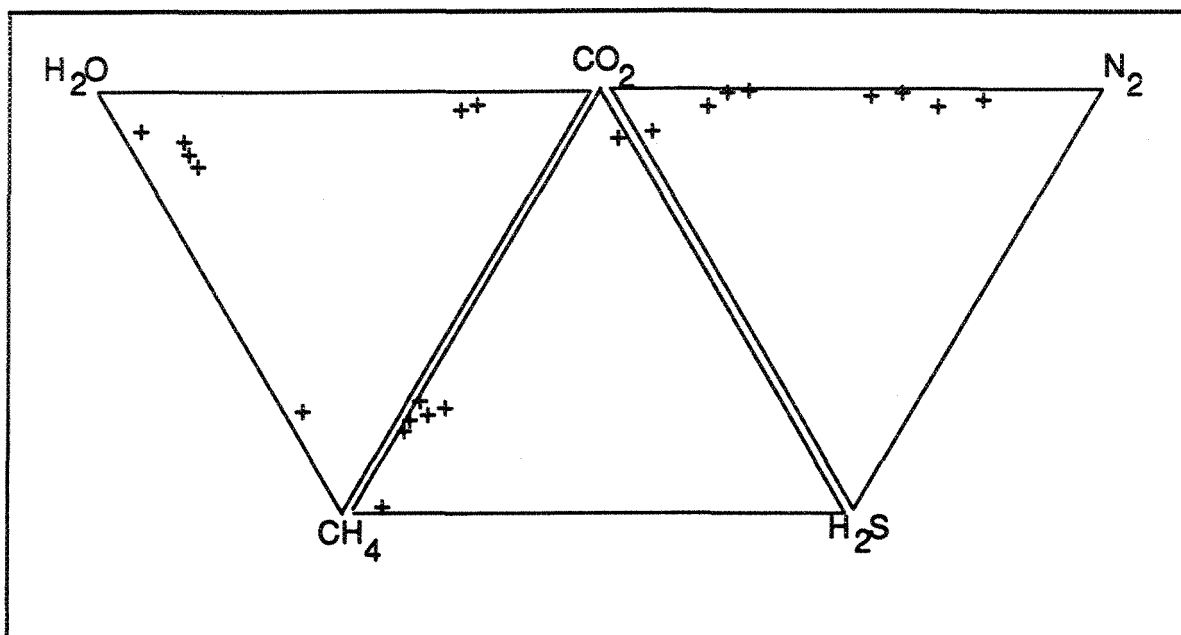


Fig. 54. Diagrammes ternaires de composition pour des phases volatiles de N_2 , CH_4 , CO_2 , H_2S et H_2O contenues dans les inclusions fluides associées à la minéralisation au Lac Shortt et au Lac Bachelor. Les composants volatils sont en pourcentage molaire par échantillon.

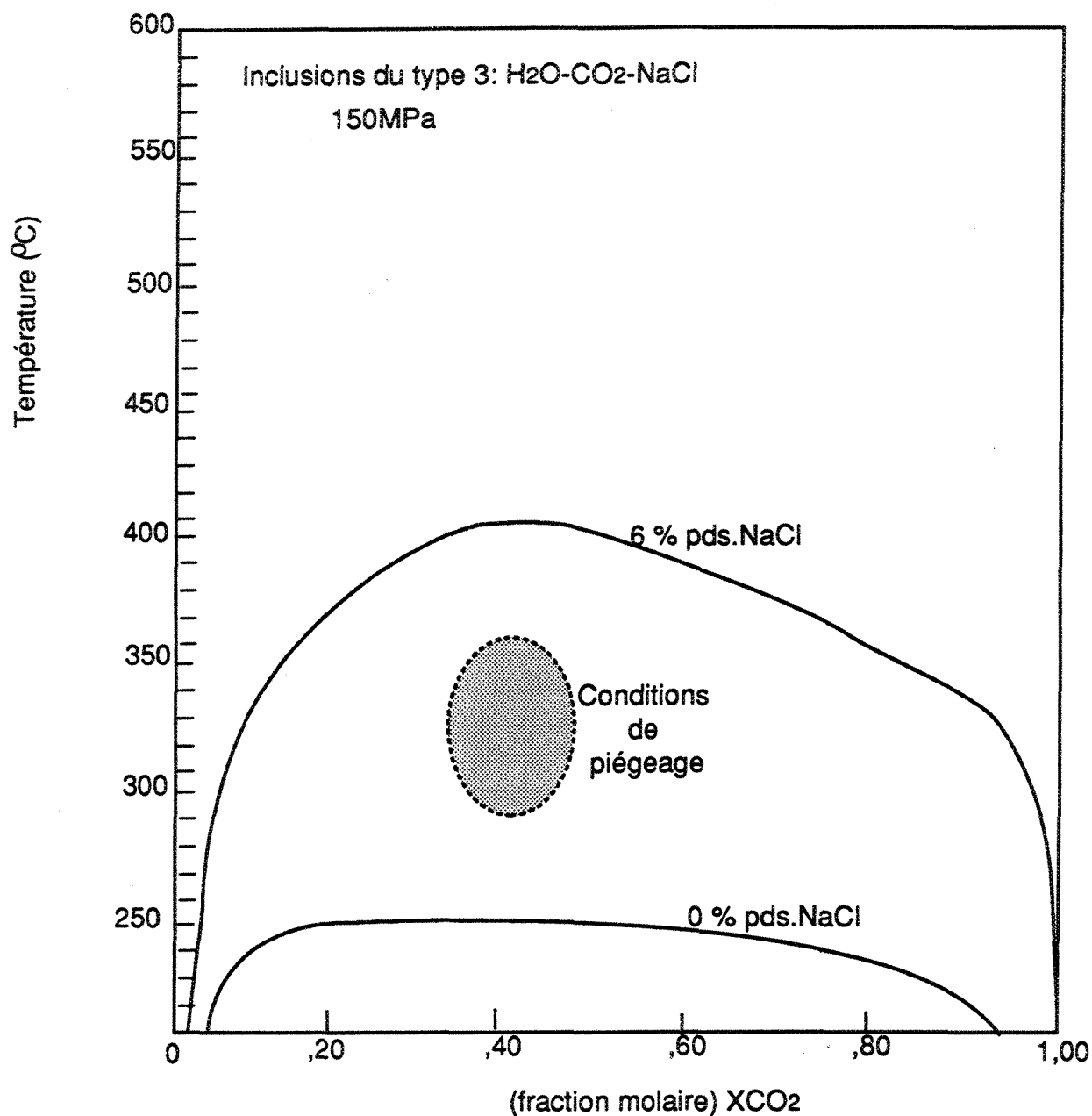


Fig. 55. Diagramme de température-XCO₂ des fluides minéralisateurs du type 3: H₂O-CO₂-NaCl au Lac Shortt. Les conditions de piégeage sont déterminées à partir des données microthermométriques. Les courbes des solvus sont tirées de Bowers et Helgeson (1983).

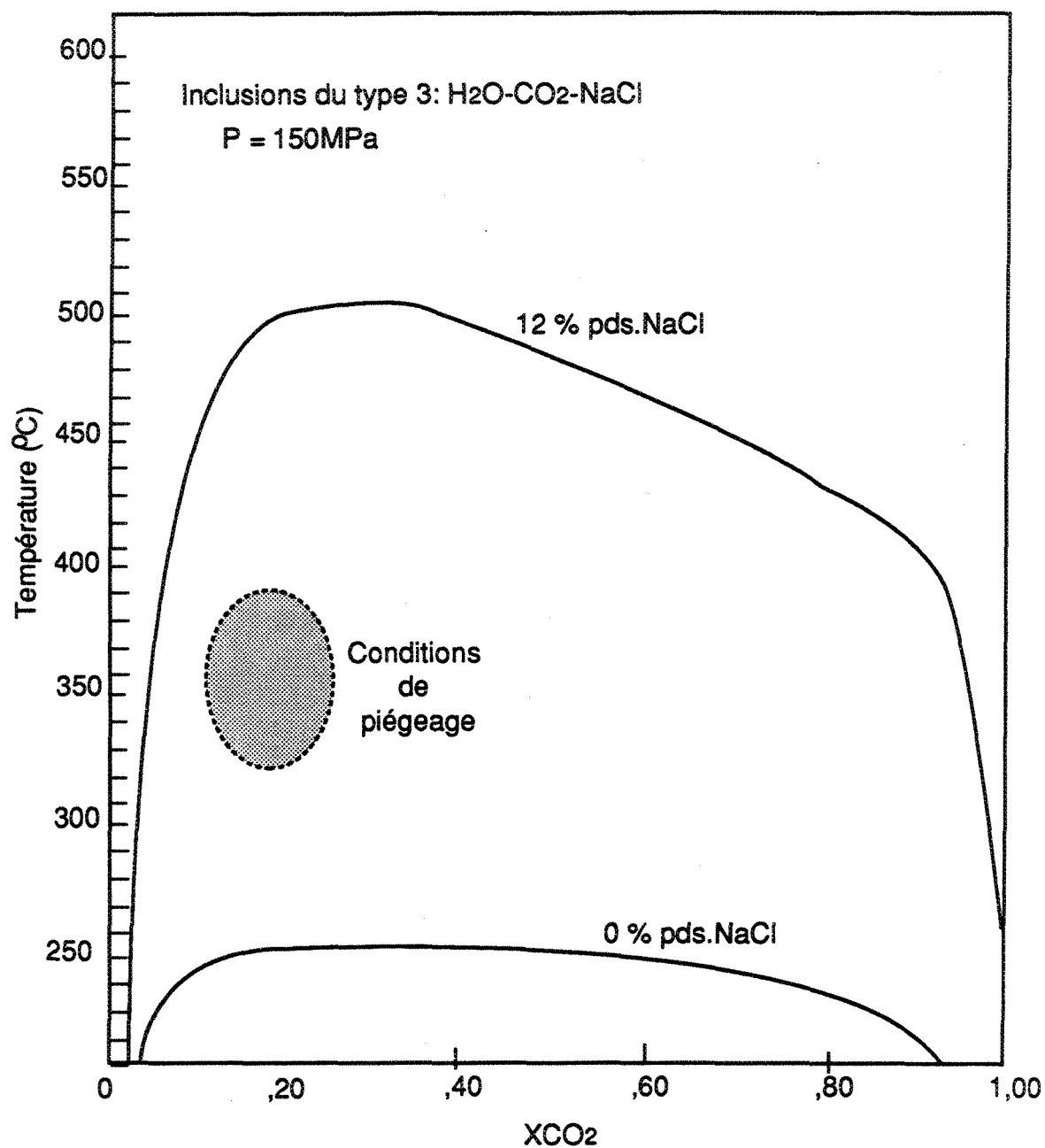


Fig. 56. Diagramme de température- XCO_2 des fluides minéralisateurs du type 3: $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{NaCl}$ au Lac Bachelor. Les conditions de piégeage sont déterminées à partir des données microthermométriques. Les courbes des solvus sont tirées de Bowers et Helgeson (1983).

probablement de NH_4^+ des minéraux silicatés potassiques tels que les feldspaths et les micas. Les concentrations non-négligeables de H_2S , dérivées possiblement des minéraux dans la section métasédimentaire plus profonde, dans les inclusions fluides sont aussi compatibles avec la plupart des études expérimentales et théoriques qui démontrent que des complexes d'hydrosulfures sont formés en grande partie à partir des complexes aurifères (Henley, 1985a). Une séparation de phases est le mécanisme le plus probable dans la déstabilisation de ces complexes, surtout $\text{Au}(\text{HS})_2$ (Seward, 1984; Seward, 1989).

Il est possible de retracer les sources possibles de H_2O et CO_2 dans le fluide présumé minéralisant en comparant les caractéristiques des inclusions fluides et des isotopes stables.

À partir des valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{18}\text{O}$ des carbonates ($n=12$; voir tableau 10), plusieurs relations isotopiques sont évidentes:

- a) Les valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{18}\text{O}$ des carbonates dans la région du Lac Shortt ont une distribution très serrée indiquant des températures de mise en place semblables;
- b) Les valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{18}\text{O}$ des carbonates ne montrent pas une corrélation avec la minéralogie des carbonates;
- c) La signature des valeurs $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{18}\text{O}$ des carbonates dans un champs restreint suggère une source unique de carbon oxydé ou un mélange absolu des fluides de sources multiples. Ces conditions pourront être corroborées par une mesure éventuelle du $\delta^{18}\text{O}$ dans le quartz à l'intérieur et entre les gisements.
- d) L'uniformité des compositions en $\delta^{13}\text{C}$ indique des sources de CO_2 similaires dans la région en général et les petites variations (au Lac Bachelor et dans les schistes de la mine du Lac Shortt) pourront se justifier soit par 1) l'interaction des fluides avec des roches graphitiques; 2) une séparation progressive de CH_4 ou CO_2 et 3) des pulsations séparées des fluides hydrothermaux avec des petites différences dans $\delta^{13}\text{C}_{\Sigma\text{c}}$ (Wyman et Kerrich, 1989).

déformation, pendant le développement des zones de cisaillement durant une période fragile-ductile.

Des fluides secondaires de H₂O, CO₂ et CH₄ se sont formés lors de la cristallisation du quartz et d'autres minéraux hôtes. Ceci a été probablement le résultat d'un abaissement dans la pression associée à la bréchification présente au Lac Shortt et au Lac Bachelor. Cette chute de pression a causé l'expansion adiabatique et irréversible du fluide et donc, une chute de la température.

7.4 Contraintes des modèles génétiques existants

Les débats continuent à ranimer de l'intérêt sur le rôle des intrusifs felsiques dans la genèse des dépôts aurifères à l'Archéen et leur association spatiale donne lieu à bien des conjectures quant à un lien génétique (par exemple, Burrows et Spooner, 1987; Cameron et Hattori, 1987; Witt, 1992; Cameron et Carrigan, 1987).

Quant à la source des fluides aurifères, la polémique tourne autour de trois processus possibles: 1) la dégazification métamorphique focalisée structuralement (Groves *et al.*, 1987; Kerrich, 1987a); 2a) la granulitisation mantlique (Cameron, 1988; Colvine *et al.*, 1988) ou 2b) le magmatisme lamprophyrique (Rock *et al.*, 1989) et 3) la dévolatilisation magmatique (Wood *et al.*, 1986). Chacun de ces processus sera discuté brièvement.

1) *La dégazification métamorphique*- (Perring *et al.*, 1987, Perring, *et al.*, 1991 et Groves *et al.*, 1990). Ces auteurs ont conclu que l'évidence spatiale et géochimique soutient une origine métamorphogénique pour les dépôts aurifères. Ce modèle implique que la source dominante des composants minéralisateurs concentrés dans les dépôts aurifères archéens, a été l'empilement mafique-ultramafique de roches vertes (Perring *et al.*, 1990). Cependant, il y a deux aspects associés à ce modèle qui sont encore difficiles à réconcilier d'après certaines observations: i) plusieurs dépôts, tels que Griffin's Find, en Australie occidentale (Fare et McNaughton, 1990), situés dans des roches vertes entourées de granitoïdes ayant subi un métamorphisme au faciès granulitique, Renabie dans la ceinture d'Abitibi au Canada (Callan et Spooner, 1989) et Brompton au Zimbabwe (Mann, 1984)

qui sont encaissés dans des gneiss granitiques, indiquent que les composants minéralisateurs proviennent de sources externes à la ceinture de roches vertes; ii) le moment de la mise en place de l'Au varie par rapport au *pic* du métamorphisme: ceci peut être antérieure ex. Big Bell (Chown et Fowler, 1986), synchrone, ex. Griffin's Find, ou *postérieure*, ex. Victory (Clark *et al.*, 1989).

Récemment, avec tout cela, Groves (1993) est revenu sur ce modèle indiquant que la plupart des dépôts aurifères à l'Archéen constituent un groupe génétique formé dans un continuum crustal où les conditions de pression et température varient de 180°C à < 100 MPa (ou 1 kb) jusqu'à 700°C à 500 MPa (5 kb). Ce modèle ("the crustal continuum model") reconnaît une source profonde pour le fluide minéralisateur, admettant la possibilité de réservoirs multiples: a) la croûte inférieure ou le manteau ou b) des granitoïdes anatectiques dérivés d'une croûte felsique en dessous des roches vertes.

2a) La *granulitisation mantellique*- Ce modèle suggère que la dégazification et le sous-placage des magmas dérivés du manteau provoquent la granulitisation de la croûte inférieure et un transfert concomitant de l'or soit par l'influx de CO₂ ou par son extraction des fondus felsiques (Colvine *et al.*, 1988). Les problèmes associés à ce modèle sont reliés à deux aspects importants: i) la carbonatation régionale des séquences de roches vertes qui pourrait refléter l'influx du CO₂ ($\delta^{13}\text{C}$ moyenne = -4,6‰ compatible avec une origine mantellique) précède la minéralisation aurifère (Golding *et al.*, 1987b); ii) Selon Deines et Gold (1973), les signatures de $\delta^{13}\text{C}$ dans le champ mantellique est de $-6 \pm 2\text{‰}$ tandis qu'au Canada et en Australie, les signatures de $\delta^{13}\text{C}$ des carbonates associés à la minéralisation aurifère archéenne s'étalent entre -9,0 et -0,4 ‰ et débordant ainsi le champ mantellique.

2b) Le *magmatisme lamprophyrique*- L'association spatiale et temporelle entre la minéralisation aurifère et les lamprophyres implique que l'or a été transféré par des magmas lamprophyriques aux systèmes hydrothermaux au niveau de la croûte (Rock *et al.*, 1988). Cependant, la signature δD de certains fluides minéralisateurs (eg. la mine Victory, Clark,

1989) est incompatible avec une origine directe des magmas lamprophyriques. En plus, des données récentes (Wyman et Kerrich, 1989) montrent que ces lamprophyres ne sont pas particulièrement enrichis en Au.

3) *La dévolatilisation magmatique*- En ce qui concerne la signification des processus magmatiques dans la métallogénèse aurifère, ces modèles se résument par un lien partiel et plutôt indirect. Selon Perring *et al.* (1991), les deux problèmes principaux avec les modèles magmatiques (de l'Au "porphyrique") sont a) les fluides à faible salinité, riches en H₂O-CO₂ et b) des rapports Au-métaux de base très élevés. Ce modèle de dévolatilisation *in situ* des intrusifs (ex. Burrows *et al.*, 1986) dans la croûte a été écarté parce que les intrusifs sont souvent trop peu profonds et qu'ils post-datent la minéralisation aurifère.

Cependant, peu d'études établissent le lien entre les fluides associés à des zones minéralisées et les fluides des intrusifs proprement dit. Des études récentes, provenant surtout du Block de Yilgarn en Australie occidentale (Gebre-Mariam *et al.*, 1993, Cassidy *et al.*, 1993, Ojala *et al.*, 1993 et Wang *et al.*, 1993) des dépôts associés à des intrusifs suggèrent en effet la possibilité d'une parenté entre les intrusions et les minéralisations aurifères. On remarque que ces études se basent sur une caractérisation structurale et/ou géochimique des zones minéralisées sans toutefois démontrer un lien de parenté avec les intrusifs et donc l'influence possible que ceux-ci peuvent mener sur l'épisode de minéralisation.

Par contre, la naissance d'un fluide minéralisateur directement lié à des intrusifs felsiques est un fait bien établi plus particulièrement pour les gisements de type "porphyre". De plus, le processus "d'effervescence" du CO₂ tel qu'aperçu dans les gisements filoniens aurifères a été démontré au tout début dans les dépôts porphyres de molybdène de Boss Mountain en Colombie-Britannique (Macdonald et Spooner, 1981).

7.5 Discussions et synthèse

La genèse des dépôts aurifères à l'Archéen demeure équivoque d'après tous les modèles décrits. Une grande partie de la documentation et de la formulation des modèles est basée sur des dépôts liés ou encaissés dans des faciès sub-amphibolite à amphibolite tandis que la documentation des dépôts associés spatialement ou encaissés par des intrusifs est plus limitée.

7.5.1 Comparaison des signatures des fluides entre les mines du Lac Shortt et du Lac Bachelor et les indices minéralisés

La composition du fluide minéralisateur typique des dépôts analysés dans la région du Lac Shortt est résumée au tableau 13. Aux mines du Lac Shortt et du Lac Bachelor, les caractéristiques physico-chimiques indiquent des fluides très semblables avec quelques variations dans les conditions thermodynamiques au moment du piégeage. Les fluides aqueux et les fluides aqueux-carboniques sont interprétés comme étant un assemblage en équilibre de vapeurs et saumures exsolvées, soit ensemble ou séparément (fig. 28, chapitre 5). Les observations indiquent la séparation précoce d'un fluide à faible densité issu d'un magma saturé en sulfures, suivie par la séparation d'une saumure enrichie en chlorures.

Dans les deux mines, parmi les cations pressentis dans les inclusions fluides, le plus abondant est le sodium. On remarque aussi que le calcium est prédominant au Lac Shortt, ce qui pourrait indiquer un degré plus élevé d'interaction eau-roche et par conséquent, une évolution plus étendue dans la composition chimique des fluides. Par contre, au Lac Bachelor, l'absence de calcium indique possiblement moins d'interaction entre les fluides et l'encaissant, donc une évolution des fluides régi plutôt par une décompression soudaine des conditions hydrostatiques. Ceci est appuyé par la présence des aplites au Lac Bachelor (cristallisation rapide).

Tableau 13. Résumé des caractéristiques du fluide et $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{18}\text{O}$ et des conditions de mise en place des gisements aurifères dans la région du Lac Shortt

Paramètres	Lac Shortt (gisement et indices minéralisés)	Lac Bachelor
Roches hôtes	Diorite, syénite, carbonatite	Granodiorite, porphyre granitique
Styles de minéralisation	Disséminée dans roches très déformées et en veines de qz	Veinules en stockwerk de qz-felds-K-hém et disséminée
Altération intérieur	biot-mag-cal dol-alb-ank-pyr dol-pyr-felds-K-Au-qz amphibole sodique superposée(fénitisation)	micas bl.-qz-Au-pyr-mag felds-K-hém-Au-pyr-carb
Altération extérieur	cal-chl-épid	épid-carb-chlo-pyr-mag
Types de fluides	Carboniques à trois phases: $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{NaCl}(\pm\text{CH}_4-\text{N}_2-\pm\text{H}_2\text{S})$ Aqueuses à deux phases: $\text{H}_2\text{O}-\text{NaCl} \pm \text{CaCl}_2$	Carboniques à trois phases: $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{NaCl}(\pm\text{CH}_4-\text{H}_2\text{S})$ Aqueuses à deux phases: $\text{H}_2\text{O}-\text{NaCl} \pm \text{MgCl}_2-\text{KCl}$
Salinité apparente des fluides	Diss.: 3,5 à 18,32 % V qz: 3,5 à 8,2%	Granite: 6,5 à 12,7% Zone Prin.: 3,3 à 14,55%
Densité du CO_2	0,66 à 0,79 g/cm ³ (hom. liq)	0,60 à 0,89 g/cm ³ (hom. liq)
Température du fluide	Carboniques: 205 à 322°C Aqueuses : 150-462°C	Carboniques: 314 à 407°C Aqueuses : 120-400°C
Pression du fluide	130-320 MPa	110-310 MPa
Fugacité du fluide (log f_{O_2})	entre -14 et -29	entre -16 et -23
$\delta^{13}\text{C}$ carbonate	~-5,94 à -2,71‰	~ 2,62 ‰
$\delta^{18}\text{O}$ carbonate	~-8,28 à 12,86 ‰	~-12,14 ‰
$\delta^{18}\text{O}$ H_2O	~-4,67 à 8,42 ‰	~-5,39 ‰
Mécanisme de mise en place	Démixion des phases	Démixion des phases

Comme l'or n'est pas particulièrement présent dans les intrusifs eux-mêmes, les fluides plus tardifs sont ramenés par des épisodes d'ébullition rétrogrades subséquentes pendant la montée des intrusifs (le granite au Lac Bachelor, la syénite suivie par la carbonatite au Lac Shortt), pour produire des phases aqueuses dans lesquelles l'Au, l'Ag et d'autres métaux de base, tels que le Cu et le Pb, se partagent préférentiellement.

Pendant ces épisodes, les pressions atteignent des niveaux assez élevés pour entraîner la fracturation hydraulique qui agissent alors comme des pièges structuraux et géochimiques, produisant des chemins pour les fluides en écoulement et des zones d'altération, comme l'altération potassique qu'on observe dans les zones minéralisées au Lac Shortt et au Lac Bachelor.

7.5.2 Intégration des données des fluides, du contexte géologique et de l'évolution tectonique

Le poids des évidences amasées au Lac Shortt y compris des inclusions fluides, fluide-fondues et fondues, indique que la mise en place des gisements a été favorisée par un ensemble des facteurs, c'est à dire l'emplacement dans un milieu peu profond de la croûte et la séparation des phases vapeurs (par ébullition rétrograde) qui partagent des métaux du fondu ou de façon alternative, les lessivent des roches encaissantes, tout en produisant des séquences caractéristiques d'altérations et la précipitation des sulfures. Selon Strong (1988), ces mêmes facteurs contrôlent la formation des gisements porphyriques enrichis par exemple en molybdène et en tungstène, dans un environnement caractérisé par du magmatisme probablement relié à la subduction permettant l'interaction des eaux juvéniles et météoriques. Par analogie, ces gisements porphyriques montrent que les caractéristiques des fluides sont très uniformes en général, avec des salinités élevées et une évidence d'ébullition (Roedder, 1984).

La comparaison des propriétés des fluides du Lac Shortt et du Lac Bachelor avec celles d'autres gisements aurifères à l'Archéen, e.g. Hollinger-McIntyre en Ontario, (Wood et al., 1986) et Mink Lake, Red Lake, Ontario (Burrows et Spooner, 1988) révèle aussi des ressemblances: 1) la présence des fluides riches en CO₂ et du CO₂ pur; 2) la séparation des phases H₂O-CO₂ et

3) des valeurs de $\delta^{18}\text{O}$ estimées à 4,7‰. Par contre, les salinités calculées au Lac Shortt sont plus élevées.

Selon Chown *et al.* (1992), des données de datation et de terrain encadrent la déformation principale responsable pour des systèmes montrant des orientations est-ouest entre 2703 et 2690 Ma. Ils ont aussi suggéré que les intrusifs, associés aux gisements du Lac Shortt et du Lac Bachelor plus tardifs, sont probablement reliés aux failles d'orientation N-NE. Des données récentes (Tilton et Bell, 1994) de Sm-Nd-Pb de la carbonatite et de la syénite du Lac Shortt indiquent des âges de 2680 Ma. Ceci implique que les intrusifs sont tardi-à post-tectoniques. Les évidences de chutes importantes dans la pression des fluides au Lac Shortt suggèrent des conditions de soulèvement, coïncidant possiblement avec des stades finaux de réajustement tectonique et l'arrimage des systèmes en subduction. Par contre, nous avons un décalage de 10 Ma.

Certaines études d'inclusions fluides des dépôts stannifères à Cornwall (Jackson *et al.*, 1982, 1989; Moore et Moore, 1979) suggèrent un environnement peu profond (2,8 km). À défaut des estimations de pressions indépendantes, Jackson *et al.*, (1982), en se basant sur des suppositions d'ébullition locale, suggèrent un hiatus minimum de 9 Ma entre la solidification et la minéralisation, pendant lequel le granite aurait été soulevé et érodé.

En résumé, les inclusions fluides au Lac Bachelor et au Lac Shortt sont très complexes, impliquant des fluides magmato-hydrothermaux de salinités modérées à élevées dans les épisodes minéralisateurs ainsi que des phénomènes de démixion des fluides. Ces deux gisements ainsi que les indices minéralisés dans la région, fournissent une évidence directe du rôle possible des stocks alcalins et non-alcalins comme sources de fluides hydrothermaux.

CHAPITRE 8 - CONCLUSIONS

La région du Lac Shortt est localisée dans la ceinture de roches vertes de l'Abitibi, à l'ouest de la bande de Caopatina-Desmaraisville. Cette région est constituée de séquences archéennes de volcaniques mafiques et felsiques recoupées par des plutons pré-, syn- à post tectoniques. Le métamorphisme régional est au faciès schiste-vert attribuable à l'orogénie kénoréenne. D'après les données de datation, la minéralisation aurifère dans la région du Lac Shortt est tardive ou postérieure au métamorphisme régional.

La minéralisation aurifère au gisement du Lac Shortt est associée à des intrusifs d'une suite alcaline qui comporte une carbonatite, un gabbro alcalin et une syénite. De même, le gisement du Lac Bachelor est associé à une granodiorite. Les deux gisements présentent deux styles de minéralisation: disséminée et en veines de quartz. Ces intrusifs sont reliés à des structures d'orientation N-NE. Les indices minéralisés étudiés contiennent une minéralisation aurifère dans des veines pyriteuses encaissée dans des roches hôtes très variées ainsi que dans la roche altérée carbonatisée et pyritisée.

Les principales conclusions de cette thèse peuvent se résumer comme suit:

- 1) Les études d'inclusions fluides indiquent que les compositions moyennes des fluides dans les gîtes du Lac Shortt et du Lac Bachelor sont dominées par $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2 \pm \text{CH}_4-\text{N}_2-\text{H}_2\text{S}$ avec des salinités modérées à élevées (6 à 13% pds. équiv. NaCl). Les fluides des indices minéralisés montrent des comportements et des propriétés analogues à ceux du gîte du Lac Shortt, ce qui indique que les indices appartiennent au même processus minéralisateur.
- 2) Les conditions de température et de pression s'étalent typiquement entre 190° à 350°C et 130 à 320 MPa pour le Lac Shortt et de 275° à 410°C et 110 à 310 MPa pour le Lac Bachelor.

- 3) L'ajout de NaCl élargit la région à deux phases pour des fluides H₂O-CO₂ ayant 6 et 12 %pds. équiv. NaCl au Lac Shortt et à Lac Bachelor respectivement à 150 et 320 MPa.
- 4) L'éventail limité des valeurs $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{18}\text{O}$ des carbonates suggère que la minéralisation reliée à des zones de cisaillements importantes pourrait impliquer du CO₂ d'origine soit mantellique ou magmatique.
- 5) La composition isotopique estimée de $\delta^{18}\text{O}$ des fluides aurifères à partir de la composition isotopique des carbonates indique une possible source dans des porphyres felsiques ou des granitoïdes et une subséquente modification par l'interaction fluide-roche ou en fonction des variations des conditions de P-T-x.
- 6) Dans les conditions de piégeage définies, la majorité des renseignements obtenus est compatible avec un modèle qui impliquerait le piégeage des assemblages d'inclusions fluides de manière hétérogène.
- 7) Cette étude d'inclusions fluides indique que le mécanisme prédominant pour la précipitation de l'or est par l'exsolution des phases vapeurs-carboniques et aqueuses-salines pour provoquer la minéralisation disséminée lors de la mise en place des intrusifs. Une chute dans la pression, couplée avec des variations de la densité et de la fugacité des fluides déclenchent la démixion intermittente des phases fluides riches en CO₂-H₂O -NaCl qui sont associées à la minéralisation en veines de quartz.
- 8) Cette étude démontre que des plutons de compositions alcalines et non-alcalines, mis en place en même temps que la minéralisation, jouent un rôle important en déterminant la localisation de la minéralisation et les différents styles de minéralisation aurifère à l'Archéen.

Cette étude basée sur des inclusions fluides fournit une base de données additionnelle pour expliquer les observations empiriques accumulées sur des

dépôts aurifères à l'Archéen. À partir des résultats obtenus, des travaux ultérieurs sont recommandés, qui pourront être réalisés pour mieux comprendre ce genre de dépôts :

- 1- calculer les concentrations, les activités et la distribution des ions et des complexes dans les solutions aqueuses afin de modéliser l'équilibre chimique et le transfert de masse dans des systèmes de minéraux-solutions aqueuses (modélisation numérique de l'écoulement des fluides);
- 2- déterminer, pour des fluides de salinités basses et élevées leur capacité de transport des métaux de base et précieux dans un système magmato-hydrothermal associé à des intrusifs de compositions diverses (techniques de la microspectrométrie PIXE-*proton-induced x-ray emission*)
- 3- faire une étude (surtout dans des brèches hydrothermales) des fluctuations de pression pour déterminer les conditions de soulèvement;
- 4- faire l'étude régionale comparative de l'évolution des fluides de ce système par rapport aux gisements aurifères archéens de type filonien typiques dans la partie est de la bande de roches vertes de Caopatina-Desmaraisville, plus particulièrement le dépôt de la Mine Joe Mann et les indices du Lac Meston.

REFERENCES

- Anovitz, L. M. et Essene, E. J., 1987. Phase equilibria in the system $\text{CaCO}_3\text{-MgCO}_3\text{-FeCO}_3$. *Journal of Petrology*, **28**: 389-414.
- Bakker, R. J. et Jansen, J. B. H., 1991. Experimental post-entrapment water loss from synthetic $\text{CO}_2\text{-H}_2\text{O}$ inclusions in natural quartz. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **55**: 2215-2230.
- Bakker, R. J. et Jansen, J. B. H., 1990. Preferential water leakage from fluid inclusions by means of mobile dislocations. *Nature*, **345**: 58-60.
- Barron, K. M., 1991. Relationship of Archean gold to alkaline magmatism, Superior Province, Canada. *Dans Brazil Gold '91. Edité par E.A. Ladeira*. Balkema, Rotterdam, pp. 101-108.
- Bence, A. E. et Albee, A. L., 1968. Empirical correction factors for electron microanalysis of silicates and oxides. *Journal of Geology*, **76**: 382-403.
- Bodnar, R. J., 1993. Revised equation and table for determining the freezing point depression of $\text{H}_2\text{O-NaCl}$ solutions. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **57**: 683-684.
- Boiron, M. C., Cathlineau, M., Dubessy, J. et Bastoul, A., 1990. Fluids in Hercynian Au-veins from the French Variscan Belt. *Mineralogical Magazine*, **54**: 231-243.
- Bowers, T. S. et Helgeson, H. C., 1985. FORTRAN programs for generating fluid inclusion isochores and fugacity coefficients for the system $\text{H}_2\text{O-CO}_2\text{-NaCl}$ at high pressures and temperatures. *Computers Geosciences*, **11**: 203-213.
- Bowers, T. S. et Helgeson, H. C., 1983. Calculation of the thermodynamic and geochemical consequences of nonideal mixing in the system $\text{H}_2\text{O-CO}_2\text{-NaCl}$ on phase relations in geologic systems: Equation of state for $\text{H}_2\text{O-CO}_2\text{-NaCl}$ fluids at high pressures and temperatures. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **47**: 1247-1275.

- Brisson, H. et Guha, J., 1988a. Reconnaissance géologique dans le secteur de la mine du lac Shortt, Abitibi, Québec. Rapport d'étape, (avril), Min. Energ.Ress. du Québec. 70 p.
- Brisson, H. et Guha, J., 1988b. Reconnaissance géologique d'indices aurifères dans la région du Lac Shortt, Abitibi, Québec. Rapport d'étape, (novembre), Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec, 55 p.
- Brown, P.E., 1989. FLINCOR: A microcomputer program for the reduction and investigation of fluid inclusion data. *American Mineralogist*, **74**: 1390-1393.
- Brown, P. E. et Lamb, W. M., 1989. P-V-T properties of fluids in the system H₂O-CO₂-NaCl: New graphical presentations and implications for fluid inclusion studies. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **53**: 1209-1221.
- Bucher-Nurminen, K., 1987. A recalibration of the chlorite-biotite-muscovite geobarometer. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **96**: 519-522.
- Buro, Y., 1984. The geology of the Bachelor Lake Gold Mine, Desmaraisville, Abitibi-East, Québec. *Dans Chibougamau – Stratigraphy and Mineralization. Edité par J.Guha et E.H.Chown.*, Canadian Institute of Mining and Metallurgy, Special Volume no. 34, pp. 385-392.
- Burrows, D.R. et Spooner, E.T.C., 1987. Generation of a magmatic H₂O-CO₂ fluid enriched in Mo, Au, and W within an Archean sodic granodiorite stock, Mink Lake, northwestern Ontario. *Economic Geology*, **82**: 1931-1957.
- Callan, N. J. et Spooner, E. T. C., 1989. Archean Au-quartz vein mineralization hosted in a tonalite-trondhjemite terrane, Renabie mine area, Wawa, North Ontario, Canada. *Dans The Geology of Gold Deposits: The Perspective in 1988. Edité par R.R.Keays, W.R. Ramsay et D.I. Groves*, *Economic Geology Monograph* **6**, pp. 9-18.

- Cameron, E. M., 1993a. Precambrian gold: perspectives from the top and bottom of shear zones. *The Canadian Mineralogist*, **31**: 917-944.
- Cameron, E., 1988. Archean gold: relation to granulite formation and redox zoning in the crust. *Geology*, **16**: 109-112.
- Cameron, E. M. et Carrigan, W. J., 1987. Oxygen fugacity of Archean felsic magmas: relationship to gold mineralization. *Geological Survey of Canada, Paper 87-1A*, pp. 281-298.
- Cameron, E.M. et Hattori, K., 1987. Archean gold mineralization and oxidized hydrothermal fluids. *Economic Geology*, **82**: 1177-1191.
- Cassidy, K.F. et Bennett, J.M., 1993. Gold mineralisation at the Lady Bountiful Mine, Western Australia: an example of a granitoid-hosted Archaean lode gold deposit. *Mineralium Deposita*, **28**: 388-408.
- Cathlineau, M., Boiron, M. C., Essarraj, S., Dubessy, J., Lespinasse, M. et Poty, B., 1993. Fluid pressure variations in relation to multistage deformation and uplift: a fluid inclusion study of Au quartz veins. *European Journal of Mineralogy*, **5**: 107-121.
- Cathlineau, M., Margnac, C., Boiron, M. C. et Poty, B., 1991. Hercynian gold bearing quartz veins from western Europe: the "Shear-Zone Model" revisited. *Dans Proceedings, Gold 91, Brazil. Edité par E.A. Ladeira. Balkema, Rotterdam*, pp. 115-119.
- Cheilletz, A., Dubessy, J., Kosztolanyi, C., Masson-Perez, N., Ramboz, C. et Zimmermann, J.L., 1984. Les fluides moléculaire d'un filon de quartz hydrothermal: comparaison de techniques analytiques ponctuelles et globales, contamination des fluides occlus par des composés carbonés. *Bulletin Minéralogique*, **107**: 169-180.
- Chown, E. H. et Fowler, A. D., 1986. Chemical evidence on the nature of the pre-metamorphic alteration of the rocks of the Big Bell lode. *Dans Proceedings, Geological Association of Canada* **11**, p. 56.
- Chown, E.H., Daigneault, R. et Mueller, W. 1990. Geological setting of the eastern extremity of the Abitibi Belt. *Dans Lithotectonic framework and associated mineralization of the eastern extremity of the Abitibi*

greenstone belt. *Edit   par* J. Guha, E.H. Chown et R. Daigneault. Geological Survey of Canada, Open File 2158, pp. 1-32.

- Chown, E. H. et Mueller, W., 1992. Basement influence on the supracrustal and plutonic evolution and deformation of an archean greenstone belt. International Basement Tectonics Association Publication No. 7: 465-476.
- Chown, E. H., Daigneault, R. et Mueller, W., 1992. Tectonic evolution of the Northern Volcanic Zone, Abitibi belt, Quebec. Canadian Journal of Earth Sciences, 29: 2211-2225.
- Clark, M. E., Carmichael, D. M., Hodgson, C. J. et Fu, M., 1989. Wall-rock alteration, Victory Gold Mine, Kambalda, Western Australia: processes and P-T-XCO₂ conditions of metasomatism. *Dans* The Geology of Gold Deposits: the Perspective in 1988. *Edit   par* R.R.Keays, W.R.Ramsay et D.I Groves, Economic Geology Monograph 6, pp. 445-459.
- Collins, P. L. F., 1979. Gas hydrates in CO₂-bearing fluid inclusions and the use of freezing data for estimation of salinity. Economic Geology, 74: 1435-1444.
- Colvine, A. C., Fyon, J. A., Heather, K. B., Marmount, S., Smith, P. M. et Troop, D. G., 1988. Archean lode gold deposits in Ontario. Ontario Geological Survey, Miscellaneous Paper 139, 210 p.
- Colvine, A. C., Andrews, A. J., Cherry, M. E., Durocher, M. E., Fyon, A. J., Lavigne, M. J., MacDonald, A. J., Marmont, S., Poulsen, S., Springer, J. S. et Troop, D. G., 1984. An integrated model for the origin of Archean lode gold deposits. Ontario Geological Survey, Open File Report 5524, 98 p.
- Cormier, M., Gauthier, A. et Muir, J. E., 1984. Geology, geochemistry and mineralization at Falconbridge's Lac Shortt gold deposit, Gand township, Québec . *Dans* Chibougamau – Stratigraphy and Mineralization. *Edit   par* J. Guha et E.H. Chown, Canadian Institute of Mining and Metallurgy, Special Volume no. 34, pp. 393-411.

- Coveney, R. M. J., Goebel, E. D. et Raga, V. M., 1987. Pressures and temperatures from aqueous fluid inclusions from mid-continent country rocks. *Economic Geology*, **82**: 740-751.
- Craw, D., Teagle, D. A. H. et Belocky, R., 1993. Fluid immiscibility in late-Alpine gold-bearing veins, Eastern and Northwestern European Alps. *Mineralium Deposita*, **28**: 28-36.
- Daigneault, R. et Allard, G. O., 1987. Les cisaillements EW et leur importance stratigraphique et métallogénique, région de Chibougamau. Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec, DV 87-25, pp. 57-73.
- Daigneault, R. et Allard, G. O., 1984. Evolution tectonique d'une portion du sillon de roches vertes de Chibougamau. *Dans Chibougamau – Stratigraphy and Mineralization. Edité par J. Guha, J. et E.H. Chown, Canadian Institute of Mining and Metallurgy, Special Volume no. 34*, pp. 212-228.
- Darimont, A. et Heyen, G., 1988. Simulation des équilibres de phases dans le système CO₂-N₂: application aux inclusions fluides. *Bulletin Minéralogique*, **111**: 179-182.
- Davis, D. W., Lowenstein, T. K. et Spencer, R. J., 1990. Melting behavior of fluid inclusions in laboratory-grown halite crystals in the systems NaCl-H₂O, NaCl-KCl-H₂O, NaCl-MgCl₂-H₂O and NaCl-CaCl₂-H₂O. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **54**: 591-601.
- Deines, D. et Gold, D.P., 1973. The isotopic composition of carbonatite and kimberlite carbonates and their bearing on the isotopic composition of deep-seated carbon. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. **37**: 1709-1733.
- De Ronde, C. E. J., Spooner, E. T. C., DeWit, M. J. et Bray, C. J., 1992. Shear zone-related, Au quartz vein deposits in the Barberton Greenstone Belt, South Africa: Field and petrographic characteristics, fluid properties, and light stable isotope geochemistry. *Economic Geology*, **87**: 366-402.

- Doucet, P., Mueller, W. et Chartrand, F., 1993. Archean deep-marine volcanic eruptive products associated with the Coniagas Massive Sulfide Deposit, Quebec, Canada. *Canadian Journal of Earth Science*, (soumis).
- Dubessy, J., Guilhaumou, N., Mullis, J. et Pagel, M., 1984. Reconnaissance par microspectrométrie Raman, dans les inclusions fluides, de H₂S et CO₂ solides à domaine de fusion comparable. *Bulletin Minéralogique*, 107: 189-192..
- Dubessy, J., Poty, B. et Ramboz, C., 1989. Advances in the C-O-H-N-S fluid geochemistry based on micro-Raman spectroscopic analysis of fluid inclusions. *European Journal of Mineralogy*, 1: 517-534.
- Duquette, G., 1970. Stratigraphie de l'Archéen et relations métallogéniques dans la région de Chibougamau. Ministère des Richesses naturelles du Québec, ES-8.
- Eugster, H.P. et Skippen, G.B., 1967. Igneous and metamorphic reactions involving gas equilibria. *Dans* *Researches in Geochemistry II*. *Edité par* P.H. Abelson, J.Wiley & Sons, pp. 942-1520.
- Fare, R. J. et McNaughton, N. J., 1990. Griffin's Find. *Dans* *Gold deposits of the Archaean Yilgarn Block, Western Australia: Nature, Genesis and Exploration Guides*. *Edité par* S.E. Ho, D.I. Groves, D.I. et J.M. Bennett, Geology Key Centre, The University of Western Australia, Publication No. 20, pp. 182-184.
- Gebre-Mariam, M., Groves, D.I., McNaughton, N.J., Mikucki, E.J. et Vearncombe, J.R., 1993. Archaean Au-Ag mineralisation at Racetrack, near Kalgoorlie, Western Australia: a high crustal-level expression of the Archaean composite lode-gold system. *Mineralium Deposita*, 28: 375-387.
- Giovenazzo, D., 1986. Géologie du canton de Boyvinet - Région de Demaraisville. Ministère de l'Energie et des Ressources, Québec, Manuscrits bruts MB 86-62, 63 p.
- Golding, S. D., Groves, D. I., McNaughton, N. J., Barley, M. E. et Rock, N. M. S., 1987. Carbon isotopic composition of carbonates from contrasting alteration styles in supracrustal rocks of the Norseman-

Wiluna Belt, Yilgarn Block, Western Australia : their significance to the source of Archean auriferous fluids. *Dans* Recent Advances in Precambrian Gold Deposits. *Edit   par* S.E. Ho et D.I. Groves, Geology Department and University Extension, The University of Western Australia, Publication 11, pp. 215-238.

Gregory, A. R. et Backus, M.M., 1990. Geopressed formation parameters, geothermal well, Brazoria County, Texas. *Dans* Proceedings, 4th U.S. Gulf Coast Geopressure-geothermal Energy Conference, Geopressed formation parameters, geothermal well, Brazoria County, Texas., 1, pp. 235-311.

Groves, D.I., 1993. The crustal continuum model for late-Archean lode-gold deposits of the Yilgarn Block, Western Australia. *Mineralium Deposita*, 28:366-374.

Groves, D. I., Ho, S. E. et Bennett, J. M., 1990. Genesis of Primary gold deposits: summary statement. *Dans* Gold Deposits of the Archaean Yilgarn Block, Western Australia: Nature, Genesis and exploration guides. *Edit   par* S.E. Ho, D.I. Groves et J.M. Bennett, Geology Key Centre, The University of Western Australia, Publication No. 20, pp. 196-197.

Groves, D. I., Phillips, G. N., Falconer, L. G., Houstoun, S. M., Ho, S. E., Browning, P., Dahl, N. et McNaughton, N. J., 1987. Evidence for an epigenetic origin for BIF-hosted gold deposits in greenstone belts of the Yilgarn Block, Western Australia. *Dans* Recent Advances in Precambrian Gold Deposits. *Edit   par* S.E. Ho et D.I. Groves, Geology Department and University Extension, The University of Western Australia, Publication 11, pp. 167-179.

Groves, D. I., Phillips, G. N., Ho, S. E., Henderson, C. A., Clark, M. E. et Wood, G. M., 1984. Controls on distribution of Archean hydrothermal gold deposits in Western Australia. *Dans* Gold '82. *Edit   par* R.P.Foster, Geological Society of Zimbabwe, Special Publication No. 1, pp. 689-712.

Guha, J., Lu, H. Z. et Gagnon, M., 1990a. Gas composition of fluid inclusions using solid probe mass spectrometry and its application to study of mineralizing processes. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 54: 553-558.

- Guha, J., Chown, E.H., Archambault, G., Barnes, S.J., Brisson, H., Daigneault, R., Dion, C. Dubé, B., Mueller, W. et Pilote, P. 1990b. Metallogeny in relation to magmatic and structural evolution of an Archean greenstone belt: Chibougamau Mining District. *Dans Gold and Base-metal Mineralization in the Abitibi Subprovince, Canada, with Emphasis on the Quebec Segment- Short Course Notes. Edité par S.E. Ho et D.I. Groves, Geology Department and University Extension, The University of Western Australia, Publication 24, pp. 121-166.*
- Guha, J., Archambault, G. et Leroy, J., 1983. A correlation between the evolution of mineralizing fluids and the geomechanical development of a shear zone as illustrated by the Henderson 2 mine, Québec. *Economic Geology*, 78: 1605-1618.
- Guha, J., Gauthier, A., Vallée, M., Descarreaux, J. et Lange-Brard, F., 1982. Gold Mineralization Patterns at the Doyon Mine (Silverstack), Bousquet, Québec. *Dans Geology of Canadian Gold Deposits. Edité par R.W.Hodder et W. Petruk, W. Canadian Institute of Mining and Metallurgy, Special Volume N0. 24, pp. 50-57.*
- Haar, L., Gallagher, J. S. et Kell, G. S., 1984. NBS/NRX Steam Tables. Thermodynamic and transport properties and computer programs for vapor and liquid states of water in SI units,. New York. McGraw-Hill. 318 p.
- Hall, D., Sterner, S. M. et Bodnar, R. J., 1988. Freezing-point depression of NaCl-KCl-H₂O solutions. *Economic Geology* 83:197-202.
- Henley, R. W., 1985. The geothermal framework for epithermal deposits. *Dans Geology and geochemistry of Epithermal systems. Edité par B.R. Berger et P.M.Bethke, 2, Michigan, pp. 1-24.*
- Henley, R. W. et McNabb, A., 1978. Magmatic vapor plumes and ground-water interaction in porphyry copper emplacement. *Economic Geology*, 73:1-20.
- Hewitt, D. A. et Wones, D. R., 1984. Experimental phase relations of the micas. *Dans Micas. Mineralogical Society of America. Edité par S.W.Bailey, 13, pp. 201-247.*

- Heyen, G., Ramboz, C. et Dubessy, J., 1982. Simulation des équilibres de phases dans le système $\text{CO}_2\text{-CH}_4$ en-dessous de 50°C et de 100 bars. C.R. Acad. Sci. Paris, **294**: 203-206.
- Ho, S.E., 1986. A fluid inclusion study of Archean gold deposits of the Yilgarn Block, Western Australia. Thèse doctorale, The University of Western Australia, Nedlands, 90 pp,(non-publ.)
- Ho, S. E., 1987. Fluid inclusions: their potential as an exploration tool for Archaean gold deposits. *Dans* Geology Department and University Extension, The University of Western Australia. *Edité par* S.E. Ho, et D.I.Groves, Publication 11, pp. 239-263
- Ho, S.E., Groves, D.I., Phillips, G.N., 1990. Fluid inclusions in quartz veins associated with Archean gold mineralization: clues to ore fluids and ore depositional conditions and significance to exploration. *Dans* Stable Isotopes and Fluid Processes in Mineralization. *Edité par* H.K. Herbert et S.E. Ho, Geology Department and University Extension, The University of Western Australia, Publication 23, pp. 35-50.
- Hodgson, C. J., 1990. An overview of the geological characteristics of gold deposits in the Abitibi Subprovince. *Dans* Gold and base-metal mineralization in the Abitibi Subprovince, Canada, with emphasis on the Quebec Segment. *Edité par* S.E. Ho, F. Robert et D.I.Groves, Geology Key Centre, The University of Western Australia, Publication No. 24, pp. 63-100.
- Hollister, L. S., 1990. Enrichment of CO_2 in fluid inclusions in quartz by removal of H_2O during crystal-plastic deformation. *Journal of Structural Geology*, **12**: 895-901.
- Holloway, J. R., 1981. Compositions and volumes of supercritical fluids in the earth's crust. *Dans* MAC Short Course in Fluid Inclusions. Mineralogical Association of Canada. *Edité par* L.S. Hollister et M.L. Crawford, **6**, pp. 13-38.
- Huebner, J.S., 1971. Buffering techniques for hydrostatic systems at elevated pressures. *Dans* Research Techniques for High Pressure and High Temperature. *Edité par* G.C.Ulmer, Springer-Verlag, pp. 123-177.

- Jacobs, G.K. et Kerrick, D.M., 1981. Methane: An equation of state with application to the ternary system $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{CH}_4$. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **45**: 607-614.
- Kerrick, R., 1987. The Stable isotope geochemistry of Au-Ag vein deposits in metamorphic rocks. *Dans Stable Isotope Geochemistry of Low Temperature Fluids. Edité par T.K.Kyser, Mineralogical Association of Canada Short Course*, **13**, pp. 287-336.
- Kerrick, R., 1983. Geochemistry of Gold Deposits in the Abitibi Greenstone Belt. Canadian Institute of Mining and Metallurgy. 75 p.
- Kerrick, D. M. et Jacobs, G. K., 1981. A modified Redlich-Kwong equation for H_2O , CO_2 and $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$ mixtures at elevated pressures and temperatures. *American Journal of Science*, **281**: 735-767.
- Knight, C. L. et Bodnar, R. J., 1989. Synthetic fluid inclusions: IX. Critical PVTX properties of $\text{NaCl}-\text{H}_2\text{O}$ solutions. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **53**: 3-8.
- Knudsen, C. et Buchardt, B., 1991. Carbon and oxygen isotope composition of carbonates from the Qaqarssuk Carbonatite Complex, southern West Greenland. *Chemical Geology (Isotope Geoscience Section)*, **86**: pp. 263-274.
- Kyser, T. K., 1987. Equilibrium Fractionation Factors for Stable Isotopes. *Dans Short Course in Stable Isotope Geochemistry of Low Temperature Fluids. Edité par T.K. Kyser, Mineralogical Association of Canada, Saskatoon*, **13**, pp.1-76.
- Lamothe, D., 1983. Etude structurale de la région de la Baie Tush; district de Chibougamau. Ministère de l'Energie et des Ressources, Québec, Rapport ET 82-01, pp. 189-206.
- Lauzière, K., 1989. Environnement géologique et minéralisation aurifère à la mine Bachelor, Desmaraisville, Québec. M.Sc. (non-publ.), Université du Québec à Chicoutimi, 164 p.

- London, D., 1989. Lithophile rare element concentration in peraluminous silicate systems: summary of experimental results with Macusani glass (abs.): Geological Association of Canada-Mineralogical Association of Canada, Program with Abstracts, v. 14, p. A32.
- Macdonald, A.J. et Spooner, E.T.C., 1981. Hydrothermal fluid flow and molybdenite transport in the Boss Mountain breccia pipe and sheeted vein deposit., B.C. [abstract]. Geological Association of Canada, Program with Abstracts, 6: A36.
- Mann, A. G., 1984. Gold mines in Archean granitic rocks in Zimbabwe. *Dans* Gold'82: The Geology, Geochemistry and Genesis of Gold Deposits. *Edité par* R.P.Foster, A.A. Balkema, Rotterdam, pp.553-568.
- Manning, D. A. C. et Pichavant, M., 1985. Volatiles and their bearing on the behaviour of metals in granitic systems. *Dans* Recent advances in the geology of granite-related mineral deposits. *Edité par* R.P. Taylor, et D.F. Strong, Canadian Institute of Mining and Metallurgy, Special Volume 39, pp.291-302.
- Massonne, H. J., 1981. Phengite: Eine experimentelle Untersuchung ihres Druck-Temperatur-Verhaltens im System K_2O - MgO - Al_2O_3 - SiO_2 - H_2O . Thèse de doctorat (non-publiée), University of Bochum.
- Matthews, A. et Katz, A., 1977. Oxygen isotope fractionation during dolomitization of calcium carbonate. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 41: 1431-1438.
- McQuade, B. N., 1981. Petro-chemistry of the Bachelor Lake volcanic complex and associated ore deposits, Abitibi-East, NW Quebec. Thèse de doctorat (non-publiée), Université d'Ottawa, 338 p.
- Midra, R., 1989. Géochimie des laves de la formation Obatogamau (Bande sud de la ceinture archéenne Chibougamau-Matagami) Québec, Canada. Mémoire de M.Sc. (non-publié), Université du Québec à Chicoutimi, 101p.
- Morasse, S., 1988. Geological setting and evolution of the Lac Shortt gold deposit, Waswanipi, Québec, Canada. Mémoire de M.Sc. (non-publié), Queen's University, 221 p.

- Morasse, S., Hodgson, C. J., Guha, J. et Coulombe, A., 1986. Preliminary Report on the Geology of the Lac Shortt Gold Deposit, Desmaraisville area, Québec, Canada. *Dans* Proceedings of Gold '86, an International Symposium on the Geology of Gold. *Édité par* A.J. MacDonald, Toronto, pp. 191-196.
- Mueller, W. et Donaldson, J. A., 1992. Development of sedimentary basins in the Archean Abitibi belt, Canada: an overview. *Canadian Journal of Earth Sciences*, **29**: 2249-2265.
- Mueller, W., Chown, E.H., Sharma, K.N.M, Tail, L., et Rocheleau, M. 1989. Paleogeographic and paleotectonic evolution of a basement-controlled Archean Supracrustal sequence, Chibougamau-Caopatina, Quebec. *Journal of Geology*, **97**, 399-420.
- Nicholls, J. et Crawford, M. L., 1985. FORTRAN programs for calculation of fluid properties from microthermometric data on fluid inclusions. *Computers Geosciences*, **11**:619-645.
- O'Neil, J. R., Clayton, R. N. et Mayeda, T. K., 1969. Oxygen isotope fractionation in divalent metal carbonates. *Journal of Chemical Physics*, **51**: 5547-5558.
- Oakes, C. S., Bodnar, R. J. et Simonson, J. M., 1990. The system NaCl-CaCl₂-H₂O: I. The ice liquidus at 1 atm total pressure. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **54**: 603-610.
- Ohmoto, H., 1986. Stable isotope geochemistry of ore deposits. *Dans* Stable isotopes in High Temperature Geological Processes. *Édité par* J.W.Valley, H.P.J.Taylor et J.R. O'Neil, Mineralogical Society of America Reviews in Mineralogy, **16**, pp. 491-560.
- Ohmoto, H. et Kerrick, D.M., 1977. Devolatilization equilibria in graphitic systems. *American Journal of Sciences*, **277**:1013-1044.
- Ohmoto, H. et Rye, R. O., 1979. Isotopes of sulfur and carbon. *Dans* Geochemistry of hydrothermal ore deposits, 2nd. édition. *Édité par* H.L.Barnes, J. Wiley and Sons, New York, pp. 509-567.
- Ojala, V.J., Ridley, J.R., Groves, D.I. et Hall, G.C., 1993. The Granny Smith gold deposit: the role of heterogeneous stress distribution at an

irregular granitoid contact in a greenschist facies terrane. *Mineralium Deposita* **28**: 409-419.

- Pasteris, J. D., Wopenka, B. et Seitz, J. C., 1988. Practical aspects of quantitative laser Raman microprobe spectroscopy for the study of fluid inclusions. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **52**: 979-988.
- Perring, C. S., Groves, D. I., Shellabear, J. N. et Hallberg, J. A., 1991. The "porphyry-gold" association in the Norseman-Wiluna Belt of Western Australia: implications for models of Archean gold metallogeny. *Precambrian Research*, **51**: 85-114.
- Perring, C. S., Barley, M. E., Groves, D. I., McNaughton, N. J. et Ridley, J. R., 1990. Fluid and metal sources. *Dans* Gold deposits of the Archaean Yilgarn Block, Western Australia: Nature, Genesis and Exploration Guides. *Edité par* S.E. Ho, D.I. Groves et J.M. Bennett, Geology Key Centre, The University of Western Australia, Publication No. 20, pp.285-291.
- Perring, C. S., Groves, D. I. et Ho, S. E., 1987. Constraints on the source of auriferous fluids for Archean gold deposits. *Dans* Recent Advances in Precambrian Gold Deposits. *Edité par* S.E. Ho et D.I. Groves, Geology Department and University Extension, The University of Western Australia, Publication 11, pp. 287-306.
- Phillips, G. N. et Myers, R. E., 1987. Mineralogy of the Witwatersrand reef components : a review and some implications for exploration. *Dans* Recent Advances in Precambrian Gold Deposits. *Edité par* S.E. Ho et D.I. Groves, Geology Department and University Extension, The University of Western Australia, Publication 11, pp. 341-354.
- Pichavant, M., Ramboz, C. et Weisbrod, A., 1982. Fluid immiscibility in natural processes: use and misuse. I. Phase equilibria analysis--a theoretical and geometrical approach. *Chemical Geology*, **37**: 1-27.
- Poulsen, K. H., Card, K. D. et Franklin, J. M., 1992. Archean tectonic and metallogenic evolution of the Superior Province of the Canadian shield. *Precambrian Research*, **58**: 25-54.

- Powell, R. et Evans, J. A., 1983. A new geobarometer for the assemblage biotite-muscovite-chlorite-quartz. *Journal of Metamorphic Geology*, 1:331-336.
- Powell, R., Condcliffe, D. M. et Condcliffe, E., 1984. Calcite-dolomite geothermometry in the system $\text{CaCO}_3\text{-MgCO}_3\text{-FeCO}_3$: an experimental study. *Journal of Metamorphic Geology*, 2: 33-41.
- Prud'Homme, N., 1990. Caractérisation pétrographique et géochimique de la carbonatite et de la syénite de la mine Lac Shortt. Mémoire de M.Sc. (non-publié), Université du Québec à Chicoutimi, 66p .
- Quirion, D., 1990. Géologie de la mine d'or Lac Shortt. Geological Surv. Canada. 8th. IAGOD Symposium Field Trip Guidebook, Excursion 03, Open File Report 2158.
- Ramboz, C., Pichavant, M. et Weisbrod, A., 1982. Fluid immiscibility in natural processes: use and misuse of fluid inclusion data. II. Interpretation of fluid inclusion data in terms of immiscibility. *Chemical Geology*, 37: 29-48.
- Rice, J. M., 1977. Contact metamorphism of impure dolomitic limestone in the Boulder aureole, Montana. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 59: 237-259.
- Robert, F. et Kelly, W. C., 1987. Ore-forming fluids in Archean gold-bearing quartz veins at the Sigma Mine, Abitibi Greenstone Belt, Quebec, Canada. *Economic Geology*, 82:1464-1482.
- Rock, N. M. S., Groves, D. I. et Perring, C. S., 1989. Gold, lamprophyres and porphyries: what does their association mean? *Dans The Geology of Gold Deposits: the Perspective in 1988. Edité par R.R.Keays, W.R.Ramsay et D.I Groves, Economic Geology Monograph 6*, pp. 609-625.
- Rock, N. M. S., Hallberg, D. I., Groves, D. I. et Mather, P. J., 1988. Archean lamprophyres in the goldfields of the Yilgarn Block, Western Australia : new indications of their widespread distribution and significance. *Dans Advances in Understanding Precambrian Gold Deposits Volume II. Edité par S.E. Ho et D.I. Groves, Geology*

Department and University Extension, The University of Western Australia, Publication 12, pp. 245-275.

- Roedder, E., 1990. Fluid inclusion analysis-prologue and epilogue. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **54**: 495-508.
- Roedder, E., 1984. Fluid inclusions. *Reviews in Mineralogy*, volume 12. *Edit  par Ribbe, P.H.*, Mineralogical Society of America. 644 p.
- Roedder, E. et Coombs, D. S., 1967. Immiscibility in granitic melts, indicated by fluid inclusions in ejected granitic blocks from Ascension Island. *Journal of Petrology* **8**: 417-451.
- Saxena, S. K. et Fei, Y., 1987. High pressure and high temperature fluid fugacities. *Contributions to Mineralogy and Petrology* **51**: 783-791.
- Seitz, J. C. et Pasteris, J. D., 1990. Theoretical and practical aspects of differential partitioning of gases by clathrate hydrates in fluid inclusions. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **54**: 631-639.
- Seward, T. M., 1989. The hydrothermal chemistry of gold and its implications for ore formation: boiling and conductive cooling as examples *Dans The Geology of Gold Deposits: the Perspective in 1988. Edit  par R.R.Keays, W.R.Ramsay et D.I Groves*, Economic Geology Monograph 6, pp. 398-404.
- Seward, T. M., 1984. The transport and deposition of gold in hydrothermal systems. *Dans Gold '82: The Geology, Geochemistry and Genesis of Gold Deposits. Edit  par R.P. Foster, A.A. Balkema*, Rotterdam, pp. 165-182.
- Sharma, K. N. M., Gobeil, A. et Mueller, W., 1987. Stratigraphie de la région du lac Caopatina. *Ministère de l'énergie et des Ressources du Québec*, MB 87-16, 16 p.
- Shi, P., 1992. Fluid fugacities and phase equilibria in the Fe-Si-O-H-S system. *American Mineralogist*, **77**:1050-1066.
- Shi, P. et Saxena, S. K., 1992. Thermodynamic modeling of the C-H-O-S fluid system. *American Mineralogist*, **77**:1038-1049.

- Smith, T. J. et Kesler, S. E., 1985. Relation of fluid inclusion geochemistry to wallrock alteration and lithogeochemical zonation at the Hollinger-McIntyre gold deposit, Timmins, Ontario. *Canadian Institute of Mining and Metallurgy*, **78**:35-46.
- Smith, T. J., Cloke, P. L. et Kesler, S. E., 1984. Geochemistry of Fluid Inclusions from the McIntyre-Hollinger Gold Deposit, Timmins, Ontario, Canada. *Economic Geology*, **79**: 1265-1285.
- Speer, J. A., 1984. Micas in Igneous Rocks. *Dans Micas. Edité par S.W. Bailey*, Mineralogical Society of America, *Reviews in Mineralogy*, Vol. 13, pp. 299-349.
- Sterner, S. M., Hall, D. L. et Bodnar, R. J., 1988 . Synthetic fluid inclusions. V. Solubility relations in the system NaCl-KCl-H₂O under vapor-saturated conditions. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **52**: 989-1005.
- Strong, D.F., 1988. A review and model for granite-related mineral deposits. *Dans Recent Advances in the Geology of Granite-Related Mineral Deposits. Edité par R.P. Taylor et D.F. Strong*, The Canadian Institute of Mining and Metallurgy, Vol. Special **39**, pp. 424-445.
- Studemeister, P. A. et Kiliass, S., 1987. Alteration pattern and fluid inclusions of gold-bearing quartz veins in Archean trondhjemite near Wawa, Ontario, Canada. *Economic Geology*, **82**,:429-439.
- Swanenberg, H. E. C., 1980. Fluid inclusions in high-grade metamorphic rocks from S.W. Norway. *Geologica Ultraiectina (Univ. Utrecht)*, **25**, Thèse de doctorat, 147 p.
- Takenouchi, S. et Kennedy, G.C., 1964 The binary system H₂O-CO₂ at high temperatures and pressures. *American Journal of Science*, **263**: 445-454.
- Tilton, G.R. et Bell, K., 1994. Sr-Nd-Pb isotope relationships in Late Archean carbonatites and alkaline complexes: Applications to the geochemical evolution of Archean mantle. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **58**: 3145-3154.

- Touret, J. L. R. et Frezzotti, M. L., 1993. Magmatic remnants in plutonic rocks. *Bulletin Société Géologique de la France*, tome 164, no. 2: 229-242.
- Tourigny, G., Hubert, C., Brown, A. C. et Crépeau, R., 1989. Structural control of gold mineralization at the Bousquet mine, Abitibi, Quebec. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 26:157-175.
- Trommsdorff, V., Skippen, G. B. et Ulmer, P., 1985. Halite and sylvite as solid inclusions in high-grade metamorphic rocks. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 89: 24-29.
- Van Den Kerkhof, A. M., 1990. Isochoric phase diagrams in the systems $\text{CO}_2\text{-CH}_4$ and $\text{CO}_2\text{-N}_2$: application to fluid inclusions. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 54:621-629.
- Vanko, D. A., 1988. Temperature, pressure, and composition of hydrothermal fluids, with their bearing on the magnitude of tectonic uplift at mid-ocean ridges, inferred from fluid inclusions in oceanic layer 3 rocks. *Journal of Geophysical Research*, 93:11334-11346.
- Wang, L.G., McNaughton, N.J. et Groves, D.I., 1993. An overview of the relationship between granitoid intrusions and gold mineralisation in the Archaean Murchison Province, Western Australia. *Mineralium Deposita*, 28: 482-494.
- Witt, W.K., 1992. Porphyry intrusions and albitites in the Bardoc-Kalgoorlie area, Western Australia, and their role in Archean epigenetic gold mineralization. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 29: 1609-1622.
- Whitney, J. A., 1984. Volatiles in magmatic systems. *Dans Fluid-Mineral Equilibria in Hydrothermal Systems. Edité par J.M. Robertson, R.W. Henley, A.H. Truesdell, P.B. Barton Jr. et Whitney, J.A., Review in Economic Geology 1, pp. 155-173.*
- Wones, D. R. et Eugster, H. P., 1965. Stability of biotite: experiment, theory, and application. *American Mineralogist*, 50: 1228-1272.
- Wood, P. C., Burrows, D. R., Thomas, A. V. et Spooner, E. T. C., 1986. The Hollinger-McIntyre Au-Quartz Vein system, Timmins, Ontario,

Canada; Geologic Characteristics, Fluid Properties and Light Stable Isotope Geochemistry. *Dans* Proceedings of Gold '86, an International Symposium on the Geology of Gold. *Edit  par* A.J. MacDonald, Toronto, pp. 56-80.

Wyman, D. et Kerrich, R., 1989. Archean shoshonitic lamprophyres associated with Superior Province gold deposits: distribution, tectonic setting, noble metal abundances, and significance for gold mineralization. *Dans* The Geology of Gold Deposits: the Perspective in 1988. *Edit  par* R.R.Keays, W.R.Ramsay et D.I Groves, Economic Geology Monograph 6, pp. 651-667.

Zhang, Y. et Frantz, J. D., 1987. Determination of the homogenization temperatures and densities of supercritical fluids in the system NaCl-KCl-CaCl₂-H₂O using synthetic fluid inclusions. *Chemical Geology*, 64:335-350.

ANNEXE A

**Description et localisation des échantillons
du Lac Shortt, du Lac Bachelor
et des indices minéralisés**

Tableau A-1. Lac Shortt ouest

Numéro	Localisation	Description
LS 88 1	Niv. 500 ouest	Veine de quartz-cal, recoupant syénite
LS 88 3	Niv. 500 ouest	Veine de quartz + fragments de syénite
LS 88 4	Niv. 500 ouest	Veinule de fluorite tardive
LS 88 8	Niv. 500 ouest	Brèche carbonatée + magnétite+Vcal
LS 88 10	Niv. 350 ouest	Contact lithologique entre la zone minéralisée et des veines de quartz
LS 88 11	Niv. 350 ouest	Veine de quartz-cal-pyrite dissem. + syénite
LS 88 12	Niv. 500 ouest	Veine bréchifiée de quartz laiteux et enfumé, avec des fragments hématitisés de syénite rougeâtre et or visible
LS 88 13	Niv. 500 ouest	Veine de quartz avec syénite pyritisée
LSC 6560	Niv. 250 ouest	Veine de quartz laiteux et transparent
LSD 6560	Niv. 250 ouest	Veine de quartz + fragments hématitisés
LSA 6561	Niv. 250 ouest	Plancher- basalte+hém+pyrite+ veinule de qz
LSB 6561	Niv. 250 ouest	Plancher basaltique avec faible hématitisation
HB 87 89	Niv. 250 ouest	Syénite, MgCc, qz laiteux
LS 90 37	Veine Sud (450 S)	Veine de qz + cal + pyr
LS 90 38	Niv. 550	Zone aurifère, qz + pyr + chl

Tableau A-2 : Lac Shortt est

Numéro	Localisation	Description
LS 85 20	LSU 562-5456.5 est (17.95m)	Tuf à blocs, 2 veines de quartz, pyrite diss.
LS 85 21	LSU 562-5456.5 est (18.7m)	Tuf minéralisé, hématisé, cal-pyr-hém
LS 85 26	Niv. 150 est	Diorite (texture marbrée), veines qz-cal
LS 85 56	Niv 150 est	Calcite rose-pyrite-hém-fluo et syénite rouge
LS 85 94	Niv 300 est	Veine de calcite rose-quartz, diorite + minéralisation disséminée
LS 85 109	LSS 63 (Sond. d'expl.)	Veine de quartz-cal-galène + hématite
LS 86 18	Niv. 500 est	Brèche carbonatée
LS 86 20	Niv. 500 est	Quartz + magnétite, veine de cal recoupante avec fragment syntectonique en bordure de la mylonite
LS 86 62	Trou 82-30, 5175 est	Rx silicifiée + ankérite-pyrite-calcite
LS 86 67	Niv. 50??	Syénite (Vcal précoce + V qz"tardive) + pyr
LS 86 70	Niv. 50	Quartz-alb-carb-pyrite disséminée
LS 86 76	Niv. 150 est (5209 E)	Lave acide à porphyres de pyroxènes, texture trachytique, avec 2 générations quartz + pyrite
LS 90 43	Niv. 500 L	Fenêtre de qz, dans syénite (F π -K+musc)
LSC 8676	Niv. 150-2	Lave acide à porphyres de pyrox.
LSC 8936	LSU 3142, 493m	Syénite de l'intrusion, fen. de quartz
HB 87 89	Niv. 250 est	Veine de quartz, calcite (cataclasé)

Tableau A-3 : Lac Shortt - Indices minéralisés

Numéro	Localisation	Description
LS 90 1	NW Lac Shortt, site 2, N-60	Veine de quartz, pyrite automorphe
LS 90 2	NW Lac Shortt, site 2, EW/N-60	Intersection des veines qz minéralisées
LS 90 3	NW Lac Shortt, site 2	Veine de quartz et carbonates-Fe
LS 90 4	NW Lac Shortt, site 2, EW	Veine de quartz et pyrite
LS 90 5	NW Lac Shortt, site 11	Veine de quartz et carbonates-Fe
LS 90 6	NW Lac Shortt, site 9	Intersection des veines EW/N-45
LS 90 7	Île d'Opawica	Syénite rose, qz-cal-py-chl
LS 90 8	Île d'Opawica	Syénite rouge, qa-alb-(cal-chl)-pyrite
LS 90 9	Île d'Opawica	Syénite grise, F π , chloritoïde, épid, amphibole rélique
LS 90 13	Île d'Opawica	Syénite peu altérée, chl+hbl+F π +quartz
LS 90 14	Île d'Opawica	Syénite rose, quartz (inclusions primaires)
LS 90 18	Île d'Opawica	Syénite rose, quartz + pyrite
LS 90 24	Île d'Opawica (BV 30)	Syénite métasomatisée, pyrite fracturée
LS 90 26	Île d'Opawica (BV 30)	Syénite, pyrite, carb et quartz métamorphique
LS 90 27	Île d'Opawica (BV 30)	Quartz+F π -K+amphib+biotite, 560 m
LS 90 30	Île d'Opawica	V3, chl-mafique + pyrite disséminée
LS 90 34	Île d'Opawica	Syénite, BV 1025, hém + pyr+qz
HB 87 102	SE Lac Shortt	V1- quartz (avec inclusions fondus)
HB 87 136	NW Lac Shortt	Vqz gris, cal, sér, pyrite disséminée
HB 87 413	NW Lac Shortt	Vqz laiteux et gris, carbonates-Fe
HB 88 5	Savanne	Veinules qz-carb, (cal-chl-py)
HB 88 46	Boyvinet	Veine de quartz transparent, laiteux et pyrite
HB 88 138	Île d'Opawica	B-3-1 CaCbChl \pm 10% pyr
HB 88 171	Île d'Opawica	Vqz, hém et dyke altéré
HB 88 172	Île d'Opawica	Quartz, 3%pyrite, carb, cal, chl
HB 88 251	Butte	Vqz cataclasé (+/- mylon), +5% pyrite
HB 88 263	Boyvinet	Pyrite massive + quartz transparent
HB 89 27	Espoir	M4 Srst carb + 5% py (ombres de pression)
HB 89 28	Espoir	Carbonates + pyrite
HB 89 46	Boyvinet	Veine de quartz
HB 89 47	Mariposite	Roche silicifiée + 5-10% pyrite
HB 89 52	Mariposite	M4 Sr, fuchs, chlo, S 3, cliv. crén.
HB 89 54	Mariposite	I3/V3
HB 89 65	Espoir	V1, C Cv
HB 89 68	Espoir	Conglomérat (Vi Δ , CCv)
HB 89 72	Trou de forage GL 88-01	M4SrCbPy, 775'0"-775'5"
HB 89 86	Trou de forage GI 88-01	S4DGPPy, 943'-943'6"
HB 89 109	NW Lac Shortt, site 2	ClCb

Tableau A-4: Lac Shortt - Carbonatite et fénites

Numéro	Localisation	Description
LSC 20	Niv. 500 sud, galerie d'exploration	Dyke gris de carbonatite (cal-pyr-chl-quartz)
LSC 65	Trou de forage LSU 2655	Calcite blanche non-déformée
LSC 82	Trou de forage LSU 2655	Calcite blanche+pyr+apatite (inc. fon.)
LSC 88	Trou de forage LSU 2655	Calcite rose(déformée recrystallisée), dans l'amas de carbonatite
LS 10107	Trou de forage	Coulée mafique carbonatisée
LS 10138	Trou de forage	Rx métasomatisée, minéralisée
LS 89 1	Niv. 250 ouest	Brèche carbonatisé (matrice rosâtre) avec des blocs angulaires

Tableau A-5:

Lac Bachelor granite pré-minéralisation

Numéro	Localisation	Description
BAL 18	Niv. 4 (4.0.1 W drift)	Dyke granitique gris +qz cataclasé
BAL 79	Niv. 3 (3.0.1 W drift)- lead	Dyke granitique rouge+quartz+fluo

Lac Bachelor granite-minéralisé

BAL 629	Trou de forage (O'Brien)	Granite + porphyre+ quartz
BAL 29	Niv. 6	Granite rouge, qz déformé+fluo tard
BAL 41-14	Niv. 6	Granite + lead stringer
BAL 45	Niv. 6 (6.0.3 E, Sub-ext 15)	Quartz lead
BAL 65	Niv. 6	Granite rouge, qz +fluorite
BAL 75	Niv. 3 (3.0.1 W, drift)	Veine + quartz bréchifié
BAL 163	Niv. 3	Granite+pyr+pistach+vqz-FII
BAL 181	Niv. 5	Quartz + fluorite (3 âge)

Lac Bachelor granite post-minéralisation

BAL 191	Niv. 6	Granite porphyrique brunâtre
BAL 626	Trou de forage (O'Brien)	Quartz recoupant granite principal
BAL 630	Trou de forage	Granite +pegmatite(plus jeune)

Tableau A-6 : Lac Bachelor - Veine principale

Numéro	Localisation	Description
BAL 16	Niv. 5	Veine de qz laiteux et transparente (3° âge) recoupant granite altéré
BAL 32	Niv. 6	Agg. cisailé, quartz déformé
BAL 141	Niv. 3	Brèche à quartz+fragments angulaires de granite, bordures de quartz cataclasées
BAL 152	Niv. 3 (W drift)	Veine de quartz enfumé et transparent
BAL 166	Niv. 2	Quartz transparente (tardif)
BAL 300	Niv. 4 est	Veine de quartz minéralisé+granite et altération hématitique
BAL 700	Niv. 8	Veine de quartz+fluorite syngénétique
BAL 86-12	Niv. 7	Brèche de quartz et granite altéré

Tableau A-7 : Lac Bachelor -Veine A

Numéro	Localisation	Description
LB 88 4	Niv. 8	Lamprophyre recoupé par veinules de carbonates
LB 88 5	Niv. 10	Veine de quartz, faciès rose, minéralisation stratifiée et disséminée
LB 88 6-2	Niv. 10	Brèche rosâtre, veinules de qz-cal
LB 88 8	Niv. 9	Faciès rougeâtre + calcite entourant
LB 88 11	Niv. 7	Veine de qz sub-horiz., fluo-qz laiteux+pyr

ANNEXE B**MICROTHERMOMETRIE**

Appareillage

Nous avons utilisé la platine de réchauffement et refroidissement du type U.S. Geological Survey de Fluid. Inc. La platine a été fixée sur un microscope optique Nikon, avec des oculaires 10X et 32X et un objectif de 15X.

Il y a plusieurs avantages associés avec l'utilisation de cet appareil:

- 1) D'après la vue en plan (fig. B-1- a), le réchauffement ou le refroidissement de l'échantillon se fait en laissant passer de l'azote (N₂) gazeux ou liquide directement sur l'échantillon. L'écoulement continu autour de l'échantillon (fig. B-1-b) sur la platine minimise les gradients thermiques.
- 2) Le thermocouple repose directement sur l'échantillon, ce qui diminue les corrections d'erreurs des températures.
- 3) Les taux de réchauffement ou de refroidissement peuvent être facilement et rapidement changés pour permettre des déterminations de températures d'homogénéisation et de fusion plus précises, en utilisant la méthode de cyclage des températures.
- 4) Le givrage est diminué par l'écoulement du N₂ froid qui circule autour des fenêtres de quartz qui améliorent l'isolation du système.
- 5) Le diamètre de la fenêtre d'observation (fig. B-1- a) est de ± 22 mm, donc plus grande que dans les autres platines utilisées.

Le calibrage de la platine Fluid Inc. a été réalisé en utilisant plusieurs substances énumérées à la fig. B-2.

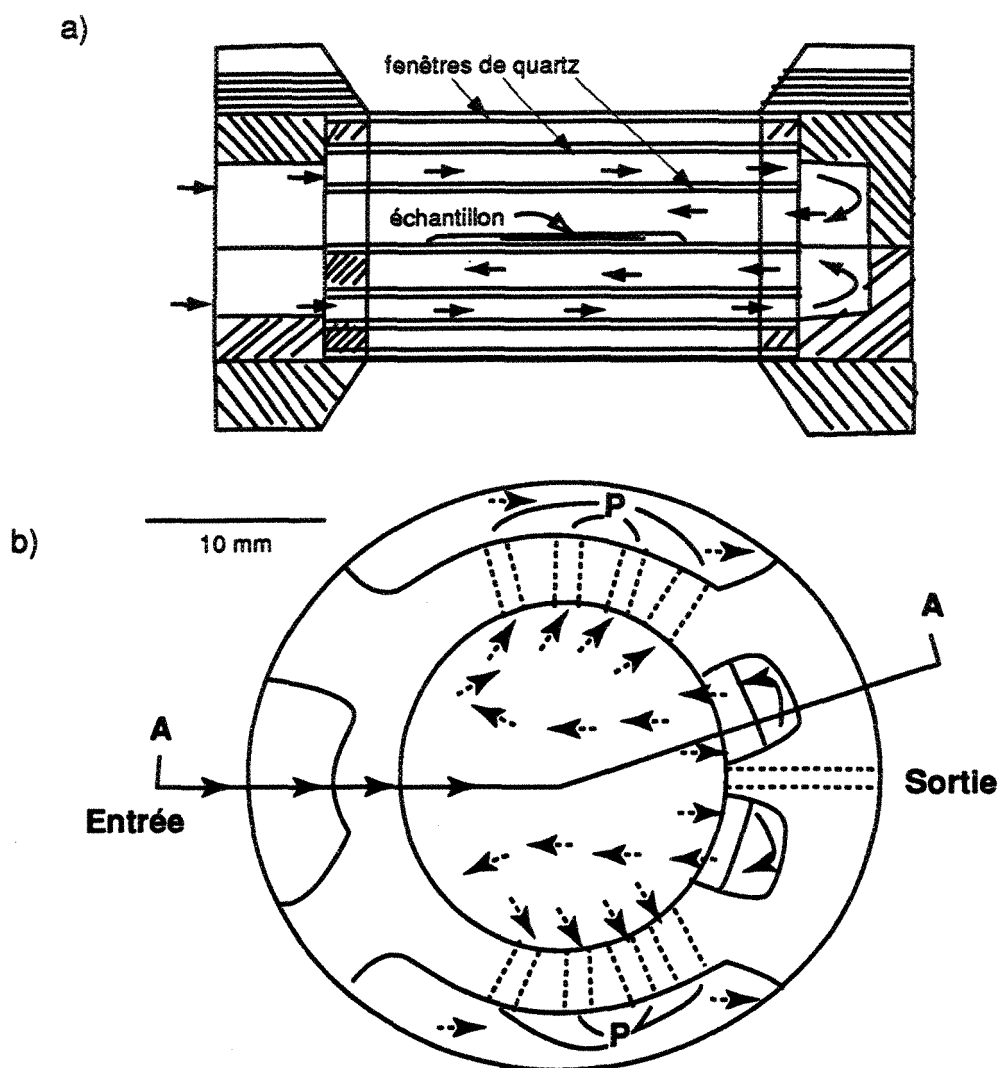


Fig. B-1. a) Vue en section d'une platine du type U.S.G.S.

b) Vue en plan de la platine. Les flèches indiquent la trajectoire d'air et la section A-A du plan a). 16 P sont des portes d'air et le matériel d'isolation c'est du Invar 36 (d'après Roedder, (1984).

Fig. B-2 : Liste des substances employées pour le calibrage de la platine Fluid Inc., U.S.G.S et des températures de fusion.

Substance	Formule	Transistion mesurée	T (°C)
n-Hexane	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH}_3$	Point de fusion	-94,2
Chloroforme	CHCl_3	Point de fusion	-62,5
Inclusions fluides -Fluid Inc.	$\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$	Point triple	-56,6
Chlorobenzène	$\text{C}_6\text{H}_5\text{Cl}$	Point de fusion	-44,7
Tetra-chlorure de carbone	CCl_4	Point de fusion	-23,0
Eau distillée	H_2O	Point de fusion	+1
Acide laurique	$\text{C}_{12}\text{H}_{24}\text{O}_2$	Point de fusion	+42,7
Naphtalène	C_{10}H_8	Point de fusion	+78,9
Acide maléique	$\text{C}_2\text{H}_2(\text{COCH})_2$	Point de fusion	+134,2
Signotherm 180	?	Point de fusion	+178,4
Nitrate de sodium	NaNO_3	Point de fusion	+305,5
Dichromate de potassium	$\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$	Point de fusion	+385,5

ANNEXE C:**Résultats microthermométriques**

Légende des paramètres des tableaux C-1 à C-9

Types d'inclusions fluides:

- 1 - Inclusions aqueuses, 1 à 2 phases (liquide-vapeur), faible salinité; $\text{H}_2\text{O}-\text{NaCl}$
- 2 - Inclusions aqueuses, 2 à 3 phases (liquide-vapeur + mineral fils), salinité modérée à élevée; $\text{H}_2\text{O}-\text{NaCl}\pm\text{KCl}\pm\text{MgCl}_2\pm\text{CaCl}_2$
- 3 - Inclusions carboniques, 2 à 3 phases (liquide-vapeur \pm min. fils); $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{NaCl}$;
- 4 - Inclusions carboniques, 2 à 3 phases ($\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{CH}_4$, $\pm\text{NaCl}$) liquide-vapeur;

Minéraux hôtes: Q=quartz, C=calcite, F=fluorine;

P = primaires

S = secondaires

PS = pseudo-secondaires

Tf CO_2 : température de fusion du CO_2

Tf glace: température de fusion de la glace

Te: température eutectique, première manifestation de fusion de la glace

Tf hyd: température de fusion de l'hydrate ou clathrate

T hom CO_2 : température d'homogénéisation du CO_2

CO_2 à T hom: état de phase (liq ou vap) du CO_2 au moment de l'homogénéisation

T hom : température d'homogénéisation

T déc : température de décrépitation

x CH_4 , etc.: fractions molaires des espèces

% pds. NaCl: pourcentage pondéral du NaCl (salinité)

molalité : m NaCl par kg H_2O

d CO_2 : densité du CO_2 en g/cm^3

P CO_2 : pression du CO_2 en bars

d H_2O : densité du H_2O en g/cm^3

P H_2O : pression du H_2O en bars

CO_2 , fr. vol: fraction volume CO_2 en mol/cm^3

d inc. : densité globale ou apparente de l'inclusion en g/cm^3

vol. mol : volume molaire en litres-mols

en g/cm^3

Echantillon	Type-hôte	Taille	Tf	Tf	Te	Tf	hyd.	T hom	CO2/	T hom	T déc.	xCH4	x H2O	xNaCl	xCO2	%pds.	molalité	d.CO2	P.CO2	d.H2O	P.H2O	fr.vol.CO2	d.inc.	vol.mol.
	origine	μ	CO2	glace									fra.mol.			NaCl	mNaCl/kg H2O	g/cm3	bars	g/cm3	mol/cm3	g/cm3	l.mol.	
	4 O/PS	9	-58.90																					
	2 O/S	4		-5.50												8.54	1.597						0.65	29.50
	2 O/S	4		-5.40												8.40	1.57						0.63	30.20
	2 O/S	4		-5.40												8.40	1.57						0.63	30.20
LS 88 11	4 O/P PS	13	-63.20																					
MMZ+syé	4 O/P PS	9	-57.10	-1.00	-28.10		6.70		26.20	liq														
	4 O/P PS	8	-57.10	-1.00	-28.10		6.30		27.20	liq														
	4 O/P PS	6	-58.60				6.30		27.60	liq														
	4 O/P PS	5	-58.60				5.90		28.10	liq														
LS 88 12	3 O/P PS	40	-56.70				7.10	21.70	liq															
qz+py+	3 O/P PS	42	-56.70				7.10	23.80	liq															
syé+Au	3 O/P PS	20	-56.60				7.10	25.20	liq															
	3 O/P PS	10	-56.80						28.90	liq														
	3 O/P PS	12	-56.80						28.90	liq														
	3 O/P PS	45	-56.50						25.10	liq														
	3 O/P PS	35	-55.30						27.30	liq														
	3 O/P PS	45	-54.50						26.40	liq														
	3 O/P PS	60	-54.20						26.80	liq														
	3 O/P PS	15	-55.10						27.30	liq														
	3 O/P PS	20	-55.10						25.10	liq														
	3 O/P PS	40	-56.00						28.10	liq														
	3 O/P PS	9	-57.60	-9.90			6.10	24.30	liq															
	3 O/P PS	40	-56.80	-5.60			9.90	28.00	liq															
	3 O/P PS	16	-56.40				6.30	28.10	liq															
	3 O/P PS	12	-56.40				6.00	28.20	liq															
	3 O/P PS	14	-55.70	-5.20			6.00	27.70	liq															
	3 O/P PS	16	-56.10	-13.50			5.10	11.20	liq															
	3 O/P PS	14	-56.40	-4.60			6.30	31.10	liq															
	3 O/P PS	16	-56.90				8.20	29.70	liq															
	2 O/P PS	6			-20.90																			
	2 O/P PS	9		-6.20	-20.90																			
	2 O/P PS	14		-17.40	-18.90																			
	2 O/P PS	8		-14.80	-25.70																			
	2 O/P PS	6		-12.40	-28.90																			
	2 O/P PS	26		-15.90	-19.90																			
	2 O/P PS	12		-16.00																				
	2 O/P PS	12		-14.70																				
	2 O/P PS	15		-19.20																				
	2 O/P PS	12		-5.20																				
	2 O/P PS	12		-3.90																				
	2 O/P PS	8		-16.40	-22.50																			
	2 O/P PS	8		-7.60																				
	2 O/P PS	16		-6.50																				
	2 O/P PS	14		-12.80	-21.10																			
	2 O/P PS	10		-12.80																				
	2 O/P PS	15		-12.80																				
	2 O/P PS	6		-12.80																				
LS 88 13	4 O/P PS	4	-61.40						26.60															
qz+py+	4 O/P PS	3	-61.00				13.10		16.50															
syé	4 O/P PS	3	-59.90						26.50															
	4 O/P PS	5	-58.70				4.40	26.00																
	4 O/P PS	8	-58.70				4.50	26.00																

Tableau C-1 : Lac Shortt ouest

Echantillon	Type-hôte	Taille	Tf	Tf	Te	Tf	T hom	CO2/	T hom	T déc.	xCH4	x H2O	xNaCl	xCO2	%pds.	molaiss	d,CO2	P,CO2	d,H2O	P,H2O	fr.vol.CO2	d,inc.	vol.mol.
	origine	μ	CO2	glace		hyd.	CO2	T hom				fra.mol.			NaCl	mNaCl/kg H2O	g/cm3	bars	g/cm3	bars	mol/cm3	g/cm3	l.mol.
	4 Q/P,PS	8	-58.30	-7.90		5.80	26.00				0.01	0.91	0.04	0.05	11.58	2.24	0.35		1.08			1.01	20.75
	4 Q/P,PS	10	-58.30	-7.90		5.80	26.50				0.01	0.91	0.04	0.05	11.58	2.24	0.35		1.08			1.01	20.75
LSC 6560	4 Q/P,PS	8	-62.50	-12.90	-23.10	5.80	28.10	liq	182.20		0.01	0.86	0.05	0.08	16.80	3.45	0.28		1.12			0.99	22.44
250 O	4 Q/P,PS	10	-62.50	13.00	-26.10	5.70	27.70	liq	222.10	262.60	0.02	0.80	0.05	0.13	16.90	3.48	0.35		1.12			0.94	25.43
qz +hém f.	4 Q/P,PS	8	-63.70	-9.40		5.50	28.70	liq			0.01	0.90	0.03	0.06	8.19	1.52	0.35		1.05			0.96	21.79
	4 Q/P,PS	20	-63.70	-10.10		6.30	27.30	liq			0.01	0.85	0.04	0.09	14.05	0.08	0.35		1.10			0.97	23.16
	4 Q/P,PS	8	-67.20			7.20	28.80	liq		326.00	0.08	0.26	0.01	0.65	5.33	0.96	0.35		1.03			0.67	55.15
	4 Q/P,PS	8	-67.10				2.20	liq															
	4 Q/P,PS	12	-67.20				2.20	liq															
	4 Q/P,PS	8	-65.10			7.50	27.60	vap			0.01	0.86	0.01	0.12	4.80	0.86	0.55		1.03			0.63	34.63
	4 Q/P,PS	5	-69.60						246.40														
LSC 6560	2 O/S,PS	10		-5.20	-20.80				136.50				0.03		8.13	1.514				3.10		0.99	19.22
	2 O/S	12		-4.60	-32.40				274.20				0.02		7.29	1.346				55.99		0.83	22.78
	2 O/S,PS	6		-2.80	-15.30				360.10				0.01		4.63	0.831				181.18		0.65	28.68
	2 O/S,PS	5		-2.50					136.50	393.00			0.01		4.17	0.744				3.19		0.96	19.23
	2 O/S,PS	15		-7.40					124.30				0.04		10.99	2.112				2.10		1.01	19.05
	2 O/S,PS	6		-6.50					275.60				0.03		9.86	1.871				56.07		0.85	22.57
	2 O/S,PS	8							325.90	339.40													
	2 O/S,PS	12							331.00														
LSD 6560	2 O/S	8							110.30														
Vqz+hém	2 O/S	15		-4.50					134.40				0.02		7.15	1.318				2.94		0.98	19.19
	2 O/S	10		-4.90					105.60				0.03		7.72	1.431				1.17		1.01	18.79
	2 O/S	15		-5.20					108.80				0.03		8.13	1.514				1.30		1.01	18.83
	2 O/S	12		-4.90					105.60				0.03		7.72	1.431				1.17			
	2 O/S	12		-5.10					114.30				0.03		7.99	1.486				1.57		1.00	18.90
	2 O/S	12		-2.70	-19.30				305.70				0.01		4.48	0.802				90.41			
	2 O/P,PS	8		-6.30	-40.90				410.30				0.03		9.60	1.817				-		0.63	30.30
	2 O/S	8		-6.70					305.70				0.03		10.11	1.925				86.60		0.81	23.70
	2 O/S	8		-4.10					304.90				0.02		6.58	1.2				88.08		0.78	24.26
	2 O/S	8		-3.10																			
	2 O/S	8							273.60														
	2 O/S	8		-4.50					171.70				0.02		7.08	1.304				7.88		0.95	19.85
	2 O/S	6		-4.50					324.40				0.02		7.15	1.318				113.95		0.75	25.16
	2 O/S	8							296.60														
LSA 6561	2 O/PS	5		-6.80	-29.70				162.80				0.03		10.24	1.95				6.19		0.98	19.66
250 O	2 O/PS	4		-5.90					298.10				0.03		9.07	1.707				78.55		.81	23.52
bas + hém	2 O/PS	4		-5.90					165.40				0.03		9.07	1.707				6.66		0.97	19.72
py	2 O/PS	8		-5.00					298.10				0.02		6.43	1.177				80.17		0.78	23.94
	2 O/PS	6		-5.40					298.00				0.03		8.40	1.57				78.86		0.81	23.61
	4 O/P,PS	4	-58.10	-29.10			24.70	liq															
	4 O/P,PS	6	-58.10	-29.10			24.00	liq															
LSB 6561	2 O/PS	3		-3.30					301.60				0.02		5.40	0.976				84.85		0.77	24.33
250 O	2 O/PS	8		-3.10					298.40				0.02		5.09	0.918				81.29		0.77	24.23
	2 O/PS	6		-3.3					302.30				0.02		5.4	0.976				84.85		0.77	24.33
	2 O/PS	6		-2.8					295.10				0.0148		4.63	0.831				77.81		0.7685	24.16

Tableau C-1 : Lac Shortt ouest

Echantillon	Type-note	Taille	Tf	Tf	Te	hyd.	Tf	T hom	CO2	T hom	T déc.	xCH4	xH2O	xNaCl	xCO2	%pds.	molalité	d.CO2	P.CO2	d.H2O	P.H2O	fr.vol.CO2	d.jnc.	vol.mol.
	origine	µ	place										fra.mol.			NaCl	mNaCl/kg H2O	g/cm3	bars	g/cm3	bars	mol/cm3	g/cm3	l.mol.
LS90 37	2 C/S		-13.60		-42.00			146.80						0.06		17.55	3.643				3.80		1.05	19.41
Veine S	2 C/S		-10.80		-44.60			142.70						0.05		14.83	2.98				3.49		1.03	19.34
450S																								
qz-py-cal																								
LS90 39	1 O/S	8	0.40					129.80												0.94	2.68			
550 S	1 O/S	6	0.20					131.40												0.93	2.8.			
chl-py-qz	1 O/S	5	0.20					132.00												0.93	2.86			
zone Au	1 O/S	12	0.30					132.00												0.93	2.86			
	1 O/S	6	0.40					123.00												0.94	2.18			
	1 O/S	6	0.40					123.00												0.94	2.18			
	1 O/S	8	0.10					289.60												0.73	73.89			
	1 O/S	6	0.10					242.50												0.81	34.91			
	1 O/S	15	1.00					204.60												0.86	17.07			
	1 O/S	8	0.00					246.60												0.80	37.47			
HB 87 89	3 O/P,PS	20	-56.4			6.4	19.9	liq					0.9374	0.02	0.04	6.81	1.249	0.775	57.1	1.046	57.1		1.01	19.611
MLS 250	3 O/P,PS	22	-56.4			6.1	19.9	liq					0.8	0.019	0.1746	7.31	1.35	0.775	57.1	1.049	57.1		0.94	21.77
syé-qz lat	3 O/P,PS	15	-56.6			6.4	26.5	liq					0.82	0.0185	0.1578	6.81	1.249	0.686	66.6	1.046	66.6		0.902	25.27
	3 O/P,PS	15	-56.6			6.5	26.6	liq					0.82	0.0185	0.1578	6.81	1.249	0.686	66.6	1.046	66.6		0.902	25.27
	3 O/P,PS	12	-56.8			6.4	26.5	liq					0.82	0.0185	0.1578	6.81	1.249	0.686	66.6	1.046	66.6		0.902	25.27
	3 O/P,PS	15	-56.6			6.5	26.6	liq					0.82	0.0185	0.1578	6.81	1.249	0.686	66.6	1.046	66.6		0.902	25.27
	3 O/P,PS	30	-56.4					8.1	vap											1.046	66.6		0.902	25.27
	3 O/P,PS	25	-56.4					8.2	vap											1.046	66.6			
	4 O/P,PS	35	-60.1	-4.1		5.9	30	liq				0.01	0.91	0.02	0.06	7.54	1.4	0.2		1.05			21.67	
	4 O/P,PS	15	-60.1			6.5	29.8	liq				0.01	0.91	0.02	0.07	6.5	1.4	0.2		1.04			0.95	
	4 O/P,PS	15	-60.1			5.9	29.8	liq				0.01	0.90	0.02	0.07	7.50	1.4	0.20		1.05			0.93	
	4 O/P,PS	13	-60.1			5.9	29.8	liq				0.01	0.90	0.02	0.07	7.50	1.4	0.20		1.05			0.94	
																							0.94	22.31
																								22.31

Tableau C-1 : Lac Shortt ouest

Echantillon	Type roche	Taille µ	Ti CO2	Ti glace	Te	Ti hyd.	T hom CO2	CO2/ T hom	T hom	T déc.	xCH4	x H2O fra.mol.	xNaCl	xCO2	%spds. NaCl	molarité mNaCl/kg H2O	d.CO2 g/cm3	P.CO2 bars	d.H2O g/cm3	P.H2O bars	fr.vol.CO2 mol/cm3	d.lnc. g/cm3	vol.mol. l/mol.
LS 85 20	2 Q/PS.S	6		-7.8					171.6				0.04		11.47	2.22				7.63		0.98	19.83
LSU tuf	4 Q/P.PS	9	-57.4																				
	4 Q/P.PS	6	-61.3																				
LS 85 21	2 C/PS.S	10		-8.8	-27.1				158.7				0.04		12.65	2.47				5.46		1.00	19.59
Niv. 150 E	2 C/PS.S	10		-8.8					158.7				0.04		12.65	2.48				5.46		1.00	19.59
cal+py	2 C/PS.S	12		-10.2					158.7				0.05		14.20	2.80				5.38		1.01	19.59
	2 C/PS.S	15		-12.1					158.7				0.06		16.14	3.29				5.28		1.03	19.59
LS 85 26	2 C/S	8		-48.4	-68.0				94.0				0.20		46.20	14.69				0.81		1.34	19.35
Niv 150	2 C/S	8		-46.4	-65.0				90.3				0.19		43.58	13.22				0.71		1.30	19.86
qz+cal+fl	2 C/S	12		-44.6	-61.2				90.0				0.18		41.44	12.07				0.71		1.30	19.84
	2 C/S	10		-35.0	-45.0				91.9	167.0			0.13		32.64	8.29				0.75		1.22	18.80
	2 Q/PS.S	12		-0.1					120.4														
	2 Q/PS.S	12							146.4				0.12		30.38	7.47				3.12			
LS 85 56	2 C/S	12		-31.8					203.0				0.03		9.60	1.19				15.51		0.94	20.49
150 E	2 C/PS.S	4		-6.3					203.0				0.03		9.60	1.19				15.51		0.94	20.49
cal+py+	2 C/PS.S	10		-8.3					210.4				0.04		12.07	2.35				17.65		0.95	20.61
hém+fluo	2 C/S	6		-9.2	-30.8																		
	2 C/PS.S	6							270.7														
	2 C/S	12		-3.7	-28.7																		
	2 C/S	6			-48.6	7.4																	
	2 C/PS.S	6				7.4																	
	2 C/PS.S	4				7.4																	
LS 85 94	2 C/PS.S	8		-3.0					172.6				0.02		4.94	0.89				8.18		0.94	19.90
Niv 300	2 C/PS.S	7		-0.7					182.9				0.01		1.22	0.21				10.64		0.90	20.27
bas. alt.	2 C/PS.S	6								206.0													
	2 C/PS.S	9								206.0													
	2 C/S	8			-28.8	-49.8			300.9				0.11		28.42	6.79				66.94		1.00	22.04
LS 85 109	2 Q/PS.S	45		-13.7	-27.0				141.9				0.06		17.65	3.66				3.32		1.05	19.34
hém+gal	2 Q/PS.S	30		-13.7	-34.5				145.9				0.06		17.65	3.66				3.32		1.05	19.34
qz+cal	2 Q/PS.S	23		-13.3					145.9				0.06		17.65	3.66				3.32		1.05	19.34
	2 Q/PS.S	20		-13.3	-31.3				145.4				0.06		17.65	3.66				3.32		1.05	19.34
	2 Q/PS.S	15		-12.7					145.4				0.06		16.72	3.44				3.69		1.04	19.39
	2 Q/PS.S	15		-12.7					145.4				0.06		16.72	3.44				3.69		1.04	19.39
	2 Q/PS.S	16		-6.4	-32.0				129.7				0.03		9.73	1.84				2.51		1.00	19.12
	2 Q/PS.S	15		-12.1					138.0				0.06		16.14	3.29				3.02		1.04	19.28
	2 Q/PS.S	16		-12.1					138.1				0.06		16.14	3.29				3.02		1.04	19.28
	2 Q/PS.S	15							280.1														
	2 Q/PS.S	15		-12.0					274.7				0.06		16.29	3.32						0.92	22.08
	2 Q/PS.S	12		-7.0					376.1														
	2 Q/PS.S	10		-7.1					398.1				0.04		10.62	2.03						0.64	22.10

Tableau C-2: Lac Shortt est

Echantillon	Type-note	Taille	Tf	Tf	Te	Tf	hyd.	T hom	CO2	T hom	T déc.	xCH4	x H2O	xNaCl	xCO2	%pds.	mNaCl/kg H2O	d.CO2	P.CO2	d.H2O	P.H2O	f.vol.CO2	d.lnc.	vol.mol
	origine	µ	CO2	glace									fra.mol.			NaCl		g/cm3	bars	g/cm3	bars	mol/cm3	g/cm3	l.mol.
LS 86 70	2 Q/S	14		-16.0	-29.0			278.1						0.07		19.62	4.18				53.04		0.94	21.98
Nv 50	2 Q/PS,S	10		-6.1				216.6						0.03		9.34	1.76				53.04		0.92	20.83
qz+alb	2 Q/PS,S	4		-5.1				138.7						0.03		7.99	1.49				3.30		0.99	19.26
cb+py diss	2 Q/PS,S	6		-5.3				220.1						0.03		8.27	1.54				22.01		0.91	20.96
	2 Q/PS,S	12		-5.6				175.2						0.03		8.94	1.68				8.45		0.96	19.91
	2 Q/PS,S	20		-6.3				161.2						0.03		9.60	1.82				5.97		0.98	19.64
	2 Q/PS,S	12		-6.3				462.4						0.03		9.60	1.82				0.04		0.53	36.18
	2 Q/PS,S	12		-6.3				168.8						0.03		9.60	1.82				7.21		0.97	19.78
	2 Q/PS,S	16		-3.7				291.2						0.02		5.99	1.09				72.86		0.79	23.70
	2 Q/PS,S	8		-5.3				188.7						0.03		8.27	1.54				11.55		0.94	20.19
	2 Q/PS,S	8		-3.7				177.4						0.02		5.99	1.09				9.09		0.94	19.98
	2 Q/PS,S	11		-2.7	-47.0																			
	2 Q/PS,S	8		-2.7																				
	2 Q/PS,S	8		-2.7																				
	2 Q/S	14		-18.7	-25.0	-15.2																		
	2 Q/S	4		-22.1																				
	2 Q/S	6		-18.8																				
	2 Q/PS,S	15						297.2																
LS 86 76	2 Q/PS,S	5		-8.8				185.5						0.04		12.65	2.48				10.38		0.98	20.08
150.00	2 Q/PS,S	4		-6.3				185.5						0.03		9.60	1.82				10.65		0.95	20.11
qz-py	2 Q/S	6		-14.6				185.0						0.07		18.44	3.87				9.69		1.02	20.04
	2 Q/PS,S	20		-6.7				179.5						0.03		10.11	1.93				9.25		0.96	19.98
	2 Q/PS,S	20		-6.7				216.9						0.03		10.11	1.93				20.39		0.93	20.81
	2 Q/PS,S	23		-12.7				199.7																
	2 Q/S	12		-17.1				309.7						0.08		20.51	4.41				82.62		0.91	22.77
	2 Q/S	15		-17.1				161.6						0.07		20.51	4.41				82.62		0.91	22.77
	2 Q/PS,S	10		-12.4				270.6						0.06		16.43	3.37				48.87		0.92	21.95
	2 Q/PS,S	8		-5.6				160.9						0.03		8.67	1.63				5.97		0.97	19.64
	2 Q/PS,S	8		-4.9				205.3						0.03		7.72	1.43				16.50		0.92	20.59
	3 Q/P,PS	15	-56.8		7.2			239.3					0.86	0.02	0.12	5.33	0.96	0.63		1.03		0.89	24.49	
	3 Q/P,PS	8	-56.8		7.2			216.9																
LSC 8936	2C/P,PS	8		-9.6				237.8						0.05		13.55	2.88				28.15		0.93	21.23
Syénite	2C/P,PS	7		-9.0				227.8						0.04		12.88	2.53				24.48		0.94	21.00
de l'intr.	2C/P,PS	10		-3.5				104.2						0.02		5.70	1.03				1.13		1.00	18.78

Tableau C-2: Lac Shortt est

Echantillon	Type-note origine	Taille µ	Tf CO2	Tf glace	Tf Te	Tf hyd.	T hom CO2	CO2 T hom	T hom	T déc.	xCH4	x H2O fra.mol.	xNaCl	xCO2	%pds. NaCl	molarité mNaCl/kg H2O	d.CO2 g/cm3	P.CO2 bars	d.H2O g/cm3	P.H2O bars	fr.vol.CO2 mol/cm3	d.inc. g/cm3	vol.mol. l.mol.
LSC 82	2 C/S	42		-30.4																			
cal+py+	2 C/S	45		-30.4																			
mag.	2 C/PS/S	12																					
LSC88	2 C/PS/S	12		-3.3					108.7														
LSU2655	2 C/PS/S	4		-3.4					98.3				0.0188		5.85	1.062		1.55				1	18.89
carb.rose	2 C/PS/S	5		-3.4					98.3				0.0188		5.85	1.062		0.95				1	18.74
	2 C/PS/S	6		-3.4					98.3				0.02		5.85	1.06		0.95				1.00	18.74
	2 C/PS/S	10		-3.4					98.3				0.03		9.07	1.71		3.92				0.98	19.36
	2 C/PS/S	12		-5.9					145.1				0.03		9.07	1.71		3.92				0.99	19.35
	2 C/PS/S	8		-3.9																			

Tableau C-3: Lac Shortt, carbonatite

Echantillon	Type-note origine	Taille μ	Tf CO2	Tf glace	Te	Tf hyd.	Tf hom CO2	CO2/ T hom	T hom	T dec.	xCH4	x H2O lra.mol.	xNaCl	xCO2	%pds. NaCl	molalite mNaCl/kg H2O	d.CO2 g/cm3	P.CO2 bars	d.H2O g/cm3	P.H2O bars	fr.vol.CO2 mol/cm3	d.inc. g/cm3	vol.mol. l.mol.
LS 90.1	2 Q/PS,S	12		-4.3	-21.0				179.2				0.02		6.87	1.26				9.42		0.94	20.01
Site 2 N60	2 Q/PS,S	12		-1.5					179.0				0.01		2.56	0.45				9.65		0.91	20.10
	2 Q/PS,S	25		-1.5					179.2				0.01		2.56	1.26				9.42		0.91	20.10
	2 Q/PS,S	8		-1.5					179.2				0.01		2.56	1.26				9.42		0.91	20.10
	2 Q/PS,S	8		-1.5					179.2				0.01		2.56	1.26				9.42		0.91	20.10
	2 Q/PS,S	18		-2.9					157.5				0.02		4.79	0.86				5.63		0.95	19.60
	2 Q/PS,S	10		-1.8					157.5				0.01		3.05	0.86				5.63		0.94	19.60
	2 Q/PS,S	60		-4.4					181.8				0.02		7.01	1.29				9.99		0.94	20.06
	2 Q/PS,S	45		-4.4					181.0				0.02		7.01	1.29				9.99		0.94	20.06
	2 Q/PS,S	16		-4.8					312.3				0.21		0.21	15.03				41.82		1.22	21.33
	2 Q/PS,S	16		-4.4						334.3													
	2 Q/PS,S	16		-3.7					237.8				0.02		5.99	1.09				30.99		0.87	21.59
	2 Q/PS,S	18		-2.8																			
	2 Q/PS,S	16		-2.8					154.9				0.01		4.63	0.83				5.27		0.95	19.55
	2 Q/PS,S	16		-2.8					154.9				0.01		4.63	0.83				5.27		0.95	19.55
	2 Q/PS,S	16		-2.8					154.9				0.01		4.63	0.83				5.27		0.95	19.55
	2 Q/PS,S	16		-2.8					114.7				0.01		4.63	0.83				1.63		0.99	18.91
	2 Q/PS,S	20							186.2														
	2 Q/PS,S	8							184.2														
	2 Q/PS,S	16							183.1														
	2 Q/PS,S	10							184.2														
	3 Q/P,PS	18	-54.2			7.2	28.5		287.8			0.70	0.01	0.28	5.41	0.98	0.64	69.70	1.04	69.70	0.60	0.80	32.26
	3 Q/P,PS	18	-53.2			7.2	29.5		290.2			0.78	0.01	0.20	5.41	0.98	0.62	71.30	1.04	71.30	0.50	0.83	28.79
	3 Q/P,PS	16	-54.0			6.2	26.9					0.94	0.02	0.03	7.04	1.30	0.68		1.04			1.01	19.53
	3 Q/P,PS	15	-54.3			6.1																	
	4 Q/P,PS	18	-64.2				35.4	llq		298.9													
	4 Q/P,PS	20	-64.0				29.2	llq		298.6													
LS 90.2	4 Q/P,PS	15					27.2	llq	294.9		0.02	0.84	0.00	0.14	0.63	0.11	0.30		0.99			0.86	25.93
Site 2	4 Q/P,PS	12	-60.2			9.7	28.2	llq	294.9		0.02	0.84	0.00	0.01	0.63	0.11	0.30		0.99			0.86	25.93
E-W N60	4 Q/P,PS	8	-60.2			9.7	28.0				0.02	0.84	0.00	0.14	0.63	0.11	0.30		0.99			0.86	25.93
	4 Q/P,PS	15	-60.2			9.7	28.2				0.00	0.96	0.02	0.01	7.04	1.30	0.30		1.04			1.03	18.80
	4 Q/P,PS	20	-58.8			6.2	28.2		295.0														
	2 Q/S	40		-25.2	-44.5				190.4				0.10		26.12	6.05				9.93		1.08	20.05
	2 Q/S	40		-25.3					188.7				0.10		26.19	6.07				9.56		1.08	20.03
	2 Q/S	40		-5.2					149.4				0.03		8.13	1.51				4.44		0.98	19.43
	2 Q/S	22		-5.2	-43.0				148.0				0.03		8.12	1.51				4.44		0.98	19.77
	2 Q/S	25		-5.6					148.0				0.03		8.13	1.51				4.44		0.98	19.77
LS 90.3	3 Q/P,PS	20	-57.9			9.2	29.2	llq				0.79	0.01	0.20	1.63	0.28	0.62	70.80	1.01	70.80		0.82	28.72
Site 2	3 Q/P,PS	22	-57.9			9.2	29.2	llq				0.79	0.01	0.20	1.63	0.28	0.62	70.80	1.01	70.80		0.82	28.72
	3 Q/P,PS	18	-57.0			9.2	29.2	llq		297.9		0.79	0.01	0.20	1.63	0.28	0.62	70.80	1.01	70.80		0.82	28.72
	3 Q/P,PS	10	-57.0				29.2	llq															
	3 Q/P,PS	12	-57.9			8.9	15.9	vap				0.88	0.01	0.11	2.22	0.39	0.17	52.00	1.01	52.00		0.46	45.74
	3 Q/P,PS	10	-57.9			9.2	29.2	llq				0.79	0.01	0.20	1.63	0.28	0.62	70.80	1.01	70.80		0.82	28.72
	3 Q/P,PS	25	-57.6				28.3	llq															
	3 Q/P,PS	12	-57.6				23.2	llq															
LS 90.4	2 Q/PS,S	9		-4.8					208.2				0.02		7.58	1.40				17.51		0.92	20.67
Site 2 E-W	2 Q/PS,S	8		-4.8					208.0				0.02		7.58	1.40				17.51		0.92	20.67
	2 Q/PS,S	7		-4.8					208.0				0.02		7.58	1.40				17.51		0.92	20.67
LS 90.5	3 Q/P,PS	14	-56.1			6.3	31.2	llq	322.1			0.36	0.01	0.63	6.97	1.28	0.51	73.70	1.05	73.70	0.89	0.57	60.70
Site 11	3 Q/P,PS	12	-56.0			6.5	31.0	llq	316.8														
	3 Q/P,PS	12	-56.1				30.9	llq															
	3 Q/P,PS	12	-56.1				31.2	llq															

Tableau C-4:Lac Shortt - indices minéralisés

Echantillon	Type-bole origine	Taille μ	Tf CO2	Tf glace	Tg	Tf hyd.	T hom CO2	CO2/ T hom	T hom	T dec.	xCH4	x H2O fra.mol.	xNaCl	xCO2	%pds. NaCl	molarité mNaCl/kg H2O	d.CO2 g/cm3	P.CO2 bars	d.H2O g/cm3	P.H2O bars	fr.vol.CO2 mol/cm3	d.inc. g/cm3	vol.mol. l.mol.
LS 90.5	2 O/S	15		-7.0	-40.2				168.8				0.03		10.49	2.01				7.16		0.98	19.77
	2 O/S	12		-7.8	-44.0				164.6				0.04		11.47	2.22				6.40		0.99	19.70
	2 O/S	12		-10.5	-26.0				197.9				0.05		14.52	2.91				13.36		0.98	20.31
LS 90.6	4 O/P,PS	8	-64.1					vap															
Site 9	4 O/P,PS	6	-64.0					vap															
E-W/N45	2 O/PS,S	12							288.7														
	2 O/PS,S	15							418.6														
	2 O/PS,S	8							359.3														
LS 90.7	4 O/P,PS	8	-64.5			-5.5	10.2	vap			0.24						0.14					0.24	152.80
Syè. d'Opa.	4 O/P,PS	10	-65.0				10.1	vap			0.24						0.14					0.24	152.80
	4 O/P,PS	10	-64.5				5.1	vap			0.24						0.11					0.24	152.80
	4 O/P,PS	12	-64.5				10.0	vap			0.24						0.14					0.24	152.80
	4 O/P,PS	8	-64.5				9.8	vap			0.24						0.13					0.24	152.80
LS 90.8	2 O/PS,S	12							138.0														
Syè. Opa.	2 O/PS,S	8		-6.8					116.8				0.03		10.24	195.00				1.67		1.02	18.95
Vqz-alb	2 O/PS,S	9		-4.8					109.0				0.03		7.58	1.40				1.32		1.01	18.84
LS 90.13	2 O/PS,S	8		-6.2					122.0				0.03		9.47	1.79				1.98		1.01	19.02
S. d'Opa.	2 O/S	8		-18.1	-42.6				115.5				0.08		21.27	4.62				1.43		1.10	19.00
	2 O/S	6		-19.4	-42.8				101.1				0.08		22.23	4.89				0.86		1.18	18.83
LS 90.14	2 O/S	20		-21.4	-45.0				172.9				0.03		8.40	1.57				8.91		0.95	19.95
S.d'Opa	2 O/S	6		-16.6					120.2				0.03		8.67	1.63				12.35		0.94	20.26
	2 O/PS,S	10		-5.4					177.3				0.03		8.40	1.57				17.90		0.92	20.68
	2 O/PS,S	45		-5.6					191.9				0.03		8.67	1.63				12.35		0.94	20.26
	2 O/PS,S	25		-5.4					209.6				0.03		8.40	1.57				17.90		0.92	20.68
LS90-18	3 O/P,PS	18	-56.9				0.5	liq															
S.d'Opa	3 O/P,PS	25	-56.9				-32.0	vap															
py+qz	3 O/P,PS	15	-56.8			5.7	20.6	vap															
hem	2 O/PS,S	5		-3.3					145.4				0.02		5.40	0.98				4.06		0.96	19.37
	2 O/PS,S	6		-3.0					167.3				0.02		4.94	0.89				1.27		0.99	18.82
	2 O/PS,S	12		-2.8					113.0				0.01		4.63	0.83				1.54		0.98	18.89
LS90.24	3 O/P,PS	20	-56.1				17.5	liq															
S d'Opa	3 O/P,PS	4	-56.0				20.4	liq															
	3 O/P,PS	4	-56.0				20.4	liq															
	2 O/PS,S	9		-6.1	-35.8				316.4				0.03		9.34	1.76				100.77		0.79	24.29
	2 O/PS,S	16		-2.2	-37.4				227.9				0.01		3.69	0.66				26.32		0.86	21.44
	2 O/PS,S	20		-8.0	-42.7				169.9				0.04		11.71	2.27				7.28		0.98	19.79
LS90.26	4 O/P,PS	10	-60.1				-15.5	vap	297.4		0.24						0.06					0.24	152.80
syé+py	4 O/P,PS	10	-60.1				4.7	vap	301.5		0.24						0.11					0.24	152.80
cb+qz	4 O/P,PS	10	-60.2				5.4	vap	281.3		0.24						0.12					0.24	152.80
	4 O/P,PS	10	-60.2				5.4	vap			0.24						0.12					0.24	152.80
	4 O/P,PS	8	-60.0				8.6	vap			0.24						0.13					0.24	152.80
	4 O/P,PS	6	-60.1				4.7	vap			0.24						0.11					0.24	152.80
	4 O/P,PS	6	-60.1				6.2	vap			0.24						0.12					0.24	152.80
	4 O/P,PS	10	-60.1				6.2	vap			0.24						0.12					0.24	152.80
	4 O/P,PS	8	-60.1				6.2	vap			0.24						0.12					0.24	152.80
LS 90.27	2 O/S	15		-13.2	-36.4				178.3				0.06		17.19	3.55				8.43		1.02	19.92
Syè.BV30	2 O/PS,S	16		.2					200.1				0.00			0.06				0.36			
LS 90.30	4 O/P,PS	6	-63.7				27.5	liq			0.24						0.67					0.24	152.80
	4 O/P,PS	8	-63.7				17.1	liq			0.24						0.8					0.24	152.80
	4 O/P,PS	8	-63.7				8.8	liq			0.24						0.87					0.24	152.80

Tableau C-4:Lac Shortt - indices minéralisés

Echantillon	Type-note origine	Taille μ	Tf CO2	Tf glace	Te	Tf hyd.	T hom CO2	CO2/ T hom	T hom	T dec.	xCH4	x H2O fra.mol.	xNaCl	xCO2	%pds. NaCl	molalite mNaCl/kg H2O	d.CO2 g/cm3	P.CO2 bars	d.H2O g/cm3	P.H2O bars	fr.vol.CO2 mol/cm3	d.inc. g/cm3	vol.mol. l.mol.
LS90 34	2 O/S	14		-5.1					156.4				0.03		7.99	1.49				5.35		0.97	19.55
syé	2 O/S	12		-4.8					156.4				0.02		7.58	1.40				5.36		0.97	19.56
hem+py	2 O/S	8		-7.4					158.0				0.04		10.99	2.11				5.44		0.99	19.58
qz	2 O/S	5		-5.5					158.0				0.03		8.54	1.60				5.55		0.97	19.58
	2 O/S	8		-2.9					305.3				0.02		4.79	0.86				89.72		0.75	24.68
HB 87 136	2 O/S	5		-5.5					158.0				0.03		7.85	1.46				3.91		0.98	19.36
N.O. LS	2 O/S	8		-2.9					305.3				0.03		8.40	1.57				3.90		0.98	19.35
	2 O/S	8		-5.0					144.7				0.03		7.85	1.46				4.95		0.97	19.50
	2 O/S	4		-5.4					144.7				0.03		7.85	1.46				4.52		0.98	19.44
	2 O/S	9		-5.0					153.4				0.03		8.94	1.68				4.73		0.98	19.48
	2 O/S	6		-5.0					150.0				0.04		12.53	2.45				2.46		1.02	19.14
	2 O/PS,S	10		-5.8	-59.0				152.0				0.04		11.71	2.27				2.47		1.02	19.14
	2 O/S	20		-8.7					129.8				0.04		12.53	2.45				2.46		1.02	19.14
	2 O/S	8		-8.0					129.8				0.04		12.53	2.45				2.46		1.02	19.14
	2 O/S	8		-8.0					129.0				0.04		11.71	2.27				2.41		1.02	19.12
	2 O/PS,S	20		-7.2	-45.0				138.2				0.04		10.74	2.05				3.19		1.00	19.26
	2 O/S	18		-7.2					143.4				0.04		10.74	2.06				3.69		1.00	19.34
	2 O/PS,S	15		-7.3	-42.0				148.9				0.04		10.66	2.09				4.29		1.00	19.43
	2 O/S	22		-6.4					107.7				0.03		9.73	1.84				1.24		1.02	18.83
HB 87 413	2 O/S	6		-0.7					269.9				0.00		1.22	0.21				54.57		0.77	23.71
N.O. LS	2 O/PS,S	8		-24.5					165.7				0.10		25.68	5.91				5.61		1.10	19.68
qz-cb																							
HB 88 5	2 O/PS,S			-8.9					206.7				0.04		12.76	2.54				16.96		0.95	20.56
Savane	2 O/PS,S			-8.9					221.0				0.04		12.76	2.54				21.57		0.94	20.84
cal-qz	2 O/PS,S																						
HB 88 46	2 O/PS,S	42		-6.0					169.8				0.03		9.21	1.74				7.41		0.97	19.60
	2 O/PS,S	10		-5.4					155.0				0.03		8.40	1.57				5.14		0.98	19.53
	2 O/PS,S	12		-4.5	-21.8				140.1				0.02		7.15	1.32				3.46		0.98	19.28
	2 O/PS,S	15		-4.4					172.8				0.02		7.01	1.29				8.10		0.95	19.87
	2 O/PS,S	18		-5.0					149.3				0.03		7.85	1.46				4.44		0.98	19.43
	2 O/PS,S	15		-4.2					149.3				0.02		6.72	1.23				4.47		0.97	19.43
	2 O/PS,S	15		-5.2					150.4				0.03		8.13	1.51				4.56		0.98	19.45
	2 O/PS,S	15		-4.8					152.0				0.02		7.58	1.40				4.78		0.97	19.48
	2 O/PS,S	15		-4.0					132.4				0.02		6.43	1.18				2.78		0.98	19.16
HB 88 138	2 O/PS,S	37		-0.5	-21.7				121.8				0.00		0.87	0.15				2.09		0.95	19.09
cb-py	2 O/PS,S	10		0.7					245.7				0.00		0.00	-0.20				37.23		*	*
Ile d'Op	2 O/PS,S	10		0.7					245.7				0.00		0.00	0.00				37.23		*	*
	2 O/PS,S	15		0.5					245.7				0.00		0.00	0.00				37.23		*	*
	3 O/P,PS	45	-57.1			8.3	28.1	llq	161.6	230.2		0.84	0.01	0.15	3.38	0.60	0.65	69.00	1.02	69.00	0.40	0.87	25.49
	3 O/P,PS	28	-56.8			8.3	28.1	llq	245.5			0.84	0.01	0.15	3.38	0.60	0.65	69.00	1.02	69.00	0.40	0.87	25.49
	3 O/P,PS	28	-56.8			8.9	28.0	llq				0.78	0.01	0.21	2.22	0.39	0.07	68.90	1.01	68.90	0.50	0.83	28.43
	3 O/P,PS	20	-57.1			8.3	28.1	llq				0.84	0.01	0.15	3.38	0.60	0.65	69.00	1.02	69.00	0.40	0.87	25.49
	3 O/P,PS	20	-57.1			8.3	28.0	llq				0.78	0.01	0.21	3.38	0.60	0.66	68.90	1.02	68.90	0.50	0.84	28.41
HB 88 171	2 O/PS,S	20		-5.4					306.4				0.03		8.40	1.57				88.67		0.79	23.99
Ile d'Op	2 O/PS,S	150		-2.2					187.4				0.01		3.69	0.66				11.59		0.91	20.27
	2 O/PS,S	10		-2.1					298.5				0.01		3.53	0.63				82.28		0.75	24.63
primaires	2 O/PS,S	8		-4.8					298.0				0.02		7.58	1.40				79.37		0.80	23.75
	2 O/PS,S	10		-5.5					304.4				0.03		8.54	1.60				86.16		0.80	23.88
	2 O/PS,S	10		-5.5					300.7				0.03		8.54	1.60				81.83		0.80	23.71
	2 O/PS,S	8		-7.2					298.7				0.04		10.74	2.06				78.12		0.83	23.33
	2 O/PS,S	16		-16.9					306.2				0.07		20.35	4.37				78.90		0.91	22.68
	2 O/PS,S	15		-7.6					304.0				0.04		11.23	2.17				83.77		0.83	23.48
	2 O/PS,S	12		-4.8					302.0				0.02		7.58	1.40				83.96		0.79	23.93
	2 O/PS,S	8		-4.8					298.8				0.02		7.58	1.40				80.27		0.80	23.78
	2 O/PS,S	8		-4.8					302.0				0.02		7.58	1.40				80.27		0.80	23.78

Tableau C-4:Lac Shortt - indices minéralisés

Echantillon	Type-note origine	Taille µ	Tf CO2	Tf glace	Te	Tf hyd.	Tf CO2	CO2/ T hom	T hom	T dec.	xCH4	x H2O tra.mol.	xNaCl	xCO2	%pds. NaCl	molarité mNaCl/kg H2O	d.CO2 g/cm3	P.CO2 bars	d.H2O g/cm3	P.H2O bars	tr.vol.CO2 mol/cm3	d.inc. g/cm3	vol.mol. l.mol.
HB 88 172	4 Q/P,PS	15	-58.0					vap	247.0														
lie d'Opa	4 Q/P,PS	10	-58.0					vap	247.0														
qz	4 Q/P,PS	8	-58.0					vap	278.0														
HB 88 251	4 Q/P,PS	12	-58.5			9.8	25.6	liq			0.01	0.95	0.00	0.04	0.42	0.07	0.38		0.99			0.95	20.40
Butte	4 Q/P,PS	13	-58.5			5.5	22.7	liq			0.01	0.86	0.02	0.53	8.19	1.53	0.47		1.06			0.96	22.78
Vqz-py	4 Q/P,PS	15	-58.5	-5.7		5.5	19.3	liq			0.03	0.73	0.02	0.65	8.78	1.35	0.55		1.06			0.92	27.75
	4 Q/P,PS	15	-58.5				21.2	liq			0.03	0.74	0.02	0.69	8.98	1.69	0.50		1.06			0.91	27.45
HB 89 27	3 Q/P,PS	8	-57.8		3.1																		
Espoir	3 Q/P,PS	6	-57.8		4.7																		
qz	3 Q/P,PS	5	-57.8		4.9																		
	3 Q/P,PS	8	-58.0		4.5																		
	3 Q/P,PS	6	-58.0		4.5																		
	3 Q/P,PS	6	-58.0		4.5																		
HB 89 28	3 Q/P,PS	10	-56.6																				
Espoir	3 Q/P,PS	10	-56.6		10.0		22.0				0.15	0.00	0.66	0.02	0.00	0.75						0.76	52.68
qz	3 Q/P,PS	10	-56.6		10.0		22.6				0.15	0.00	0.65	0.02	0.00	0.74						0.76	53.14
	2 Q/PS,S	25		-7.9					133.4			0.04		11.59	2.24				2.75			1.01	19.19
	2 Q/PS,S	18		-0.5					135.0			0.00		0.87	0.15				3.11			0.94	19.29
	2 Q/PS,S	12		-0.5					135.0			0.00		0.87	0.15				3.11			0.94	19.29
HB 89 46	1 Q/S	25		-0.4					171.5			0.00		0.70	0.12				8.18			0.90	20.03
Boylvinet	1 Q/S	27		-0.5					173.0			0.01		0.87	0.15				8.47			0.90	20.05
qz	1 Q/S	15		-0.1					165.0			0.00		0.18	0.03				7.00			0.90	19.95
	1 Q/S	18		-0.5					165.0			0.00		0.87	0.15				6.97			0.91	19.87
	2 Q/PS,S	15		-2.2					169.0			0.01		3.69	0.66				7.56			0.93	19.84
	2 Q/S	18		-22.3	-35.0				130.0			0.09		24.24	5.47				2.16			1.11	19.19
	2 Q/S	18		-14.2	-35.0				130.5			0.06		18.09	3.78				2.37			1.06	19.18
	2 Q/PS,S	15		-20.9					131.0			0.09		23.29	5.20				2.26			1.10	19.20
	2 Q/PS,S	20		-7.2					126.2			0.04		10.74	2.06				2.24			1.01	19.08
	2 Q/PS,S	20		-3.4					164.5			0.02		5.55	1.01				6.68			0.95	19.72
SHB 89 47	2 Q/PS,S	8		-1.4					141.3			0.00		2.40	0.42				3.69			0.95	19.34
Mariposite	2 Q/PS,S	12		-1.5					164.2			0.01		2.56	0.45				6.76			0.93	19.77
Vqz	2 Q/PS,S	8		-1.8					145.0			0.01		3.05	0.54				4.08			0.95	19.39
	2 Q/PS,S	16		-4.7					165.6			0.02		7.44	1.37				6.78			0.96	19.73
	2 Q/PS,S	12		-4.3					165.0			0.02		6.87	1.26				6.70			0.96	19.72
HB 89 52	3 Q/P,PS	8	-58.4			8.0	30.6				0.73	0.01	0.26	3.95	0.70	0.56	73.10	1.03	73.10			0.75	33.48
Mariposite	3 Q/P,PS	8	-58.4			8.0	30.6				0.73	0.01	0.25	3.95	0.70	0.55	73.10	1.03	73.10			0.75	33.48
HB 89 68	2 Q/PS,S	8		-4.9	-20.5				178.9			0.03		7.72	1.40				9.30			0.95	19.99
Espoir	2 Q/PS,S	10		.2					165.0														
conglom.	2 Q/PS,S	10		-3.4					158.3			0.02		5.55	1.01				5.71			0.95	19.60
HB 89 72	2 Q/S	12		-2.3	-44.0				150.9			0.01		3.85	0.69				4.76			0.95	19.49
Tr.forage	2 Q/PS,S	12		-3.4	-21.6				160.8			0.02		5.55	1.01				6.09			0.95	19.65
SrCbPy	2 Q/PS,S	15		-2.0					227.1	355.8		0.01		3.37	0.60				25.98			0.86	21.44
	2 Q/PS,S	10		-3.0					152.4			0.02		4.94	0.89				4.92			0.95	19.50
HB 89 86	2 Q/S	14		-8.1	-52.0				185.8			0.04		11.83	2.30				10.52			0.97	20.09
Tr.forage	2 Q/S	13		-7.6					180.9			0.04		11.23	2.17				9.47			0.97	20.00
S4DGPPy	2 Q/S	10		-8.5					202.1			0.04		12.30	2.40				14.88			0.96	20.43
HB 89 109	3 Q/P,PS	8	-57.6			8.9	30.6				0.65	0.01	0.35	2.22	0.39	0.56	73.10	1.01	73.10			0.70	39.09
Site 2	3 Q/P,PS	6	-57.0			6.2	30.0				0.62	0.01	0.36	7.14	1.32	0.60	72.10	1.049	72.10			0.73	38.25
NWLS	3 Q/P,PS	14	-57.0			6.3	30.0				0.62	0.01	0.36	7.14	1.32	0.60	72.10	1.049	72.10			0.73	38.25
CICb																							

Tableau C-4:Lac Shortt - indices minéralisés

Echantillon	Type-n° origine	Taille µ	Tf CO2	Tf glace	Te	Tf hyd.	Tf CO2	Tf hom	CO2 Tf hom	Tf hom	Tf déc.	xCH4	xH2O fra.mol.	xNaCl	xCO2	%pds. NaCl	molalité mNaCl/kg H2O	d.CO2 g/cm3	P.CO2 bars	d.H2O g/cm3	P.H2O bars	fr.vol.CO2	d.inc. g/cm3	vol.mol. l/mol.
BAL 18	1 O/S	8		-0.90				374.00						0.00		1.56	0.27				218.58		0.54	33.39
gran.gris	1 O/S	8		-1.40				393.00						0.01		0.01	0.42				0.03		0.55	33.44
	1 O/S	6		-5.40	-22.70			356.10						0.03		0.03	1.57				167.65		0.71	26.71
Niv. 4	2 O/S	6		-24.60	-43.00			184.70						0.10		25.74	5.93				8.79		1.08	19.96
	2 O/S	10						185.20																
	3 O/P,PS	13	-55.80			5.30	29.50	319.20	liq	336.40			0.40	0.01	0.59	8.61	1.61	0.62	71.30	1.06	71.30	0.85	0.68	49.48
	3 O/P,PS	8	-55.00			3.10	30.20	313.40	liq				0.72	0.03	0.24	8.51	2.10	0.77	72.00	1.05	72.00	0.85	0.82	43.01
	3 O/P,PS	12	-55.80			3.10	30.50	311.90	liq				0.78	0.03	0.19	11.84	2.30	0.57	72.90	1.08	72.90	0.50	0.83	29.20
BAL 79	1 O/S	24		-32.90				327.10																
Niv 3	1 O/S	30		-24.10				334.30						0.09		0.04	2.48				2.01		1.03	19.05
gra-flu	2 O/S	28		-8.10	-37.00			159.10						0.04		1.52							0.93	19.73
	2 O/S	24		-7.90				93.60						0.04										
	2 O/S	14		-9.90	-35.00																			
	4 O/P,PS	25	-59.70					320.10	liq															
	4 O/P,PS	8	-59.70	-5.20			27.20	316.10	liq			0.01	0.93	0.03	0.04	8.66	1.62	0.25		1.05			0.99	20.42
	4 O/P,PS	8	-59.70	-5.00			26.70	329.00	liq			0.01	0.93	0.03	0.04	8.09	1.51	0.30		1.05			0.91	24.39
	4 O/P,PS	10	-62.00	-5.00		6.40	19.30	vap				0.02	0.83	0.02	0.14	6.70	1.23	0.30		1.04			0.44	51.67
	4 O/P,PS	11	-62.80	-4.80		6.00	16.20	vap				0.01	0.85	0.02	0.12	7.53	1.39	0.34		1.05			0.45	49.52
	4 O/P,PS	10	-59.30	-5.00		6.80	14.20	vap				0.03	0.71	0.01	0.24	6.03	1.10	0.03		1.04			0.28	90.43
	4 O/P,PS	14	-59.30			6.90	17.30	vap				0.05	0.24					0.18						
	4 O/P,PS	8	-59.30	-5.00		4.40	26.70	liq				0.01	0.80	0.03	0.01	9.89	1.88	0.03		1.07			1.05	18.85
	4 O/P,PS	15	-59.30			6.70	15.60	vap				0.20	0.11					0.25						
BAL 629	4 O/P,PS	12	-60.90	-5.80		6.00	29.60	liq				0.01	0.94	0.03	0.02	8.91	1.68	0.25		1.06			1.01	19.58
gra-porph	4 O/P,PS	13	-60.20	-5.50		6.00	29.40	liq				0.01	0.93	0.03	0.04	8.51	1.59	0.30		1.05			0.99	20.36
	4 O/P,PS	15	-60.40	-5.50		6.20	30.00	liq				0.01	0.94	0.02	0.03	7.04	1.30	0.30		1.04			0.99	19.95
	4 O/P,PS	20	-60.00	-5.50		11.20	28.50	liq				0.00	0.98	0.00	0.01	0.02	0.00	0.30		0.99			0.97	19.08
	4 O/P,PS	20	-60.00	-5.00			30.60	liq				0.00	0.92	0.07	0.01	19.68	4.19	0.17		1.14			1.12	18.75
	4 O/P,PS	8	-60.00			7.60	31.00	liq				0.01	0.93	0.01	0.05	4.62	0.83	0.15		1.02			0.93	21.52
	4 O/P,PS	10	-60.50			2.90	16.00	vap				0.04	0.62	0.03	0.32	12.02	2.34	0.24		1.09			0.27	106.27
	4 O/P,PS	12	-60.50			2.80	16.20	vap				0.04	0.75	0.03	0.20	12.15	2.37	0.24		1.09			0.35	71.99
	4 O/P,PS	20	-60.50	-5.40		9.80	28.70	liq				0.02	0.87	0.00	0.12	0.42	0.07	0.25		0.99			0.86	24.99
	2 O/P,PS	10		-20.80																				
	2 O/P,PS	16		-14.20	-35.40			152.10						0.06		18.09	3.78				4.36		1.05	19.49
	2 O/P,PS	8		-5.60				160.80						0.03		8.67	1.63				5.95		0.98	19.63
	2 O/P,PS	8		-14.30				192.10						0.06		18.18	3.60				11.37		1.01	20.16
	2 O/P,PS	15						148.70																
	2 O/P,PS	15						254.00																
	2 O/P,PS	12						245.40																
	2 O/P,PS	10						390.8																
	2 O/P,PS	16						442.30																
	2 O/P,PS	12						224.60																

Tableau C-5: Lac Bachelor - granite préminéralisation

Tableau C-6: Granite minéralisé-Lac Bachelor

Echantillon	Type-note origine	Taille µ	Tf CO2	Tf glace	Tf le	Tf hyd.	Tf CO2	T hom	CO2/ T hom	T hom	T déc.	xCH4	x H2O fra.mol.	xNaCl	xCO2	%pds. NaCl	moisture mNaCl/kg H2O	d.CO2 g/cm3	P.CO2 bars	d.H2O g/cm3	P.H2O bars	fr.vol.CO2 mol/cm3	d.inc. g/cm3	vol.mol. L/mol
BAL 29	3Q/PS	36	-57.00			7.10	30.40	liq		314.10			0.65	0.01	0.34	5.59	1.10	0.58	72.70	1.04	72.70	0.68	0.72	37.52
gran+qz+	3Q/PS	10	-57.00			7.40	29.00	liq					0.86	0.01	0.12	5.05	0.91	0.63	70.50	1.03	70.50	0.35	0.89	24.33
fluo tard.	3Q/PS	20	-56.90			7.40	30.80	liq		337.90			0.83	0.01	0.15	5.05	0.91	0.55	73.40	1.03	73.40	0.81	0.81	27.70
Niv 6	3Q/PS	15	-56.90				23.60	liq																
	2Q/P,PS	20		-2.00						207.00				0.01		3.37	0.60				17.60		0.89	20.80
	2Q/P,PS	36		-4.40						140.90				0.02		7.01	1.29				3.54		0.98	19.30
	2Q/P,PS	12		-4.60						207.00	273.10			0.02		7.29	1.35				17.13		0.92	20.64
	2Q/P,PS	36		-19.30						207.00				0.02		7.29	1.35				17.13		0.92	20.54
	1F/P,PS	24		-1.60						324.60				0.01		2.72	0.48				117.92		0.89	26.74
	1F/P,PS	20		-2.00						240.20				0.01		3.37	0.60				32.91		0.84	21.90
	1F/P,PS	10		-2.60						239.10	476.30			0.01		4.32	0.77				32.08		0.85	21.77
	1F/P,PS	10		-2.40						259.60				0.01		4.01	0.72				45.49		0.82	22.60
	1F/P,PS	10		-2.40						269.80				0.01		4.01	0.72				53.53		0.80	23.04
BAL 65	4Q/P,PS	12	-56.60			6.90	29.00	liq		260.60		0.02	0.83	0.02	0.14	5.66	1.06	0.25		1.03			0.87	26.22
qz+fluo+	4Q/P,PS	10	-56.60			5.20	29.00	liq		305.40		0.02	0.84	0.03	0.12	8.66	1.62	0.25		1.06			0.90	25.05
gran. rouge	4Q/P,PS	12	-58.00				31.00	liq		296.70														
Niv 6	4Q/P,PS	16	-61.60			6.80	31.00	liq				0.01	0.92	0.02	0.05	6.30	1.10	0.15		1.04			0.94	21.40
	4Q/P,PS	10	-61.60			6.30	31.00	liq				0.01	0.94	0.02	0.04	6.86	1.26	0.15		1.04			0.98	20.35
	4Q/P,PS	12	-61.00			8.30	31.00	liq				0.01	0.94	0.02	0.04	6.86	1.26	0.15		1.04			0.98	20.35
	2F/P,PS	20		-3.30	-25.70					144.50				0.02		5.40	0.96				3.96		0.96	19.36
	2F/P,PS	16		-4.10	-23.30					155.90				0.02		6.58	1.21				5.33		0.96	19.55
	2F/P,PS	40		-19.10						171.60				0.06		22.01	4.83				6.81		1.06	19.79
BAL 163	3Q/PS	12	-55.10			4.20	26.00	vap		291.40			0.81	0.03	0.16	10.29	1.96	0.70	65.80	1.07	65.80	0.40	0.92	25.22
gran+py+	3Q/PS	12	-55.00			4.30	27.80	liq					0.73	0.03	0.25	10.14	1.93	0.67	68.30	1.07	68.30	0.55	0.85	30.11
Vqz-FII	3Q/PS	12	-54.70				27.00	liq					0.80	0.03	0.20			0.68	67.30	1.00	67.30	0.48	0.85	27.56
Niv 3	3Q/PS	12	-55.00				28.30	liq		329.60			0.75	0.05	0.25			0.60	71.70	1.00	71.70	0.57	0.77	31.52
	2Q/S	16		-10.10	-33.80					117.20						14.09	2.81				1.64		1.04	18.98
	2Q/S	16		-13.20	-34.10					282.60				0.06		17.19	3.55				58.22		0.91	22.24
	2Q/S	14		-18.50	-41.00					169.40				0.06		21.57	4.71				6.49		1.06	19.76
	2Q/S	8								117.80														
	2Q/S	12								155.20														
BAL 181	4Q/P,PS	20	-60.50			6.30	28.90	m.d.l.					0.92	0.02	0.06	6.86	1.26	0.20		1.04			0.96	21.40
qz+fluo	4Q/P,PS	14	-59.70			6.60	24.90	vap		261.00		0.01	0.90	0.02	0.07	6.37	1.16	0.36		1.04			0.67	30.88
Niv 5	4Q/P,PS	12	-59.70				31.10	liq		277.30		0.15						0.20						
3-age	4Q/P,PS	15	-60.20			6.60	26.30	liq				0.02	0.92	0.02	0.05	6.37	1.16	0.35		1.04			0.98	20.78
	4Q/P,PS	26	-57.40			6.70	28.00	m.d.l.		272.50		0.01	0.82	0.02	0.05	6.2	1.13	0.35		1.04			0.976	20.78
	4Q/P,PS	20	-57.00			6.70	29.70	liq				0.01	0.92	0.02	0.05	6.2	1.13	0.35		1.04			0.976	
	2F/P,PS	10		-17.60	-28.60					118.40	290.50			0.06		20.89	4.52				1.58		1.09	19.03
	2F/P,PS	15								166.10	341.40													
	1F/P,PS	24		-3.40	-20.10					305.70				0.02		5.55	1.01				89.74		0.76	24.52
	1F/P,PS	12		-6.30						302.40				0.03		9.60	1.82				83.08		0.81	23.63
	2Q/S	13		-8.40	-33.80																			
	2Q/S	20		-26.70						189.50	366.40													
	2Q/P,PS	8		-4.70						176.60	425.20			0.02		7.44	1.37				8.83		0.95	19.95
	2Q/P,PS	16		-4.50						175.50	416.70			0.02		7.15	1.32				8.62		0.95	19.93
	2Q/P,PS	52		-4.50						178.90				0.02		7.15	1.32				9.33		0.94	20.00
	2Q/S	28		-4.60	-27.00					202.10	425.20			0.02		7.29	1.35				15.49		0.92	20.52
	2Q/P,PS	24		-5.80	-19.80					195.70				0.03		8.94	1.68				13.38		0.94	20.34
	2Q/P,PS	14		-5.50						109.60				0.03		8.54	1.60				1.34		1.01	18.85

Echantillon	Type-hôte origine	Taille μ	Tf CO2	Tf glace	Te	Tf hyd.	T hom CO2	CO2/ T hom	T hom	T déc.	xCH4	x H2O fra.mol.	xNaCl	xCO2	%pds. NaCl	molalité mNaCl/kg H2O	d.CO2 g/cm3	P.CO2 bars	d.H2O g/cm3	P.H2O bars	fr.vol.CO2 mol/cm3	d.inc. g/cm3	vol.mol. l.mol.
BAL 75	3 Q/P,PS	15	-56.10				10.90	liq				0.49		0.51			0.88	46.00	1.00	46.00	0.75	0.89	35.16
granite min	3 Q/P,PS	15	-57.50				20.40	liq				0.69		0.30			0.77	57.80	1.00	57.80	0.58	0.87	29.88
	3 Q/P,PS	15	-57.50				26.00	liq				0.38		0.62			0.70	65.80	1.00	65.80	0.85	0.74	45.95
	3 Q/P,PS	8	-57.10				26.00	liq	348.20			0.94		0.06			0.66	68.90	1.00	68.90	0.20	0.93	21.09
	3 Q/P,PS	50	-57.50				16.00	liq				0.06		0.94			0.81	52.10	1.00	52.10	0.98	0.81	52.03
	3 Q/P,PS	15	-56.80				24.80	liq		234.90		0.79		0.22			0.72	63.00	1.00	63.00	0.48	0.87	27.20
	3 Q/P,PS	12	-57.10				16.90	liq				0.95		0.06			0.81	53.20	1.00	53.20	0.15	0.97	20.04
	3 Q/P,PS	8	-58.20				18.20	liq				0.97		0.03			0.78	54.90	1.00	54.90	0.10	0.98	19.32
	3 Q/P,PS	22	-58.20				10.40	liq				0.92		0.08			0.86	45.50	1.00	45.50	0.20	0.97	20.71
	3 Q/P,PS	35	-58.20				-0.80	vap				0.21		0.79			0.10	34.10	1.00	34.10	0.99	0.10	370.98
	3 Q/P,PS	12	-58.20				10.40	liq				0.94		0.06			0.86	45.50	1.00	45.50	0.15	0.98	19.97
	3 Q/P,PS	20	-57.00			8.70	27.00	liq				0.75	0.01	0.25	2.62	0.46	0.68	67.30	1.02	67.30	0.55	0.83	29.21
BAL 45	3 Q/P,PS	15	-57.00			8.90	27.80	liq				0.66	0.00	0.33	2.22	0.39	0.66	68.60	1.01	68.60	0.85	0.78	34.28
6.0.3 est	3 Q/P,PS	20	-57.00			8.90	25.40	liq				0.99	0.01	0.00	2.22	0.39	0.71	64.90	1.01	64.90	0.05	1.01	18.04
lead qz	3 Q/P,PS	20	-57.00			8.90	25.00	liq				0.49	0.00	0.51	2.22	0.39	0.71	64.30	1.01	64.30	0.78	0.78	40.31
	3 Q/P,PS	10	-57.00			8.90	25.00	liq				0.49	0.00	0.51	2.22	0.39	0.71	64.30	1.01	64.30	0.78	0.78	40.31
	3 Q/P,PS	10	-57.00			7.70	25.00	liq				0.46	0.01	0.54	4.51	0.81	0.71	64.30	1.03	64.30	0.80	0.78	41.81
	3 Q/P,PS	18	-56.70			7.80	25.40	liq				0.46	0.01	0.54	4.69	0.84	0.71	64.90	1.04	64.90	0.80	0.77	41.80
	3 Q/P,PS	20	-56.70			7.80	27.70	liq				0.66	0.01	0.34	4.32	0.77	0.66	68.40	1.03	68.40	0.65	0.79	34.22
	3 Q/P,PS	20	-56.70				27.80	liq				0.39		0.61			0.66	68.60	1.00	68.60	0.85	0.71	47.39
	3 Q/P,PS	17	-56.70				27.00	liq				0.47		0.53			0.68	67.30	1.00	67.30	0.80	0.74	42.68

Tableau C-6: Granite minéralisé-Lac Bachelor

Echantillon	Type-note origine	Taille µ	Tf CO2	Tf glace	Te	Tf hyd.	T horn CO2	CO2/ T horn	T horn	T déc.	xCH4	x H2O fra.mol.	xNaCl	xCO2	%pds. NaCl	molalité mNaCl/kg H2O	d.CO2 g/cm3	P.CO2 bars	d.H2O g/cm3	P.H2O bars	fr.vol.CO2 ml/cm3	d.inc. g/cm3	vol.mol. l/mol.
BAL 191	4 Q/P.P.S	10	-61.30				8.30	vap			0.04	0.61	0.00	0.34	0.15	0.025	0.17		0.99			0.19	
gra. brun.	4 Q/P.P.S	6	-61.00				16.40	vap			0.01	0.90	0.00	0.05	15.63	0.025	0.24		0.99			0.64	
porph.	4 Q/P.P.S	4	-61.00																				
	4 Q/P.P.S	4	-61.40																				
	4 Q/P.P.S	6	-62.20																				
	4 Q/P.P.S	6	-61.00																				
	2 Q/S	12		-40.00																			
	2 Q/S	16		-10.20	-26.70				182.10				0.05		14.20	2.832				9.47		0.99	20.01
	2 Q/S	16		-8.80	-34.60				184.30				0.04		12.65	2.478				10.10		0.98	20.06
	2 Q/S	10		-6.40	-39.70				197.00				0.03		9.73	1.844				13.67		0.94	20.36
BAL 626	4 Q/P.P.S	10	-60.70	-8.60		5.20	26.20	liq			0.00	0.96	0.03	0.01	8.66	1.622	0.25		1.06			1.04	
qz recoup.	4 Q/P.P.S	12	-60.00			13.60	26.30	liq			0.00	0.99	0.00	0.01	0.02	0.003	0.30		0.99			0.97	
gra. prin.	2 Q/S	12		-8.00	-34.90				97.70				0.04		11.71	2.27				0.93		1.04	18.69
(limb.)	2 Q/S	10		-8.20					134.00				0.04		11.95	2.323				2.79		1.02	19.20
	2 Q/S	18		-7.80	-32.40				97.80				0.04		11.47	2.218				0.94		1.04	18.69
	2 Q/S	8		-8.80					123.20				0.04		12.65	2.478				2.01		1.03	19.05
	2 Q/S	12		-8.00					97.00				0.04		11.70	2.27				0.93		1.04	18.69
BAL 630	4 Q/P.P.S	9	-61.80	-10.80		6.90	17.80	vap			0.03	0.67	0.04	0.26	14.77	2.97	0.25		1.11			0.32	84.86
gra/pegm.	4 Q/P.P.S	8	-61.80			6.90	25.60	liq			0.02	0.84	0.02	0.13	5.86	1.064	0.40		1.04			0.92	24.43
plus jeune	4 Q/P.P.S	10	-60.20			6.80	24.90	liq			0.01	0.85	0.02	0.12	6.03	1.097	0.45		1.04			0.93	23.86
	4 Q/P.P.S	24	-61.80				28.40	liq															
	4 Q/P.P.S	12	-61.80	-3.20		6.90	27.50	liq		489.70	0.01	0.88	0.02	0.09	5.86	1.035	0.35		1.04			0.93	23.18
	4 Q/P.P.S	12	-58.30				27.40	liq			0.04						0.60						
	4 Q/P.P.S	9	-61.00			10.90	25.80	liq			0.00	0.98	0.00	0.01	0.02	0.003	0.35		0.99			0.98	18.90
	4 Q/P.P.S	15	-61.10			6.90	17.70	liq			0.00	0.96	0.02	0.02	5.86	1.064	0.60		1.04			1.02	19.07
	4 Q/P.P.S	16	-60.00			2.90	14.50	liq			0.01	0.83	0.04	0.12	12.02	2.34	0.68		1.09			1.01	22.65
	4 Q/P.P.S	12	-59.20			3.40	25.60	liq			0.01	0.84	0.03	0.11	11.33	2.19	0.35		1.08			0.95	23.73
	4 Q/P.P.S	6	-59.20				25.60	liq			0.24						0.15						
	1 F/P.P.S	10		-1.10					200.60				0.01		1.90	0.331				15.57		0.88	20.71
	1 F/P.P.S	8		-2.00					352.60				0.01		3.37	0.597				166.99		0.64	28.79
	2 F/P	10		-5.60					493.30				0.03		8.67	1.625				0.04		0.44	43.13
	2 F/P	13		-12.40	23.40				291.30				0.06		16.43	3.365				66.66		0.89	22.54

Tableau C-7: Granite-post minéralisation-Lac Bachelor

Echantillon	Type-note origine	Taille μ	Tf CO2	Tf glace	Te	Tf hyd.	T hom CO2	CO2/ T hom	T hom	T déc.	xCH4	x H2O fra.mol.	xNaCl	xCO2	%pds. NaCl	molaire mNaCl/kg H2O	d.CO2 g/cm3	P.CO2 bars	d.H2O g/cm3	P.H2O bars	fr.vol.CO2 mol/cm3	d.inc. g/cm3	vol.mol. l/mol.	
BAL 16	4 O/P/PS	18	-57.70	-13.20		8.80	7.90	vap			0.04	0.61	0.01	0.34	2.55	0.45	0.17		1.01			0.19	146.09	
Vqz Niv.5	4 O/P/PS	16	-57.70			8.00	16.00	vap			0.02	0.78	0.01	0.19	3.89	0.69	0.22		1.02			0.34	70.68	
3 ^e age	4 O/P/PS	12	-57.80	-12.50		7.20	17.10	liq			0.05	0.57	0.01	0.38	5.33	0.963	0.60		1.04			0.87	33.69	
	4 O/P/PS	16	-57.80	-12.50		7.20	17.00	liq			0.05	0.57	0.01	0.38	5.33	0.963	0.60		1.04			0.87	33.69	
	4 O/P/PS	12	-57.90	-12.20		7.00	17.00	liq			0.05	0.57	0.01	0.38	5.68	1.03	0.60		1.04			0.88	33.69	
	4 O/P/PS	12	-57.50																					
	4 O/P/PS	18	-57.80	-12.80		7.20	22.50	vap			0.03	0.66	0.04	0.27	16.70	1.12	0.35		1.12			0.37	74.39	
	4 O/P/PS	15	-58.30	-8.20		9.20	18.80	liq	362.40		0.00	0.94	0.04	0.02	11.93	2.32	0.55		1.09			1.07	19.00	
	4 O/P/PS	18	-58.30	-8.10		9.20	11.90	liq			0.00	0.93	0.04	0.03	11.82	2.29	0.77		1.09			1.07	19.18	
	4 O/P/PS	24	-58.30	-8.10		9.20	13.40	liq	311.40		0.00	0.93	0.04	0.03	11.82	2.29	0.70		1.09			1.07	19.11	
	4 O/P/PS	18	-59.20	-6.30		4.00	29.10	liq	319.10		0.01	0.92	0.3	0.05	9.58	1.81	0.25		1.06			0.99	20.87	
	4 O/P/PS	16	-59.20	-6.70		4.30	29.50	liq	368.20		0.00	0.94	0.03	0.02	10.10	1.92	0.25		1.07			1.03	19.48	
	4 O/P/PS	8	-59.20	-6.40		2.20	28.70	liq			0.00	0.96	0.03	0.01		1.84	0.20		1.06			1.05	18.63	
BAL 32	3 O/P/PS	4	-56.70			7.50	25.70	liq				0.87	0.01	0.11	4.87		0.70	65.40	1.03	65.40	0.30	0.93	22.92	
agg.cisail.	3 O/P/PS	4	-56.70				25.70	liq																
Niv 6	3 O/P/PS	6	-55.90	-3.20		2.50	27.10	vap	316.30			0.81	0.04	0.16	12.86		0.68	67.50	1.09	67.50	0.40	0.92	25.33	
	3 O/P/PS	5	-56.00				27.10	liq																
	3 O/P/PS	7	-55.50			3.20	25.90	liq	329.00			0.78	0.03	0.19	11.70		0.70	65.70	1.08	65.70	0.45	0.91	26.52	
	3 O/P/PS	5	-56.70				20.00	liq																
	3 O/P/PS	4					20.00	liq																
BAL 141	4 O/P/PS	8	-60.10			17.00	26.90	vap	424.50		0.11					14.5825	0.40						110.02	
bréch-qz	4 O/P/PS	12	-60.10			17.50	27.80	vap	383.50		0.11					14.36	0.44						100.02	
Niv. 3	4 O/P/PS	5	-60.10	-5.90		9.00	27.20	liq			0.30						0.22						1.00	
	4 O/P/PS	8	-66.60			9.00	26.70	liq			0.00	0.95	0.01	0.04	0.00	0.349	0.30		1.01			0.96	20.00	
	4 O/P/PS	12	-66.60			10.00	14.50	vap			0.11												200.04	
	4 O/P/PS	9	-60.20				26.70	liq			0.00	0.98	0.00	0.01	0.02	0.003	0.35		0.99			0.97	18.93	
	4 O/P/PS	8	-60.20			10.10	26.10	liq	288.30		0.01	0.95	0.00	0.04	0.02	0.003	0.35		0.99			0.95	20.27	
	2 O/S	12							168.80															
	2 O/S	12							215.60															
BAL 152	2 O/S	26	-11.70	-36.30					119.00				0.05		15.75	3.198								
Vqz ent/	2 O/S	28	-11.80	-33.10					108.90				0.05		15.85	3.222				1.71	1.71		1.05	18.89
trans. N.3	2 O/S	20	-14.30	-46.00					119.00				0.06		18.18	3.802				1.22	1.22		1.06	19.28
	2 O/S	25	-14.10	-46.00					109.00				0.06		15.85	3.757				1.20	1.20		1.08	18.90
	3 O/P/PS	5	-59.70	-7.20		2.30	28.70	vap	266.00			0.88	0.04	0.07	12.89	2.531	0.66	68.60	1.80	68.60	0.23	0.99	18.42	
	3 O/P/PS	5	-56.70	-8.50			27.20																	
	3 O/P/PS	6	-56.70				25.30																	
	3 O/P/PS	6	-56.70				28.90																	
BAL 166	2 O/S	12	-18.60	-25.30					410.60				0.08		21.65	4.727								
Oz trans	2 O/P/PS	8	-10.50										0.05		14.20	2.83			0.04	0.04		0.80	26.13	
Niv. 2	2 O/P/PS	16	-10.20						103.40				0.05		14.20	2.8			1.03	1.03		1.06	18.80	
	2 O/P/PS	8	-11.60	-25.90																		1.05	18.79	
	2 O/S	12	-20.70	-58.00																				
	2 O/S	12	-20.50	-44.80																				
	2 O/P/PS	12	-15.60						285.20															
	2 O/P/PS	8	-61.10	-14.00					298.40				0.07		19.46	4.13				59.08	59.08		0.93	22.17
	4 O/P/PS	8	-59.70	-10.50		7.60	26.80						0.06		17.92	3.734				72.65	72.65		0.90	22.64
	4 O/P/PS	12	-59.70	-10.50							0.00	0.94	0.05	0.01	14.46	2.89	0.35		1.02			1.08	18.89	
	4 O/P/PS	8	-59.00				28.20				0.00													
	4 O/P/PS	8	-59.00	-11.60		7.50	29.60		316.40		0.24	0.93	0.05	0.02	15.57	3.16	0.20		1.11			1.07	19.28	
	4 O/P/PS	12	-59.70	-10.20		7.10	29.60		322.60		0.00	0.94	0.05	0.01	14.15	2.82	0.10		1.10			1.09	18.42	
	4 O/P/PS	12	-59.70	-10.50		7.10	30.00				0.00	0.94	0.05	0.01	14.15	2.82	0.10		1.10			1.09	18.42	

Tableau C-8: Zone Minéralisée- Veine Principale- Lac Bachelor

Echantillon	Type-hôte	Taille	Tf	Tf	Te	Tf	T hom	CO2/	T hom	T déc.	xCH4	x H2O	xNaCl	xCO2	%pds.	molalité	d.CO2	P.CO2	d.H2O	P.H2O	fr.vol.CO2	d.inc.	vol.mol.
	origine	µ	CO2	glace		hyd.	CO2	T hom				fra.mol.			NaCl	mNaCl/kg H2O	g/cm3	bars	g/cm3	bars	mol/cm3	g/cm3	l.mol.
BAL 300	4 Q/P,PS	12	-58.80			6.20	29.90	llq	301.20		0.01	0.91	0.02	0.06	7.04	1.296	0.15		1.04			0.94	22.03
Min+qz+alt	4 Q/P,PS	16	-58.80				27.60	llq															18.75
Niv. 4	4 Q/P,PS	14	-58.20	-1.10		8.20	30.10	llq	304.20		0.00	0.96	0.01	0.01	1.82	0.316	0.01		1.00			0.99	73.71
	4 Q/P,PS	12	-58.20			8.80	13.60	vap			0.02	0.79	0.01	0.18	2.39	0.42	0.21		1.01			0.32	54.84
	4 Q/P,PS	14	-58.20	-7.90		8.20	29.20	llq	302.70		0.08	0.30	0.00	0.63	3.52	0.624	0.30		1.02			0.66	
	4 Q/P,PS	32	-58.20	-7.90							0.06						0.40						
	4 Q/P,PS	16	-58.20				30.80	llq															
	4 Q/P,PS	10					26.90	llq															
	4 Q/P,PS	10					27.10	llq															
	1 Q/S	12		-1.40					347.50				0.01		2.40	0.42				157.94		0.63	29.02
	1 Q/S	4		-1.00					371.20														
	2 Q/PS,S	4							82.80														
	2 Q/PS,S	4							272.30	446.40													
	2 Q/PS,S	9							265.90														
	2 Q/PS,S	8							382.50														
BAL 700	2 F/P	12		-6.20	-44.90				174.60	272.70			0.03		9.47	1.789				8.29		0.96	19.89
qz+fluo	2 F/P	18		-5.50	-35.20				178.90				0.03		8.54	1.597				9.24		0.95	19.98
Niv. 8	2 F/P	16		-6.80	-45.40				145.70				0.03		10.24	1.952				3.95		1.00	19.37
	2 F/P	16		-5.60	-44.40				216.20	310.00			0.03		8.94	1.68				20.31		0.92	20.83
BAL 700	2 Q/S	8		-7.20	-44.00				369.40				0.04		10.74	2.059				192.31		0.72	26.79
	2 Q/S	7		-7.10					388.30				0.04		10.62	2.03				0.04		0.69	28.07
	4 Q/P,PS	7	-59.20			5.50	31.00	llq	319.80		0.01	0.93	0.03	0.04	8.19	1.525	0.20					0.98	25.01
	4 Q/P,PS	9	-59.00			5.30	31.00	llq			0.01	0.91	0.03	0.06	8.50	1.59	0.20					0.96	21.67
	4 Q/P,PS	6	-59.40			5.50	6.40	vap			0.02	0.78	0.02	0.18	8.19	1.52	0.15					0.28	86.83
	4 Q/P,PS	8	-58.10				5.10	vap															
	4 Q/P,PS	8	-58.10				20.20	llq	314.70														
	4 Q/P,PS	20	-58.20				20.10	llq															
BAL 86.12	4 Q/P,PS	32	-59.60			14.10	30.20	llq															
bréch.+gra	4 Q/P,PS	12	-59.60				29.70	vap	293.70														
Niv. 7	4 Q/P,PS	18	-58.40			5.40	30.60	llq			0.01	0.88	0.03	0.08	8.35	1.56	0.20		1.05			0.92	23.25
	4 Q/P,PS	20	-58.40			5.40	27.80	llq	302.30		0.02	0.82	0.02	0.14	8.35	1.56	0.30		1.05			0.90	25.70
	4 Q/P,PS	20	-58.00			5.00	30.40	llq	343.70		0.01	0.93	0.03	0.03	8.98	1.69	0.20		1.06			0.99	20.32
	4 Q/P,PS	8	-58.00			5.00	31.50	llq			0.01	0.93	0.03	0.03	8.98	1.69	0.20		1.06			0.99	20.32
	2 Q/S	8		-14.20	-48.70				276.40				0.06		18.09	3.78				52.54		0.93	22.01
	2 Q/S	8		-13.70					191.00				0.06		17.65	3.668				11.06		1.01	20.14

Tableau C-8: Zone Minéralisée- Veine Principale- Lac Bachelor

Lac Bachelor Veine A

Echantillon	Type-hôte origine	Taille μ	Tf CO2	Tf glace	Te	Tf hyd.	T hom CO2	CO2/ T hom	T hom	T déc.	xCH4	x H2O fra.mol.	xNaCl	xCO2	%pds. NaCl	molalité mNaCl/kg H2O	d,CO2 g/cm3	P,CO2 bars	d,H2O g/cm3	P,H2O bars	fr.vol.CO2 mol/cm3	d,inc. g/cm3	vol.mol. l.mol.
LB 88.4	2 O/S	11		-18.30	-50.60				109.10				0.08		21.20	4.60				1.16		1.10	18.90
	2 O/S	16		-39.00	-58.00				103.90														
	2 O/S	14		-17.00																			
	2 O/PS,S	20		-5.80	-36.90				173.90				0.03		8.94	1.68				8.19		0.96	19.88
	2 O/PS,S	8		-6.90					191.90				0.03		10.37	1.98				12.19		0.95	20.23
	2 O/PS,S	10		-7.50					187.40				0.04		11.11	2.14				10.97		0.96	20.13
	2 O/S	20		-21.00					148.80				0.09		23.36	5.22				3.74		1.09	19.45
	2 O/PS,S	4		-1.00					109.00				0.01		1.73	0.30				1.37		0.96	18.90
LB 88.5	2 O/PS,S	4		-6.80					176.60				0.03		10.24	1.95				8.64		0.97	19.92
	1 O/S	4		-2.20					378.60				0.01		3.69	0.66				0.03		0.59	31.33
	2 O/S	8		-23.90																			
	2 O/S	10		-14.50																			
	2 O/S	22		-26.80	-45.00																		
	2 O/PS,S	8							188.50														
	2 O/PS,S	8							165.40														
	2 O/S	14		-23.50	-62.30																		
LB 88.62	2 O/S	18		-21.00	-66.90				90.50	408.80			0.09		23.36	5.22				0.71		1.14	18.63
	4 O/P,PS	12	-58.20			6.70	28.80		319.90		0.02	0.82	0.02	0.14	6.20	1.13	0.20		1.04			0.87	26.37
	3 O/P,PS	4	-56.80				15.00		316.20														
	3 O/P,PS	26	-56.70				27.20		407.50														
	3 O/P,PS	20	-56.60																				
	2 O/S	16		-7.60	-65.60				266.80				0.04		11.23	2.17				48.34		0.87	22.16
	2 O/PS,S	4		-6.80																			
	2 O/PS,S	4		-2.30					150.80				0.01		3.85	0.69				4.75		0.94	19.48
LS 88.8	2 O/S	12		-31.10	-51.20																		
	2 O/S	8		-7.20	-63.00				246.30	280.10			0.04		10.74	2.06				34.65		0.89	21.57
	2 O/PS,S	4		0.00					189.30														
	2 O/PS,S	8		-5.90					100.90				0.03		9.07	1.71				0.98		1.02	18.74
	2 O/PS,S	8		-5.90					93.50				0.03		9.07	1.71				0.80		1.02	18.74
	2 O/S	15		-48.60																			
	2 O/S	20		-37.50					191.80				0.14		34.59	9.05				8.84		1.17	19.92
	2 O/S	8		-31.30					101.80				0.11		30.05	7.35				0.77		1.18	18.86
LB 88.11	3 O/P,PS	45	-57.20			4.60	29.90	liq	308.60			0.53	0.02	0.45	9.69	1.84	0.60	72.10	1.07	72.10	0.77	0.70	43.12
	3 O/P,PS	32	-57.10			5.30	28.50	liq				0.62	0.02	0.38	9.50	1.84	0.64	69.70	1.00	69.70	0.70	0.75	37.15
	3 O/P,PS	20	-53.70			4.90	27.50	liq				0.64	0.02	0.34	9.24	1.74	0.67	68.10	1.06	68.10	0.65	0.80	34.12
	3 O/P,PS	28	-53.70			4.40	31.00	liq	305.60			0.74	0.03	0.24	9.99	1.90	0.51	73.70	1.07	73.70	0.60	0.74	34.22
	3 O/P,PS	16	-53.00			4.60	30.00	liq				0.56	0.02	0.42	9.89	1.84	0.60	72.10	1.07	72.10	0.75	0.71	41.59
	3 O/P,PS	20	-57.10			5.20	23.70	liq				0.92	0.03	0.05	8.77	1.85	0.73	62.40	1.06	62.40	0.15	1.01	20.12
	3 O/P,PS	20	-56.90			5.30	24.50	liq				0.71	0.02	0.26	8.81	1.61	0.72	63.64	1.06	63.60	0.55	0.87	29.43
	3 O/P,PS	16	-56.80			7.80	21.50	liq				0.72	0.01	0.27	4.32	0.77	0.76	59.30	1.03	62.40	0.55	0.86	29.32
	3 O/P,PS	16	-56.80			7.60	31.00	liq	305.00			0.78	0.02	0.20	4.69	0.85	0.51	73.70	1.03	73.70	0.55	0.75	31.86
	4 O/P,PS	18	-60.00			9.10	28.20	vap			0.07	0.37	0.00	0.56	1.81	0.32	0.45		0.01			0.34	100.83
	4 O/P,PS	16	-60.70			9.80	28.00	vap			0.07	0.37	0.00	0.56	1.81	0.32	0.45		0.01			0.34	100.83
	4 O/P,PS	15	-60.60																				
	2 O/PS,S	16		-7.30	-18.50				208.30				0.04		10.66	2.09				17.10		0.94	20.59
	2 O/PS,S	28		-6.8	-18.9				231.1				0.03		10.24	1.95				26.60		0.91	21.17
	2 O/PS,S	10							294.5														

Tableau C-9: Lac Bachelor Veine A

ANNEXE D:

**Résultats d'analyse des
échantillons par la spectrométrie de masse**

Introduction

L'analyse des échantillons par décrépitation thermique dans le spectromètre de masse du type VG a été expliquée à la section 4.3 du chapitre 4. Le système analytique sera décrit brièvement.

Un spectromètre de masse quadripôle du type VG 12-250 a été utilisé. Le composant plus important est une sonde solide dont la température est programmable. Selon Guha *et al*, (1900a), il est essentiel de sceller la chambre d'ionisation: trois ouvertures sont scellées au niveau des coupleurs d'entrée et la quatrième ouverture est utilisée pour la sonde solide qui a un bout en céramique étanche qui rentre directement dans le bloc ionique (voir fig. D-1) Les composants volatils analysés sont dégagés directement dans la chambre d'ionisation.

Le tube de l'échantillon (fig. D-2) est soutenu au niveau du support de l'échantillon pour permettre un meilleur contact avec l'appareil de chauffage (fig. D-1). La sonde solide est fixée à un angle de 30° de l'horizontale. Les éprouvettes qui contiennent les échantillons sont en quartz, 2 cm de longueur et 1 mm de diamètre (fig. D-2).

L'avantage de ce système est relié à deux aspects: 1) d'autres méthodes analytiques par spectrométrie de masse requièrent un élément de chauffage externe donc le besoin d'ajouter une connection sous vide pour l'extraction adéquate des composants volatils; 2) la sonde solide est localisée à une très courte distance du faisceau d'électrons et ceci minimise des pertes importantes pendant le processus d'ionisation des volatils analysés.

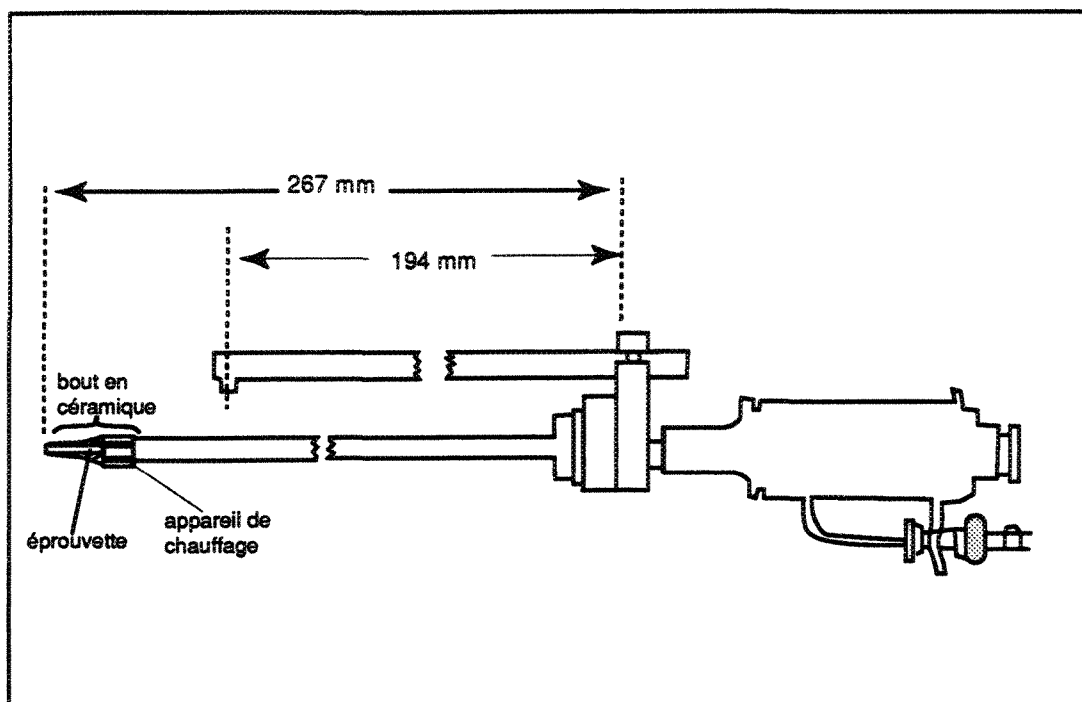


Fig. D-1 Diagramme de la sonde solide illustrant le bout céramique qui supporte le tube de l'échantillon (d'après Guha *et al*, 1990a).

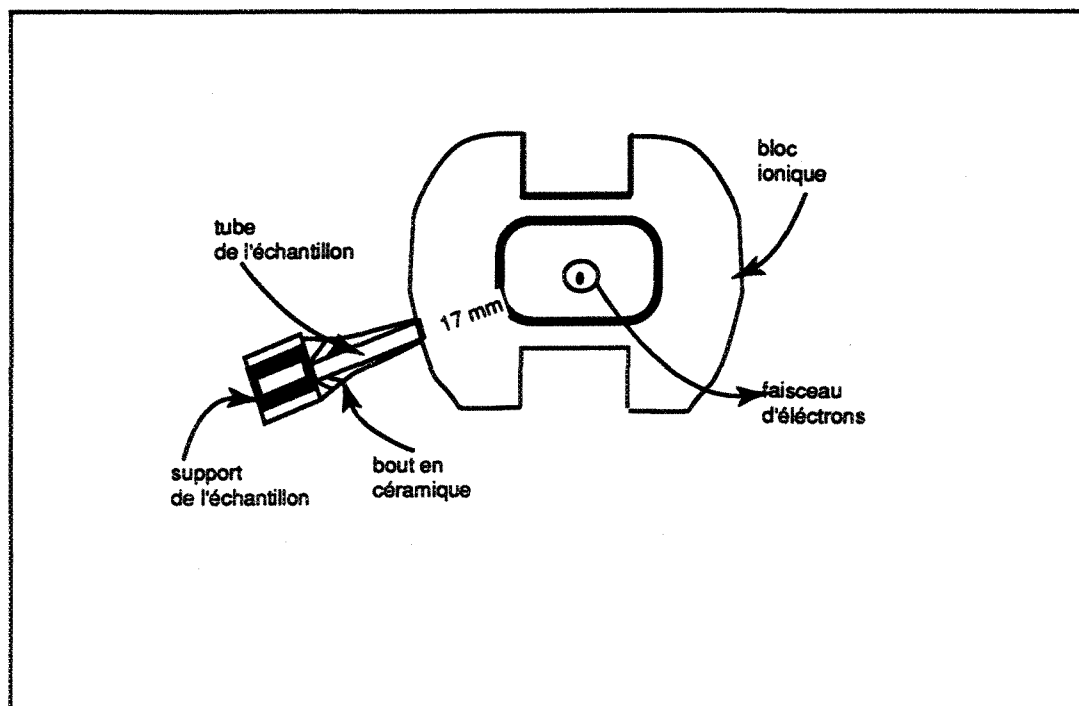


Fig. D-2 Illustration de la courte distance entre le bout de la sonde et le faisceau d'électrons et la façon dont le bout est inséré dans le bloc ionique. (d'après Guha *et al*, 1990a).

ANNEXE E:

**Techniques d'analyse
à la microsonde**

Analyse à la microsonde

Les analyses à la microsonde électronique ont été réalisées à l'aide d'une microsonde électronique de marque ARL par spectrométrie (quatre spectromètres variables à énergie sélective (détecteur Tracro-Noran) standardisée à l'aide de standards naturels et synthétiques. Le détecteur possède une fenêtre au béryllium et une résolution de 143 eV. Les conditions opérationnelles étaient les suivantes: voltage d'accélération de 15 KV, l'intensité du courant d'échantillon a été calibrée à 10 8-10 nA et le diamètre du faisceau était de 5 à 7 microns.

Les analyses ont été corrigées par le programme de matrice Bence-Albee. Les analyses des oxydes sont traitées par le programme de correction de matrice ZAF.

Tableau E-1: Composition chimique de la biotite observée dans plusieurs échantillons de la mine du Lac Shortt.

ÉCHANTILLONS	LSC-1-1 (carb)	LSC-1-2 (carb)	LSC-1-3 (carb)	LS 85-109 ZM	LS86-16-1est	LS86-16-2est
SiO ₂	37.36	36.99	38.42	37.64	37.32	36.66
TiO ₂	0.64	0.93	1.23	2.62	2.02	1.98
Al ₂ O ₃	13.29	13.59	11.58	13.27	15.22	15.37
FeO	16.13	15.75	14.65	18.68	17.46	17.15
MnO	0.27	0.41	0.45	0.00	0.00	0.00
MgO	14.90	13.30	15.97	11.11	15.24	14.37
CaO	0.23	0.23	0.00	0.36	0.00	0.00
Na ₂ O	0.15	0.35	0.53	0.19	0.00	0.00
K ₂ O	9.48	10.51	9.79	9.31	9.55	8.85
Cr ₂ O ₃	0.19	0.13	0.00	0.00	0.24	0.22
Cl	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	92.64	92.19	92.62	93.18	97.05	94.60
Si	5.80	5.81	5.94	5.86	5.50	5.448
Al IV	2.20	2.19	2.06	2.14	2.50	2.552
	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8
Al VI	0.23	0.32	0.05	0.29	0.14	0.14
Ti	0.07	0.11	0.14	0.31	0.22	0.222
Fe	2.09	2.07	1.89	2.43	2.25	2.398
Mn	0.04	0.05	0.06	0.00	0.02	0.032
Mg	3.45	3.11	3.68	2.58	3.34	3.182
Cr	0.02	0.02	0.00	0.00	0.03	0.026
	5.90	5.68	5.82	5.60	6.00	6
Ca	0.04	0.04	0.00	0.06	0.00	0
Na	0.04	0.11	0.16	0.06	0.00	0
K	1.88	2.10	1.93	1.85	1.79	1.678
	1.96	2.25	2.09	1.97	1.79	1.678
x bi=Fe/Fe+Mg	0.38	0.40	0.34	0.49	0.40	0.43
y bi= 2xAlM2	0.08	0.11	0.02	0.10	0.05	0.05
a phl	0.22	0.19	0.28	0.12	0.20	0.18
a ann	0.05	0.06	0.04	0.10	0.06	0.08
a east	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00

ÉCHANTILLONS	BAL 603-1	BAL 603-2	BAL 603-3	BAL 603-4	BAL 603-5	BAL 37-1	BAL 37-2	BAL 37-3	BAL 37-4	BAL 37-5
SiO ₂	40.82	40.97	40.45	43.06	43.05	39.23	38.42	48.04	48.80	39.18
TiO ₂	0.97	0.97	1.06	0.78	0.75	1.66	1.68	1.03	1.04	1.60
Al ₂ O ₃	11.17	12.55	12.89	11.41	11.68	13.01	12.48	7.58	7.20	13.05
FeO	12.59	12.58	12.79	10.67	10.55	16.30	16.41	5.30	5.06	15.79
MnO	0.53	0.69	0.67	0.50	0.57	0.48	0.44	0.00	0.00	0.39
MgO	18.50	18.28	17.74	19.81	19.74	15.24	15.10	20.74	20.90	14.87
CaO	0.09	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00
Na ₂ O	0.35	0.08	0.07	0.05	0.04	0.03	0.08	0.03	0.00	0.04
K ₂ O	9.60	8.68	9.25	8.29	9.05	10.28	10.21	10.64	11.05	10.37
Total	94.62	94.80	94.92	94.59	95.43	96.23	94.82	93.36	94.06	95.29
Si	6.07	6.02	5.97	6.24	6.21	5.86	5.84	6.90	6.96	5.90
Al IV	1.93	1.98	2.03	1.76	1.79	2.14	2.16	1.10	1.04	2.10
	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00
Al VI	0.03	0.20	0.21	0.19	0.20	0.15	0.08	0.18	0.17	0.21
Ti	0.11	0.11	0.12	0.09	0.08	0.19	0.19	0.11	0.11	0.18
Fe	1.57	1.55	1.58	1.29	1.27	2.04	2.09	0.64	0.60	1.99
Mn	0.07	0.09	0.08	0.06	0.07	0.06	0.06	0.00	0.00	0.00
Mg	4.10	4.01	3.90	4.28	4.25	3.39	3.42	4.44	4.44	3.33
Cr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	5.87	5.94	5.90	5.91	5.86	5.83	5.83	5.37	5.32	5.72
Ca	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na	0.10	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.03	0.01	0.00	0.01
K	1.82	1.63	1.74	1.53	1.67	1.96	1.98	1.95	2.01	1.99
	1.94	1.65	1.76	1.55	1.68	1.97	2.01	1.96	2.01	2.00
F	0.00	1.37	1.48	1.76	1.65	0.96	1.12	2.04	2.52	0.89
Cl	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.08
Al total	1.96	2.17	2.24	1.95	1.99	2.29	2.24	1.28	1.21	2.31
x bi=Fe/Fe+Mg	0.28	0.28	0.29	0.23	0.23	0.38	0.38	0.13	0.12	0.37
y bi= 2xAlM2	0.01	0.07	0.07	0.06	0.07	0.05	0.03	0.07	0.06	0.08
a phi	0.38	0.35	0.33	0.42	0.42	0.23	0.23	0.62	0.64	0.23
a ann	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.05	0.05	0.00	0.00	0.05
a east	0.00	0.02	0.02	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.00	0.02

Tableau E-2:Composition chimique de la biotite observée dans plusieurs échantillons de la mine du Lac Bachelor

ECHANTILLONS	BAL 627-2	BAL 37-6	BAL 627-1	BAL 103-1	BAL 103-2	BAL 103-3	BAL 103-4	BAL 103-5	BAL 103-6	BAL 103-7	BAL 103-8
SiO ₂	39.42	47.62	38.25	46.11	46.23	45.88	44.93	44.04	45.24	42.68	46.81
TiO ₂	1.89	0.08	2.23	0.41	0.12	0.13	0.56	0.40	0.38	0.88	0.14
Al ₂ O ₃	13.73	7.33	13.69	8.16	8.65	8.34	9.48	10.31	10.44	11.04	7.87
FeO	15.01	5.07	15.69	6.31	7.41	7.41	8.09	9.47	8.81	10.18	6.09
MnO	0.53	0.01	0.54	0.00	0.00	0.00	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00
MgO	14.36	21.10	13.86	19.70	19.61	17.14	19.70	18.83	19.04	17.35	20.51
CaO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.13	0.16	0.13	0.00
Na ₂ O	0.05	0.05	0.02	0.00	0.18	0.18	0.00	0.35	0.00	0.28	0.16
K ₂ O	9.72	10.64	9.83	10.64	10.61	11.53	10.78	10.47	10.50	10.34	10.65
Total	94.71	91.90	94.11	91.33	92.81	90.61	93.74	94.00	94.57	92.88	92.23
Si	5.91	6.90	5.81	6.81	6.77	6.91	6.55	6.46	6.53	6.36	6.85
Al IV	2.09	1.10	2.19	1.19	1.23	1.09	1.45	1.54	1.47	1.64	1.15
	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00
AlVI	0.31	0.15	0.25	0.23	0.26	0.39	0.18	0.24	0.31	0.30	0.21
Ti	0.21	0.08	0.25	0.05	0.01	0.01	0.06	0.04	0.04	0.10	0.02
Fe	1.88	0.61	1.99	0.78	0.91	0.93	1.63	1.16	1.06	1.27	0.75
Mn	0.07	0.05	0.07	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00
Mg	3.21	4.55	3.14	4.35	4.28	3.85	4.28	4.12	4.10	3.86	4.47
Cr	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.02	0.00	0.03	0.00	0.00
	5.68	21.45	5.70	5.43	5.46	5.19	6.19	5.56	5.54	5.52	5.44
Ca	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.02	0.02	0.00
Na	0.01	0.01	0.01	0.00	0.05	0.05	0.00	0.10	0.00	0.08	0.04
K	1.86	1.97	1.90	2.00	1.98	2.22	2.01	1.96	1.93	1.97	1.99
F	1.87	1.98	1.91	2.00	2.03	2.27	2.01	2.08	1.96	2.07	2.03
Cl	0.00	2.17	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.01
Al total	2.40	0.00	2.44	1.42	1.49	1.48	1.63	1.79	1.78	1.94	1.36
x bi=Fe/Fe+Mg	0.37	1.25	0.39	0.15	0.17	0.20	0.28	0.22	0.21	0.25	0.14
y bi= 2xAlM2	0.11	0.12	0.09	0.08	0.10	0.15	0.06	0.09	0.11	0.11	0.08
a phi	0.22	0.01	0.21	0.56	0.50	0.44	0.36	0.43	0.44	0.38	0.58
a ann	0.53	0.67	0.58	0.28	0.31	0.30	0.49	0.38	0.34	0.40	0.26
a east	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.03	0.00	0.02	0.25	0.20	0.17	0.07	0.13	0.15	0.10	0.28

Tableau E-2 (cont.):Composition chimique de la biotite observée dans plusieurs échantillons de la mine du Lac Bachelor

Tableau E-3: Composition chimique des chlorites observées dans plusieurs échantillons de la mine du Lac Shortt.

ÉCHANTILLONS	LS 85-50-1-ZM	LS 85-50-2	LS 85-109-1 ZM	LS 85-109-2 ZM
SiO ₂	24.39	25.18	27.34	28.94
TiO ₂	0.00	0.18	0.00	0.11
Al ₂ O ₃	16.60	17.23	9.13	9.30
FeO	41.04	38.90	41.85	39.13
MnO	0.00	0.17	0.00	0.19
MgO	7.04	10.01	9.59	12.37
CaO	0.44	0.00	0.08	0.11
Na ₂ O	0.86	0.22	0.20	0.20
K ₂ O	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	90.37	91.89	88.19	90.35
	#ions sur la	base de 28	oxygènes	
Si	5.47	5.46	6.36	6.42
Al IV	2.53	2.54	1.64	1.58
	8.00	8.00	8.00	8.00
AlVI	1.87	1.86	0.86	0.85
Ti	0.00	0.03	0.00	0.02
Fe	7.70	7.05	8.14	7.25
Mn	0.00	0.03	0.00	0.04
Mg	2.35	3.23	3.33	4.09
Ca	0.10	0.00	0.02	0.03
Na	0.37	0.09	0.09	0.08
K	0.00	0.00	0.00	0.00
	12.40	12.29	12.44	12.35
x=(Fe ²⁺ /Fe ²⁺ +Mg)	0.77	0.69	0.71	0.64
y= AlM ₂	0.32	0.32	0.21	0.20
a clin	.0017	.0073	.0043	.0124
a daph	0.19668734	0.113831981	0.076797075	0.043138902
a ames	2.98616E-05	0.000100102	1.26106E-05	2.58594E-05

ECHANTILLONS	BAL 603-1A)	C-8-1B)	C-8-2	C-8-3	C-8-4	C-8-5	C-8-6	C-8-7	C-8-8
SiO ₂	26.13	27.72	23.95	25.89	25.63	24.86	25.62	26.69	26.56
TiO ₂	0.17	0	0.15	0.03	0.06	0.08	0.03	0.02	0.01
Al ₂ O ₃	18.29	20.17	20.92	20.88	20.65	20.98	20.87	18.99	18.82
FeO	25.54	23.98	30.55	27.73	27.71	29.45	27.81	29.33	29.77
MnO	0.50	1.46	1.35	1.11	1.07	1.10	0.82	0.98	0.88
MgO	18.44	14.06	13.65	13.52	13.08	11.70	13.42	12.79	12.50
CaO	0.00	0.12	0.07	0.01	0.01	0.03	0.02	0.03	0.01
Na ₂ O	0.46	1.36	0.32	0.01	0.04	0.07	0.02	0.03	0.04
K ₂ O	0.00	0	0.20	0.02	0.00	0.02	0.08	0.03	0.00
Total	89.53	88.87	91.16	89.20	88.25	88.29	88.69	88.89	88.59
	#ions sur la	base de 28	oxygènes						
Si	5.44	5.75	5.05	5.45	5.46	5.35	5.42	5.68	5.69
Al IV	2.56	2.25	2.94	2.55	2.54	2.65	2.58	2.32	2.31
	8.00	8.00	7.99	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00
Al VI	1.92	2.69	2.26	2.63	2.64	2.77	2.63	2.44	2.14
Ti	0.03	0.00	0.02	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00
Fe	4.44	4.16	5.39	4.88	4.94	5.30	4.92	5.22	5.33
Mn	0.09	0.26	0.24	0.20	0.19	0.20	0.15	0.18	0.16
Mg	5.72	4.36	4.30	4.24	4.15	3.76	4.24	4.06	3.99
	12.19	11.47	12.22	11.95	11.93	12.04	11.94	11.90	11.62
Ca	0.00	0.03	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00
Na	0.18	0.55	0.13	0.00	0.02	0.03	0.01	0.01	0.02
K	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.01	0.02	0.01	0.00
	0.18	0.58	0.20	0.01	0.02	0.04	0.03	0.02	0.02
Mg#	7.01	5.40	5.09	5.11	4.99	4.46	5.10	4.84	4.74
Mg/Fe	1.29	1.05	0.80	0.87	0.84	0.71	0.86	0.78	0.75
x=(Fe ²⁺ /Fe ²⁺ +Mg)	0.44	0.49	0.56	0.54	0.54	0.59	0.54	0.56	0.57
y= AlM ₂	0.16	0.23	0.19	0.22	0.22	0.23	0.23	0.20	0.18
a clin	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
a daph	0.0045	0.0144	0.0195	0.0207	0.0225	0.0345	0.0212	0.0240	0.0221
a ames	6.17408E-05	0.000206781	4.55599E-05	0.00010924	0.000104459	8.2885E-05	0.000107692	6.4602E-05	3.85495E-05

A)granite minér.
B)Zone propy.
C)Zone séricit.
D)Zone potass. (ZP)
E)Zone princip.

Tabelau E-4: Composition chimique des chlorites observées dans plusieurs échantillons de la mine du Lac Bachelor.

ECHANTILLONS	BAL 14-1C)	BAL 14-2C)	BAL 14-3C)	BAL 33-1 D)	BAL 33-2 D)	BAL 33-3 D)	BAL 15-1 E)	BAL 15-2 E)	BAL 15-3 E)
SiO ₂	28.13	27.61	28.78	26.77	26.18	25.96	26.25	25.94	26.79
TiO ₂	0.00	0.02	0.02	0.08	0.04	0.04	0.02	0.05	0.01
Al ₂ O ₃	18.85	19.31	18.01	19.12	19.64	19.54	19.40	20.10	18.63
FeO	20.55	21.13	20.04	29.24	29.67	29.56	28.14	28.65	28.73
MnO	0.30	0.29	0.29	0.21	0.18	0.21	0.12	0.08	0.15
MgO	18.34	18.89	20.39	12.66	12.03	11.93	13.39	12.29	13.90
CaO	0.24	0.19	0.23	0.00	0.00	0.00	0.04	0.03	0.15
Na ₂ O	0.04	0.01	0.00	0.00	0.05	0.00	0.06	0.03	0.01
K ₂ O	0.00	0.00	0.04	0.02	0.02	0.04	0.02	0.02	0.00
Total	86.45	87.45	87.80	88.10	87.81	87.28	87.44	87.19	88.37
Si	5.85	5.70	6.21	5.72	5.63	5.62	5.63	5.59	5.70
Al IV	2.15	2.30	1.79	2.28	2.37	2.38	2.37	2.41	2.30
	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00
AlVI	2.47	2.40	2.55	2.54	2.60	2.61	2.53	2.78	2.37
Ti	0.00	0.00	0.01	0.01	0.10	0.01	0.00	0.01	0.00
Fe	3.57	3.65	3.42	5.23	5.37	5.35	5.05	5.16	4.41
Mn	0.05	0.05	0.05	0.04	0.03	0.04	0.02	0.01	0.03
Mg	5.68	5.81	6.21	4.03	3.85	3.85	4.28	3.95	4.41
	11.77	11.91	12.24	11.85	11.95	11.86	11.88	11.91	11.22
Ca	0.05	0.04	0.05	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.03
Na	0.02	0.02	0.00	0.00	0.02	0.00	0.02	0.01	0.01
K	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00
	0.07	0.06	0.06	0.01	0.02	0.01	0.03	0.03	0.04
Mg#	7.27	7.40	8.03	4.80	4.57	4.57	5.13	4.72	5.41
Mg/Fe	1.59	1.59	1.82	0.77	0.72	0.72	0.85	0.77	1.00
x=(Fe ²⁺ /Fe ²⁺ +Mg)	0.39	0.39	0.36	0.56	0.58	0.58	0.54	0.57	0.50
y= AIM ₂	0.21	0.20	0.21	0.21	0.22	0.22	0.21	0.23	0.21
a clin	0.04	0.04	0.05	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
a daph	0.0038	0.0035	0.0025	0.0261	0.0311	0.0313	0.0209	0.0299	0.0139
a ames	0.000275745	0.000234605	0.000325759	7.57247E-05	6.81304E-05	7.19308E-05	9.10888E-05	0.000104917	0.000124423

A)granite minér.
 B)Zone propy.
 C)Zone séricit.
 D)Zone potass. (ZP)
 E)Zone princip.

Tabelau E-4 (cont.): Composition chimique des chlorites observées dans plusieurs échantillons de la mine du Lac Bachelor.

ECHANTILLONS	LS85-50-1(A)	LS85-50-2	LS85-109 (A)	LSC8936-1(B)	LSC8936-2	LSC8936-3	LSC 8917-1(C)	LSC 8917-2
SiO ₂	45.74	44.28	45.03	45.52	47.77	47.04	46.06	45.88
TiO ₂	0.48	0.45	0.00	0.38	0.47	0.52	0.81	0.42
Al ₂ O ₃	28.69	29.48	36.61	31.16	26.80	29.40	36.94	36.55
FeO	5.98	7.90	1.26	4.11	4.74	4.07	3.55	4.56
MgO	1.67	2.14	0.36	1.06	2.72	1.83	0.95	0.75
MnO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.18	0.23	0.17	0.16
CaO	0.23	0.16	0.24	0.16	0.00	0.00	0.36	0.45
Na ₂ O	0.25	0.00	0.45	0.34	0.26	0.00	0.48	0.42
K ₂ O	11.76	9.90	11.82	10.93	11.90	12.16	12.33	12.36
Cr ₂ O ₃	0.12	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cl	0.00	0.00	0.00	0.13	0.07	0.07	0.09	0.00
Total	94.92	94.51	95.77	93.79	94.91	95.32	101.74	101.55
Si	6.47	6.17	6.02	6.11	6.58	6.43	5.94	5.95
Al IV	1.53	1.83	1.98	1.89	1.42	1.57	2.06	2.05
	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00
AlVI	3.16	3.01	3.79	3.38	2.94	3.17	3.55	3.53
Ti	0.05	0.05	0.00	0.04	0.05	0.05	0.08	0.04
Fe	0.69	0.92	0.14	0.49	0.55	0.46	0.34	0.46
Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.03	0.02	0.02
Mg	0.35	0.44	0.07	0.23	0.56	0.37	0.16	0.13
Cr	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	4.27	4.45	4.00	4.14	4.11	4.09	4.16	4.18
Ca	0.03	0.02	0.03	0.02	0.00	0.00	0.05	0.06
Na	0.07	0.00	0.02	0.09	0.07	0.00	0.12	0.07
K	2.08	1.76	2.02	2.00	2.09	2.12	1.82	1.88
	2.18	1.78	2.07	2.12	2.16	2.12	1.99	2.01
XNa	0.03	0.00	0.01	0.04	0.03	0.00	0.06	0.04
XK	0.95	0.99	0.98	0.94	0.97	1.00	0.91	0.94
XCu	0.02	0.01	0.02	0.01	0.00	0.00	0.03	0.03
XAlVI	0.74	0.68	0.95	0.82	0.71	0.78	0.85	0.85
xmu(Fe/Fe+Mg	0.67	0.67	0.66	0.69	0.49	0.55	0.68	0.77
ymu(2XAlT2)	0.38	0.46	0.50	0.47	0.35	0.39	0.52	0.51
a mu	0.29	0.37	0.42	0.39	0.27	0.31	0.44	0.44
a cel-1	0.93	0.79	0.71	0.76	0.88	0.85	0.68	0.72
a cel-2	0.37	0.32	0.28	0.31	0.29	0.30	0.27	0.32
a pa	0.02	0.00	0.01	0.03	0.02	0.00	0.04	0.03
a marg	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.02	0.02
(A)LSE								
(B)Syénite								
C)Syénite-carbonatite								

Tableau E-5: Composition chimique des micas blancs observées dans plusieurs échantillons de la mine du Lac Shortt.

ECHANTILLONS	BAL 603-1(A)	C-8-1(B)	C-8-2(B)	BAL 29-1(C)	BAL 29-2(C)	BAL 33-1(C)	BAL 33-2(C)	BAL 33-3(C)
SiO ₂	48.19	47.12	47.92	52.59	52.25	55.84	50.90	51.09
TiO ₂	0.16	1.06	0.51	0.37	0.53	0.79	0.39	0.30
Al ₂ O ₃	26.82	29.66	28.29	29.19	28.23	26.90	27.27	27.23
FeO	4.90	4.66	4.44	4.18	3.79	3.69	6.30	5.56
MgO	2.51	2.23	1.60	2.72	2.94	2.46	2.47	2.78
MnO	0.00	0.13	0.00	0.00	0.01	0.05	0.02	0.01
CaO	0.15	0.47	0.00	0.04	0.00	0.01	0.00	0.02
Na ₂ O	0.41	0.26	0.00	0.02	0.06	0.85	0.03	0.05
K ₂ O	11.49	10.70	11.32	6.68	7.17	5.29	7.34	7.27
Cr ₂ O ₃	0.00	0.00	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cl	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	94.63	96.29	94.26	95.79	94.98	95.88	94.72	94.31
Si	6.64	6.35	6.58	6.84	6.87	7.17	6.82	6.84
Al IV	1.36	1.65	1.42	1.16	1.13	0.83	1.18	1.16
	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00
Al VI	2.99	3.06	3.17	3.31	3.24	3.23	3.12	3.14
Ti	0.02	0.11	0.05	0.04	0.05	0.08	0.04	0.03
Fe	0.56	0.52	0.51	0.46	0.42	0.40	0.71	0.62
Mn	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
Mg	0.52	0.45	0.33	0.53	0.56	0.47	0.49	0.55
Cr	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	4.09	4.16	4.07	4.34	4.27	4.19	4.36	4.34
Ca	0.02	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na	0.11	0.07	0.00	0.01	0.01	0.21	0.01	0.01
K	2.02	1.84	1.98	1.11	1.20	0.87	1.25	1.24
	2.15	1.98	1.98	1.12	1.21	1.08	1.26	1.25
XMg	0.13							
XNa	0.05	0.03	0.00	0.01	0.01	0.19	0.01	0.01
XK	0.94	0.93	1.00	0.99	0.99	0.81	0.99	0.99
XCu	0.01	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
XAl VI	0.73	0.74	0.78	0.76	0.76	0.77	0.72	0.72
xmu(Fe/Fe+Mg)	0.52	0.54	0.61	0.46	0.43	0.46	0.59	0.53
ymu(2XAlT2)	0.34	0.41	0.35	0.29	0.28	0.21	0.30	0.29
a mu	0.25	0.33	0.27	0.21	0.20	0.14	0.21	0.21
a cel-1	0.29	0.24	0.23	0.36	0.39	0.42	0.27	0.31
a cel-2	0.32	0.28	0.36	0.31	0.29	0.35	0.39	0.35
a pa	0.0270	0.0190	0.0000	0.0052	0.0048	0.1156	0.0041	0.0042
a marg	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

(A)Gra.min.

(B)épontes ZM

(C) Gran. mineralisé

Tableau E-6: Composition chimique des micas blancs observés dans plusieurs échantillons de la mine du Lac Bachelor.

ÉCHANTILLONS	LSC-1 (A)	LS 89-1 (A)1	LS 89-1 (A)2	LSC 8917(B)	LS 86-16(C)1	LS 86-16(C)2	LS 86-16(C)3*	LS 86-76(D)*
SiO ₂	62.26	68.77	67.78	69.11	68.20	71.75	69.32	74.48
TiO ₂	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	20.84
Al ₂ O ₃	17.58	18.52	19.31	18.58	19.74	19.37	19.49	0.00
FeO	4.67	0.17	0.14	0.35	0.00	0.00	0.00	0.13
MgO	3.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MnO	0.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CaO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.00	0.00	0.12
Na ₂ O	8.88	11.18	10.37	11.05	11.73	9.17	9.18	8.85
K ₂ O	2.98	0.00	0.00	0.11	0.00	0.19	0.58	0.00
Total	99.71	98.64	97.60	99.20	99.87	100.48	98.63	104.42
#d'ions sur la base de 32 oxygènes								
Si	11.40	12.14	12.06	12.09	11.93	12.29	13.21	12.25
Ti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00
Al	3.79	3.85	4.05	3.83	4.07	3.91	4.02	4.04
Fe	0.71	0.03	0.01	0.05	0.00	0.00	0.00	0.16
Mn	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mg	0.84	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	16.78	16.02	16.12	15.97	16.00	16.21	17.24	16.44
Ca	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.11	0.02
Na	3.15	3.83	3.57	4.02	3.98	3.04	3.12	2.82
K	0.69	0.00	0.00	0.02	0.00	0.04	0.02	0.00
	3.85	3.83	3.57	4.04	4.02	3.09	3.25	2.84
Na/Ca	-	-			99.48		28.85	141.00
a ab(X Na)	0.82	1.00	1.00	0.99	0.99	0.99	0.96	0.99
a an(xCa)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.03	0.01
a ksp(xK)	0.18	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00
log ab	-0.09	0.00	0.00	-0.0436	-0.0436	-0.0436	-0.0177	-0.0436
(A)=Carbonatite								
(B)=Syénite								
(C)=LSE+fén.								
(D)=lave porph.								

Tableau E-7: Composition chimique des plagioclases observés dans plusieurs échantillons de la mine du Lac Shortt.

ÉCHANTILLONS	LS85-11(A)	LS85-17(A)	LS85-50(A)	LS85-84-1(A)	LS85-84-2(A)	LS85-84-3(A)	LS85 109-1(A)	LS85 109-2(A)	LS86-16-1(A)	LS86-16-2(A)	LS86-16-3(A)	LSC 8936(B)
SiO ₂	66.82	62.79	63.89	66.43	66.09	66.48	64.39	63.00	64.23	65.84	66.13	62.68
TiO ₂	0.00	0.00	0.00	0.15	0.26	0.00	0.00	0.00	0.31	0.24	0.00	0.00
Al ₂ O ₃	18.95	18.12	18.18	17.34	17.85	17.79	18.44	18.31	17.62	17.78	17.65	18.73
FeO	0.00	2.66	0.00	0.18	0.00	0.31	0.19	0.00	0.23	0.00	0.25	0.23
MnO	0.00	0.13	0.00	0.00	0.26	0.23	0.00	0.00	0.40	0.24	0.46	0.00
MgO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CaO	0.00	0.24	0.28	0.58	0.58	0.81	0.24	0.32	0.73	0.63	0.68	0.21
Na ₂ O	6.22	0.33	0.33	0.25	0.37	0.16	0.40	0.00	0.44	0.19	0.22	0.00
K ₂ O	7.52	15.55	16.67	16.47	16.62	15.82	16.03	16.01	16.00	16.15	16.71	16.32
Total	99.51	99.82	99.35	101.40	102.03	101.60	99.69	97.64	99.96	101.07	102.10	98.17
		#d'ions sur la	base de 32	oxygènes								
Si	12.01	11.78	11.94	12.12	12.01	12.08	11.95	11.93	11.93	12.04	12.03	11.85
Ti	0.00	0.00	0.00	0.02	0.03	0.00	0.00	0.00	0.04	0.03	0.00	0.00
Al	4.02	4.01	4.01	3.73	3.82	3.81	4.03	4.09	3.86	3.83	3.78	4.17
Fe	0.00	0.42	0.00	0.03	0.00	0.05	0.03	0.00	0.04	0.00	0.04	0.04
Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mg	0.00	0.04	0.00	0.00	0.07	0.06	0.00	0.00	0.11	0.07	0.12	0.00
Total	16.03	16.24	15.95	15.90	15.94	16.00	16.01	16.02	15.98	15.97	15.97	16.06
Ca	0.00	0.05	0.06	0.11	0.11	0.16	0.05	0.06	0.14	0.12	0.13	0.04
Na	2.17	0.12	0.12	0.12	0.13	0.06	0.15	0.00	0.16	0.07	0.08	0.00
K	1.73	3.72	3.97	3.83	3.85	3.66	3.79	3.87	3.79	3.77	3.88	3.93
	3.89	3.89	4.15	4.07	4.10	3.88	3.99	3.93	4.10	3.96	4.09	3.98
a ksp(Or)=xK	0.44	0.96	0.96	0.94	0.94	0.94	0.95	0.98	0.93	0.95	0.95	0.99
a ab(Ab)=x Na	0.56	0.03	0.03	0.03	0.03	0.01	0.04	0.00	0.04	0.02	0.02	0.00
a an(An)=xCa	0.00	0.01	0.01	0.03	0.03	0.04	0.01	0.02	0.04	0.03	0.03	0.01

(A)LSE

(B)Syénite

Tableau E-8: Composition chimique des feldspaths potassiques observés dans plusieurs échantillons de la mine du Lac Shortt.

ÉCHANTILLONS	BAL 15-1(A)	BAL 15-2	BAL 15-3	BAL 15-4	BAL 3A-1(B)	BAL 3A-2(B)	BAL 37-1	BAL37-2	BAL37-3
SiO2	65.61	64.79	64.82	64.75	65.64	63.78	63.78	64.75	64.65
TiO2	0.03	0.03	0.04	0.03	0.00	0.00	0.01	0.02	0.01
Al2O3	18.04	18.50	17.90	18.10	18.34	18.20	19.01	19.02	18.36
FeO	0.00	0.00	0.00	0.01	0.17	0.09	0.18	0.09	0.06
MnO	0.00	0.00	0.05	0.03	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00
MgO	0.01	0.00	0.00	0.00	0.06	0.01	0.00	0.01	0.00
CaO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.41	0.00	0.02	0.00	0.00
Na2O	0.17	0.18	0.24	0.21	0.13	0.16	0.48	0.40	0.18
K2O	15.03	16.29	16.92	16.24	14.60	17.11	14.66	14.13	15.59
Total	98.89	99.79	99.97	99.37	99.38	99.35	98.14	98.42	98.85
	#d'ions sur la base de 32 oxygènes								
Si	12.14	11.93	12.03	12.03	12.08	11.94	11.89	11.97	12.02
Ti	0.00	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Al	3.93	4.01	3.92	3.96	3.98	4.02	4.18	4.14	4.02
Fe	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.01	0.03	0.01	0.01
Mn	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mg	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	16.08	15.98	15.96	16.01	16.11	15.97	16.10	16.13	16.06
Ca	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00
Na	0.06	0.06	0.09	0.07	0.05	0.06	0.17	0.14	0.06
K	3.55	3.83	4.01	3.85	3.43	4.09	3.49	3.33	3.70
	3.61	3.89	4.09	3.92	3.56	4.14	3.66	3.48	3.76
a ksp=xK(or)	0.98	0.98	0.98	0.98	0.96	0.99	0.95	0.96	0.98
a ab=xNa	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.05	0.04	0.02
a an=xCa	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00
(A) ZM									
(B) GM									

Tableau E-9: Composition chimique des feldspaths potassiques observés dans plusieurs échantillons de la mine du Lac Bachelor.

Echantillons	LSC 65-1(A)	LSC 65-2(A)	LSC 65-3(A)	LSC 65-4(A)	LSC 65-4(A)	LSC 65-5(A)	LSC 65-6(A)	LSC 65-7(A)	LSC 65-8(A)	LS89-1-1(B)	LS89-1-2
				(centre)	(bordure)						
FeO	0.30	0.00	0.00	0.55	0.32	0.00	0.23	0.22	0.16	17.92	2.25
MnO	0.26	0.35	0.46	0.26	0.00	0.48	0.53	0.18	0.58	1.24	1.03
MgO	0.12	0.18	0.19	0.17	0.00	0.22	0.25	0.15	0.16	5.55	0.30
CaO	48.15	54.20	54.70	53.62	47.55	51.65	55.12	53.84	59.17	23.53	57.20
CO2	51.16	45.27	44.66	45.38	52.13	47.65	43.87	45.61	39.92	51.76	39.22
	99.99	100.00	100.01	99.98	100.00	100.00	100.00	100.00	99.99	100.00	100.00
Mg	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.26	0.02
Fe 2+	0.01	0.00	0.00	0.02	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.47	0.07
Mn	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.02	0.00	0.02	0.03	0.03
Ca	1.61	1.91	1.94	1.89	1.58	1.78	1.97	1.89	2.20	0.79	2.14
Tot:2,00	1.63	1.93	1.96	1.92	1.59	1.81	2.00	1.91	2.23	1.56	2.25
C=2,00	2.18	2.03	2.02	2.04	2.21	2.09	1.99	2.04	1.89	2.22	1.87

(A)carbonatite
(B)Brèche ctt
(C)syénite
(D)LSE

Tableau E-10: Composition moyenne des carbonates déterminée par analyses à la microsonde à la mine du Lac Shortt.

Echantillons	LS89-1-3	LS89-1-4	LS89-1-5	LSC 8936-1(C)	LSC 8936-1	LS86-16-1(C)	LS86-16-2	LSC6-88-1-1(D)	LSC6-88-1-2(D)	LSC6-88-1-3(D)
FeO	1.63	0.83	0.64	2.85	15.21	11.27	12.02	0.65	0.00	0.70
MnO	0.95	1.73	1.06	0.56	1.84	1.28	0.75	0.15	0.37	0.16
MgO	0.35	0.64	0.24	1.50	10.06	11.50	10.93	0.33	0.11	0.22
CaO	57.18	59.80	59.61	52.97	28.40	26.52	26.74	60.18	53.29	54.88
CO2	39.89	37.00	38.45	42.12	44.49	49.43	49.55	38.70	46.23	44.03
	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	99.99	100.01	100.00	99.99
Mg	0.02	0.03	0.01	0.08	0.50	0.54	0.51	0.02	0.01	0.01
Fe 2+	0.05	0.02	0.02	0.08	0.42	0.30	0.32	0.02	0.00	0.02
Mn	0.03	0.05	0.03	0.02	0.05	0.03	0.02	0.00	0.01	0.00
Ca	2.13	2.28	2.24	1.92	1.01	0.89	0.90	2.25	1.86	1.95
Tot:2,00	2.22	1.80	2.30	2.09	1.98	1.76	1.75	2.29	1.88	1.98
C=2,00	1.89	1.80	1.84	1.95	2.01	2.12	2.13	1.85	2.06	2.00
(A)carbonatite										
(B)Brèche ctt										
(C)syénite										
(D)LSE										

Tableau E-10: Composition moyenne des carbonates déterminée par analyses à la microsonde à la mine du Lac Shortt.

Echantillons	LSC6-88-1-4(D)	LS85-55-1(D)	LS85-55-2(D)	LS85-55-3(D)	LS85-55-4(D)	LS85-11-1(D)	LS85-17-(D)	LS85-84(E)	LS85-50-1(D)	LS85-50-1(D)
FeO	0.62	11.63	10.41	11.77	12.55	15.52	0.43	11.09	0.26	1.01
MnO	0.38	1.58	1.51	1.48	1.74	1.07	1.08	1.14	2.00	1.69
MgO	0.44	10.96	8.64	12.51	12.03	10.77	0.25	13.86	0.30	0.46
CaO	51.74	26.13	25.02	29.01	28.79	28.24	58.07	31.80	57.05	56.93
CO2	46.82	49.70	54.42	45.23	44.89	44.40	40.17	42.01	40.39	39.91
	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	99.90	100.00	100.00
Mg	0.02	0.51	0.39	0.61	0.59	0.53	0.01	0.69	0.02	0.02
Fe 2+	0.02	0.31	0.26	0.32	0.34	0.43	0.01	0.31	0.01	0.03
Mn	0.01	0.04	0.04	0.04	0.05	0.03	0.03	0.04	0.06	0.05
Ca	1.80	0.88	0.81	1.01	1.01	1.01	2.15	1.14	2.11	2.11
Tot:2,00	1.85	1.74	1.50	1.98	1.99	1.99	2.21	2.17	2.19	2.21
C=2,00	2.07	2.13	2.24	2.01	2.01	2.00	1.90	1.91	1.90	1.89
(A)carbonatite										
(B)Brèche ctt										
(C)syénite										
(D)LSE										

Tableau E-10: Composition moyenne des carbonates déterminée par analyses à la microsonde à la mine du Lac Shortt.

Echantillons	LS85-84-1(D)	LS85-84-2(D)	LS85-84-3(D)	LS85-109-1(D)	LS85-109-2(D)	LS85-109-3(D)	LS85-109-4(D)
FeO	11.77	10.53	11.37	0.00	4.22	0.00	0.00
MnO	1.38	1.14	1.40	1.15	1.40	1.26	0.72
MgO	11.41	11.73	11.69	0.33	9.10	0.38	0.27
CaO	26.29	26.46	26.75	57.30	35.79	54.62	54.72
CO2	49.14	50.13	48.79	41.21	49.49	43.74	44.29
	99.99	99.99	100.00	99.99	100.00	100.00	100.00
Mg	0.54	0.55	0.55	0.02	0.42	0.02	0.01
Fe 2+	0.31	0.27	0.33	0.00	0.11	0.00	0.00
Mn	0.04	0.03	0.04	0.03	0.04	0.04	0.02
Ca	0.89	0.88	0.91	2.10	1.20	1.96	1.95
Tot:2,00	1.77	1.73	1.82	2.15	1.77	2.01	1.98
C=2,00	2.11	2.13	2.10	1.92	2.11	2.00	2.01
(A)carbonatite							
(B)Brèche ctt							
(C)syénite							
(D)LSE							

Tableau E-10: Composition moyenne des carbonates déterminée par analyses à la microsonde à la mine du Lac Shortt.

Tableau E-11: Composition moyenne des carbonates de la mine du Lac Bachelor déterminée par analyse à la microsonde.

Echantillons	C-8-1	C-8-2	C-8-3	C-8-4	C-8-5	C-8-6	C-8-7	C-8 ank	BAL 33 cc	BAL 33 ank
								16.50	0.34	11.06
FeO	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.37	1.58	1.37
MnO	0.00	1.31	2.74	1.91	1.19	1.67	1.37	10.81	0.09	13.40
MgO	0.91	0.00	0.00	0.11	0.12	0.25	0.33	27.79	51.34	28.76
CaO	45.96	47.36	56.75	56.22	56.22	51.29	52.64	44.53	46.65	45.41
CO ₂	52.97	51.33	40.51	41.77	42.47	46.79	45.64	100.00	100.00	100.00
	100.00	100.00	100.00	100.01	100.00	100.00	99.98	0.51	0.01	0.62
Mg	0.04	0.00	0.00	0.01	0.01	0.12	0.02	0.43	0.04	0.29
Fe 2+	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.29	0.00	0.04
Mn	0.00	0.03	0.08	0.06	0.03	0.05	0.04	0.94	1.79	0.43
Ca	1.51	1.59	2.09	2.05	2.04	1.79	1.85	2.17	1.85	1.37
Tot:2,00	1.56	1.62	2.17	2.11	2.08	1.95	1.91	1.92	2.08	1.92
C=2,00	2.22	2.18	1.91	1.94	1.96	2.07	2.05	4.08	3.70	3.29