#### Université du Québec INRS – Eau, Terre et Environnement

Pétrologie et géochimie de l'indice de chromitites platinifères Star Chrome, complexe ophiolitique de Thetford Mines, Québec.

Par

Valérie Bécu, B.Sc.

Mémoire présenté pour l'obtention du grade de Maître ès sciences (M.Sc.)

Jury d'évaluation

Président du jury et examinateur interne

Normand Tassé, directeur des programmes d'études du centre ETE

Examinatrice externe

Sarah-Jane Barnes, Unité d'enseignement en sciences

de la Terre, UQAC

Examinatrice interne

Louise Corriveau, CGC - Québec

Directeur de recherche

Jean Bédard, CGC - Québec

Codirecteur de recherche

Alain Tremblay, Département des sciences de la

Terre et de l'atmosphère, UQAM

<sup>©</sup> droits réservés de Valérie Bécu, 2005

### RÉSUMÉ

Le but de cette étude de maîtrise est de caractériser la pétrologie, la géochimie et la pétrogenèse de la minéralisation et des roches hôtes de l'indice de chromitites platinifères Star Chrome. Les valeurs exceptionnellement élevées en ÉGP (de l'ordre des 20 000 ppb en platine et palladium combinés) ainsi que l'encaissant pyroxénitique des chromitites sont à l'origine de l'intérêt porté à cette minéralisation atypique du complexe ophiolitique de Thetford Mines.

Star Chrome est le seul indice de chromitites entièrement encaissé dans la portion pyroxénitique de la séquence à cumulats du complexe ophiolitique de Thetford Mines. Dans le secteur des Collines Diamond, cette portion pyroxénitique se traduit par la présence de webstérites de patine brun-orangé fréquemment recoupée par des veines de péridotite créant l'aspect d'un pseudo-litage. À Star Chrome, une Zone Minéralisée est caractérisée par la présence de veines anastomosées de chromitite dont les contacts avec la webstérite, ou la dunite hôte, sont soulignés par la présence d'une auréole d'orthopyroxénite réactionnelle. Des textures anti-nodulaires de remplissage de brèches, similaires à celles observées au gîte Hall, sont localement reconnues.

Les observations pétrographiques et géochimiques confirment l'homogénéité des webstérites du secteur tandis que les profils en terres rares y reflètent une proportion élevée en clinopyroxène. Les dunites sont composées de serpentine, en remplacement à l'olivine, et sont essentiellement appauvries en terres rares. Une dunite de nature intrusive est reconnue au sein de la Zone Minéralisée. Elle montre un profil enrichi en terres rares légères. De légers enrichissements en La et Ce caractérisent les webstérites de la Zone Minéralisée et sont interprétés comme tardifs, probablement reliés à des processus métasomatiques post-cumulatifs. La présence d'une dunite intrusive et d'une auréole orthopyroxénitique en association avec les chromitites, de magmas/fluides enrichis en éléments incompatibles, de concert avec l'identification de l'affinité boninitique du magma parental ont conduit à la suggestion que les chromitites de Star Chrome sont le produit d'une dissolution partielle d'une portion de la webstérite encaissante par un magma/fluide riche en H<sub>2</sub>O. Cl et volatiles.

Les concentrations élevées en éléments du groupe du platine (ÉGP), notamment en Pt et Pd et la présence de sulfures enrichis en Pt-Pd-Rh ainsi que d'une panoplie d'alliages complexes de Cu-Ni-Fe-Hg-As-Pd-Pt, dont la potarite, dans des sites intergranulaires, distinguent les chromitites de Star Chrome des autres indices du complexe ophiolitique de Thetford Mines. L'implication de fluides post-cristallisation est suggérée dans la concentration et la remobilisation des ÉGP.

Étudiante

Directeur de recherche

#### AVANT-PROPOS ET REMERCIEMENTS

Ce mémoire de maîtrise est l'aboutissement d'un projet visant à caractériser la pétrologie et la géochimie des unités encaissantes et des chromitites platinifères constituant l'indice Star Chrome localisé dans le complexe ophiolitique de Thetford Mines. Les activités de recherche s'inscrivent dans le cadre d'un projet de collaboration tripartite entre le gouvernement du Canada (Commission géologique du Canada), une université (Institut National de la Recherche Scientifique – Centre Eau, Terre et Environnement) et une compagnie minière (Ressources Allican Inc.) qui vise à déterminer la nature, l'origine et le contexte stratigraphique et structural des chromitites ophiolitiques des Appalaches du sud Québec. Ce projet est sous la supervision de Jean Bédard (Commission géologique du Canada) et de Alain Tremblay (Département des sciences de la Terre et de l'atmosphère, UQAM) et encadre, en plus du présent projet de maîtrise, deux projets de doctorat réalisés par Philippe Pagé et Jean-Michel Schroetter.

#### Remerciements

Je tiens tout d'abord à sincèrement remercier Jean Bédard pour m'avoir guidée et encadrée tout au long de ce projet. J'aimerais également souligner ma reconnaissance envers Alain Tremblay pour ses conseils et son appui ainsi qu'envers mes confrères Philippe Pagé et Jean-Michel Schroetter pour leurs collaboration et commentaires judicieux tout au long de l'étude. Toute mon appréciation envers Sarah-Jane Barnes et Louise Corriveau pour avoir accepté de participer au jury d'évaluation du mémoire.

Je remercie également M. Bertrand Brassard ainsi que le personnel de Ressources Allican Inc. pour le support technique et l'accès aux données ayant permis l'élaboration du projet.

Je tiens finalement à souligner ma sincère reconnaissance envers parents et amis qui, par leur assistance ou leurs encouragements, ont contribué à la réalisation de cette étude. Enfin, toute ma gratitude envers Patrick pour son support constant et son exemple en matière de persévérance.

# TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ	ii
AVANT-PROPOS ET REMERCIEMENTS	iv
TABLE DES MATIÈRES	V
LISTE DES FIGURES	vi
LISTE DES PLANCHES PHOTOGRAPHIQUES	X
LISTE DES TABLEAUX	хi
LISTE DES ANNEXES	xi
CHAPITRE I – INTRODUCTION	1
1.1 Problématique	
1.1.1 Chromitites ophiolitiques	1
1.1.2 Minéralisations en chromite du COTM	2
1.1.3 Les questions soulevées	4
1.2 Objectifs	4
1.3 Méthodologie	
1.4 Géologie	7
1.4.1 Introduction	7
1.4.2 Géologie régionale	8
1.4.3 Géologie locale	
1.4.4 L'indice Star Chrome	14
CHAPITRE II – CARACTÉRISATIONS PÉTROGRAPHIQUES	25
2.1 Introduction	25
2.2 Dunite	
2.3 Webstérite	
2.4 Veines de péridotite	
2.5 Faciès hybride webstérite/dunite	
2.6 Auréole orthopyroxénitique	29
2.7 Chromitite	30
CHAPITRE III – CHIMIE MIÉRALE	38
3.1 Introduction	38
3.2 Clinopyroxène	38
3.3 Orthopyroxène	39
3.4 Spinelle	39
3.5 Minéraux d'altération	4

CHAPITRE IV – CARACTÉRISATION LITHOGÉOCHIMIQUE	50
4.1 Introduction	50
4.2 Éléments majeurs, Cr et Ni	51
4.3 Terres rares et éléments traces	53
4.3.1 Pyroxénites	54
4.3.2 Faciès riches en olivine et veines de péridotite	55
CHAPITRE V – MINÉRALISATIONS EN ÉGP ET MGP	62
5.1 Introduction	62
5.2 Concentration en ÉGP	63
5.2.1 Chromitites	64
5.2.2 Faciès riches en olivine et veines de péridotite	64
5.2.3 Pyroxénites	65
5.2.4 Caractérisation et contrôle de la concentration en ÉGP	66
5.3 Minéralisations en MGP	67
CHAPITRE VI – MODÉLISATIONS	79
6.1 Introduction	79
6.2 Géothermobarométrie	79
6.3 Modélisation des éléments traces	80
CHAPITRE VII – DISCUSSION	89
7.1 Nature des roches observées	89
7.2 Composition du magma parental	94
7.3 Enrichissements en éléments incompatibles	95
7.4 Origine des minéralisations	99
7.4.1 Chromitites	99
7.4.2 ÉGP	104
CHAPITRE VII – CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS	116
RÉFÉRENCES	119
ANNEXES	127

## LISTE DES FIGURES

Carte géologique et structurale indiquant la position des principaux gîtes et indices de chromites au sein du complexe ophiolitique de Thatford Mines	16
Colonnes stratigraphiques du Massif de Thetford Mines (MTM), représentant les secteur du Lac Caribou et du Lac de l'Est, et des	17
Carte géologique et structurale des faciès cumulatifs crustaux du secteur des Collines Diamond présentant la localisation des stations de levés ainsi que celle des gîtes et indices de	18
l'indice Star Chrome	19 22
Chimie minérale des clinopyroxènes et des orthopyroxènes des lithologies du secteur d'étude	44
Chimie minérale des spinelles chromifères des lithologies du secteur d'étude; variation du Cr# [(Cr/(Cr+Al))] en fonction du	45
Graphiques montrant la chimie des spinelles chromifères comme indicateurs de l'environnement tectonique. A, diagramme ternaire Al-Cr-Fe <sup>3+</sup> +2Ti (proportions ioniques) indiquant des champs pour les roches ophiolitiques, d'affinité d'arc et de type <i>alaskan</i> . B, Cr# vs TiO <sub>2</sub> (%poids) pour les spinelle chromifères de Star	4.7
Comparaison des chromitites de Star Chrome avec d'autres chromitites platinifères du COTM. A, graphique illustrant la	46
variation du Cr# en fonction du Mg#. B, variation du Cr# en fonction du Fe <sup>2+</sup> #	47
Concentrations en CaO (A) et MgO (B) en fonction du Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (% poids) pour les lithologies du secteur d'études. Composition des boninites de Thetford compilée de Oshin et Crocket (1986) et de Olive et al. (1997). Les compositions du clinopyroxène et de l'orhtopyroxène de Star Chrome et la composition normative des plagioclases sont indiquées en (A)	57
	gîtes et indices de chromites au sein du complexe ophiolitique de Thetford Mines

Figure 4.2 -	Concentrations en TiO <sub>2</sub> (%poids) (A), Cr (ppm) (B) et Ni (ppm) (C) en fonction du rapport FeO*/MgO (%poids) pour les lithologies du secteur d'études. Composition des boninites de Thetford tirée de Oshin et Crocket (1986) et composition des boninites de Betts Cove tirée de Bédard et al. (2000)	58
Figure 4.3 -	Diagrammes des terres rares normalisées aux chondrites C1 (McDonough et Sun, 1995) et diagrammes multiéléments normalisés aux NMORB (Sun et McDonough, 1989) pour les pyroxénites. Champ des boninites de Thetford tiré de Oshin et Crocket (1986) et trace des boninites-low Ti de Betts Cove tirée de	
Figure 4.4 -	Bédard et al. (2000)	59
Figure 4.5 -	Thetford tiré de Oshin et Crocket (1986) et trace des boninites-low Ti de Betts Cove tirée de Bédard et al. (2000)	60
Figure 5.1 - Figure 5.2 - Figure 5.3 -	Profils des ÉGP normalisés au manteau.  Diagrammes binaires discriminant les concentrations en ÉGP  Diagrammes binaires illustrant les concentrations en Pt et Pd en fonction des concentrations en Cr, S et Ni	71 72 73
Figure 6.1 -	Résultats de modélisations géothermobarométriques obtenus pour des pyroxènes selon les géothermobaromètres de QUILF en ordonnées et 2-pyroxenes en abcisses	85
Figure 6.2 -	Diagramme multiéléments normalisé aux NMORB (Sun et McDonough, 1989) montrant la composition de liquides calculés obtenus par la modélisation des éléments traces de l'échantillon de	0.6
Figure 6.3 -	webstérite 4038B du secteur Star Chrome	86 87
Figure 6.4 -	Chrome	88

Figure 7.1 -	Diagramme binaire de la concentration en Al2O3 (% poids) en	
	fonction de la concentration en TiO2 (% poids) pour la veine de	
	péridotite 4038P et les Cpx la constituant. Une ligne de mélange	
	entre la composition en Cpx de 4038P (25% Cpx) et le liquide type	
	du COTM (boninites de Thetford, tirées de Oshin et Crocket	
	(1986)) indiquerait que la composition roche totale de la veine de	
	péridotite 4038P s'approcherait d'une composition constituée à	
	environ 60% de liquide	110
Figure 7.2 -	Diagramme [La/Sm] <sub>CN</sub> en fonction du La montrant le	
1 150.0 7.2	fractionnement des terres rares légères.	111
Figure 7.3 -		
	fonction du rapport [La/Sm] <sub>CN</sub> ; (B) Diagramme du rapport Ni/Co en	
	fonction de la concentration en Pt (ppb)	112
Figure 7.4 -		• • •
11guie 7.4 -	[(Fe2+/(Mg+Fe2+))] des chromitites de Star Chrome avec d'autres	
	E	
	chromitites du COTM et différents environnements tectoniques de	112
	formations	113
Figure 7.5 -	Diagramme Cu/Pd en fonction du Pd pour les lithologies de la zone	
	d'étude	114
Figure 7.6 -	Diagramme des rapports d'éléments Ni/Pd en fonction de Cu/Ir	
	pour les lithologies de la zone d'étude.	115

# LISTE DES PLANCHES PHOTOGRAPHIQUES

Planche 1.1 -	Webstérite du secteur de l'indice Star Chrome recoupée par des veines de péridotite d'orientation N-NW	20
Planche 1.2 -	Fractures et veines de péridotite d'orientation NE	21
Planche 1.3 -	Zone Minéralisée de l'indice Star Chrome	23
Planche 1.4 -	Dunite de la Zone Minéralisée	24
Planche 2.1 -	Chromite disséminée dans la dunite (A) et aspect général de la	22
n. 1 00	webstérite (B)	33
Planche 2.2 -	Minéralisations en chromite, magnétite et sulfures encaissées	2.4
D1 1 00	dans la webstérite.	34
Planche 2.3 -	Contact entre la serpentine et un amas de clinopyroxène dans	
	une veine de péridotite (A) et contact entre l'auréole	35
Planche 2.4 -	orthopyroxénitique et la webstérite encaissante (B)	33
Planche 2.4 -	entre auréole orthopyroxénitique et chromitite (B)	36
Planche 2.5 -	Texture anti-nodulaire (A) et inclusions silicatées et présence de	50
r fatiette 2.5	sulfures dans serpentine en bordure de chromitite (B)	37
Planche 5.1 -	Microphotographies prises au MEB présentant des exemples	
	d'awaruite platinifère (A) et de téraferroplatine (B) encaissés	
	dans de la serpentine interstitielle aux grains de chromite	76
Planche 5.2 -	Microphotographies prises au MEB montrant des exemples	
	d'Alliages complexes de Pd et Pt contenant un peu de Hg (A) et	
	de potarite en association avec de l'awaruite platinifère (B)	77
Planche 5.3 -	Microphotographies prises au MEB dévoilant la présence	
	d'arséniures et d'alliages contenant du Rh (A) et des	70
	minéralisations englobées dans un grain de chromite (B)	78

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2.1 -	Tableau synthèse des observations pétrologiques des différentes lithologies du secteur d'étude	32
	Chimie minérale des amphiboles	48 49
Tableau 5.1 -	Tableau synthèse de la localisation et description des échantillons utilisés dans l'étude des MGP des chromitites de Star Chrome	74
Tableau 5.2 -	Composition (en % poids) des alliages et sulfures d'ÉGP observés dans les chromitites de Star Chrome	75
	LISTE DES ANNEXES	
Annexe 1 - Annexe 2 - Annexe 3 -	Résultats des analyses réalisées à la micro-sonde	127 171 176

#### **CHAPITRE I**

#### **INTRODUCTION**

## 1.1 PROBLÉMATIQUE

#### 1.1.1 Chromitites ophiolitiques

Couramment, les minéralisations en chromite associées aux complexes ophiolitiques sont considérées comme des gisements de type podiforme où des amas riches en chromite sont concentrés dans des corps lenticulaires (pods) intra-mantelliques de formes irrégulières (Thayer, 1964). Les chromitites sont généralement contenues dans des enveloppes dunitiques, contenant peu de chromite disséminée, sécantes aux péridotites tectoniques encaissantes. Habituellement de taille modeste, ces gisements contiennent une chromite riche en chrome, ou en aluminium, qui apparaît sous forme de nodules ou orbicules (µm à cm) en concentrations variant de massives à disséminées. Même s'ils ne représentent qu'environ 5% des réserves mondiales, les gisements podiformes ophiolitiques fournissent environ 55% de la production mondiale de chromite.

Les chromities dites stratiformes (ou litées) sont constituées de minces horizons minéralisés en chromite dont les extensions latérales peuvent atteindre l'ordre des dizaines de kilomètres. De manière générale, ces occurrences de chromitites sont associées aux complexes magmatiques mafiques-ultramafiques (Intrusions Ignées Litées, IIL). Dans les complexes ophiolitiques, des chromitites litées sont parfois observées dans la portion inférieure des cumulats dunitiques à proximité de la zone de transition avec les péridotites mantelliques (MOHO pétrologique), où les lits de chromitite alternent avec des lits dunitiques. Des évidences de déformations plastiques de haute température, telles

que des plis isoclinaux et des textures en schlieren, y sont parfois observées (Kaçira, 1971).

Certains complexes ophiolitiques présentent des concentrations appréciables en éléments du groupe du platine (ÉGP), principalement en association avec les chromitites. Malgré le fait que les principaux dépôts économiques d'ÉGP sont associés aux complexes magmatiques mafiques-ultramafiques stratiformes (e.g. Bushveld, Stillwater), certaines chromitites ophiolitiques contiennent des teneurs notables en ÉGP, notamment en Os, Ir, et Ru (Page et al., 1982; Prichard et al. 1986). Toutefois, des travaux ont démontré que certaines chromitites ophiolitiques contiennent des teneurs significatives en Rh, Pt et Pd, s'approchant parfois des concentrations observées dans les complexes magmatiques. L'ophiolite de Leka en Norvège (Barnes et al., 1988; Pendersen et al., 1993) et le gisement Cliff, localisé dans l'ophiolite de Unst des îles du Shetland (Prichard et al., 1986), sont des exemples de chromitites ophiolitiques particulièrement enrichies en platine et palladium.

#### 1.1.2 Minéralisations en chromite du COTM

Les chromitites du complexe ophiolitique de Thetford Mines (COTM) se retrouvent sous quatre contextes différents par rapport à leur position dans la pseudostratigraphie de l'ophiolite et en se basant sur des structures, textures et compositions minérales diagnostiques. De la base vers le sommet du COTM (figure 1.1) on retrouve un premier contexte intra-mantellique discordant (podiforme) (Kaçira, 1971). Il s'agit de cumulats résultant de la cristallisation fractionnée de chromite et d'olivine à l'intérieur de conduits intra-mantelliques (Leblanc et Ceuleneer, 1992; Zhou et al., 1994). Un second contexte est celui des chromitites concordantes (stratiformes) localisées à la base des cumulats dunitiques, à proximité de l'interface croûte-manteau (MOHO pétrologique) (Kaçira, 1971). Ce type de chromitites semble représenter des cumulats provenant de filons la barrière piégés à intra-crustaux d'apports magmatiques couches ou structurale/rhéologique que représenterait l'interface croûte-manteau (Hébert et Bédard, 2000). Des chromitites enrichies en éléments du groupe du platine (ÉGP) notamment en

platine, palladium et rhodium (Gauthier et al., 1990) ont été observées dans les pyroxénites crustales. L'exemple le plus connu est le gîte Hall qui est caractérisé par des chromitites de texture anti-nodulaire remplissant des brèches dans une dunite métasomatique recoupant les pyroxénites et péridotites hôtes (Bédard et al., 1992). Des teneurs moyennes de 22,3 ppm en ÉGP sont observées avec 14,4 ppm Pt + Pd atteignant une concentration maximale de 20,4 ppm pour un échantillon de chromitite (Pagé et al., 2002). Un second type de chromitite enrichie en ÉGP peut être observé à l'indice Finneth#1 (30,8 ppm somme d'ÉGP dont 25,9 ppm Pt + Pd; données tirées de Gauthier et al., 1990) où des veines de chromitite massive soulignent un contact lithologique wehrlite/dunite. Pagé et al. (2001) interprètent ce type de minéralisation comme étant le résultat d'une dissolution partielle des pyroxènes de la roche encaissante par un magma primitif, saturé en olivine et chromite, dans un contexte réactionnel tel qu'identifié à North Arm (Bay of Islands, Terre-Neuve) par Bédard et Hébert (1998). L'indice Star Chrome, qui est le sujet de la présente étude, est un autre exemple de chromitite enrichie en ÉGP avec des teneur en Pt + Pd atteignant 20,8 ppm (Pagé et al., 2002). Blanchet (1993) et Hébert et Bédard (1998) suggèrent que Star Chrome soit également un exemple de chromitite formée dans un contexte réactionnel.

Les travaux de recherche visent une étude pétrographique et géochimique détaillée de l'indice Star Chrome. L'indice est localisé à une dizaine de kilomètres au SE de la ville de Thetford Mines dans le secteur des Collines Diamond, à environ 600 m au nord du Petit Lac Saint-François. Pour y accéder, à partir du chemin du Petit Lac Saint-François, il faut emprunter le sentier menant à l'ancienne exploitation Mine Montréal et prendre le premier embranchement après le ruisseau. Il faut compter une ascension d'un peu plus d'un kilomètre sur le flanc sud des Collines Diamond. Exploité de manière artisanale pour son potentiel en chrome au début du 20<sup>ième</sup> siècle (présence de fosses d'exploitation et de terrils), ce n'est qu'au cours de la dernière décennie (1992-1996) que Ressources Minières Coleraine procéda à l'évaluation du contenu en ÉGP des chromitites de Star Chrome. Des valeurs atteignant les dizaines de ppm ainsi que la présence de minéraux du groupe du platine (MGP) et d'alliages enrichis en ÉGP, dont certaines phases contiennent du mercure (Blanchet, 1993), confirment le caractère exceptionnel de Star Chrome.

#### 1.1.3 Les questions soulevées

L'indice Star Chrome est l'une des rares occurrences au monde de chromitite ophiolitique localisée dans la croûte, encaissée dans de la pyroxénite et enrichie en ÉGP. Une étude des mécanismes pétrogénétiques régissant la précipitation de la chromite à Star Chrome peut s'avérer utile dans la compréhension de la distribution et concentration des minéralisations en ÉGP associées à certaines chromitites crustales.

La problématique visée par l'étude se divise en deux volets, un volet pétrogénétique qui vise à contraindre la nature de la chromite et ses encaissants, et un volet économique se concentrant sur le potentiel en ÉGP. Dans le détail, les questions soulevées sont :

- Quels paramètres ont régi la précipitation des chromitites de Star Chrome? La présence de chromite est-elle uniquement reliée à l'injection d'un magma primitif tardif à la formation des cumulats pyroxénitiques; ou l'enrichissement en chrome provient-il d'une réaction *in situ* d'assimilation et/ou de résorption des clinopyroxènes encaissants?
- Quel est le potentiel en ÉGP des chromitites et des roches encaissantes de Star Chrome? Dans quelles phases (chromite/pyroxénite/minéraux d'altération) et sous quelles formes (MGP-alliages) et concentrations retrouve-t-on les ÉGP? Sont-ils le résultat d'un enrichissement contemporain ou tardif par rapport aux chromitites?

#### 1.2 OBJECTIFS

Le but principal de l'étude est une caractérisation pétrologique et géochimique des chromitites et roches silicatées de l'indice Star Chrome et ses environs, afin de bien définir le contexte géologique associé à ce type de minéralisation et d'en suggérer un modèle de mise en place. L'évaluation du potentiel en ÉGP a pour objectif de mieux

reconnaître les anomalies en platine et palladium et de tenter de les expliquer d'un point de vue minéralogique et géochimique. Ces données complèteront la définition du contexte géologique de Star Chrome et ajouteront des éléments de discussion à la problématique des chromitites enrichies en platine, palladium et rhodium du complexe ophiolitique de Thetford Mines étudiées par Gauthier et al. (1990). Pour y parvenir, plusieurs objectifs devront être atteints;

- Établir les relations spatiales, pétrologiques et géochimiques entre les unités de Star Chrome avec les unités des Collines Diamond (faciès cumulatif pyroxénitique).
- Établir la signature en ÉGP des unités de Star Chrome et des unités des Collines Diamond.
- Classifier les chromitites de Star Chrome par rapport aux autres chromitites du COTM, particulièrement les chromitites platinifères.
- Caractériser les magmas parentaux.

L'ensemble de ces résultats pourra être intégré aux travaux de caractérisation et d'étude de la genèse des faciès cumulatifs du COTM effectués dans le cadre des études doctorales de Philippe Pagé. Ces données, en conjoncture avec une étude structurale ayant pour objectifs de déterminer la géométrie des dépôts et indices de chromite, de même que le contexte tectonique des structures hôtes (études doctorales de Jean-Michel Schroetter), visent l'élaboration d'une classification des différents types de gîtes de chromite des Appalaches du Sud du Québec selon leurs natures, origines et contextes stratigraphiques et structuraux.

## 1.3 MÉTHODOLOGIE

Les travaux de terrain du projet de recherche ont débuté à l'été 2000. Ils consistaient principalement en une campagne de reconnaissance de l'ensemble des gîtes et indices de chromitite répertoriés au sein du complexe ophiolitique de Thetford Mines et visaient la description et l'échantillonnage systématique de ceux-ci et de leurs encaissants (Schroetter et al., 2000). Des échantillons pour fins d'analyses économiques ont été prélevés pour le compte de Ressources Allican Inc., tandis que des échantillons destinés à des analyses géochimiques étaient acheminés aux laboratoires de l'INRS Eau, Terre et Environnement en attente de traitement dans les mois suivant la campagne de terrain.

L'indice Star Chrome a été visité lors de cette phase de reconnaissance et ce n'est qu'après vérification de la présence de valeurs anomaliques en ÉGP (13,4 ppm Pt + Pd pour un échantillon de chromitite) que des travaux détaillés y ont été entrepris. Ainsi, des travaux de décapage et d'échantillonnage en rainures, réalisés à la fin de l'été 2000 en collaboration avec Ressources Allican Inc., ont permis la mise à jour d'une zone minéralisée d'environ 60 m², localisée entre deux anciennes fosses d'exploitation. Dans le but d'assurer un suivi de nomenclature tout en permettant d'alléger un peu le texte, la fosse principale d'exploitation sera dorénavant désignée comme étant le puits de l'indice Star Chrome. Une campagne de cartographie détaillée et d'échantillonnage a suivi les travaux de décapage et d'échantillonnage en rainures. Ces travaux ont permis de contraindre l'environnement géologique et l'étendue des chromitites ainsi que de confirmer la présence de valeurs anomaliques en Pt et Pd (20,8 ppm Pt+Pd sur échantillon en rainure). Afin de caractériser l'environnement avoisinant de Star Chrome, des cheminements partant du Petit Lac Saint-François et longeant la crête sud des Collines Diamond ont été cartographies et échantillonnés. Une campagne de cartographie et d'échantillonnage complémentaire du secteur des Collines Diamond a suivi au printemps 2002. Cette dernière campagne a permis un raffinement de la cartographie géologique du secteur.

L'étude pétrographique des différentes unités et de la typologie de la minéralisation en chromite a été réalisée au moyen de 48 lames-minces polies. De celles-ci, 31 ont servi à caractériser les compositions minérales des chromites, pyroxènes et de certains minéraux d'altérations au moyen de la micro-sonde électronique Caméca SX100 du Département de géologie et de génie géologique de l'Université Laval. Pour fin de caractérisation des différentes unités, 25 échantillons ont été sélectionnés pour analyses géochimiques de roche totale. Ceux-ci ont été concassés à l'aide d'un broyeur à mâchoires puis pulvérisés au moyen d'un broyeur à billes d'agate avant d'être soumis pour analyses (éléments majeurs, éléments en traces et terres rares) aux laboratoires de l'INRS Eau, Terre, Environnement via les méthodes de ICP-AES et -MS. Douze de ces échantillons et deux échantillons de chromitite massive ont ensuite été analysés pour leur contenu en ÉGP. Ces analyses ont été réalisées en suivant une méthode de mise en solution par un lit de sulfures puis soumis pour analyses par INAA aux laboratoires de géochimie de l'UQAC en suivant la méthode décrite par Bédard et Barnes (2002). Puisque cette méthode nécessite environ 50 gr. de roche pulvérisée, les échantillons préalablement concassés ont été pulvérisés au moyen d'un broyeur de type shatter box en alumine. L'identification des phases minéralisées en ÉGP (MGP et alliages métalliques) a été possible au moyen d'observations au microscope électronique à balayage (MEB) du Département de géologie et de génie géologique de l'Université Laval.

# 1.4 <u>GÉOLOGIE</u>

#### 1.4.1 Introduction

Le complexe ophiolitique de Thetford Mines (COTM) fait partie d'une zone de terranes océaniques accrétés (zone de Dunnage) sur les roches Cambro-Ordovicienne de la paléomarge laurentienne (zone de Humber). La Ligne Baie-Verte Brompton (BBL) marque la séparation entre les zones de Humber et de Dunnage et a été identifiée comme une zone de suture entre un domaine continental et un domaine océanique (Williams et St-Julien, 1982). Le COTM représente les vestiges d'une lithosphère océanique obductée sur la

marge continentale lors la phase orogénique Taconienne des Appalaches à l'Ordovicien inférieur (Pinet et Tremblay, 1995a, b). Le développement d'une semelle dynamothermale de concert avec des contraintes géochronologiques (Whitehead et al., 1995 et 2000) suggèrent que l'obduction de l'ophiolite se soit déroulée peu de temps après sa formation. La signature boninitique des laves du COTM a conduit certains chercheurs à suggérer que l'ophiolite se soit formée dans un milieu de bassin d'avant-arc dans un contexte de suprasubduction (Church 1977, 1987; Pinet et Tremblay, 1995b; Hébert et Bédard, 2000). D'ailleurs, d'autres ophiolites de la zone de Dunnage, notamment l'ophiolite de Betts Cove de la sous-zone de Notre-Dame des Appalaches de Terre-Neuve, présentent également des affinités boninitiques et ont été interprétées comme étant des lambeaux de croûte océanique ordovicienne témoignant de l'expansion du fond océanique dans un bassin marginal d'avant-arc (Bédard et al., 2000).

#### 1.4.2 Géologie régionale

La séquence ophiolitique de Thetford Mines fait environ 10 km d'épaisseur et peut être divisée en deux massifs. Le massif de Thetford Mines (MTM), au nord-ouest, est caractérisé par des roches mantelliques avec une mince couverture de roches crustales, tandis que le massif du Mont Adstock (MMA), au sud-est, est défini par la présence de roches crustales et des faciès effusifs et sédimentaires hypabyssaux, (figure 1.1; Laurent, 1975; Laurent et al., 1979; Schroetter et al., 2003). Une déformation syn-obduction (associée au développement de la semelle dynamothermale) et deux événements de déformation post-obduction (rétrochevauchement et failles normales au Silurien, plissement et failles inverses à l'Acadien; Schroetter et al., 2000, 2002; Tremblay et Castonguay 2002) affectent le COTM. La portion sud a été basculée en position verticale lors d'épisodes de déformation post-obduction. De récents travaux de cartographie (Schroetter et al., 2003) ont mis à jour la présence de failles sub-verticales, orientées N-S à N-NE, espacées à intervalles d'environ 1 km. Les failles sont soulignées par la présence de dunite cisaillée ou mylonitique et de brèches syn-magmatiques auxquelles correspondent des coupures lithologiques. Les brèches sont recoupées par des intrusions

non-déformées de webstérites et péridotites soulignant le caractère pré à syn-magmatique de ces failles.

La stratigraphie du COTM présentée à la figure 1.2 est tirée des travaux de Schroetter et al. (2003). Les secteurs nord et sud du MTM sont respectivement représentés par les colonnes C1 et C2 tandis que les colonnes C3 et C4 sont tirées respectivement des secteurs nord et sud du MMA. L'essentiel des descriptions des unités stratigraphiques provient également de Schroetter et al. (2003) mais on ne peut ignorer l'imposante littérature traitant des diverses unités et minéralisations du COTM, dont certaines références clés telles Kaçira (1971); Laurent (1975, 1977); Laurent et Hébert (1977); Church (1977, 1987); Laurent et al. (1979); Oshin et Crocket (1982, 1986a, b); Hébert (1983); Hébert et Laurent (1989); Corrivaux et Laflamme (1990); Gauthier et al. (1990); Harnois et al. (1990); Olive et al. (1997) et Hébert et Bédard (2000).

La semelle amphibolitique, localisée à la base de l'ophiolite, résulte d'un métamorphisme dynamothermal et témoigne de la mise en place d'une ophiolite jeune et chaude sur la marge laurentienne. La présence d'un gradient métamorphique inverse a été observée, allant du faciès des schistes verts en contact avec les métasédiments vers celui des amphibolites à proximité des péridotites mantelliques (Clague et al., 1981). Les protolithes de la semelle auraient été des roches mafiques à ultramafiques recristallisées et plissées lors d'un détachement intra-océanique, puis transportées sur les métasédiments de la marge continentale (zone de Humber) durant l'orogénie Taconienne (Hébert et Bédard, 2000).

Les péridotites mantelliques forment l'unité la plus importante du MTM avec une épaisseur apparente estimée à 5 km (Laurent, 1975). Localisées à la base du COTM, elles sont essentiellement des harzburgites réfractaires dans lesquelles une fabrique tectonique de haute température ainsi qu'un litage compositionnel occasionnel peuvent être reconnus. Des quantités mineures de dunite podiforme, de dykes de pyroxénite et de chromitite, concordantes ou légèrement discordantes à la fabrique tectonique sont observées (Laurent, 1977). Les péridotites mantelliques sont généralement moyennement

à fortement serpentinisées. Deux principaux épisodes de serpentinisation ont été identifiés par Laurent (1975); un premier consistant en un remplacement partiel ou complet des minéraux ferromagnésiens en conditions réductrices lors d'un refroidissement en milieu océanique et un second, associé à des épisodes de fracturations lors de l'obduction et du transport tectonique des unités ophiolitiques lors de l'orogénie Taconienne. La formation des veines de chrysotile économiques est attribuée à ce second épisode de serpentinisation qui s'est déroulé sous des conditions plus oxydantes. Des résultats d'analyses géochimiques sur roche totale et de chimie minérale indiquent que l'harzburgite est le résidu d'une fusion partielle intense (Hébert, 1985; Hébert et Laurent, 1989). Une faille post-obduction souligne la transition entre les péridotites mantelliques et les faciès cumulatifs (Schroetter et al., 2000). Des intrusions granitiques peralumineuses dont des datations U/Pb sur des zircons indiquent des âges de 470 +5/-3 Ma et de 469 ± 4 Ma (Whitehead et al., 2000), ont de hauts rapports <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr et sont interprétées comme étant dérivées de la fusion des sédiments de la croûte continentale engendrée par le cisaillement de l'ophiolite obductée (Clague et al., 1985; Whitehead et al., 2000).

Les faciès cumulatifs crustaux ont été divisés en trois Zones (Laurent, 1980; Schroetter et al., 2003). La Zone Dunitique fait jusqu'à 500 m d'épaisseur. À la base se retrouve une sous-zone de dunite contenant des lits de chromitite massive de puissance variant typiquement de 1 à 10 cm. Ce type d'occurrence de chromitite constituent les gîtes de chromitites stratiformes (e.g., Reed-Bélanger, American Chrome). Le développement de textures en schlieren et de plis isoclinaux suggère une déformation de haute température (Kaçira, 1971). L'origine de ces lits de chromitite en alternance rythmique avec la dunite est encore incertaine. Ils pourraient refléter l'interaction entre des processus de cristallisation fractionnée, de courants magmatiques, d'assimilation des épontes (notamment des pyroxènes) et d'injections magmatiques épisodiques (Schroetter et al., 2003). Toutefois, il semblerait qu'ils se soient mis en place comme des corps horizontaux et que l'orientation du litage initial pourrait être utilisé pour définir la paléo-horizontale (litage magmatique) dans la Zone Dunitique (Schroetter et al., 2003). Une disparition progressive des lits de chromite souligne la transition vers la sous-Zone Dunitique caractérisée par la présence d'une dunite homogène ne contenant que de 1 à 2% de

chromite disséminée. Le sommet de la Zone Dunitique est soulignée par la présence d'orthopyroxènes disséminés (~5%), par des quantités mineures de chromite (~1%) et par des dykes de webstérites d'orientation É-W, de pendages faibles à sub-horizontaux, dans le massif du Mont Adstock (MMA).

La Zone Pyroxénitique est la mieux développée dans le MMA et atteint une épaisseur maximale de 600 m. Une sous-zone caractérisée par l'alternance rythmique de lits pluridécimétriques (30-60 cm) d'harzburgite, d'orthopyroxénite et de webstérite constitue la base de la Zone Pyroxénitique. Les lits de webstérite sont fréquemment boudinés et transposés par un événement tectono-magmatique précoce (Schroetter et al., 2003). Suit une épaisse sous-zone de pyroxénites massives principalement constituées de webstérite litée. D'une épaisseur variant de quelques centimètres à quelques mètres, le litage reflète généralement des variations dans le rapport orthopyroxène vs clinopyroxène. Certains lits montrent un classement modal avec des clinopyroxènes en texture cumulus au sommet. À certains endroits (e.g., Collines Diamond) de minces lits, veines ou schlieren riches en olivine peuvent séparer les lits pyroxénitiques. Des répétitions de séquences litées harzburgite/webstérite (10-15 cm), très similaires à celles de la sous-zone de base, sont intercalées à l'intérieur des pyroxénites massives. D'après Schroetter et al. (2003) ces intercalations des séquences harzburgite/webstérite peuvent témoigner d'apports magmatiques dans une chambre magmatique poly-cyclique ou peuvent représenter des filons-couches affectés par de la déformation tectono-magmatique de haute température. Des filons-couches de dunite massive (20-30 m) et de harzburgite/lherzolite (2-3 m) sont intrusifs dans les webstérites massives. Le granoclassement d'un filon-couche de lherzolite indique une polarité vers le S-SW. Des dykes finements grenus orientés perpendiculairement par rapport au litage sont localement abondants.

Atteignant les 1200 m d'épaisseur, la Zone Gabbroïque varie dans son ensemble de norite à gabbronorite à la base, de gabbro au centre et d'un complexe supérieur composé de gabbro à hornblende, d'hornblendite, de dykes granitiques, de cataclasites et d'intrusions trondhjémitiques. Les norites, gabbronorites et gabbros sont finement à moyennement grenus et des lits discontinus de composition mélagabbroïque à pyroxénitique (1-5 cm) y

sont fréquemment observés. Des amas ou lits d'hornblendite litée ou de textures variées, sont généralement associés à des gabbros à hornblende (moyennement grenus à pegmatitiques). Les intrusions trondhjémitiques, variant de 1 cm à 30 m d'épaisseur, sont localisées dans la portion supérieure des gabbros et peuvent être observées en remplissage de brèches entre des fragments anguleux de gabbros et parfois sous forme de dykes dans les zones Dunitique et Pyroxénitique. Des âges de 478+3/-2 et 480±2 Ma obtenus pour des datations U/Pb sur des zircons provenant des throndhjémites (Whitehead et al., 2000) sont interprétés comme reflétant l'âge de cristallisation du COTM.

Un complexe filonien et un faciès bréchique sont les faciès hypabyssaux présents audessus des zones gabbroïques et pyroxénitiques. Les dykes sont de compositions mafique-ultramafique, ont des épaisseurs décimétriques à métriques, montrent des textures variées (phénocristaux d'orthopyroxène, microgabbroïque et aphanitique) et les contacts avec les roches encaissantes sont soulignés par une mince bordure de trempe aphanitique. D'orientation générale N-S, les dykes sont sécants par rapport à la foliation magmatique des roches plutoniques hôtes. Schroetter et al. (2003) ont identifié un faciès bréchique qui sépare localement les séquences plutoniques des séquences volcaniques. Avec une épaisseur maximale de 150 m, cette zone est composée de fragments anguleux (90-40%, 1-10 cm) de diabase, microgabbro et gabbro baignant dans une matrice de composition ignée prédominante (microgabbroïque). L'angularité des fragments ainsi que des textures de fracturation *in situ* suggèrent un transport limité. Des filons vésiculaires intra-brèche (1 à 2 cm) de formes irrégulières sont observés.

Les séquences de roches volcaniques et volcanoclastiques du COTM varient latéralement en épaisseur et en lithologie. Dans le MMA, des tufs à blocs faisant de 2 à 20 m d'épaisseur et contenant des blocs arrondis de laves coussinées (en moyenne de tailles décimétriques) sont observés. Des laves coussinées vésiculaires (0,5 à 1,5 m) avec coulées massives intercalées leurs succèdent. Le MTM est caractérisé par une abondance de brèches de coulées pyroclastiques refermant des fragments arrondis (dacite, gabbro et pyroxénite) avec intercalations de tuf dacitique et d'argilite. Deux unités volcaniques, séparées par 1 à 2 m d'argilite, ont été reconnues au Lac de l'Est. L'unité volcanique

inférieure est d'affinité tholéiitique et boninitique tandis que l'unité supérieure est dominée par la présence de boninites (Hébert, 1983; Hébert et Bédard, 2000). Les boninites sont des laves riches en MgO et pauvres en TiO<sub>2</sub>, qui représentent un magma primitif généré par la fusion partielle, à faible profondeur, d'une péridotite appauvrie dans un contexte de subduction (Crawford et al., 1981; Coish et al., 1982; Hickey et Frey 1982). Les roches volcaniques et volcanoclastiques du COTM sont surmontées d'une brèche polygénique (Brèche de Coleraine) contenant des fragments ophiolitiques et métasédimentaires dans une matrice épiclastique qui semble représenter des coulées de débris sous-marines (Hébert, 1981; Schroetter et al., 2004). Le Mélange de Saint-Daniel, essentiellement composé de shales noirs et de grès dolomitiques renfermant des fragments tant de nature péridotitique que continentale, est interprété comme étant en contact stratigraphique conforme avec les unités supérieures du COTM (Dérosiers, 1971; Hébert, Y., 1983 et Schroetter et al., 2000 et 2002). Ceci implique que le Mélange de Saint-Daniel représente le développement d'un bassin de type « piggy-back » et qu'il correspond à l'unité inférieure d'une séquence de bassin d'avant-arc (Groupe de Magog) (Schroetter et al., 2003).

### 1.4.3 Géologie locale

La zone d'étude est localisée au sud de la ville de Thetford Mines dans le secteur des Collines Diamond, chevauchant le contact entre la Zone Dunitique et la Zone Pyroxénitique du COTM (figure 1.3). La lithologie dominante du secteur est une dunite homogène, localement bréchifiée ou cisaillée, contenant une proportion variable de chromite disséminée (2 à 5%). Cette dunite encaisse divers gîtes et indices de chromitite stratiforme. La transition entre les zones Dunitique et Pyroxénitique est soulignée par l'apparition d'orthopyroxènes (~2 mm; 5%) accompagnée d'une diminution de la proportion de chromite (1%) et par la présences de dykes de webstérite. Localement, la proportion d'orthopyroxène est plus élevée (15%) et la roche devient une harzburgite (cumulative). Les pyroxénites sont principalement des webstérites moyennement grenues, de patine brun-orangé, fréquemment recoupées par des veines de péridotite d'épaisseur millimétriques à décimétriques. Un peu d'orthopyroxénite et de clinopyroxénite sont

localement observées. Les observations de terrain indiquent la présence d'une dunite intrusive s'injectant dans le cœur du massif pyroxénitique.

La présence de failles cassantes ayant une orientation générale N-S à pendage sub-vertical est observée dans le secteur d'étude (figure 1.3). Ces dernières soulignent localement le contact entre les zones Dunitique et Pyroxénitique lui conférant un aspect plus tectonique que transitionnel. Ces structures sont soulignées par la présence de dunite bréchique. Des failles ayant des orientations similaires et découpant la lithosphère océanique ont été reconnues ailleurs dans le massif du Mont Adstock (Schroetter et al., 2003). La présence de zones de failles correspondant à des cassures dans la stratigraphie, soulignées par la présence de dunite bréchique à mylonitique, ainsi que l'observation de brèches synmagmatiques recoupées par des intrusions de webstérite et de péridotite, ont amené Schroetter et al. (2003) à interpréter ces grandes structures comme étant des failles reliées à l'extension syn-océanique. L'indice Star Chrome est localisé entre deux de ces structures N-S.

#### 1.4.4 L'indice Star Chrome

Sur le terrain, le secteur de l'indice Star Chrome consiste en une légère remontée topographique sur le flanc sud d'une des Collines Diamond (figure 1.3) dont la limite nord est soulignée par la présence d'une zone marécageuse. La figure 1.4 illustre le contour des affleurements à l'indice Star Chrome. La lithologie principale observée est la webstérite telle que décrite précédemment. Les veines de péridotites sont relativement bien organisées par rapport à l'ensemble du secteur avec une orientation N-NW, soit subparallèle aux failles d'extension océanique, conférant un aspect pseudo-lité à la webstérite (planche 1.1). Localement une orientation NE est observée pour certaines veines de péridotite et fractures (figure 1.4 et planche 1.2). S'agit-il d'un réseau de veines conjuguées ou d'un réseau tardif relié à la déformation acadienne? Un regard plus détaillé sur la relation entre ces deux réseaux de veines serait nécessaire pour lever l'ambiguïté.

La Zone Minéralisée, mise à jour lors des travaux de terrain, est localisée entre deux anciennes fosses d'exploitation et couvre une surface d'environ 60 m². Les lithologies retrouvées sont une webstérite riche en clinopyroxène, de la dunite à chromite disséminée (~5%), un faciès hybride webstérite/dunite et des veines de chromitite massive avec une auréole orthopyroxénitique (figure 1.5). La chromitite forme un réseau de veines anastomosées, d'épaisseur variant de 0,5 à 10 cm, bordées par de l'orthopyroxénite et contenue dans un plan d'orientation générale N-NW penté à 40-50° (planche 1.3A). Des textures de remplissage de brèche et anti-nodulaire (nodules d'orthopyroxènes baignant dans une matrice de chromitite), similaires à celles observées au gîte Hall, sont localement observées (planche 1.3B). Des veines de chromitite sont aussi présentes dans la dunite et les unités de faciès hybride webstérite/dunite (planche 1.4). De fines veinules de serpentine recoupent les veines de chromitite sans emprunter un réseau de fractures défini.

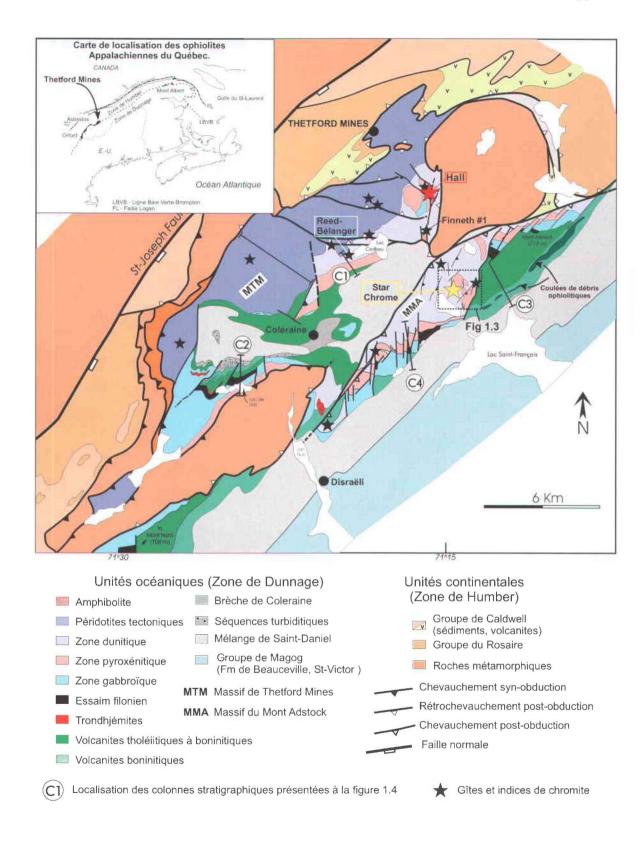


Figure 1.1. Carte géologique et structurale indiquant la position des principaux gîtes et indices de chromite au sein du complexe ophiolitique de Thetford Mines, modifiée de Schroetter et al. (2003).

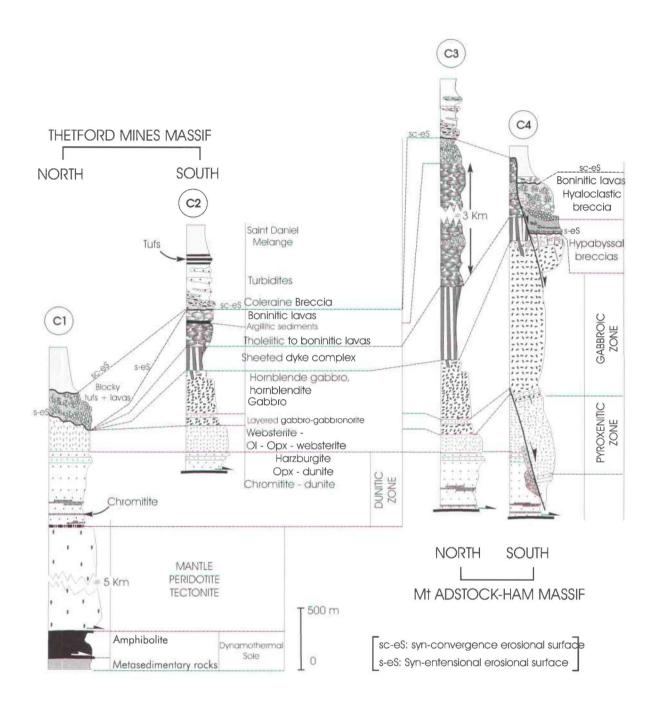


Figure 1.2. Colonnes stratigraphiques du Massif de Thetford Mines (MTM), C1 et C2, représentant respectivement les secteurs du Lac Caribou et du Lac de l'Est, et des secteurs nord (C3) et sud (C4, Lac Bisby) du Massif du Mont Adstock, tirée de Schroetter et al. (2003).

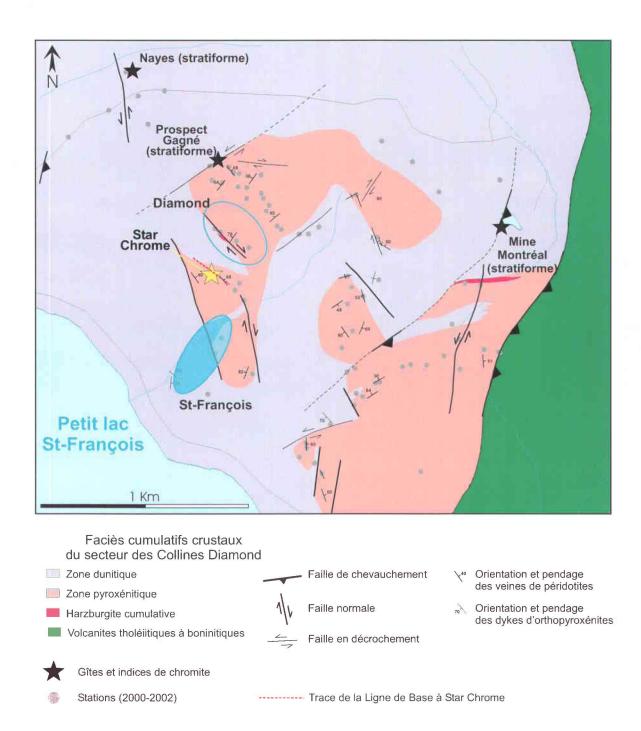


Figure 1.3. Carte géologique et structurale des faciès cumulatifs crustaux du secteur des Collines Diamond présentant la localisation des stations de levés ainsi que celle des gîtes et indices de chromite, modifiée de Schroetter (données non publiées). Les ellipses indiquent les stations utilisées pour caractérisation des secteurs Diamond (ellipse vide) et Saint-François (ellipse pleine) dans l'étude.

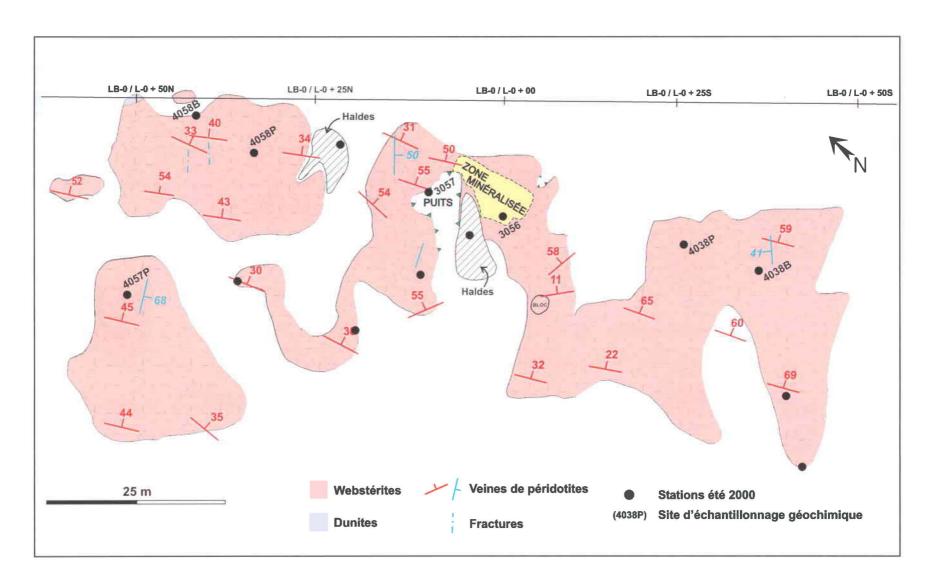
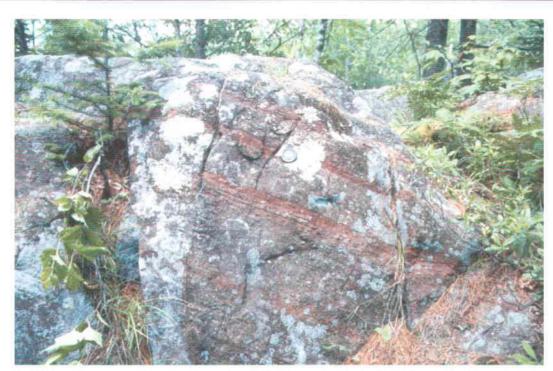
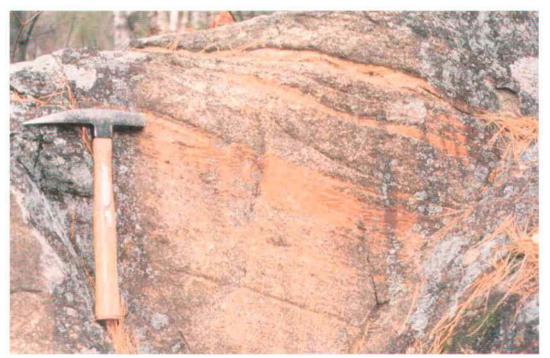


Figure 1.4. Carte géologique et structurale des affleurements observés à l'indice Star Chrome.

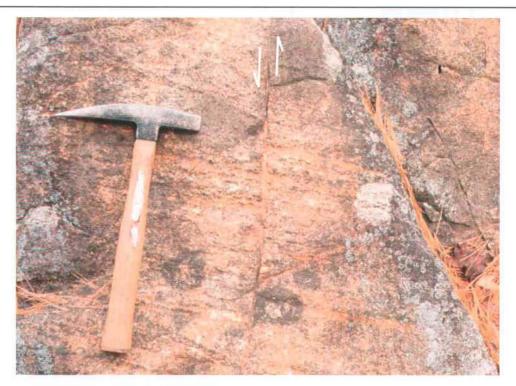


A. Webstérite recoupée par veines de péridotites, vue générale. Veines orientées vers le N-NW. (Capuchon = 5 cm)



B. Webstérite recoupée par veines de péridotite (orange), vue détaillée. Des laminations sont reconnues à l'intérieur des veines. (Marteau = 35 cm)

Planche 1.1. Webstérite du secteur de l'indice Star Chrome recoupée par des veines de péridotite d'orientation N-NW.



A. Fracture remplie de péridotite montrant un mouvement apparent senestre.



B. Veine de péridotite (P) montrant un mouvement apparent senestre.

Planche 1.2. Fractures et veines de péridotite d'orientation NE.

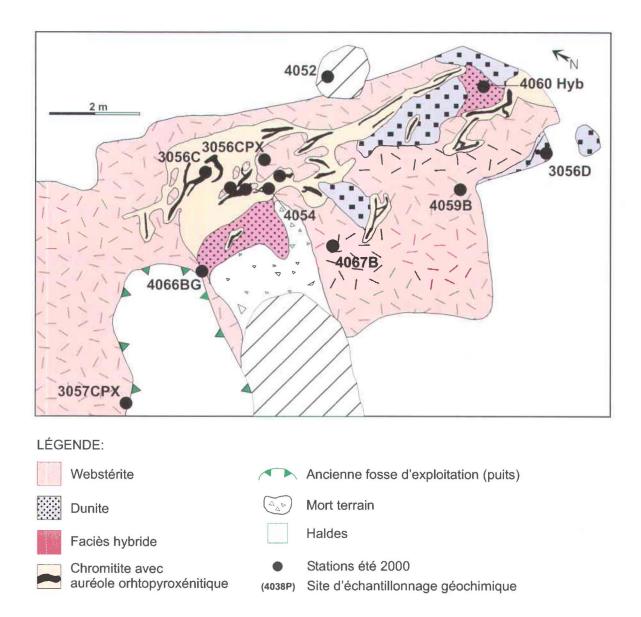


Figure 1.5. Carte géologique de la Zone Minéralisée de l'indice Star Chrome.

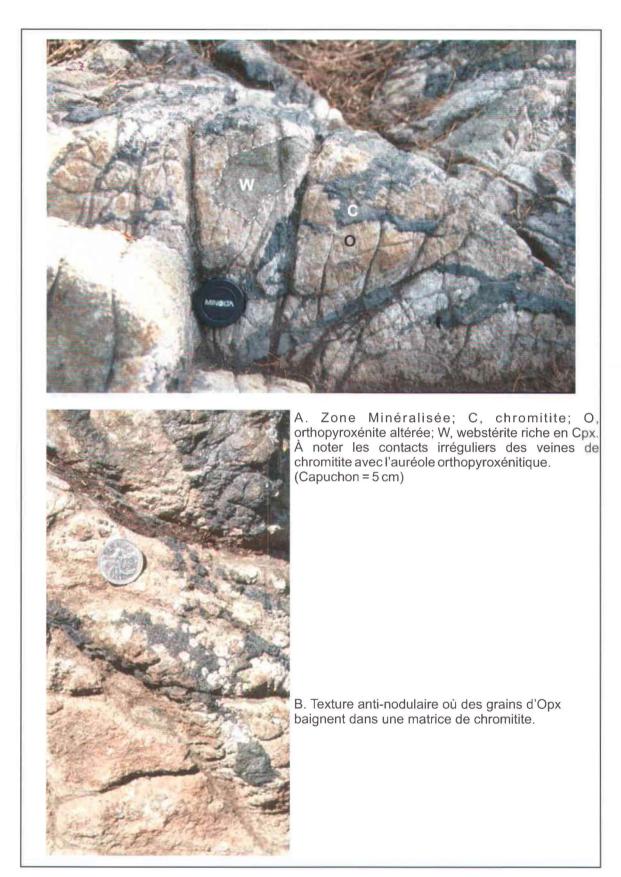
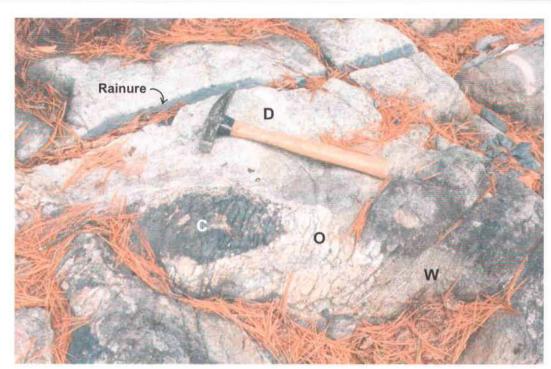
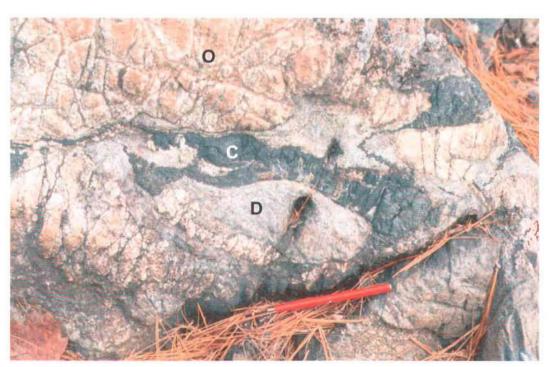


Planche 1.3. Zone Minéralisée de l'indice Star Chrome.



A. Wehrlite dunitique de la portion NE de la Zone Minéralisée; D, dunite; C, chromitite; O, auréole orthopyroxénitique; W, webstérite riche en Cpx. (Marteau = 35 cm)



B. Wehrlite dunitique au coeur de la Zone Minéralisée; D, dunite; C, chromitite; O, auréole orthopyroxénitique. La chromitite montre des évidences de déformation plastique de haute température. (Crayon = 12,5 cm)

Planche 1.4. Wehrlite dunitique de la Zone Minéralisée.

#### **CHAPITRE II**

# CARACTÉRISATIONS PÉTROGRAPHIQUES

#### 2.1 INTRODUCTION

Ce chapitre présente une étude pétrographique effectuée au moyen d'observations mégascopiques et microscopiques des différentes lithologies constituant la Zone Minéralisée, le secteur affleurant de l'indice Star Chrome ainsi qu'une portion de la Zone Dunitique et de la Zone Pyroxénitique localisée entre le Petit Lac Saint-François et les Collines Diamond. Chaque lithologie sera décrite individuellement. Une synthèse des descriptions pétrographiques est présentée au tableau 2.1. Il est à noter que les échantillons se rapportant à la minéralisation ainsi qu'aux lithologies encaissantes de l'indice Star Chrome seront dorénavant subdivisés sur base de leur localisation. Il y a donc des échantillons provenant du puits, c'est-à-dire les échantillons de chromitite, dunite et pyroxénite qui ont été prélevés des parois et du plancher de la fosse d'exploitation principale (figure 1.4), et des échantillons de la Zone Minéralisée qui proviennent de la zone affleurante localisée à l'ouest du puits et mise à jour par les travaux de décapage (figures 1.4 et 1.5).

### 2.2 DUNITE

Principalement observée dans le secteur du Saint-François et en flanc des Collines Diamond, la dunite est également présente au plancher du puits et dans le secteur NE de la Zone Minéralisée de l'indice Star Chrome. La dunite est de granulométrie fine, de couleur blanche à grise en surface altérée et noire en cassure fraîche et ne montre aucun

litage apparent. La présence de filons centimétriques de webstérite, d'une texture bréchique et d'un contact cisaillé avec la webstérite, suggérerait que la dunite du secteur Saint-François appartiendrait à la portion sommitale de la Zone Dunitique. En flanc des Collines Diamond et à l'indice Star Chrome la dunite est massive, contient des pyroxènes disséminés ou en amas centimétriques, et semble appartenir à un corps intrusif faisant environ 200 mètres d'épaisseur. L'observation microscopique montre que l'olivine a été presque complètement serpentinisée (antigorite, parfois à structure maillée; proportion de 70 à 90%) et que seulement quelques reliques d'olivine peuvent être reconnus (≤ 0,5 mm; traces à 25%). Des veinules tardives de chrysotile (0,1 à 0,5 mm d'épaisseur) soulignent la présence d'au moins deux phases de serpentinisation; une première phase pervasive affectant l'ensemble de la roche (remplacements pseudomorphiques) et une ou plusieurs autres phases associées à de la déformation fragile, principalement contrôlées par l'ouverture de fissures. Ces différentes phases de serpentinisation ont également été observées dans les cumulats ultramafiques (dunite, wehrlite, pyroxénite) localisés au nord du gîte Hall (Tanguay et al., 1990). Dans le secteur des Collines Diamond, la dunite contient des orthopyroxènes altérés en bastite et serpentine. Ces derniers sont de tailles millimétriques et sont localement observés dans des proportions atteignant les 20% consacrant ponctuellement une composition d'harzburgite dunitique à la roche. De 10 à 20 % de clinopyroxène, de diamètre variant de 0,2 à 3 mm, sont observés dans les unités dunitiques du puits et de la ZM leurs attribuant une composition de wehrlite dunitique. La distribution et le degré d'altération du clinopyroxène varient en fonction de la localisation des échantillons. Ainsi, le clinopyroxène contenu dans la wehrlite dunitique de la ZM est idiomorphe, frais et fréquemment regroupé en amas centimétriques, tandis que celui contenu dans la wehrlite dunitique du puits est hypidiomorphe, amphibolitisé (actinote), disséminé et fracturé. De manière générale, dans la dunite du secteur Saint-François, dans l'harzburgite dunitique du secteur des Collines Diamond et dans la wehrlite dunitique du puits et de la ZM de l'indice Star Chrome, des grains de chromite, idiomorphes à hypidiomorphes, fracturés et parfois entourés d'auréoles de magnétite (planche 2.1A), sont observés dans une proportion approximative de 5 à 10%. Leur taille est généralement inférieure à 1 mm exception faite de la chromite contenue dans l'harzburgite dunitique des Collines Diamond dont la taille peut atteindre 2 mm de

diamètre. Des amas xénomorphes de magnétite (µm à mm; traces à 5%) ainsi que des sulfures (µm; traces) sont disséminés dans la serpentine. Quelques sulfures sont retrouvés en inclusions dans ces amas de magnétite.

## 2.3 WEBSTÉRITE

La webstérite du secteur des Collines Diamond constitue un corps plutonique de plus de 2000 m² au sein du massif du Mont Adstock. Le secteur est dominé par une webstérite riche en clinopyroxène hypidiomorphe (55 à 75%). Moyennement à grossièrement grenue (0,4 à 7 mm) avec localement des passages pegmatitique (3 à 7 cm). Cette lithologie est généralement de couleur brun orangé en surface altérée et de couleur gris verdâtre en cassure fraîche. La couleur en surface altérée est toutefois de gris verdâtre dans le secteur Saint-François et tire sur le vert pomme dans la Zone Minéralisée. Cette variation de couleur semble refléter la proportion relative d'olivine relique qui est généralement plus élevée dans ces secteurs comparativement aux secteurs des Collines Diamond et de Star Chrome. Des textures équigranulaire et d'intercroissance entre les grains de clinopyroxène sont fréquemment observées (planche 2.1B). Des inclusions et exsolutions micrométriques de clinopyroxène et d'orthopyroxène sont présentes le long des clivages. Le clinopyroxène est généralement peu altéré à l'exception des échantillons prélevés en flanc des Collines Diamond où le clinopyroxène montre une forte altération en actinotetalc. L'orthopyroxène est en abondance variant de 5 à 30%, de taille variant de 0,2 à 3 mm et est typiquement en position interstitielle par rapport aux Clinopyroxène. Seuls quelques cœurs d'Orthopyroxène ont été préservés d'une altération en bastite (couleur brunâtre en lumière naturelle). Des amas d'olivine relique altérée en serpentine et iddingsite (0,1 à 0,4 mm) sont observés de 5 à 30%, formant une texture inter-cumulative avec le clinopyroxène. De 5 à 20% de serpentine, sous forme de veinules tardives micrométriques, recoupent les pyroxènes. Les minéraux opaques sont de tailles micrométriques (≤ 0,4 mm, traces à 10%) et consistent en des grains xénomorphes de chromite et de magnétite associés à la serpentine ou en inclusion dans le clinopyroxène (planche 2.2A). Des traces de sulfures (pentlandite, pyrrhotite, chalcopyrite) en bordures

d'Orthopyroxène ou en inclusions dans les pseudomorphes d'olivine, dans la magnétite ou les veinules de serpentine tardives sont également observées (planche 2.2B).

## 2.4 VEINES DE PÉRIDOTITE

La présence de veines de péridotite est caractéristique du massif pyroxénitique des Collines Diamond. Ces veines sont de couleur orangé, de granulométrie fine et contiennent un pourcentage de clinopyroxène qui varie de traces à 54%. Cette proportion élevée en pyroxène, indiquant des variations de composition de clinopyroxénite (ou webstérite) à olivine, à wehrlite, à dunite, reflètent en partie la difficulté d'échantillonnage compte tenu que l'épaisseur de certaines veines ne dépasse pas l'ordre du millimètre. En affleurement, une texture de fluage est localement observée (planche 1.1). Le clinopyroxène est idiomorphe, peu altéré, disséminé ou en amas centimétriques. Lorsque disséminé, il a un diamètre maximal de 0,5 mm tandis que sa taille varie de 0,2 à 7 mm lorsque observé en amas (planche 2.3A). Quelques orthopyroxène altérés en bastite (0,5 mm) sont reconnus dans une proportion ne dépassant pas 5%. À un endroit, dans la portion SE de la zone affleurante du secteur de l'indice Star Chrome, un fin horizon d'orthopyroxènes altérés (environ 1 cm d'épaisseur) soulignant le contact entre la webstérite et une veine de péridotite a été observé. Ce faciès de contact n'est pas sans rappelé une certaine analogie avec les bordures réactionnelles orthopyroxénitiques qui bordent les veines de chromitites du puits et de la Zone Minéralisée. La serpentine, en remplacement de l'olivine, varie de 40 à 95% en abondance. Dans les échantillons contenant beaucoup de pyroxènes, la serpentine est interstitielle et correspond à l'altération de l'olivine, tandis que de l'antigorite à structure maillée est reconnue dans les échantillons où la serpentine compte pour 95% des phases minérales. La concentration des minéraux opaques (jusqu'à 5%) est inversement proportionnelle par rapport à l'abondance de pyroxènes. De la chromite idiomorphe (0,3 à 1 mm) est principalement observée dans les échantillons riches en serpentine. Des sulfures micrométriques et de la magnétite sont présents en traces.

# 2.5 FACIÈS HYBRIDE WEBSTÉRITE/DUNITE

Soulignant le contact entre la dunite et la webstérite de la Zone Minéralisée (ZM), un faciès de composition hybride entre la webstérite et la dunite est localement observé (figure 1.5). Ce faciès est caractérisé par des contacts graduels avec la dunite mais généralement francs avec l'auréole orthopyroxénitique et la webstérite. Le faciès hybride contient 40% de clinopyroxène hypidiomorphe, peu altéré et de 0,5 à 2 mm de diamètre. Une texture d'inter-croissance des clinopyroxènes est observée. De l'olivine serpentinisée, comptant pour 30% des phases minérales observées, est regroupée dans une veine d'environ 3 mm de largeur. 5% de serpentine sous forme de veinules tardives et 5% d'orthopyroxène serpentinisé sont reconnus. 20% de minéraux opaques dont la majorité consiste en de la magnétite associée à la veine riche en olivine sont observés. Des grains de chromite avec auréoles de magnétite ainsi que des sulfures micrométriques sont également observés. Les grains de chromite sont généralement associés aux grains d'orthopyroxène.

# 2.6 AURÉOLE ORTHOPYROXÉNITIQUE

Une auréole d'orthopyroxénite, massive et d'épaisseur centimétrique à décimétrique, borde l'ensemble des veines de chromitite de la Zone Minéralisée. Cette auréole souligne un contact, possiblement de nature réactionnelle, entre la chromitite et la webstérite encaissante. Localement, elle contient des enclaves de webstérite sont (planche 1.3A). Lorsque les veines de chromitite sont encaissées dans de la dunite, l'auréole orthopyroxénitique est moins massive et n'est qu'occasionnellement en contact direct avec la chromitite (planche 1.4B). Dans ces cas, la concentration en Orthopyroxène souligne le contact entre la dunite et la webstérite hôte. De granulométrie moyenne (0,4 à 4 mm) et de couleur beige à brunâtre en surface altérée, l'auréole orthopyroxénitique est constituée de 70 à 90% d'orthopyroxène sub-idiomorphe, fortement altéré en serpentine et bastite, avec quelques cœurs préservés. L'observation microscopique montre que

l'orthopyroxène de l'auréole orthopyroxénitique est tardif par rapport au clinopyroxène de la webstérite encaissante (planche 2.3B). De 5 à 20% de serpentine est observée en remplissage interstitiel ou sous forme de veinules millimétriques tardives. Le clinopyroxène (5 à 10%) forme des inclusions et des exsolutions micrométriques (< 0,5 mm) le long des clivages de l'orthopyroxène. Les minéraux opaques (traces) sont des grains de chromite (µm à 0,4 mm) concentrés en bordure ou en inclusion (rare) dans l'orthopyroxène.

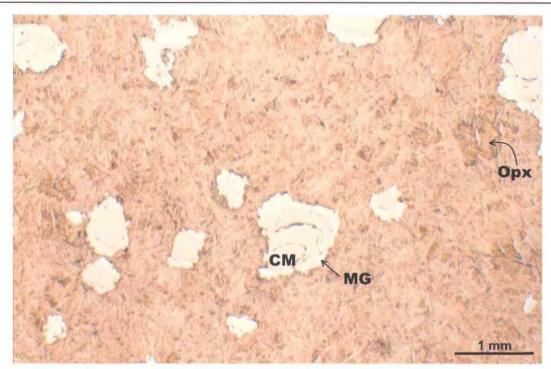
### 2.7 CHROMITITE

Les veines de chromitite de la Zone Minéralisée sont d'épaisseurs centimétriques à décimétriques et forment un réseau anastomosé. La chromitite est bordée par une auréole orthopyroxénitique lorsqu'elle est encaissée dans la webstérite (planche 1.3A). Lorsque encaissée dans la dunite, la chromitite est en contact franc avec celle-ci (planche 1.4B). Les observations microscopiques ont révélé que les veines sont constituées d'alternances de plages centimétriques de chromitite massive, où aucune forme de grains n'est reconnaissable, avec des portions de chromite disséminée à semi-massive (20 à 70%). La chromitite massive est plus ou moins fracturée et est affectée d'un remplacement des bordures en magnétite tandis que les chromites disséminées exposent des grains idiomorphes (0,2 à 2 mm) avec de la serpentine ou du clinopyroxène amphibolitisé (actinote) comme phases interstitielles (planche 2.4A). Des veinules tardives de serpentine sont visibles. De 10 à 20% d'olivine relique (serpentine) sont reconnus. Le contact entre la chromitite et l'auréole orthopyroxénitique est franc. Les bordures des grains disséminés de chromite idiomorphes sont moulées par de l'orthopyroxène (planche 2.4B) ou sont soulignés par une bande diffuse de serpentine, atteignant 0,5 mm d'épaisseur. La texture anti-nodulaire, localement observée en affleurement (planche 1.3B), correspond à une zone de transition entre une veine de chromitite et l'auréole orthopyroxénitique. Elle se traduit par des grains d'orthopyroxène de tailles millimétriques (2 à 4 mm), sub-idiomorphes, entourés par des réseaux de grains disséminés de chromite (µm à 0,1 mm) (planche 2.5A). Généralement les grains de

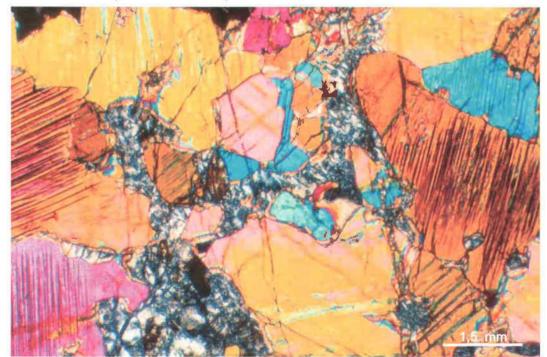
chromite sont jointifs mais parfois de la serpentine et de l'orthopyroxène altéré les séparent. Les autres phases opaques sont la magnétite, fréquemment en remplacement des bordures et en remplissage de fractures, et des sulfures. Ces derniers consistent en de la pentlandite et de la pyrrhotite (µm jusqu'à 1 mm) encaissées dans la serpentine. De rares inclusions silicatés et sulfurées (µm) sont observées dans les grains de chromite (planche 2.5B).

Tableau 2.1. Tableau synthèse des observations pétrologiques des différentes lithologies du secteur d'étude.

LITHOLOGIE	TEXTURE	MINÉRALOGIE ET PARTICULARITÉS
Dunite (Saint-François)	Texture bréchique, roche aphanitique de patine blanche avec quelques grains de chromite disséminés (<1 mm).	- 80% serpentine (antigorite à structure maillée) et 5% Opx reliques. Chromite (7%) dont les cœurs atteignent 0.2 mm avec auréole de magnétite d'environ 0.1 mm d'épaisseur. Pas de sulfures observés.
Webstérite (Diamond) (Secteur Star Chrome)	Granulométrie moyenne, patine brun-orangé. Texture primaire équigranulaire.	- 60 à 70% de Cpx hypidiomorphes généralement peu altérés avec inclusions et exsolutions fréquentes le long des clivages. 5 à 25% de serpentine en altération ou en veinules tardives. 5 à 10% d'olivines entièrement serpentinisées. 5% d'Opx reliques (bastite) dont certains cœurs ont été préservés. 2 à 5% de minéraux opaques xénomorphes et idiomorphes µm à 0,1 mm (magnétite et chromite).
Veines de péridotite (Diamond) (Secteur Star Chrome)	Veines centimétriques à décimétriques de patine orangée. Granulométrie fine (≤1mm).	- 30 à 95% serpentine (veinules de chrysotiles et antigorite). 5 à 25% d'olivines reliques (serpentine). Tr. à 54% de pyroxènes (Cpx et Opx). 2 à 5% de minéraux opaques principalement de la chromite idiomorphe (0,1 à 1 mm) et traces de sulfures.
Zone Minéralisée :		
Webstérite	Granulométrie moyenne, patine vert pomme. Texture primaire équigranulaire.	- 55 à 75% de Cpx idiomorphes peu altérés avec inclusions et exsolutions fréquentes le long des clivages. 5 à 30% de serpentine interstitielle. Tr à 20% d'olivines reliques (serpentinisée) et Tr. à 20% d'Opx reliques (bastite). 5 à 10% de minéraux opaques µm à 0,5 mm (magnétite, sulfures et chromite en traces).
Dunite	Granulométrie fine (< 2mm), patine gris clair.	- 70 à 90% de serpentine dont certains contours d'olivines reliques peuvent être reconnus. 10 à 20% de Cpx, frais à amphibolitisés. 2 à 10% de minéraux opaques µm à 0,5 mm (chromite idiomorphe, magnétite et sulfures).
Orthopyroxénite	Auréole centimétrique bordant les veines de chromitite. Granulométrie moyenne, patine beige.	- 70 à 90% d'Opx altérés (bastite) dont certains cœurs ont été préservés. 5 à 20% de serpentine et 5 à 10% de Cpx interstitels et en exsolutions le long des clivages des Opx. Minéraux opaques en traces (µm à 0,4 mm).
Veines de chromitite	Veines massives centimétriques anastamosées.	- 40 à 60% de chromite idiomorphe en amas ou disséminée avec quelques rares inclusions (silicates et sulfures). 10 à 40 % de serpentine. 5 à 20 % de Opx reliques. Tr. à 20% de Cpx interstitiels. Tr. de magnétite et de sulfures disséminés.

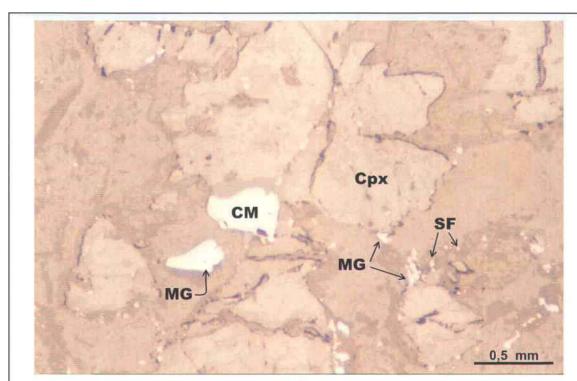


A. Grains de chromite (CM) disséminés bordés d'une auréole de magnétite (MG) dans une dunite du secteur Saint-François. La matrice est entièrement composée de serpentine (antigorite) avec quelques plages d'orthopyroxène (Opx) altéré. Microphotographie en lumière réfléchie. (Échantillon 4040D)

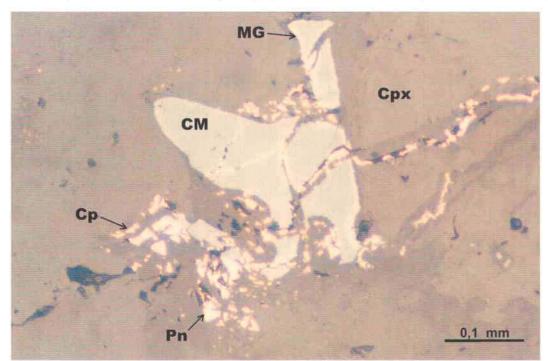


B. Webstérite, aspect général. Texture d'inter-croissance entre grains de clinopyroxène et olivine relique en position intercumulative. Microphotographie en lumière polarisée. (Échantillon 4058B)

Planche 2.1. Chromite disséminée dans la dunite (A) et aspect général de la webstérite (B)

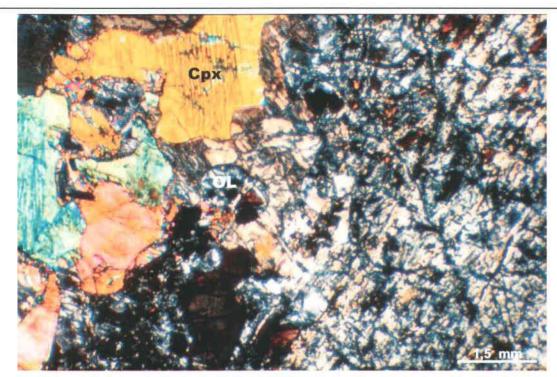


A. Grains de chromite (CM) localement bordés d'une auréole de magnétite (MG) en bordure d'un grain de clinopyroxène (Cpx) dans une webstérite. Magnétite xénomorphe et sulfures encaissés dans de la serpentine interstitielle. Microphotographie en lumière réfléchie. (Échantillon 3056 CPX)

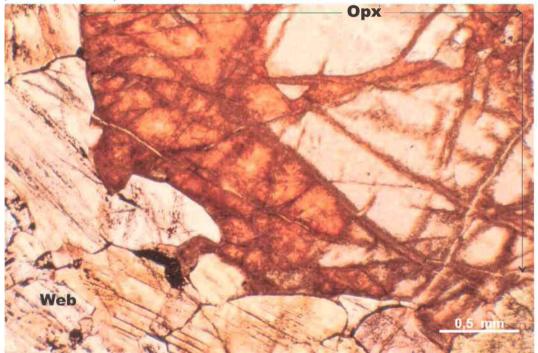


B. Grain de chromite avec une mince auréole de magnétite encaissé dans de la serpentine en bordure d'un clinopyroxène (Cpx). Sulfures (pentlandite, Pn et chalcopyrite, Cp) associés à serpentine tardive en remplissage de fractures. Microphotographie en lumière réfléchie. (Échantillon 4057B)

Planche 2.2. Minéralisations en chromite, magnétite et sulfures encaissées dans la webstérite.

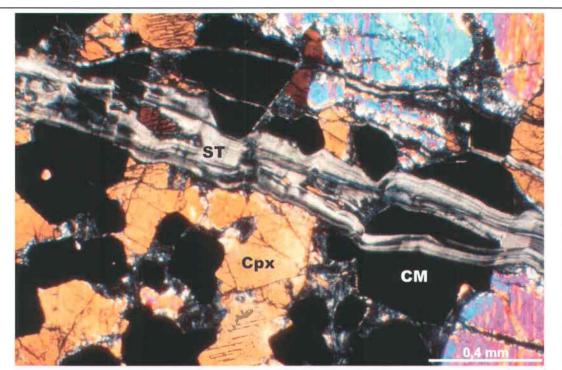


A. Contact entre amas de Cpx et serpentine dans une veine de péridotite. Présence de pseudomorphes d'olivine (OL) dans la serpentine. Microphotographie en lumière polarisée. (Échantillon 4058P)

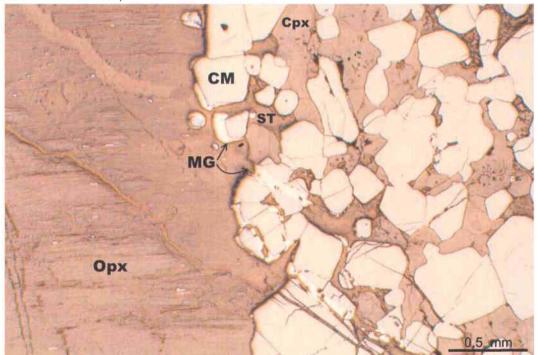


B. Opx de l'auréole orthopyroxénitique (couleur brunâtre) entourant un Cpx de la webstérite encaissante (Web). À noter que seuls quelques coeurs d'Opx ont été préservés de l'altération en bastite. Microphotographie en lumière naturelle. (Échantillon 4053T-LM2)

Planche 2.3. Contact entre la serpentine et un amas de clinopyroxène dans une veine de péridotite (A) et contact entre l'auréole orthopyroxénitique et la webstérite encaissante (B).

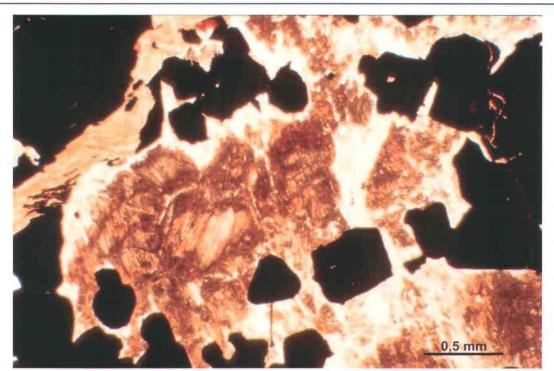


A. Grains de chromite disséminés (CM) dont les phases interstitielles sont des clinopyroxènes (Cpx), des olivines reliques et de la serpentine (ST). Veinule tardive de serpentine montrant plusieurs épisodes de remplissage de fracture. Microphotographie en lumière polarisée. (Échantillon 4104A-LM2)

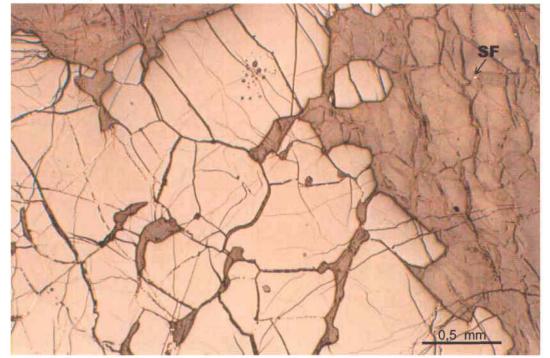


B. Grains de chromite (CM) sub-idiomorphes en contact avec l'auréole orthopyroxénitique. L'orthopyroxène (Opx) moule les contours de grains de chromite. À noter la présence de magnétite (MG) concentrée au contact orthopyroxène-chromitite. Clinopyroxène (Cpx) et serpentine (ST) en phases interstitielles.

Planche 2.4. Plage de chromite disséminée dans chromitite (A) et contact entre auréole orthopyroxénitique et chromitite (B).



A. Grains de chromite (CM) disséminés entourant Opx altérés (couleur brunâtre) de l'auréole orthopyroxénitique reflétant la texture anti-nodulaire observée en affleurement. Fréquemment, un grain unique d'orthopyroxène altéré est ainsi isolé. Microphotographie en lumière naturelle. (Échantillon 4102)



B. Chromitite massive fracturée présentant des inclusions silicatées micrométriques. Sulfures (SF) encaissés dans de la serpentine. Microphotographie en lumière réfléchie. (Échantillon 4055A)

Planche 2.5. Texture anti-nodulaire (A) et inclusions silicatées et présence de sulfures dans serpentine en bordure de chromitite (B).

### **CHAPITRE III**

## CHIMIE MINÉRALE

### 3.1 INTRODUCTION

Afin de compléter la caractérisation pétrologique des différentes unités, des analyses de chimie minérale ont été réalisées sur les principales phases minérales telles le clinopyroxène, l'orthopyroxène, le spinelle et quelques minéraux d'altération. Les analyses de spinelle chromifère fourniront également des indices quant à l'environnement tectonique de formation des différentes lithologies et permettront une certaine discrimination entre les unités *cumulatives* par rapport à de possibles unités *intrusives*. Ces analyses serviront aussi à classifier les chromitites de Star Chrome par rapport aux autres chromitites platinifères du COTM. L'ensemble des résultats obtenus est présenté à l'annexe 1 pour chaque échantillon.

# 3.2 CLINOPYROXÈNE

Les clinopyroxènes analysés sont tous des diopsides (figure 3.1), qu'il s'agisse des clinopyroxènes millimétriques constituant la principale phase minérale de la webstérite, des clinopyroxènes disséminés ou en amas retrouvés dans les veines de péridotite et les unités dunitiques (harzburgite dunitique des Collines Diamond et wehrlite dunitique du puits et de la Zone Minéralisée de Star Chrome) ou de ceux observés en phases interstitielles dans les chromitites. Ces diopsides ( $Wo_{46-48}En_{48-50}Fs_{3-5}$ ) ont de faibles teneurs en  $Al_2O_3$  (< 2,0 %) et en  $TiO_2$  ( $\leq 0,10\%$ ). Le contenu en  $Cr_2O_3$  varie de 0,06 à 1,38% et montre des distinctions selon la lithologie et le secteur géographique. Le

contenu en Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> est plus élevé dans les clinopyroxènes contenus dans les chromitites et unités dunitiques (teneurs moyennes respectives de 0,74 et 0,81% en Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) que dans les clinopyroxènes contenus dans la webstérite (moyenne de 0,59% de Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Les clinopyroxènes contenus dans la webstérite montrent des contenus en Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> similaires d'un secteur géographique à un autre (0,65 %, ZM; 0,54%, secteur Star Chrome; 0,67%, secteur Saint-François) à l'exception des clinopyroxènes du secteur des Collines Diamond (4048W et 4050B) qui n'indiquent en moyenne que 0,27% de Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Le contenu en magnésium des clinopyroxènes varie peu avec un Mg# moyen [Mg/(Mg+Al)] de 0,93.

## 3.3 ORTHOPYROXÈNE

Compte tenu de la forte altération de l'orthopyroxène, les analyses ont principalement été réalisées sur des cœurs d'orthopyroxènes préservés. L'essentiel des orthopyroxènes analysés proviennent de l'auréole orthopyroxénitique; seulement quelques analyses d'orthopyroxènes interstitiels ont pu être réalisées (échantillon 4059B de webstérite proximale de la Zone Minéralisée). L'ensemble des analyses concordent entre-elles et indiquent qu'il s'agit d'enstatite (Wo<sub>02</sub>En<sub>86</sub>Fs<sub>12</sub> − figure 3.1) avec un Mg# moyen de 0,88 et contenant de faibles teneurs en Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (moyenne de 0,44%), en Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (moyenne ≤1,6%) et en TiO<sub>2</sub> (moyenne de 0,04%). Les orthopyroxènes d'un échantillon de webstérite de la Zone Minéralisée (4059B) contient un peu moins de Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> comparativement aux autres échantillons; teneur de 0,40% en Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> par rapport à une moyenne de 0,44% en Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

#### 3.4 SPINELLE

Les spinelles chromifères sont présents dans l'ensemble des lithologies étudiées. La figure 3.2 présente les résultats obtenus pour les Cr# [(Cr/(Cr+Al))] par rapport aux Fe<sup>2+</sup># [(Fe<sup>2+</sup>/(Mg+Fe<sup>2+</sup>))] pour les spinelles analysés. De manière générale, aucune distinction en composition n'est observée entre les plages de chromite massive et les grains idiomorphes disséminés, ainsi qu'entre les analyses des *cœurs* et des *bordures* de grains

des spinelles provenant les veines de chromitite. Ainsi, un Cr# moyen de 0,65 (variations de 0,59 à 0,69), un Fe<sup>2+</sup># variant de 0,46 à 0,79 et des teneurs en TiO<sub>2</sub> inférieures à 0,40% caractérisent les veines de chromitite de la Zone Minéralisée (ZM).

Le Cr# des spinelles disséminés, observés dans la dunite et les unités dunitiques, est généralement assez élevé (variation de 0,69 à 0,85) avec un Fe<sup>2+</sup># moyen de 0,67. Les spinelles de la wehrlite dunitique provenant du fond du puits (3057D) montrent toutefois un Cr# moyen plus faible à ceux observés pour la dunite du secteur Saint-François, l'harzburgite dunitique des Collines Diamond et la wehrlite dunitique de la ZM (variation de 0,53 à 0,60) pour un Fe<sup>2+</sup># similaire (moyenne de 0,68).

Les plus importantes variations de Cr# en fonction du Fe<sup>2+</sup># sont observées pour les analyses de spinelles encaissés dans les webstérites (Figure 3.2). Pour des Fe<sup>2+</sup># similaires (variations de 0,60 à 0,74 avec Fe<sup>2+</sup># moyen à 0,69), le Cr# des spinelles diminuent de la webstérite du secteur Diamond (Cr# moyen = 0,87) vers celle du secteur St-François (Cr# moyen = 0,49) en passant par celle du secteur Star Chrome (Cr# moyen = 0,65) et celle de la ZM (Cr# moyen = 0,63). Au sein de la ZM, les Cr# des spinelles encaissés dans la webstérite constituant les murs de l'ancien puits d'exploitation sont légèrement supérieurs à ceux de la webstérite hôte des veines de chromitite (Cr# moyens respectifs de 0,68 et 0,61).

Les résultats obtenus pour les veines de péridotite proviennent de deux échantillons distincts; un de composition péridotitique (4058P; 54% de Cpx, 5% d'Opx et 40% de serpentine), et l'autre de composition dunitique (4057P; 95% de serpentine et traces de pyroxènes). Les spinelles de la péridotite (4058P) ont un Cr# moyen de 0,62 pour un Fe<sup>2+</sup># moyen de 0,76 tandis que ceux provenant de l'échantillon dunitique (4057P) ont un Cr# moyen de 0,79 pour un Fe<sup>2+</sup># moyen de 0,70.

En résumé, les spinelles provenant des veines de chromitite montrent peu de variation dans leurs Cr# (0,59 à 0,73) comparativement à leurs Fe<sup>2+</sup># (0,46 à 0,69); tandis que l'ensemble des autres analyses montrent un large éventail de Cr# (0,46 à 0,87) pour de

faibles variations en Fe<sup>2+</sup># (0,61 à 0,79). Les Fe<sup>2+</sup># des spinelles encaissés dans les chromitites sont légèrement inférieurs à ceux des autres spinelles analysés.

Dans l'ensemble, les variations des Cr# et Fe<sup>2+</sup># des spinelles provenant du manteau du COTM suivent un profil typique de fusion partielle croissante pour générer un matériel très réfractaire, possiblement d'affinité boninitique (Church, 1977, 1987). Les analyses des spinelles crustaux, cependant, ont tendance à montrer un abaissement du Cr# au profit d'une augmentation du Fe<sup>2+</sup>#, soulignant un profil contrôlé par des processus de cristallisation fractionnée. Néanmoins, certaines analyses de spinelles provenant du secteur d'étude et une portion des spinelles crustaux ne suivent pas le profil suggéré pour une cristallisation fractionnée au sein des cumulats et indiquent plutôt une augmentation du Cr# pour un Fe<sup>2+</sup># croissant. Ces divergences dans les compositions de spinelles suggèrent que ceux-ci ont été affectés par des processus de rééquilibration sub-solidus. D'après Bédard et Hébert (1998), lorsque la roche encaissante est de composition pyroxénitique, de tels processus de rééquilibration sub-solidus peuvent alors influencer les rapports Fe/Mg et les rapports Cr/Al des spinelles.

Les spinelles chromifères sont souvent utilisés comme indicateurs du milieu tectonique de mise en place des péridotites hôtes. Ceci vient du fait qu'ils sont relativement réfractaires et généralement peu affectés par des processus d'altération comparativement aux autres minéraux de haute température (e.g. l'olivine). Dans un diagramme ternaire Al-Cr-Fe<sup>3+</sup>+2Ti (proportions cationiques), les analyses des spinelles des différentes lithologies des secteurs Saint-François, Diamond et Star Chrome concordent avec le champ défini pour les roches ophiolitiques (figure 3.3A). À noter, les spinelles d'un des échantillons de veine de péridotite (4058P) et ceux encaissés dans la wehrlite dunitique prélevée dans l'ancien puits de Star Chrome (3057D) montrent de légers enrichissements en Fe<sup>3+</sup>. Les teneurs en TiO<sub>2</sub> sont généralement très faibles et un graphique du Cr# en fonction du TiO<sub>2</sub> (% poids) classe les chromitites de Star Chrome comme étant des péridotites appauvries, légèrement enrichies en Ti (figure 3.3B). Certaines lithologies, telles l'harzburgite dunitique et la webstérite du secteur des Collines Diamond (4050D et 4050B), la wehrlite dunitique de la Zone Minéralisée (4056D) et un exemple de veine de

péridotite riche en serpentine (4057P) semblent être d'affinité boninitique en fonction de leurs Cr# élevés (figure 3.2).

Les figures 3.4 A et B comparent la chimie minérale des chromitites de Star Chrome avec d'autres chromitites platinifères du complexe ophiolitique de Thetford Mines (COTM). Contrairement à la figure 3.3A, les figures 3.4 A et B indiquent que les chromitites de Star Chrome ne correspondent pas aux champs des chromitites strictement identifiées comme étant de nature ophiolitique. En comparaison avec les chromitites stratiformes du COTM enrichies en ÉGP (Corrivaux, 1989), les chromitites de Star Chrome sont moins enrichies en Cr et correspondent aux termes moins magnésiens (figure 3.4 A). La figure 3.4B illustre toutefois que les Cr# des chromitites de Star Chrome sont similaires à ceux observés par Pagé (2002) pour les chromitites stratiformes du COTM et qu'une bonne corrélation existe entre les Fe<sup>2+</sup># des chromitites du gîte Hall et celles de Star Chrome.

## 3.5 MINÉRAUX D'ALTÉRATION

L'amphibole est observée en traces dans les échantillons de chromitites, de dunite (secteur Saint-François) et d'harzburgite dunitique (Collines Diamond). Les résultats d'analyses sont présentés tableau 3.1. Les amphiboles ayant des concentrations plus élevées en Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> et en Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> correspondent à des amphiboles localisées à proximité de spinelles chromifères, notamment celles retrouvées dans les échantillons de chromitite et dunite. Un contenu en TiO<sub>2</sub> plus élevé est également observé pour ces amphiboles plus alumineuses.

Il est fréquent d'observer de l'actinote calquant la forme du clinopyroxène qu'elle altère ce qui pourrait expliquer que certaines analyses présentées au tableau 3.1 ont une composition similaire à celle du clinopyroxène (concentrations en CaO atteignant les 23-26 % en pourcentage poids). Les actinotes analysées indiquent des teneurs moyennes en MgO et CaO de 20% poids et 17% poids respectivement et de bonnes variations quant à la concentration en Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (de 0,5 à 8% poids).

Les résultats de trois analyses de serpentine sont présentés au tableau 3.2. Des concentrations moyennes de 40 %poids en SiO<sub>2</sub> et de 37 %poids en MgO sont observées. Les deux analyses provenant d'un échantillon de chromitite montre un contenu en Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> supérieur à l'analyse effectuée dans une webstérite pour des contenus en Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> similaires.

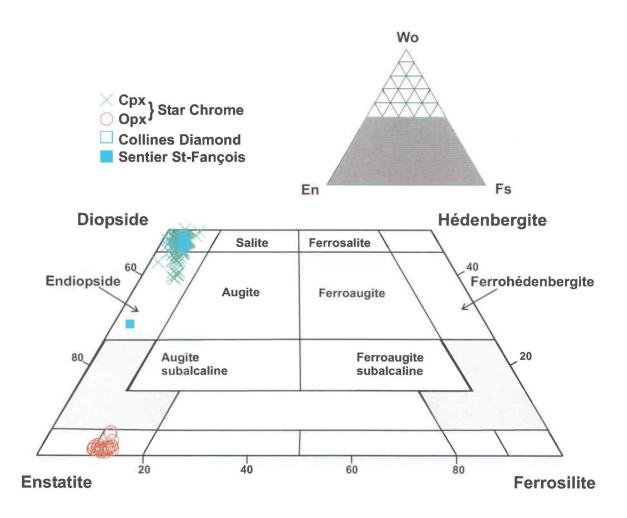


Figure 3.1. Chimie minérale des clinopyroxènes et des orthopyroxènes des lithologies du secteur d'étude.

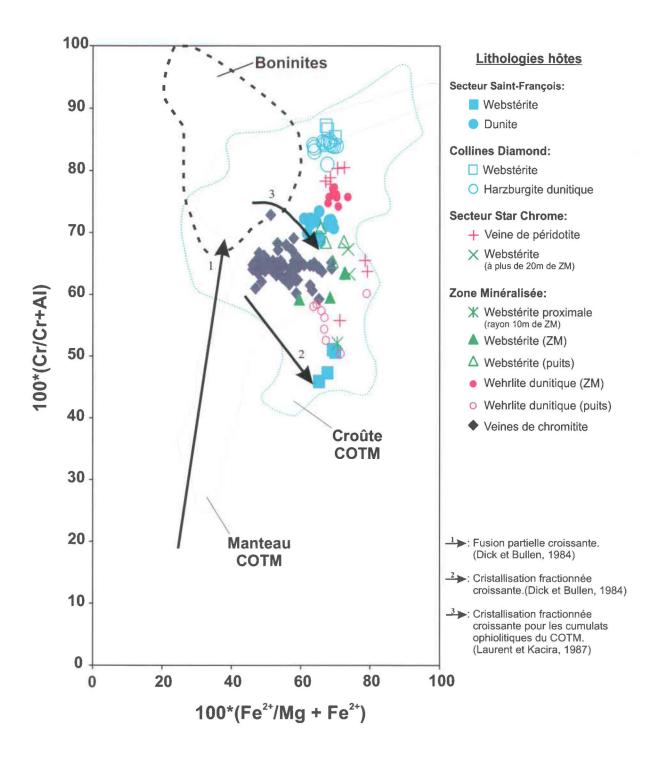


Figure 3.2. Chimie minérale des spinelles des lithologies du secteur d'étude; variation du Cr# [(Cr/(Cr+Al))] en fonction du Fe<sup>2+</sup># [(Fe<sup>2+</sup>/(Mg+Fe<sup>2+</sup>))]. Champs des spinelles mantelliques et crustaux du complexe ophiolitique de Thetford Mines (COTM) tirés de Pagé et al. (2002) et champs des boninites tiré de Barnes et Roeder (2001).

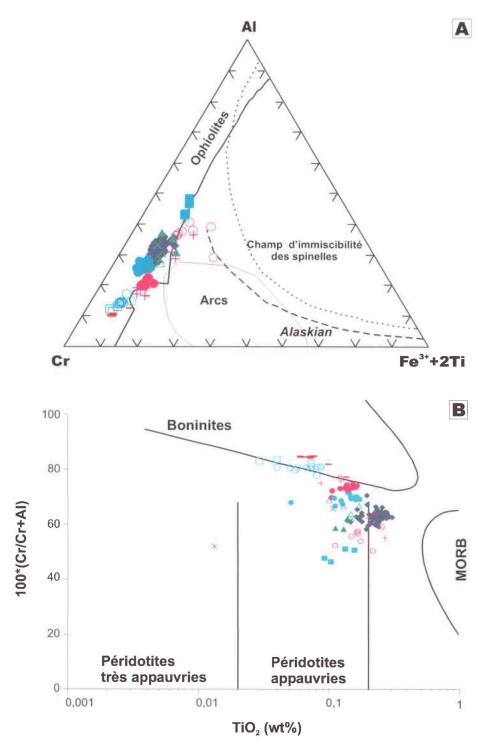
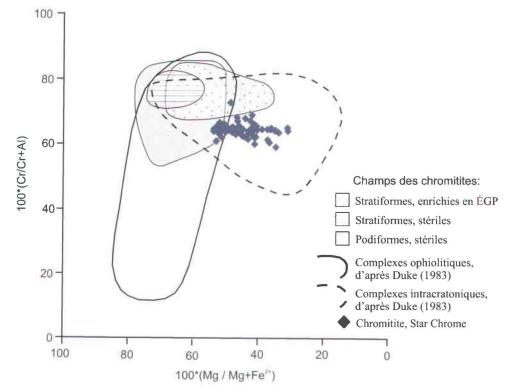


Figure 3.3. Graphiques montrant la chimie des spinelles chromifères comme indicateurs de l'environnement tectonique. A, diagramme ternaire Al-Cr-Fe<sup>3+</sup>+2Ti (proportions ioniques) indiquant des champs pour les roches ophiolitiques, d'affinité d'arc et de type *alaskan*. B, Cr# vs TiO<sub>2</sub> (wt%) pour les spinelle chromifères de Star Chrome. Champs d'après Zhou et al. (1996). Pour la légende se référer à la figure 3.2. Analyses des boninites (-) sont tirées de Pagé (2001).



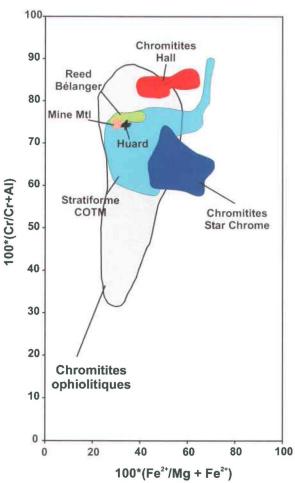


Figure 3.4. Comparaison des chromitites de Star Chrome avec d'autres chromitites platinifères du COTM. A, graphique illustrant la variation du Cr# en fonction du Mg#. Modifié de Corrivaux (1989). B, variation du Cr# en fonction du Fe<sup>2+</sup>#. Champs des chromitites stratiformes du COTM et des chromitites du gîte Hall sont tirés de Pagé (2002). Champ des chromitites ophiolitiques tiré de Barnes et Roeder (2001).

Tableau 3.1. Chimie minérale des amphiboles.

No, d'échantillon Lithologie Localisation Minéral	3056C b4 chromitite ZM Amph	3056C b5 chromitite ZM Amph	4103 b10 chromitite ZM Amph	4103 b11 chromitite ZM Amph	4044D c3 dunite St-François Amph	4044D c4 dunite St-François Amph	4044D c5 dunite St-François Amph	4040D a4 dunite Diamond Amph	4040D a5 dunite Diamond Amph	4040D a7 dunite Diamond Amph	4040D b3 dunite Diamond Amph
0100	40.04	FF 40	50.00	F0.07	50.07	50.00	50.00	FF 02	55.04	56.92	EC 04
SiO2	48,94	55,48	53,38	53,87	52,97	50,86	50,22	55,93	55,94	0,01	56,91 -
TiO2	0,58	0,10	-	0,02	0,26	0,25	0,27	0,04	- 0,05	0,01	0,01
Al2O3	8,27	1,40	1,35	1,17	6,79	7,32	7,72	0,04 0,04	0,03	0,04	0,00
V2O3	0,08	0,09	0,00	0,04	0,08	0,13	0,06			0,00	0,00
Cr2O3	1,96	0,99	0,55	0,57	2,28	2,50	2,39 20,70	0,12	0,21 17,31	17,58	17,77
MgO	20,62	17,64	22,43	22,52	21,00	20,96		18,04		· ·	
CaO	12,32	23,12	18,69	18,14	12,25	12,13	12,28	25,51	25,26	25,44	25,64
MnO	-	0,07	0,13	0,14	-	-	-	0,10	80,0	0,09	0,06
FeO	3,03	2,62	1,48	1,74	3,48	3,89	3,88	1,33	2,22	1,84	1,69
Na2O	2,09	0,21	0,09	0,07	1,63	2,04	1,85	0,02	0,01	-	0,01
K2O	0,06	0,00	0,00	0,01	0,06	0,04	0,06		0,01	-	0,01
H2O	2,04	2,20	2,15	2,15	2,06	2,12	2,15	2,19	2,18	2,21	2,19
F	0,20	-	-		0,31	0,12	0,02	-	-	-	0,04
CI	0,03	-	0,01	0,01	0,06	0,05	0,05	-	-	-	-
Total	100,22	103,92	100,25	100,44	103,22	102,41	101,65	103,35	103,28	104,23	104,39
No, d'échantillon Lithologie Localisation Minéral	4057B a2 webstérite Star Chrome Actinote	4058B a11 webstérite Star Chrome Actinote	4058B b1 webstérite Star Chrome Actinote	4058B b7 webstérite Star Chrome Actinote	4058B b8 webstérite Star Chrome Actinote	4050B b3 webstérite Diamond Actinote	4050B b4 webstérite Diamond Actinote	4050B b7 webstérite Diamond Actinote	4048W a2 webstérite Diamond Actinote	4048W a5 webstérite Diamond Actinote	4048W b4 webstérite Diamond Actinote
SiO2	58,80	58,62	50,53	57,71	51,25	58,08	59,14	58,81	55,73	59,31	56,80
TiO2	0,03	0,04	0,24	-	0,24	0,03	0.02	0.01	0,04	0,03	0,01
Al2O3	0,78	0,10	7,36	0,14	7,94	0,08	0,89	1,31	0,84	0,05	0,08
V2O3	-	0,02	0,11		0,03	-	-	0,06	0,10	, -	0,03
Cr2O3	_	-,	1,46	_	1,18	0,31	0,43	0.71	0,22	0,10	0,24
MgO	23,44	22,10	20,16	22,74	19,80	22,05	23,45	23,57	17,43	21,18	21,21
CaO	12,88	13,32	12,58	12,33	12,80	13,14	12,79	12,78	23,46	13,07	13,21
MnO	0,08	0,11	-	0,12	-	0,15	0,04	0.03	0.09	0,13	0,11
FeO	2,50	4,44	4,07	4,50	3,84	4,03	2,07	2,18	3,51	5,04	5,58
Na2O	0,23	0.06	1,39	0,01	1,39	0,09	0,25	0,34	0,10	0.04	0,05
K2O	0,01	0,02	0.01	0,03	0,02	0,02	-	-	-,	0,01	0,01
H2O	2,22	2,20	2,14	2,17	2,16	2,15	2,23	2,24	2,18	2,19	2,15
F	-	2,20	-	-	-	0,06	-	-,	-	0,02	-
ĊI	-	-	0,02	- -	0,02	0,01	-	0,01	0,01	-	_
Total	100,96	101,03	100,05	99,75	100,66	100,21	101,31	102,05	103,70	101,16	99,47

Tableau 3.2. Chimie minérale des serpentines.

No, d'échantillon Lithologie Localisation	3057C2 a6 chromitite ZM-Puits	3057C2 b1 chromitite ZM-Puits	4038B a3 webstérite Star Chrome
•			
SiO2	39,20	39,96	42,40
TiO2	-	-	0,03
Al2O3	5,29	4,73	1,52
V2O3	-	0,02	-
Cr2O3	0,80	0,48	0,54
MgO	37,10	37,64	37,41
CaO	0,05	0,10	0,01
MnO	0,04	0,07	0,14
FeO	5,82	5,38	6,91
Na2O	-	-	0,01
K20	0,02	-	0,01
H2O	12,76	12,82	12,84
Total	101,08	101,19	101,80

#### **CHAPITRE IV**

# **CARACTÉRISATION LITHOGÉOCHIMIQUE**

### **4.1 INTRODUCTION**

Une étude lithogéochimique des éléments majeurs, traces et terres rares a été réalisée afin d'établir la source magmatique des différentes lithologies. Les échantillons ont été triés par lithologie mais également par rapport à leur localisation au sein du secteur d'étude (voir figures 1.3 et 1.4). Ces divisions reprennent celles indiquées à la légende de la figure 3.2, soient les secteurs Saint-François, Diamond, Star Chrome et la Zone Minéralisée; cette dernière étant sub-divisée en un secteur nouvellement mis à jour (Zone Minéralisée - ZM) et en ancienne fosse d'exploitation (puits). 25 échantillons ont été analysés, répartis en : 9 échantillons de webstérite, 2 échantillons d'auréole orthopyroxénitique, 3 échantillons de veines de péridotite et 4 échantillons d'unités dunitiques (dunite, harzburgite dunitique, wehrlite dunitique). Les résultats analytiques sont présentés à l'annexe 2.

Pour fin de comparaison, la composition des boninitiques de Thetford ainsi que celles des boninites appauvries en Ti du complexe ophiolitique de Betts Cove (low-Ti boninites) ont été ajoutées à certains diagrammes. Le complexe ophiolitique de Betts Cove fait partie de la sous-zone de Notre-Dame de la zone de Dunnage des Appalaches de Terre-Neuve. À l'instar du complexe ophiolitique de Thetford Mines, l'ophiolite de Betts Cove est interprétée comme résultant de l'expansion du fond océanique dans un bassin marginal d'avant-arc à l'Ordovicien (Bédard et al., 2000). Les dykes du complexe filonien, les laves inférieures (Formation de Betts Head) et les cumulats de Betts Cove sont tous d'affinités boninitiques (Bédard et al., 2000).

## 4.2 ÉLÉMENTS MAJEURS, Cr ET Ni

Afin de corroborer les caractérisations pétrographiques des échantillons prélevés, des diagrammes binaires des concentrations en CaO et en MgO en fonction du Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (% poids) sont présentés à la figure 4.1. À titre indicatif, la composition des boninites de Thetford (données compilées à partir de Oshin et Crocket, 1986b; et Olive et al., 1997) ainsi que les compositions du clinopyroxène et de l'orhtopyroxène de Star Chrome et la composition normative des plagioclases sont indiquées. De faibles concentrations en Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> sont observées pour l'ensemble des échantillons, indiquant peu ou pas de plagioclases cumulatifs et un faible pourcentage de liquide inter-cumulus (liquide piégé). Un échantillon de veine de péridotite (4038P), provenant du secteur Star Chrome et composé à 95% de serpentine, se distingue par une concentration en Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> s'approchant de celle des boninites de Thetford.

Les concentrations en CaO et MgO (% poids) discriminent assez bien les webstérites, riches en clinopyroxènes (contenant de 10 à 21% de CaO), des faciès riches en olivine (dunite, harzburgite dunitique, wehrlite dunitique). Les concentrations des échantillons de veines de péridotite, de faciès hybride webstérite/dunite et de webstérite grossière (contenant de 5 à 12% de CaO) sont à mi-chemin entre les webstérites et les faciès riches en olivine. La majorité des échantillons de webstérite ont des concentrations en CaO et MgO variant respectivement de 15 à 21 % poids et de 18 à 24 % poids. Cependant, quelques échantillons (e.g. 4050B) indiquent des concentrations plus faibles en CaO et plus élevées en MgO, reflètant possiblement des proportions plus élevées d'orhtopyroxène et/ou d'olivine. Alternativement, ces échantillons de webstérite de faibles concentrations en CaO pourraient avoir été lessivés de leur CaO lors de l'altération hydrothermale. Les échantillons de l'auréole orthopyroxénitique (qui borde les veines de chromitite minéralisées) ont des concentrations en CaO similaires à celles observées pour les webstérites riches en clinopyroxènes du secteur Star Chrome. Ces concentrations sont clairement anomales puisque l'observation pétrographique confirme la prédominance de l'orthopyroxène dans ces auréoles et pourraient être expliquées par un enrichissement hydrothermal. Les fortes teneurs en CaO de cette auréole pourraient

également refléter un problème d'échantillonnage, témoignant de la difficulté à isoler le matériel orthopyroxénitique de son encaissant webstéritique.

Le diagramme du TiO<sub>2</sub> vs FeO\*/ MgO (figure 4.2A) montre que tous les échantillons analysés sont très faibles en TiO<sub>2</sub> (de 0,003 à 0,113 en % poids). Ces valeurs sont inférieures à celles des laves boninitiques de Thetford et de l'ophiolite de Betts Cove (Oshin et Crocket, 1986b; Bédard et al., 2000) et reflètent probablement la faible abondance de liquide piégé dans les cumulats. Un échantillon de veine de péridotite (4038P) se distingue avec une teneur en TiO<sub>2</sub> et un rapport FeO\*/ MgO légèrement plus élevés, s'approchant du champ défini pour les laves boninitiques.

Les webstérites de l'indice Star Chrome, particulièrement celles prélevées dans l'ancien puits d'exploitation et dans la Zone Minéralisée (ZM), montrent de plus fortes concentrations en Cr (ppm) par rapport aux webstérite des secteurs Saint-François et Diamond (figure 4.2B). Aucune différence significative n'est observée entre les concentrations en Cr pour les échantillons de veines de péridotite prélevés dans le secteur Star Chrome. L'échantillon de wehrlite dunitique provenant de la ZM (3056D) montre une concentration en Cr trois fois supérieure à celle de la wehrlite dunitique prélevée dans l'ancien puits d'exploitation (3057D). Cette variation pourrait refléter la plus grande proportion de chromite disséminée dans la wehrlite dunitique de la ZM par rapport à celle du puits (5% contre 2%). Cependant, même en ramenant la proportion de chromite dans chacune de ces unités à une valeur égale, la concentration en Cr de la wehrlite dunitique de la ZM demeure de 30% supérieure à celle du puits. La concentration plus élevée en Cr de la wehrlite dunitique 3056D (ZM) réflèterait donc le caractère plus chromifère des spinelles qui y sont encaissés (figure 3.2 - Cr# moyen de 0,76 pour 3056D contre 0,56 pour 3057D). La dunite du secteur Saint-François (4044D) montre une concentration en Cr similaire à celle de la wehrlite dunitique de la ZM (4742 ppm en Cr), tandis que l'harzburgite dunitique prélevée dans le secteur des Collines Diamond n'en contient qu'un peu plus de la moitié (2537 ppm en Cr).

Les échantillons de dunite, harzburgite dunitique, wehrlite dunitique, veines de péridotite et le faciès hybride dunite/webstérite montrent des concentrations en Ni (ppm) de deux à trois fois plus élevées que celles observées pour les webstérites (figure 4.2C). Ceci est attribuable à l'abondance de l'olivine qui a un coefficient de partage pour le Ni plus élevé que celui des pyroxènes. Des baisses de concentration en Ni avec une augmentation du rapport FeO\*/ MgO sont observées pour les échantillons de wehrlite dunitique de la Zone Minéralisée (3056D) et du puits (3057D) de Star Chbrome. Les veines de péridotite du secteur Star Chrome montrent également une baisse du Ni en fonction de l'augmentation du rapport FeO\*/ MgO. L'échantillon 4038P montre une concentration en Ni plus faible que la plupart des faciès riches en olivine.

## 4.3 TERRES RARES ET ÉLÉMENTS TRACES

L'ensemble des résultats de l'analyse des terres rares et des éléments en traces est présenté à la figure 4.3, pour les unités pyroxénitiques, et à la figure 4.4 pour les unités dunitiques et les veines de péridotite. De manière générale, les profils des terres rares sont contrôlés par la présence et l'abondance du Cpx (figure 4.5). Les échantillons riches en Cpx ont des profils élevés et relativement plats en terres rares lourdes et sont appauvris terres rares légères. Les échantillons faibles en Cpx ont tendance à avoir des concentrations en terres rares lourdes ne dépassant pas 0,6 fois la valeur des chondrites C1 et à décrire des profils appauvris en terres rares légères. Ces profils semblent être contrôlés par la présence d'olivine (figure 4.5.). Afin de compararer avec des liquides modèles, les profils des boninites de Thetford et de la moyenne des boninites-low Ti de Betts Cove ont été insérés en arrières-plans dans les diagrammes des éléments en traces normalisés. Les profils boninitiques montrent un enrichissement en LILE (large-ion lithophile elements) et terres rares légères, et des profils plats à légèrement enrichis en HFSE (high field strength elements) et terres rares lourdes par rapport aux terres rares médianes, leur conférant des patrons dits en « U ». L'absence de pics positifs en Pb et Sr pour les boninites de Thetford reflète un manque de données pour ces éléments

spécifiques, tandis que le pic très prononcé en Hf correspond possiblement à une erreur analytique.

### 4.3.1 Pyroxénites

Dans le secteur des Collines Diamond, l'échantillon de webstérite altérée qui montrait une très faible concentration en CaO (% poids) (4050B-figure 4.1) a un profil plus irrégulier et plus faible en terres rares lourdes (figure 4.3). Vu l'immobilité connue des terres rares lourdes, ceci suggère une plus forte proportion d'orthopyroxènes dans cet échantillon. Dans le secteur Star Chrome, les profils des webstérites distales (i.e. localisées à plus de 20 m de la Zone Minéralisée) sont tous assez parallèles hormis l'échantillon 4058B, localisé le plus près de la Zone Minéralisée (ZM), qui montre un enrichissement en La semblable à celui observé dans les webstérites provenant de la ZM et du puits (champs ombragés de la figure 4.3). Ces dernières sont toutes caractérisées par un enrichissement significatif en La. Cette observation s'applique également aux échantillons de l'auréole orthopyroxénitique et du faciès hybride dunite/webstérite. Un enrichissement marqué dans l'ensemble des terres rares légères est observé pour une webstérite grossière (4066BG) prélevée à l'extrémité ouest de la ZM. Une veine d'orthopyroxénite (3057F) recoupant les webstérites du secteur du puits montre un profil plus appauvri et erratique.

L'ensemble des profils des webstérites montre des enrichissements en LILE et terres rares légères, similaires à ceux indiqués par la moyenne des boninites-low Ti de Betts Coves, avec de forts pics en Pb et Sr. Des patrons en forme de « U », quoique moins prononcés que ceux des laves boninitiques, sont tout de même reconnaissables pour l'ensemble des webstérites. On observe toutefois des profils plus plats quant aux éléments lourds et des concentrations plus faibles en Zr et Hf par rapport aux boninites. Seul l'échantillon de webstérite 4041B provenant du secteur Saint-François montre de légers enrichissements en Zr et Hf. Dans le secteur de la Zone Minéralisée, l'échantillon de webstérite grossière (4066BG) montre un enrichissement marqué en terres rares légères sur les diagrammes

des terres rares et certaines disparités par rapports aux autres webstérites quant aux concentrations en La, Ce et Pb sur les diagrammes multi-éléments.

### 4.3.2 Faciès riches en olivine et veines de péridotite

Les profils de terres rares et des éléments en traces pour les faciès riches en olivine (dunite, harzburgite dunitique, wehrlite dunitique) et veines de péridotite sont présentés à la figure 4.4, avec les champs des webstérites respectives en arrières-plans. Dans les secteurs Diamond et Saint-François les concentrations en terres rares sont assez faibles et montrent un appauvrissement continu des terres rares lourdes vers les terres rares légères avec de légers enrichissements relatifs en La, Ce et Pr pour certains échantillons. Ces observations sont en accord avec les patrons observés par Trottier (1982) pour les dunites cumulatives du Lac Saint-François du COTM.

Les trois échantillons de veines de péridotite montrent trois profils distincts. L'échantillon caractérisé par le profil le plus riche en terres rares lourdes (4038P) correspond à la veine de péridotite enrichie en Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub>, FeO\*/ MgO, et pauvre en Ni. L'échantillon de veine de péridotite montrant le moins d'enrichissement en La (4058P) est situé très près de la Zone Minéralisée et contient une forte proportion en clinopyroxènes (54% cpx, clinopyroxénite à olivine). Les profils des échantillons de veines de péridotite 4038P et 4058P sont plats en terres rares lourdes et appauvris en terres rares légères, témoignant de la présence de clinopyroxène dans les échantillons. D'ailleurs, les spinelles chromifères de l'échantillon 4058P correspondent à ceux légèrement enrichis en Fe<sup>3+</sup> et Ti dans le diagramme ternaire Al-Cr-Fe<sup>3+</sup>+2Ti (figure 3.3A). Le profil de l'échantillon 4057P, correspondant à l'échantillon de veine de péridotite constitué à 95% de serpentine, montre un enrichissement marqué en terres rares légères.

La wehrlite dunitique échantillonnée dans la Zone Minéralisée (3056D) est enrichie en terres rares légères et a un pic positif en Eu. Des anomalies positives en Eu sont communes dans les magmas boninitiques (e.g., Trottier, 1982; Olive et al., 1997; Bédard, 1999), et peuvent être attribuées soit à une signature de source ou à un effet d'altération

(Olive et al., 1997). La wehrlite dunitique du puits (3057D) est appauvrie en terres rares légères (en-dessous des limites de détection), montre une plus forte concentration en terres rares lourdes que la wehrlite dunitique 3056D et a une très faible anomalie négative en Eu. Les spinelles chromifères de cette wehrlite dunitique sont enrichis en Fe<sup>3+</sup> et Ti et ont un rapport Cr/(Cr+Al) plus faible par rapport aux spinelles des autres unités dunitiques (figure 3.3A).

Dus aux faibles abondances de certains éléments dans les péridotites, plusieurs éléments sont sous le seuil de détection (notamment les LILE et les terres rares médianes), les profils d'éléments en traces sont donc incomplets. Toutefois, il est possible d'observer que les profils des éléments lourds décrivent typiquement de faibles pentes négatives, ou sont tout du moins plats, et que les données disponibles en La et Ce indiquent de légers enrichissements, suggérant la présence de patrons en « U ». Il est encore possible d'observer une anomalie positive en Eu dans le profil de la wehrlite dunitique provenant de la Zone Minéralisée. Une faible anomalie négative en Eu affecte la wehrlite dunitique prélevée du puits et une telle anomalie est également observée dans le profil de la veine de péridotite suspectée d'être de nature plus évoluée ainsi que dans le profil de la dunite provenant du secteur Saint-François.

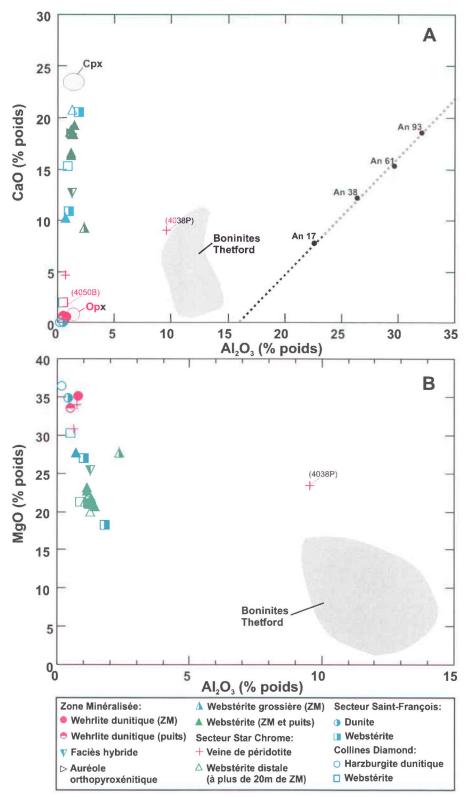


Figure 4.1. Concentrations en CaO (A) et MgO (B) en fonction du Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (% poids) pour les lithologies du secteur d'études. Composition des boninites de Thetford compilée de Oshin et Crocket (1986) et de Olive et al. (1997). Les compositions du clinopyroxène et de l'orhtopyroxène de Star Chrome et la composition normative des plagioclases sont indiquées en (A).

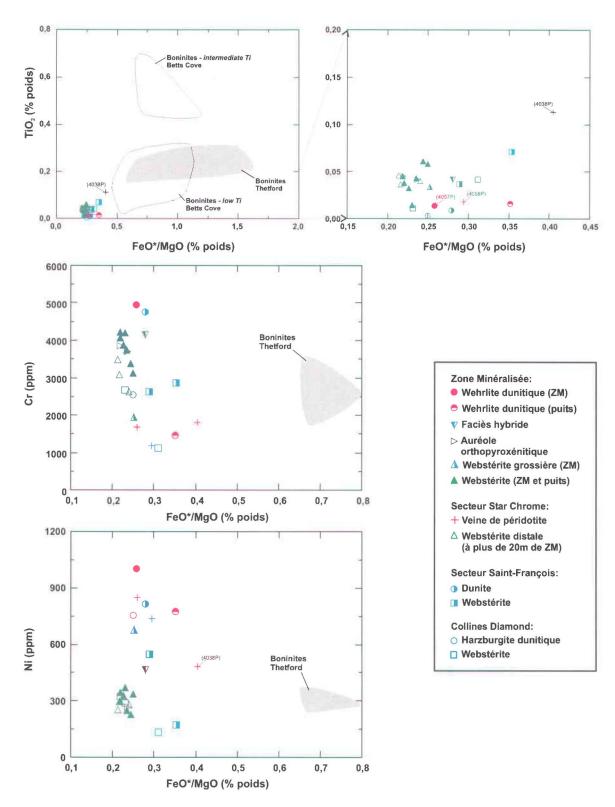


Figure 4.2. Concentrations en TiO<sub>2</sub> (% poids) (A), Cr (ppm) (B) et Ni (ppm) (C) en fonction du rapport FeO\*/MgO (% poids) pour les lithologies du secteur d'études. Composition des boninites de Thetford tirée de Oshin et Crocket (1986) et composition des boninites de Betts Cove tirée de Bédard et al. (2000).

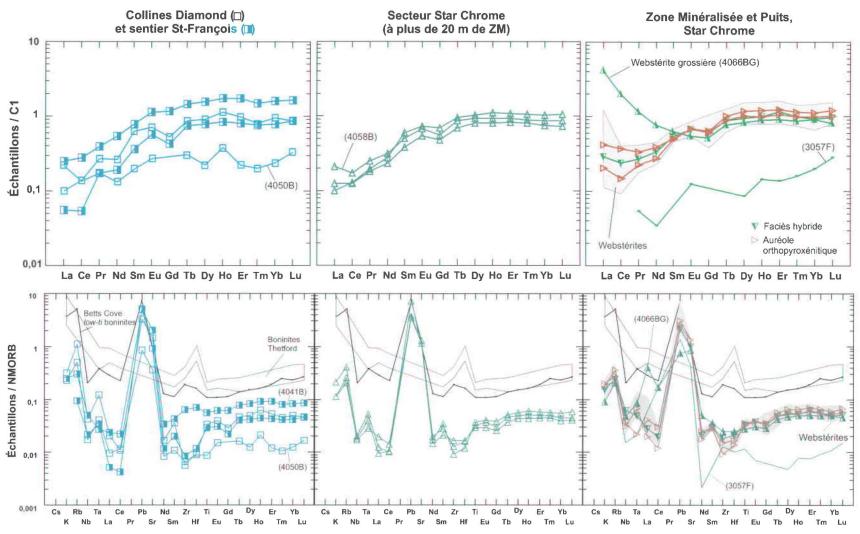


Figure 4.3. Diagrammes des terres rares normalisées aux chondrites C1 (McDonough et Sun, 1995) et diagrammes multiéléments normalisés aux NMORB (Sun et McDonough, 1989) pour les pyroxénites. Champ des boninites de Thetford tiré de Oshin et Crocket (1986) et trace des boninites-low Ti de Betts Cove tirée de Bédard et al. (2000).

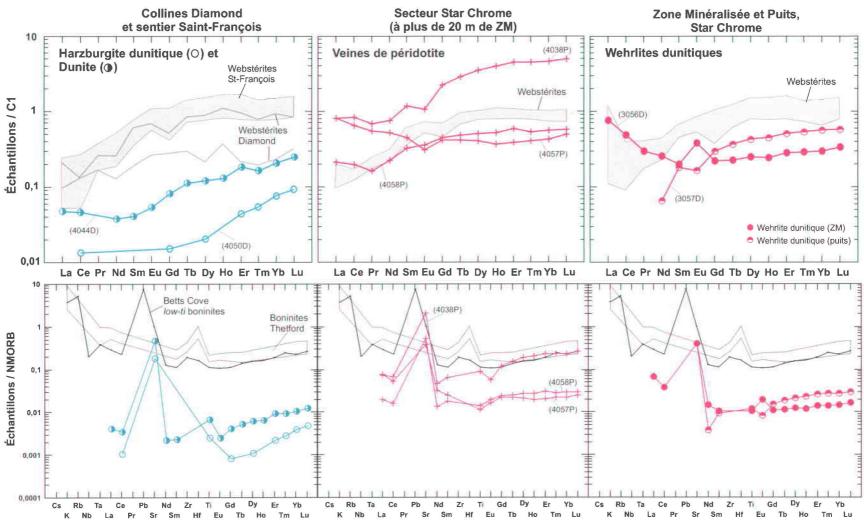


Figure 4.4. Diagrammes des terres rares normalisées aux chondrites C1 (McDonough et Sun, 1995) et diagrammes multiéléments normalisés aux NMORB (Sun et McDonough, 1989) pour les faciès riches en olivine et veines de péridotite. Champ des boninites de Thetford tiré de Oshin et Crocket (1986) et trace des boninites-low Ti de Betts Cove tirée de Bédard et al. (2000).

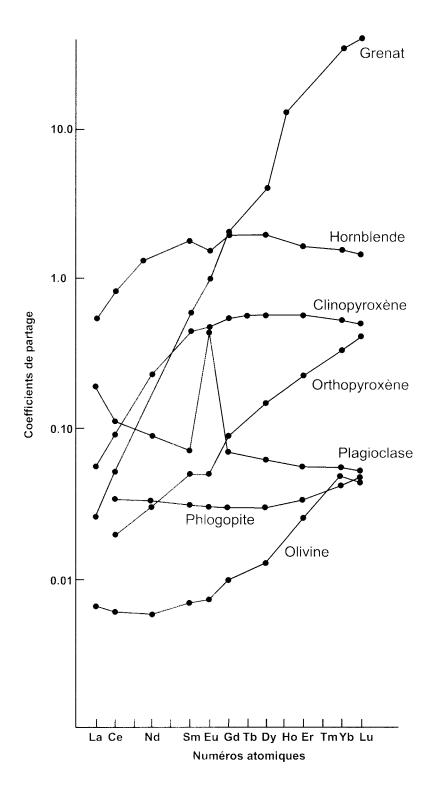


Figure 4.5. Diagramme des coefficients de partage en fonction des numéros atomiques des éléments terres rares pour les principaux minéraux en équilibre dans un magma de composition basaltique. Tiré de Rollinson (1993).

#### **CHAPITRE V**

# MINÉRALISATIONS EN ÉGP ET MGP

#### **5.1 INTRODUCTION**

Des concentrations anomales en éléments du groupe du platine (ÉGP) et la présence de minéralisations en minéraux du groupe du platine (MGP) n'ont été reconnues dans les chromitites du complexe ophiolitique de Thetford Mines (COTM) qu'à la fin des années 1980 (Gauthier et Trottier 1987; Gauthier et al., 1988; Gauthier et al., 1990; Corrivaux et Laflamme 1990). De ces chromitites, certaines montraient de fortes concentrations en platine, palladium et rhodium, contrastant avec les minéralisations en osmium, iridium et ruthénium généralement associées aux chromitites ophiolitiques (Page et al., 1982; Prichard et al. 1986). Gauthier et al. (1990) ont identifié les chromitites platinifères comme appartenant aux gîtes Hall, Lemelin, Finneth #1 et Nayes, tous encaissés dans les cumulats du COTM. Ces gîtes sont également les seuls où des sulfures et alliages de nickel ainsi que des MGP ont été observés. 22 phases minérales contenant ou pouvant contenir des ÉGP y ont d'ailleurs été identifiées (Corrivaux et Laflamme, 1990). L'indice Star Chrome s'ajouterait à ce groupe de chromitites platinifères du COTM. Star Chrome présente des teneurs anomales en ÉGP, notamment en platine et palladium (e.g., 12,8 ppm Pt+Pd), et des sulfures enrichis en Pt et Pd et des MGP ont été observés au sein des chromitites de la ZM et du puits.

Ce chapitre a pour but de faire une évaluation quantitative des ÉGP dans les chromitites de Star Chrome ainsi que dans les lithologies encaissantes incluant deux webstérites distales des secteurs Diamond et Saint-François. L'identification des phases porteuses des

platinoïdes (sulfures, alliages, MGP) et leur distribution et relation avec la chromite seront également abordées.

## 5.2 CONCENTRATION EN ÉGP

Les fortes teneurs en platine et palladium obtenues au cours de la campagne de terrain sur un échantillon de chromitite et un échantillon en rainure (respectivement 13,4 et 20,7 ppm en Pt+Pd) ont suscité un intérêt marqué pour l'indice Star Chrome. Afin d'en caractériser le potentiel en minéralisations du groupe du platine et d'en déterminer l'étendue, une évaluation quantitative de la concentration totale en ÉGP des chromitites et des lithologies hôtes a été réalisée sur 14 échantillons. Ces derniers ont été soumis aux laboratoires de géochimie de l'UQAC pour détermination de leurs contenus en osmium (Os), iridium (Ir), ruthénium (Ru), rhodium (Rh), platine (Pt), palladium et or (Au) via une méthode de mise en solution par un lit de sulfures suivie d'analyses par INAA (Bédard et Barnes, 2002). Les résultats obtenus sont présentés à l'annexe 3.

Pour faciliter les comparaisons, les concentrations en ÉGP des différents échantillons sont présentés à la figure 5.1 sous formes de profils normalisés aux valeurs du manteau primitif calculées par Barnes et Maier (1999). L'or est considéré comme un métal noble et il est fréquemment intégré aux profils d'ÉGP. Lors de l'étude pétrogénétique d'un gîte d'ÉGP, Barnes et al. (1985) suggèrent l'utilisation des profils de métaux normalisés au manteau primitif avec l'ajout des valeurs Ni et de Cu aux extrémités. Ce type de profils permettrait d'illustrer les ratios de Ni et Cu présents par rapport aux métaux nobles, fournissant des indications quant à la fertilité du magma parental. Les ÉGP et l'or ont des coefficients de partage plus élevés dans les sulfures que le Ni et le Cu. Ainsi, si les sulfures précipitent du magma lors des processus de cristallisation fractionnée, ou sont retenus dans le manteau pendant la fusion partielle, le magma et les roches qui cristalliseront à partir de ce celui-ci seront appauvris en métaux nobles par rapport au Ni et Cu, dessinant un profil de métaux en forme de fosse (patron en U). Inversement, toute roche contenant des accumulations de sulfures serait enrichie en métaux nobles par

rapport au Ni et Cu, générant des profils en forme d'arche. Les roches riches en chromite ont tendance à être enrichies en Os, Ir et Ru par rapport au magma duquel elles cristallisent. Ainsi, s'il y a cristallisation de chromite ou si celle-ci est retenue dans le manteau, le magma et les roches qui en résulteront seront appauvris en Os, Ir et Ru, et auront une pente positive de l'Os vers le Pd.

### 5.2.1 Chromitites

Les profils des chromitites de Star Chrome dessinent deux arches (figure 5.1). La première représente des concentrations en Os, Ir et Ru oscillant aux environs de 10X les valeurs du manteau et est attribuable à la concentration élevée de chromite. La seconde souligne de fortes concentrations en Rh (100X valeurs du manteau) et de très fortes concentrations en Pt et Pd (1000X valeurs du manteau). Les valeurs en Pt et Pd atteignent respectivement 9,3 et 4,4 ppm. Ces concentrations élevées en Pt et Pd à Star Chrome diffèrent des chromitites ophiolitiques qui sont généralement caractérisées par des concentrations élevées en Os, Ir et Ru (Page et al., 1982; Prichard et al., 1986). Les chromitites de la Mine Montréal en présentent un bon exemple avec une concentration plus élevée en Os, Ir et Ru par rapport à celles en Rh, Pt et Pd. Les chromitites de l'indice Star Chrome appartiendraient au groupe de chromitites platinifères du complexe ophiolitique de Thetford Mines identifié par Gauthier et al. (1990) et en seraient l'exemple le plus enrichi en Pt et Pd. Ces patrons d'arches prononcées en Pt et Pd s'approcheraient de ceux observés pour les minéralisations de type « reefs » observées dans les intrusions ignées litées (e.g. Merensky reef du Bushveld).

### 5.2.2 Faciès riches en olivine et veines de péridotite

Les faciès riches en olivine (dunite, harzburgite dunitique, wehrlite dunitique) et l'échantillon de veine de péridotite 4038P montrent des profils en forme de U pour les valeurs d'Os, Ir et Ru et des formes d'arches pour les valeurs de Rh, Pt et Pd avec des concentrations atteignant 20X les valeurs du manteau (figure 5.1). Ceci contraste avec les profils relativement plats obtenus par Oshin et Crocket (1982) pour des dunites provenant

du secteur Saint-François mais s'approche des profils des webstérites (décrits ci-dessous). Cette similitude avec les profils des webstérites pourrait, en conséquent, refléter la présence de clinopyroxène dans les faciès riches en olivine. L'échantillon de péridotite 4058P, localisé à proximité de la ZM, montre un profil d'ÉGP en forme d'arches doublées, rappelant les profils observés pour les chromitites de Star Chrome. La faible concentration en chromite généralement observée pour les échantillons de veines de péridotite (voir Chapitre 2 section 2.4) et la forme d'arche observée pour les concentration en Os, Ir et Ru semblerait indiquer que la péridotite 4058P n'ait pas encore précipité de chromite. Ceci pourrait signifier que la péridotite 4058P est associée aux minéralisations chromifères de la ZM et en représente la composition d'un magma parental, précoce à la précipitation de la chromite constituant les chromitites de la ZM.

### 5.2.3 Pyroxénites

Les webstérites montrent des profils en formes de U de l'Os au Ru et en formes d'arches du Rh à Au, correspondant au champ défini par Oshin et Crocket (1982) pour des pyroxénites du secteur Saint-François (figure 5.1). Les webstérites distales à la Zone Minéralisée (à 10 et 20 m de la ZM) montrent des enrichissements plus prononcés en Pt, Pd et Au que celles prélevées dans la ZM, ou même qu'un échantillon d'auréole orthopyroxénitique. Des concentrations de 10 et 100X celle du manteau sont observées pour le Pd. Une relation inverse des concentrations en Pd semble exister entre les webstérites distales et les veines de péridotite. Ainsi, la webstérite 4038B a une concentration en Pd d'un ordre de grandeur supérieur à celle de 4058B; tandis que la veine de péridotite 4038P indique une concentration en Pd de deux ordres inférieurs à celle de 4058P. La webstérite prélevée dans le secteur Saint-François a un profil très similaire aux webstérite de la ZM de Star Chrome. L'échantillon de webstérite provenant des Collines Diamond montre un profil erratique avec de faibles concentrations en Ni et Ir (respectivement 0,07 et 0,01X valeurs du manteau) et une forte concentration en Cu (7X valeurs du manteau). Cette dernière diffère des autres webstérites et son profil d'ÉGP s'approcherait de celui décrit par les boninites.

## 5.2.4 Caractérisation et contrôle de la concentration en ÉGP

La figure 5.2 montre qu'une relation linéaire existe entre les concentrations en Rh, Pt et Pd et la concentration totale en ÉGP. Sachant que la concentration en Rh compte généralement pour moins de 2% de la concentration totale en ÉGP (annexe 3), cette linéarité confirme le caractère particulièrement platinifère et palladifère des chromitites de Star Chrome. Les concentrations en Pt sont généralement un peu plus élevées que celles en Pd à l'exception de trois webstérites montrant des concentrations en Pd supérieures à celles en Pt (figure 5.2).

Afin de déterminer si la présence en ÉGP est contrôlée par la présence de chromite, de sulfures ou d'alliages métalliques, des diagrammes binaires de la somme des concentrations en Pt et Pd en fonction du Cr, S et Ni ont été réalisés (figure 5.3). Pour fin de comparaison, seules les concentrations en Pt et Pd ont été utilisées. Dans le diagramme comparatif avec le Cr il ressort clairement que les chromitites sont les échantillons les plus enrichis en Pt et Pd. Par contre, les autres échantillons ont tendance à souligner une corrélation inverse entre les concentrations en Pt et Pd par rapport au contenu en Cr. Ceci est particulièrement remarqué pour les échantillons de dunite, harzburgite dunitique, wehrlite dunitique et de veines de péridotite. Ce découplage apparent impliquerait que les concentrations en Pt et Pd ne sont pas contrôlées par l'accumulation primaire de chromite ou encore que celles-ci aient été affectées par des processus post-cumulatifs. La corrélation semblant exister entre les échantillons prélevés en rainures et la concentration en Cr peut être expliquée par le fait que les rainures résultent d'un mélange mécanique de plusieurs lithologies et contiennent donc un pourcentage variable de chromitite. Les concentrations en Pt et Pd des chromitites ne semblent pas être influencées par la présence de sulfures, telles qu'illustrées sur le diagramme en fonction du S (figure 5.3). Cependant, dans les échantillons de dunite, harzburgite dunitique, wehrlite dunitique, veines de péridotite et certaines webstérites, une faible corrélation semble exister entre l'abondance en Pt et Pd et la concentration en S. Dans ce type de comparaisons il faut toutefois être vigilant quant à la mobilité du S lors des processus d'altération, notamment lors de la serpentinisation. Néanmoins, la faible corrélation observée entre les

concentrations Pt et Pd et celles en S pour les échantillons ayant été les plus affectés par la serpentinisation, en occurrence les échantillons riches en olivine, pourrait refléter des proportions initiales en S plus élevées que celles des chromitites et pyroxénites et, par conséquent, une proportion plus élevée de sulfures enrichis en Pt et Pd. Lorsque comparées au Ni, les concentrations en Pt et Pd semblent diminuées avec une concentration de Ni croissante. Cette tendance peut être observée notamment pour les échantillons de wehrlite dunitique et de webstérite provenant de Star Chrome. Il faut toutefois rappeler que le Ni a tendance à refléter le pourcentage d'olivine et peut aussi être incorporer dans la structure des pyroxènes.

## 5.3 MINÉRALISATIONS EN MGP

L'identification des minéraux du groupe du platine (MGP) a été réalisée sur 5 lames-minces de chromitites, dont quatre provenaient de la Zone Minéralisée et une du puits. Ces lames avaient été préalablement soumises à un examen au microscope optique et ont été sélectionnées en fonction de leurs contenus en chromite et sulfures (Tableau 5.1). Afin d'identifier et de caractériser les phases (alliages et sulfures) contenant des ÉGP, les lames-minces ont été examinées au microscope électronique à balayage (MEB) du Département de géologie et de génie géologique de l'Université Laval. Les analyses effectuées au MEB sont dites semi-quantitatives puisqu'elles rapportent à 100% l'ensemble des éléments chimiques de la cible analysée. Sans une contre vérification avec des standards connus, les analyses du MEB ne représentent donc que des proportions d'éléments.

De nombreux alliages et sulfures enrichis en ÉGP ont été observés en association avec les minéraux d'altération (serpentine, actinote) interstitiels aux chromites des chromitites de Star Chrome. Ils sont xénomorphes et de tailles micrométriques dont certains spécimens atteignent 10 microns de diamètre. Généralement localisés dans des sites intergranulaires et en remplissage de fractures (planche 5.1), les alliages sont généralement complexes et composés de Pt-Pd-Ni-Cu-Fe dont l'awaruite platinifère et le tétraferroplatine (planche

5.1). Le tableau 5.2 présente la composition des principaux alliages et sulfures observés dans les chromitites de Star Chrome.

L'awaruite platinifère (Ni,Pt)<sub>3</sub>Fe est l'alliage le plus fréquemment observé. Il est reconnaissable à sa localisation dans la serpentine et la magnétite en bordure ou en remplissage de fractures des grains de chromite (planche 5.1A). Les grains sont xénomorphes, anguleux à arrondis, et de taille variant de 2 à plus de 10 microns. De composition hétérogène, il est fréquent d'y retrouver des inclusions ou exsolutions d'autres MGP. Corrivaux et Laflamme (1990) associent la présence d'awaruite platinifère aux processus de serpentinisation des dunites et péridotites du COTM, libérant le Ni des olivines. La source de platine proviendrait de la destruction de minéraux ou sulfures primaires porteurs d'ÉGP.

Le tétraferroplatine (PtFe) est le second alliage en terme d'abondance et a des formes et contextes similaires aux grains d'awaruite platinifère (planche 5.1B). Il est généralement encaissé dans les silicates d'altération et localisé en bordure ou au contact des grains de chromite. Les minéraux de tétraferroplatine sont xénomorphes à bordures angulaires à arrondies et de composition chimique hétérogène. Fréquemment associé avec d'autres alliages Pt-Fe, chromite, magnétite, chalcopyrite et pentlandite (Cabri 2002), il est rarement répertorié au sein des ophiolites. Par ailleurs, Corrivaux et Laflamme (1990) ont observé la présence assez commune d'isoferroplatine (Pt<sub>3</sub>Fe) dans le COTM. Cabri (2002) indique un exemple d'un grain automorphe d'isoferroplatine bordé d'une auréole tardive de tétraferroplatine. À l'indice Star Chrome aucun grain d'isoferrroplatine n'a été indentifié mais les grains de tétraferroplatine sont de composition hétérogène (zones plus pâles, planche 5.1B) reflétant possiblement des processus de remplacement des alliages et minéraux d'ÉGP.

Certains alliages hétérogènes de cuivre-palladium de formules inconnues sont également observés. L'exemple présenté en planche 5.2A montre un grain de 5 microns de diamètre encaissé dans de la serpentine en bordure d'un grains de chromite et exhibant un assemblage complexe d'alliages de Pd-Cu-Ni-Fe et de Cu-Pt-Pd, dont la texture laisse

supposer une recristallisation sub-solidus. La présence d'un alliage de Cu-Pd-Pt-Hg (zones plus claires coin supérieur droit – planche 5.2A) est aussi observé. Ce dernier semble remplacer les deux alliages discutés précédemment et ne semble pas être un produit d'exsolution.

Aucun amalgame contenant du mercure n'avait été répertorié au sein des chromitites du COTM par Gauthier et al. (1988) ou par Corrivaux et Laflamme (1990). Ces amalgames semblent être spécifiques à l'indice Star Chrome. Lors de l'analyse d'un grain constitué d'un assemblage hétérogène de plusieurs alliages d'ÉGP, Blanchet (1993) a identifié un alliage essentiellement constitué de Pd et Hg correspondant au minéral nommé potarite (PdHg). La forte densité de ce minéral le rend facilement identifiable au MEB (15,0 à 16,1 g/cm<sup>3</sup>-Cabri, 2002). De taille n'excédant pas 5 microns, il est observé sous forme de petits amas, de bordures plus ou moins franches, généralement encaissés, ou du moins associés, à l'awaruite platinifère (planche 5.2B). Les analyses démontrent qu'il pourrait effectivement s'agir de potarite mais avec des quantités appréciables de S et mineures de Fe (tableau 5.2). Pagé (1997, données non publiées) a également identifiés des grains de potarite associés aux chromitites de Star Chrome, dont certains indiquent la présence de Fe, Ni, Cu et Pt en quantités mineures (tableau 5.2). Dans la littérature, la présence de potarite a été signalée dans des chromitites encaissées dans des complexes stratiformes, tels les horizons UG2 et Merensky Reef du Bushveld, ainsi qu'en association avec des chromitites mantelliques de l'ophiolite des Shetland (Prichard et al., 1986; Cabri 2002). La potarite est l'alliage principal de palladium et de mercure observé dans les chromitites de Star Chrome. La présence de mercure a aussi été détectée dans de nombreux autres alliages et sulfures, dont dans un minéral de formule chimique inconnue (PdPtHg<sub>0.5</sub>) localisé en remplissage de fracture (planche 5.1A). Un lien semble exister entre la présence de mercure et celle du palladium (Voir tableau 5.1).

D'autres alliages d'ÉGP ont été observés en quantités mineures. Des arséniures et des alliages de Rh ont été remarqués sur un seul échantillon (planche 5.3). Ces minéraux sont de tailles micrométriques (environ 2 microns) et encaissés dans les silicates interstitiels aux grains de chromite et localisés en bordure d'un clinopyroxène actinolisé. Le minéral

inconnu #3 (RhNiAs) de Corrivaux et Laflamme (1990) et un minéral de composition s'approchant de celle de l'atheneite ((PdHg)<sub>3</sub> As) ont été identifiés en contact avec un grain de pentlandite contenant As, Hg, Pt et Rh. La présence de sulfures enrichis en ÉGP en contact ou servant de matrice aux MGP est assez fréquente. La planche 5.3B montre un grain de tulameenite (PtFe<sub>0.5</sub>Cu<sub>0.5</sub>) encaissé dans une pentlandite platinifère contenant des exsolutions de chalcopyrite platinifère. C'est le seul exemple de minéralisations englobées dans un grain de chromite. La présence de fractures dans la chromite et de matériel en remplissage de celles-ci indique vraisemblablement que les métaux sont tardifs à la cristallisation de la chromite.

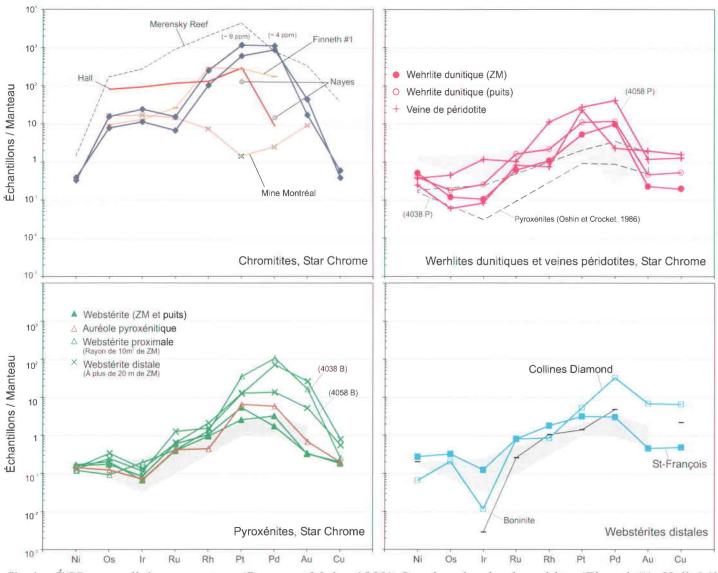


Figure 5.1. Profils des ÉGP normalisés au manteau (Barnes et Maier, 1999). Les données de chromitites (Finneth #1, Hall, Mine Montréal, Nayes) sont tirées de Gauthier et al. (1990), à l'exception du Merensky Reef (Barnes et Maier, 2002), tandis que les champs ombragés et en tiretés proviennent de Oshin et Crocket (1986) pour des dunites et pyroxénites cumulatives du secteur St-François. Les valeurs de la boninite proviennent de Pagé (2001).

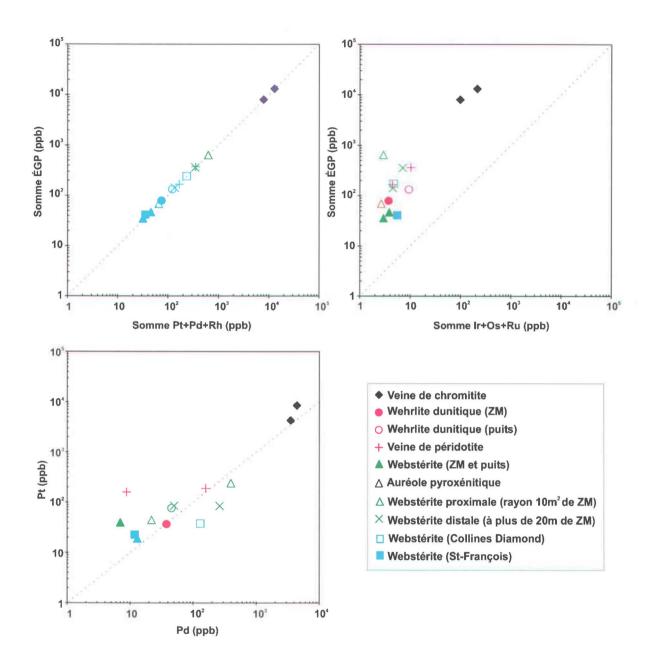


Figure 5.2. Diagrammes binaires discriminant les concentrations en ÉGP.

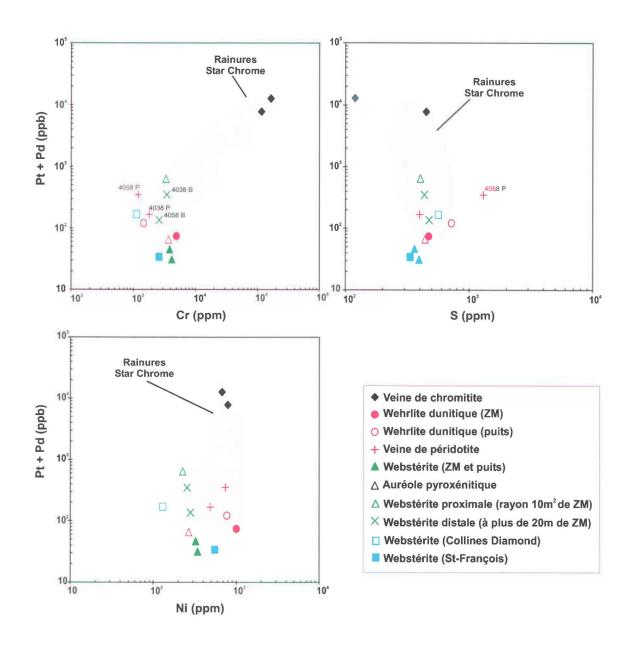


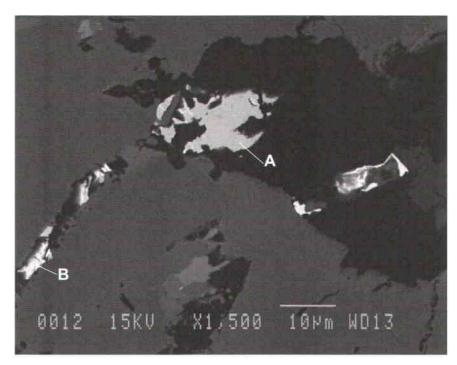
Figure 5.3. Diagrammes binaires illustrant les concentrations en Pt et Pd en fonction des concentrations en Cr, S et Ni.

Tableau 5.2. Tableau synthèse de la localisation et description des échantillons utilisés dans l'étude des MGP des chromitites de Star Chrome.

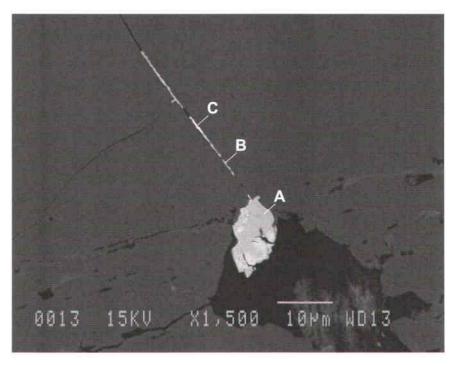
Lame-mince	Localisation	Description sommaire
4052T-LM2 4053T-LM2	Star Chrome, zone minéralisée.	- Veine de chromitite bordée d'une auréole orthopyroxénitique à proximité du contact Opxite/Cpxite.
4053T-LM3 4056T-LM1b	Star Chrome, zone minéralisée.	- Veine de chromitite bordée d'une auréole orthopyroxénitique, présence d'une texture anti-nodulaire et de sulfures (µm) dans phases silicatées.
3057 C1	Star Chrome, puits.	- Veine de chromitite bordée d'une auréole orthopyroxénitique, début d'une texture antinodulaire, présence de sulfures (µm) et d'inclusions silicatées dans certains grains de chromite.

Tableau 5.2. Composition (en % poids) des alliages et sulfures d'ÉGP retouvés dans les chromitites de Star Chrome.

Analyses	Rh	Pd	Pt	Ni	Cu	Fe	S	Hg	As	Total	Formules chimiques calculées
Planche 5.1:											
A 4056T-LM1b_12A			55,82	26,59	2,18	15,41			-	100,00	Awaruite platinifère (Ni, Pt) <sub>3</sub> Fe : (Pt <sub>1,03</sub> Ni <sub>1,64</sub> Cu <sub>0,12</sub> ) <sub>2,79</sub> Fe <sub>1,0</sub>
4056T-LM1b_12B	-	31,43	42,77	•	1,18	2,12	-	22,51	-	100,01	Inconnu PdPtHg <sub>0.5</sub> : (Pd <sub>0.43</sub> Pt <sub>0.32</sub> Hg <sub>0.16</sub> Fe <sub>0.06</sub> Cu <sub>0.03</sub> )
B 4056T-LM1b_11A		1,22	73,82	7,71	2,73	14,51			-	99,99	Tétraferroplatine (PtFe) : (Pt <sub>1.45</sub> Pd <sub>0.04</sub> ) <sub>1.49</sub> (Fe <sub>1.0</sub> Ni <sub>0.5</sub> Cu <sub>0.17</sub> ) <sub>1.67</sub>
4056T-LM1b_11B		0,74	50,74	26,28	4,55	17,69			-	100,00	Awaruite platinifère (Ni, Pt) <sub>3</sub> Fe : (Ni <sub>1.41</sub> Cu <sub>0.23</sub> Pt <sub>0.32</sub> Pd <sub>0.02</sub> ) <sub>2.48</sub> Fe
4056T-LM1b_11C	-	27,96	-	-	-	6,29	7,54	58,21	-	100,00	Potarite (PdHg)? (phase plus påle) : (Pd <sub>1.0</sub> Hg <sub>1.10</sub> S <sub>0.9</sub> Fe <sub>0.43</sub> )
Planche 5.2:											
A 4052T-LM2_01A	-	51,20	12,95	9,84	18,18	7,00	0,83			100,00	Alliage (PdCuNiFe) : (Pd <sub>0,43</sub> Cu <sub>0,25</sub> Ni <sub>0,15</sub> Fe <sub>0,11</sub> Pt <sub>0,06</sub> )
4052T-LM2_01B	-	11,56	27,67	1,84	55,87	3,07	-			100,01	Alliage (CuPtPd) : (Cu <sub>0.72</sub> Pt <sub>0.12</sub> Pd <sub>0.09</sub> Fe <sub>0.05</sub> Ni <sub>0.03</sub> )
4052T-LM2_01C	•	18,42	23,59	1,30	30,96	3,70	-	22,04	-	100,01	Alliage (CuPdPtHg) : (Cu $_{0.5}$ Pd $_{0.18}$ Pt $_{0.12}$ Hg $_{0.11}$ Fe $_{0.07}$ Ni $_{0.02}$ )
B 4053T-LM3_05A		30,40	-	-		0,77	10,77	58,06		100,00	Potarite (PdHg)? : (Pd <sub>1.0</sub> Hg <sub>1.01</sub> S <sub>1.18</sub> )
4053T-LM3_05B			61,15	22,39	1,46	15,00	-	-		100,00	Awaruite platinifère ((Ni, Pt) <sub>3</sub> Fe) : ((Ni <sub>1.42</sub> Pt <sub>1.17</sub> Cu <sub>.09</sub> ) <sub>2.67</sub> Fe)
Planche 5.3:											
A 3057C1_04A	-	-	75,06	2,97	2,98	18,06			0,92	99,07	Tétraferroplatine (PtFe) : (Pt <sub>1.0</sub> Fe <sub>0.75</sub> Ni <sub>0.12</sub> Cu <sub>0.11</sub> As <sub>0.03</sub> )
3057C1_04B	42,75	1,63	1,13	26,55		0,72		0,81	26,41	73,59	Inconnu #3 (RhNiAs) de Corrivaux et Laflamme, 1990 :
											$((Rh_{0.95} Pd_{0.04} Pt_{0.01})_{1,0} (Ni_{1.03} Fe_{0.03})_{1.06} (As_{0.81} Hg_{0.01})_{0.82})$
3057C1_04C	-	25,33	14,17	0,65	-	1,87	-	48,15	9,85	90,17	Atheneite ((PdHg) <sub>3</sub> As)? : ((Pd <sub>1.0</sub> Pt <sub>0.31</sub> Hg <sub>1.01</sub> ) <sub>2.32</sub> As <sub>0.55</sub> (F $_{0.14}$ Ni <sub>0.05</sub> ))
3057C1_04D	3,79	0,78	7,59	19,56	-	14,86	27,56	13,92	11,93	88,06	Pentlandite à As, Hg, Pt, Rh ± Pd ? :
											$((Ni_{0.19}Fe_{0.15})_{0.34}S_{0.49}As_{0.09}Hg_{0.04}Pt_{0.02}Rh_{0.02}Pd_{0.01})$
B 4052T-LM2_04A	-	-	78,52	0,85	7,48	13,16			-	100,01	Tulameenite (Pt Fe <sub>0.5</sub> Cu <sub>0.5</sub> ) : (Pt <sub>1.09</sub> Fe <sub>0.64</sub> Cu <sub>0.32</sub> Ni <sub>0.04</sub> )
4052T-LM2_04B	-		11,43	25,19		30,77	32,61			100,00	Pentlandite à Pt : ((Ni <sub>0.44</sub> Fe <sub>0.58</sub> ) <sub>1.0</sub> S <sub>1.03</sub> Pt <sub>0.06</sub> )
4052T-LM2_04C		_	7,26		31,76	27,01	33,97			100,00	Chalcopyrite à Pt : (Cu <sub>1.03</sub> Fe <sub>1.0</sub> S <sub>2.19</sub> Pt <sub>0.08</sub> )

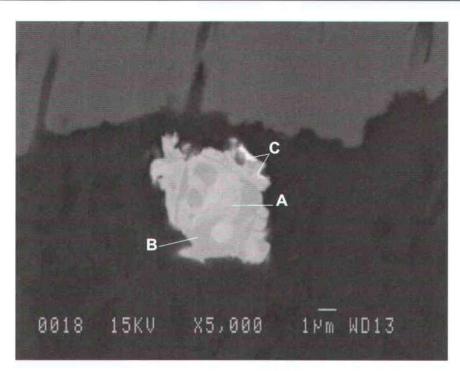


A. En bordure de grains de chromite awaruite platinifère (A) et minéral inconnu de Pt, Pd et Hg associé à la magnétite en remplissage interstitiel (B). (Échantillon 4056T-LM1b)

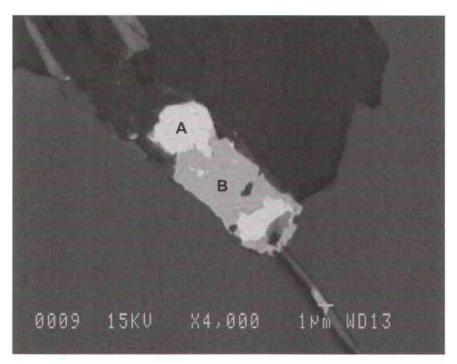


B. Minéral de tétraferroplatine (A) localisé en bordure d'un grain de chromite et awaruite platinifère (B) et potarite ? (C) en remplissage de fracture. (Échantillon 4056T-LM1b)

Planche 5.1. Microphotographies prises au MEB présentant des exemples d'awaruite platinifère (A) et de téraferroplatine (B) encaissés dans de la serpentine interstitielle aux grains de chromite.

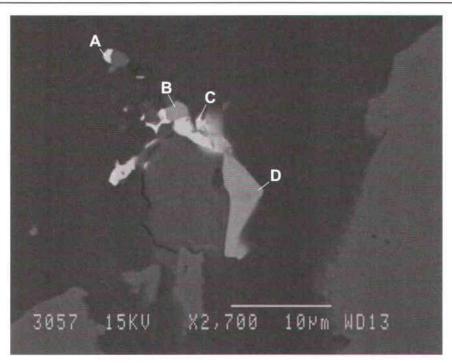


A. Alliages complexes de PdNiCuFe (A), CuPtPd (B) et de CuPdPtHg (C) encaissés dans des minéraux silicatés en bordure d'un grain de chromite. (Échantillon 4052T-LM2)

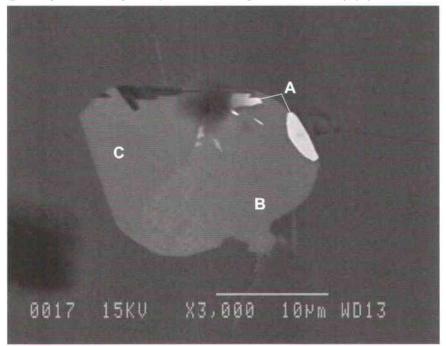


B. Association de potarite (A) et d'awaruite platinifère (B) encaissés dans de la serpentine au contact d'un grain de chomite bordé d'une mince auréole de magnétite. (Échantillon 4053T-LM3)

Planche 5.2. Microphotographies prises au MEB montrant des exemples d'alliages complexes de Pd et Pt contenant un peu de Hg (A) et de potarite en association avec de l'awaruite platinifère (B).



A. Encaissée dans silicates interstitiels aux chromites en contact avec un Cpx actinolisé, association complexe de tétraferroplatine (A), d'un minéral de Rh de formule inconnue (B), d'atheneite (phase plus floue, C) et de pentlandite à Hg, As, Pt, Rh±Pd (D). (Échantillon 3057C)



B. En inclusion dans un grain de chromite, tulameenite (A) en association avec de la pentlandite (B) et de la chalcopyrite (C) platinifères. (Échantillon 4052T-LM2)

Planche 5.3. Microphotographies prises au MEB dévoilant la présence d'arséniures et d'alliages contenant du Rh (A) et de minéralisations englobées dans un grain de chromite (B).

#### **CHAPITRE VI**

# **MODÉLISATIONS**

### **6.1 INTRODUCTION**

Ce chapitre regroupe deux exercices de modélisation effectués dans le but de mieux contraindre les processus de cristallisation (calculs de géothermobarométrie) ainsi que la nature des magmas des unités étudiées (modélisation des éléments traces).

# **6.2 GÉOTHERMOBAROMÉTRIE**

La webstérite de la zone d'étude est principalement constituée de clinopyroxène hypidiomorphe, de taille variant de 0,4 à 7 mm, contenant fréquemment des inclusions et des exsolutions micrométriques de clinopyroxène et d'orthopyroxène distribuées selon un plan préférentiel parallèle au plan de clivage. La présence de ces exsolutions ainsi que de certaines textures de recristallisation suggèreraient des processus de recristallisation postcumulus pour l'ensemble des webstérites. Dans le but de contraindre ces processus de recristallisation, des calculs de géothermobarométrie ont été effectués sur des clinopyroxènes contenus dans les webstrites des secteurs Saint-François, Diamond et Star Chrome ainsi que dans une wehrlite dunitique et certaines chromitites de la Zone Minéralisée de l'indice Star Chrome. Des orthopyroxènes contenus dans l'auréole utilisés de calculs. Les été lors ces ont également orthopyroxénitique géothermobaromètres QUILF (Lindsley et Andersen, 1983) et 2-pyroxenes (Brey et Köhler, 1990) ont été utilisés.

Les résultats indiquent des températures variant de 799 à 988°C et de 718 à 1015°C obtenues respectivement à l'aide des géothermobaromètres QUILF et 2-pyroxenes pour l'ensemble des pyroxènes (figure 6.1). Le géothermobaromètre 2-pyroxenes a également indiqué des températures de cristallisation variant de 806 à 1026°C obtenues à l'aide de calculs sur le Ca des orthopyroxènes de l'auréole orthopyroxénitique. Aucune distinction signification ne peut être faite entre les températures de cristallisation obtenues pour les différentes lithologies. Ceci indiquerait résultats des que les calculs géothermobarométriques reflèteraient des températures d'exsolution et de rééquilibration de l'ensemble des lithologies sous des conditions subsolidus.

# 6.2 MODÉLISATION DES ÉLÉMENTS TRACES

La modélisation numérique des éléments traces peut fournir d'importants indices quant à l'affinité des magmas parentaux des unités cumulatives du complexe ophiolitique de Thetford Mines (COTM). En utilisant la méthode de distribution à l'équilibre de Bédard (1994), la concentration en éléments traces du magma parental a été calculée et comparée aux boninites de Thetford Mines pour différentes proportions de liquide piégé dans les roches étudiées. Les interprétations seront principalement contraintes au comportement des éléments considérés comme étant les moins mobiles, tels les terres rares, et d'autres éléments à forts champs ioniques (high field strength elements – HFSE), tels Ti, Nb et Zr. Toutefois, les profils géochimiques montrés contiennent également certains éléments dont la mobilité lors du métamorphisme et de l'altération hydrothermale est bien connue (ex : Rb, Pb, Sr et Eu).

Le calcul de liquides modèles nécessite la composition roche totale des éléments traces, le mode minéralogique, des coefficients de distribution minéral/liquide (ex. olivine/liquide D<sub>Sc</sub>) et une estimation de la proportion de liquide piégé. Les modes utilisés dans les présentes modélisations proviennent des observations pétrographiques (voir Chapitre II). Des calculs de propagation d'erreur (Bédard 1994) ont indiqué que de légères erreurs dans l'estimation des modes minéralogiques n'ont que peu d'impact sur la composition des

liquides calculés. Des variations dans la proportion estimée de liquide piégé influencent l'ensemble des concentrations en éléments traces du liquide mais ont peu d'influence sur les concentrations relatives, i.e. que les formes des profils des éléments traces sont peu affectées, sauf pour les proportions de liquide estimées inférieures à 5%. Les coefficients de partage de l'olivine et de l'orthopyroxène (Bédard, 2004a, b) ont été calibrés avec le contenu en MgO du liquide présumé. Les roches modélisées et le liquide présumé ont été interprétés comme étant d'affinité boninitique, cette estimation a été accomplie en comparant le rapport FeO/MgO des analyses roche totale avec la suite boninitique de Betts Cove (Bédard et al., 2000). Les coefficients d'échange FeO/MgO ont été fixés à 0,3, 0,27 et 0,23 pour l'olivine, l'orthopyroxène et le clinopyroxène respectivement et ont été calibrés à la proportion de liquide piégé indiqué en fonction du mode estimé. Le contenu calculé en MgO pour le liquide a été corrigé pour la proportion de liquide piégé par une méthode similaire à celle de Barnes (1986) en utilisant la courbe FeO vs MgO dérivée des laves de Betts Cove. Un contenu minimal de 4 % poids en MgO a été présumé. Les coefficients de partage des clinopyroxènes ont été calibrés en fonction de leur contenu en Al<sup>iv</sup> (Bédard, en préparation; cf. Lundstrom et al., 1994; Gaetani et Grove, 1995).

Des calculs de liquides modèles ont été réalisés sur deux échantillons de l'indice Star Chrome; une webstérite prélevée dans le secteur Star Chrome (4038B) et la wehrlite dunitique de la Zone Minéralisée qui montrait un enrichissement en terres rares légères ainsi qu'une anomalie positive en Eu (3056D). La webstérite 4038B a été sélectionnée parce que son profil en terres rares s'approche de ceux observés pour les webstérite des secteurs Saint-François et Diamond et ne présente pas, ou presque pas, d'enrichissements en La (figure 4.4). Elle est interprétée comme représentant une composition type de webstérite contenue dans la Zone Pyroxénitique du COTM. En effet, les enrichissements en La semblent être restreints aux webstérites du secteur Star Chrome et pourraient refléter des processus locaux. Ces enrichissements feront l'objet d'une discussion ultérieure.

La figure 6.2 montre les résultats normalisés obtenus pour des calculs de la composition de liquides modèles pour différentes proportions de liquide piégé pour la webstérite

4038B. Ces résultats sont comparés à un champ regroupant diverses analyses de laves et de dykes provenant des secteurs de la Colline Nadeau, du Lac Rond et du Lac de l'Est du COTM (Pagé, travaux en cours). Une analyse de dyke, provenant du secteur Nadeau, indique des concentrations dans l'ensemble des éléments traces nettement inférieures à celles comprises dans le champ ombragé. Des appauvrissements dans les proportions relatives de Sr, Zr et Hf y sont également observés. Cette analyse pourrait refléter une certaine hétérogénéité de la source magmatique où le dyke du secteur Nadeau témoignerait d'une certaine alternance entre des magmas primitifs et évolués lors du volcanisme du COTM. Une alternative à cette hypothèse serait que, compte tenu de la grande abondance de pyroxénites et de gabbros appartenant aux Zones Pyroxénitique et Gabbroïque dans le secteur de la Colline Nadeau (Schroetter et al., 2003), les appauvrissements en Zr et Hf reflèteraient, en partie, des caractéristiques de la signature géochimique de la roche encaissante. En effet, l'ensemble des liquides calculés pour la webstérite 4038B du secteur Star Chrome indique des appauvrissements en Zr et Hf similaires à ceux observés dans le profil du dyke du secteur Nadeau (figure 6.2).

Les compositions des liquides calculés pour l'échantillon 4038B montrent des profils appauvris en éléments incompatibles avec des profils relativement plats en terres rares lourdes et légèrement appauvris en terres rares légères (figure 6.2). Des enrichissements marqués en LILE, Pb, Sr et Eu sont observés par rapport aux éléments incompatibles. Toutefois, à cause de leur mobilité connue, il est risqué de se fier à l'abondance de ces éléments pour des fins de comparaisons. La meilleure correspondance entre les profils de liquides modèles et ceux des laves et dykes du COTM est obtenue pour une proportion de liquide piégé estimée de 5%. Ceci suggère que les webstérites de la Zone Pyroxénitique du COTM ne contiennent que de très faibles proportions de liquides piégés, corroborant avec l'interprétation d'un faible pourcentage de liquide inter-cumulus pour l'ensemble des échantillons analysés basée sur les faibles concentrations en Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (% poids) (figure 4.1A). Malgré l'absence d'enrichissements marqués en La et Ce, l'ensemble du profil d'un liquide calculé, avec une proportion de 5% de liquide piégé, suggère une composition d'affinité boninitique.

Les profils des liquides calculés pour l'échantillon de wehrlite dunititque 3056D sont présentés à la figure 6.3. Les calculs indiquent des profils relativement plats en terres rares lourdes, des anomalies positives en Eu, de légers appauvrissements en Ti et des enrichissements marqués en terres rares légères et Sr. L'ensemble des profils décrit des profils en forme de « U » suggérant une affinité boninitique. La concentration globale en terres rares lourdes est inférieure à celle observée pour le champ des boninites de Thetford, même avec une proportion de liquide piégé de seulement 1%. Ceci implique que la péridotite 3056D a cristallisé à partir d'un magma plus appauvri que ceux ayant conduit à la formation des laves et dykes du COTM. La concentration en La et Ce du profil contenant 10% de liquide piégé correspond bien à celui observé pour les laves et dykes. La dichotomie existant entre la concentration en terres rares lourdes et la concentration en La et Ce pourrait témoigner d'un enrichissement tardif en La et Ce. Une proportion de 10% de liquide piégé est présumée pour l'échantillon de wehrlite dunitique 3056D. Même si les concentrations en terres rare lourdes de ce profil sont nettement inférieures à celles des laves et dykes du COTM, une faible pente négative du Ho au Gd, telle qu'observée pour le champ des boninites de Thetford, semble se dessiner à partir d'une proportion de 10% de liquide piégé. De plus, les concentrations en La et Ce et la pente du profil entre le Sm et le Nd correspondent bien avec le profil observé pour les laves et dykes du COTM.

Les enrichissements en La et Ce observés dans les lithologies de la Zone Minéralisée (ZM), notamment dans les webstérites et la wehrlite dunitique 3056D, semblent contraints à ce secteur (figure 4.3). Effectivement, ni le profil de la webstérite 4038B ni celui d'un liquide modèle calculé pour une proportion de liquide piégé à 5% ne montrent des concentrations en La et Ce similaires à celles des laves et dykes du COTM. Étant donné qu'une proportion relative deux fois plus grande de liquide piégé est présumée pour la wehrlite dunitique 3056D comparativement à la webstérite 4038B, 10% contre 5%, un lien pourrait suggéré entre les enrichissements en La et Ce et la quantité de liquide piégé présente dans la roche. Une imprégnation tardive métasomatique par un magma ou un fluide pourrait donc être envisagée pour expliquer les enrichissements en La et Ce des webstérites et de la wehrlite dunitique de la ZM.

La figure 6.4 montre des profils de contamination de la webstérite 4038B par un liquide de composition équivalente à celui dérivé de la wehrlite dunitique 3056D pour une proportion de 10% de liquide piégé. Dans le but de quantifier le taux de contamination nécessaire pour atteindre des concentrations en La d'ordres similaires à ceux observés dans les webstérites de la Zone Minéralisée de Star Chrome, les profils des webstérites 3056CPX et 4054A ont été insérés. Le profil de la webstérite 3056CPX indique un enrichissement moyen en La tandis que celui de la webstérite 4054A indique l'enrichissement maximal en La observé pour l'ensemble des webstérites de la ZM à l'exception d'un faciès de webstérite grossière (figure 4.3). Il est noté qu'un léger enrichissement en La est observable avec seulement 1% de contamination de la webstérite 4038B par un liquide enrichi de type 3056D. Pour atteindre les enrichissements en La observés dans les webstérites de la ZM, des taux de contamination variant de 3 à 20% sont nécessaires. Les concentrations en terres rares lourdes des webstérites 3056CPX et 4054A sont soient inférieures ou égales à celles de la webstérite 4038B indiquant que la webstérite 3056CPX est possiblement légèrement plus appauvrie par rapport à la webstérite moyenne (4038B) de la Zone Pyroxénitique du COTM. Les modèles présentés à la figure 6.4 appuieraient l'hypothèse d'enrichissements tardifs en La et Ce des webstérites de la ZM par un liquide de composition similaire à celui dérivé de la wehrlite dunitique 3056D. Les enrichissements en La des webstérites de la Zone Minéralisée de l'indice Star Chrome pourraient, en conséquent, également être attribuables à des processus tardifs post-cumulus.

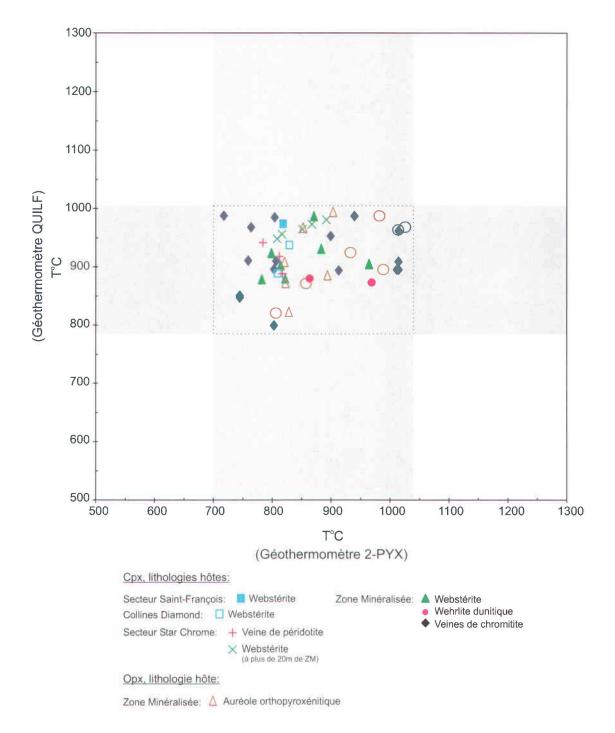


Figure 6.1. Résultats de modélisations géothermobarométriques obtenus pour des pyroxènes selon les géothermobaromètres de *QUILF* en ordonnées et *2-pyroxenes* en abcisses. Les (O) indiquent des températures obtenues sur le Ca des opx avec le géothermobaromètre *2-pyroxenes*.

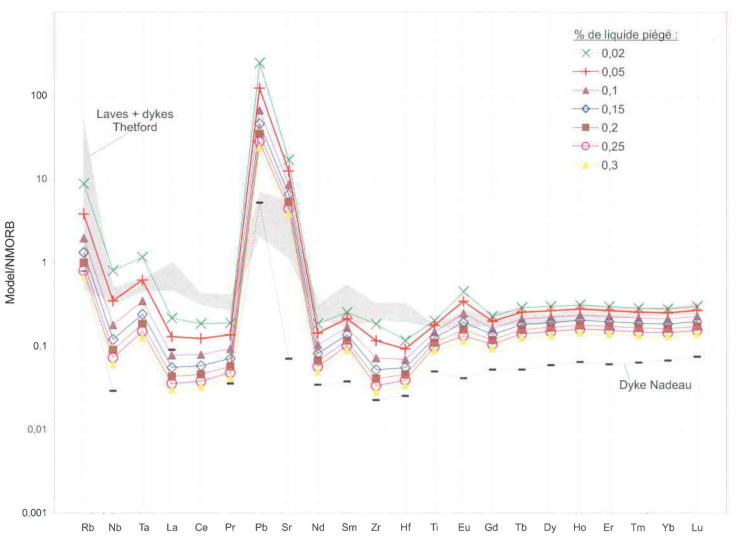


Figure 6.2. Diagramme multiéléments normalisé aux NMORB (Sun et McDonough, 1989) montrant la composition de liquides calculés obtenus par la modélisation des éléments traces de l'échantillon de webstérite 4038B du secteur Star Chrome. Compositions des laves et dykes de Thetford et composition du dyke Nadeau proviennent des travaux de Pagé (en cours).

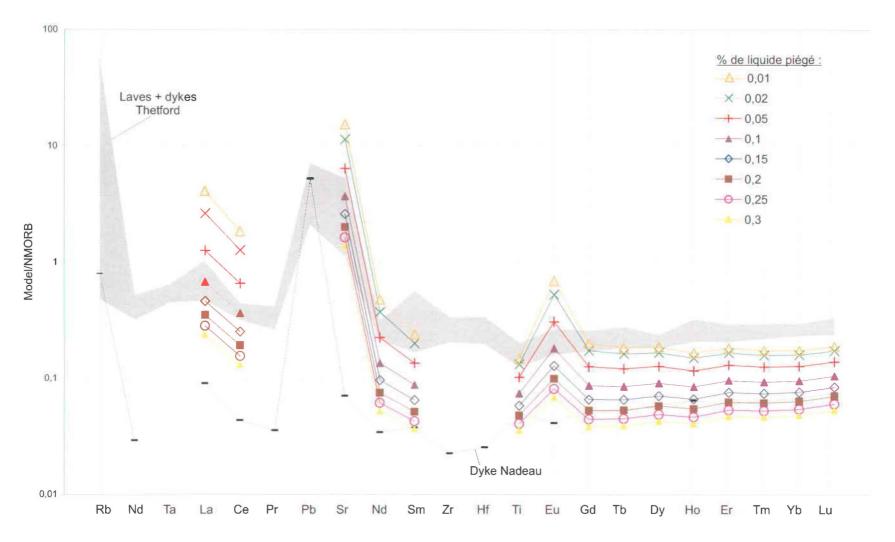


Figure 6.3. Diagramme multiéléments normalisé aux NMORB (Sun et McDonough, 1989) montrant la composition de liquides calculés obtenus par la modélisation des éléments traces de l'échantillon de wehrlite dunitique 3056D de la ZM de l'indice Star Chrome. Compositions des laves et dykes de Thetford et composition du dyke Nadeau proviennent des travaux de Pagé (en cours).

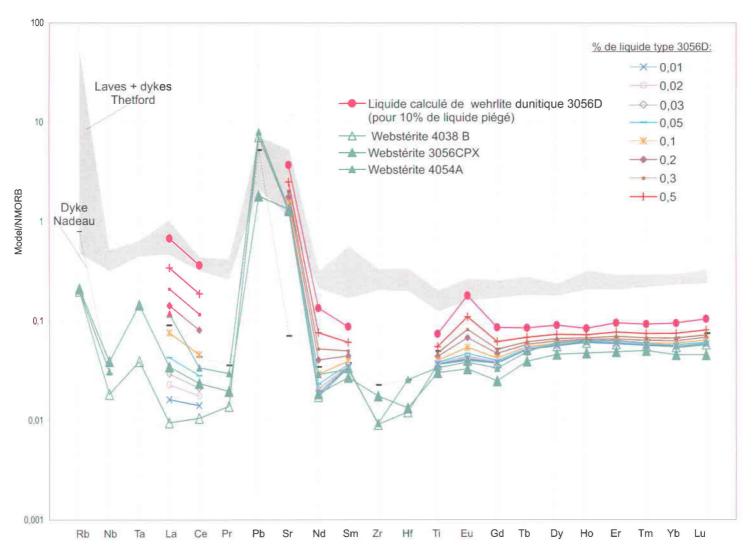


Figure 6.4. Diagramme illustrant le taux de contamination de la webstérite 4038B par un liquide enrichi en éléments incompatibles. Valeurs de normalisations NMORB tirées de Sun et McDonough (1989) tandis que les composition des laves et dykes de Thetford proviennent des travaux de Pagé (en cours).

#### **CHAPITRE VII**

#### **DISCUSSION**

# 7.1 NATURE DES ROCHES OBSERVÉES

Les relations de terrain, de concert avec les observations pétrographiques, les données de chimie minérale et de lithogéochimie, serviront à discriminer la nature des roches observées dans la zone d'étude. Il s'agira de vérifier si les lithologies sont issues de la cristallisation fractionnée successive d'un seul magma lors de la formation des Zones Dunitique et Pyroxénitique du complexe ophiolitique de Thetford Mines (COTM), ou si certaines d'entre-elles ne refléteraient pas plutôt la cristallisation d'intrusions ultramafiques, de compositions géochimiques différentes, tardives à la formation des unités cumulatives du COTM. La présence d'intrusions de magmas primitifs, notamment de nature boninitique, a été observée au sommet de la Zone Gabbroïque du COTM (Schroetter et al., 2003). La nature des veines de chromitite et de l'auréole orthopyroxénitique, observées dans la Zone Minéralisée de l'indice Star Chrome, sera discutée ultérieurement dans une section traitant des origines des minéralisations.

Tel qu'exposé dans la mise en contexte géologique, la zone d'étude chevauche le contact entre les Zones Dunitique et Pyroxénitique des cumulats du COTM. D'après les observations de terrain (présence de filons de webstérite, d'une texture bréchique et d'un contact cisaillé avec la webstérite), la dunite du secteur Saint-François a été interprétée comme un cumulat appartenant à la Zone Dunitique. Elle est essentiellement composée de serpentine (en remplacement de l'olivine) et est caractérisée par un rapport Cr/(Cr+Al) (Cr#) élevé des spinelles (figure 3.2). Son contenu en Cr est également élevé tandis que son profil en terres rares montre un appauvrissement continu des terres rares lourdes vers

les terres rares légères avec de légers enrichissements en La et Ce (figure 4.4). Ceci correspond aux profils de terres rares observés par Trottier (1982) pour les dunites cumulatives du Lac Saint-François du COTM. L'harzburgite dunitique des Collines Diamond présente un profil en terres rares similaire à celui observé pour la dunite du secteur Saint-François (figure 4.4) avec une faible concentration dans l'ensemble des terres rares et un appauvrissement continu des terres rares lourdes vers les terres rares légères. Cette similitude des profils des terres rares, combinée à des Cr# élevés (figure 3.2), indiqueraient que l'harzburgite des Collines Diamond appartiendrait également à la Zone Dunitique et qu'une source magmatique unique, ou du moins qu'une consanguinité des sources magmatiques, peut être interprétée pour la dunite du secteur Saint-François et l'harzburgite dunitique des Collines Diamond.

La présence d'orthopyroxène altéré dans l'harzburgite dunitique des Collines Diamond et de filons de webstérite dans la dunite du secteur Saint-François indiqueraient que ces unités constituent la portion sommitale de la Zone Dunitique, à proximité du contact avec la Zone Pyroxénitique (Schroetter et al., 2003).

Les webstérites cumulatives de l'ensemble de la zone d'étude appartiennent au massif pyroxénitique des Collines Diamond. Du point de vue pétrographique, elles sont toutes similaires, et présentent des olivines reliques en texture inter-cumulative. Les concentrations en terres rares indiquent des profils relativement plats en terres rares lourdes et appauvris en terres rares légères, témoignant de la grande proportion de clinopyroxène constituant les webstérites, et sont similaires aux profils observés par Trottier (1982) et Harnois et al. (1990) pour les pyroxénites cumulatives du COTM. Toutefois, de légers enrichissements en La semblent caractériser les webstérites de la Zone Minéralisée et du puits de Star Chrome, ainsi que la webstérite 4058B (figure 4.3) du secteur Star Chrome. Ces enrichissements en La feront l'objet d'une discussion ultérieure.

La wehrlite dunitique de la Zone Minéralisée (ZM) de Star Chrome (3056D) est constituée de serpentine en remplacement de l'olivine et contient 20% de clinopyroxènes

regroupés en amas centimétriques. La pétrographie de ces amas de clinopyroxènes est très semblable à celle des webstérites encaissantes (cpx frais, idiomorphes et de tailles millimétriques) et pourraient représenter des enclaves assimilées de webstérite dans la wehrlite dunitique 3056D. Les observations de terrain soulignent la présence d'un faciès hybride au contact wehrlite dunitique et webstérite encaissante. La présence de faciès hybrides, soulignant la réaction entre un magma primitif intrusif avec les cumulats encaissants, a été observé par Bédard (1991) dans le massif de North Arm de l'ophiolite de Bay of Island entre des intrusions péridotitiques et les gabbros encaissants. La présence d'amas de clinopyroxènes dans la wehrlite dunitique, d'un faciès hybride et la relation spatiale entre la wehrlite dunitique 3056D et les veines de chromitites de la ZM (planche 1.4), suggèrent que la wehrlite dunitique 3056D est intrusive. Il est aussi intéressant de noter qu'il y a abondance de petites veines de composition péridotitique aux environs (voir ci-dessous). Il n'est donc pas surprenant qu'il puisse exister des filons plus considérables. La chimie des spinelles montre d'ailleurs que, pour des Cr# et des contenus en Ti similaires, les spinelles de la wehrlite dunitique 3056D montrent un léger enrichissement en Fe<sup>3+</sup> par rapport aux roches de la Zone Dunitique des secteurs Saint-François et Diamond (figure 3.3). De plus, la wehrlite dunitique 3056D est plus enrichie en Cr et Ni par rapport aux autres unités dunitiques et les concentrations en terres rares montrent un enrichissement marqué en terres rares légères par rapport aux chondrites C1 (figure 4.4). En corrélation avec les observations de terrain, les données de chimie minérale et de lithogéochimie suggèrent que la wehrlite dunitique de la ZM (3056D) diffère des roches de la Zone Dunitique et qu'elle pourrait représenter une intrusion de matériel primitif, enrichie en terre rares légères, tardive à la cristallisation des Zones Dunitique et Pyroxénitique du COTM.

Les veines de péridotite dans le secteur d'étude semblent syn-cinématiques, constituant des veines en cisaillement dans la webstérite, et ont tendance à s'injecter parallèlement à la foliation minérale créant un pseudo-litage dans les webstérites. Elles sont maintenant constituées de serpentine, remplaçant l'olivine, et contiennent un pourcentage variable de clinopyroxènes et d'orthopyroxènes. Ce sont donc des dunites, wehrlites, clinopyroxénites et webstérites à olivine. La veine de péridotite 4057P est de composition

dunitique. Les données de chimie minérale des spinelles (Cr#, contenu en Fe<sup>3+</sup> et Ti) et les concentrations en MgO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub> et le rapport FeO\*/MgO sont très semblables à celles observées pour la wehrlite dunitique 3056D de la Zone Minéralisée de Star Chrome. Le profil des terres rares de la veines de péridotite 4057P indique un enrichissement en terres rares légères par rapport aux chondrites C1, analogue à celui observé pour la wehrlite dunitique 3056D (figure 4.4). La présence de cette veine de péridotite témoignerait de la circulation de magmas primitifs (4057P) au sein de la Zone Pyroxénitique du COTM. La veine de péridotite 4057P pourrait être génétiquement reliée à la wehrlite dunitique de la Zone Minéralisée et est donc interprétée comme reflétant la circulation d'un magma primitif, enrichi en terres rares légères, après la formations des faciès cumulatifs pyroxénitiques du COTM.

Les autres exemples de veines de péridotite (4038P et 4058P) contiennent une plus forte proportion de pyroxènes et sont des webstérites à olivine. La présence de pyroxènes pourrait être attribuée à la difficulté d'isoler ces veines de l'encaissant webstéritique lors de l'échantillonnage. Alternativement, la proportion élevées en clinopyroxènes pourrait indiquer que le magma constituant ces veines ait assimilé une partie de l'encaissant. Une troisième hypothèse serait que les veines sont moins cumulatives, c'est-à-dire qu'elles ont des compositions qui s'approchent de celle du liquide magmatique. Si la présence de clinopyroxènes est attribuée à une difficulté d'échantillonnage ou à une assimilation de l'encaissant, en conséquences, les données de chimie minérale et de lithogéochimie devraient refléter une composition intermédiaire entre la veine de péridotite de composition dunitique (4057P) et les webstérites encaissantes. Toutefois, les données lithogéochimiques indiquent que la veine 4038P est enrichie en Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> et FeO\*/MgO par rapport à l'ensemble des autres lithologies et que sa composition s'approche de celles des boninites de Thetford (figures 4.1 et 4.2). Le profil en terres rares de l'échantillon 4038P indique également un profil enrichi en terres rares lourdes et appauvri en terres rares légères, avec de légers enrichissements en La, Ce et Pr, par rapports aux chondrites C1 (figure 4.4). La concentration élevée en terres rares lourdes et les concentrations élevées en Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> et FeO\*/MgO suggèrent que la veine de péridotite 4038P a une composition qui pourrait s'approcher de celle des boninites du COTM (figure 7.1). La présence de la

veine 4038P dans la Zone Pyroxénitique témoignerait de la circulation de magma au sein de la croûte pyroxénitique. La nature de la veine de péridotique 4058P est plus difficile à déterminer. Les analyses de spinelles contenus dans cette veine indiquent de légers enrichissements en Fe<sup>3+</sup> et Ti par rapports aux autres lithologies (figure 3.3). Le profil des terres rares est plat en terres rares lourdes et généralement appauvri en terres rares légères par rapport aux chondrites C1 avec toutefois de légers enrichissements en La, Ce et Pr. Le profil en terres rares de l'échantillon 4058P est comparable à ceux observés pour les webstérites du secteur Star Chrome, de la ZM et du puits et pourrait refléter une composition intermédiaire entre la veine de péridotite 4057P et les webstérites encaissantes.

La wehrlite dunitique constituant le plancher de l'ancien puits de Star Chrome (3057D) contient des clinopyroxènes hypidiomorphes, altérés (actinote), fracturés et disséminés. Le contact entre la wehrlite dunitique et la webstérite constituant les murs du puits n'a pu être clairement observé. La chimie des spinelles indique des Cr# plus faibles que ceux observés pour l'ensemble des autres unités dunitiques. Ils peuvent toutefois être comparés aux Cr# de certaines webstérites (figure 3.2). Les spinelles indiquent des enrichissements en Fe<sup>3+</sup> et Ti similaires à ceux observés pour la veine de péridotite 4058P (figure 3.3A). Les données lithogéochimiques indiquent que la wehrlite dunitique 3057D est plus appauvrie en Cr et Ni par rapport à la wehrlite dunitique 3056D, que sa concentration en Cr est comparable à celles observées pour les veines de péridotite, tandis que son rapport FeO\*/MgO est plus élevé que celui observé pour les autres faciès riches en olivine et l'ensemble des webstérites. Les concentrations en terres rares montrent de très faibles concentrations en terres rares légères (sous les limites de détection en La, Ce et Pr), de faibles pics négatifs en Eu et Nd, et un profil plat en terres rares lourdes. Les concentrations en terres rares lourdes sont comparables à celles observées pour les veines de péridotite 4057P et 4058P tandis que de faibles anomalies négatives en Eu et Nd sont observées dans les profils des éléments en traces des veines de péridotite 4038P et 4058P. La caractérisation lithogéochimique de la wehrlite dunitique 3057D montre certaines similitudes avec les veines de péridotite (concentrations en Cr et terres rares lourdes similaires, rapport FeO\*/MgO élevé, présence d'anomalies négatives en Eu et Nd) tandis

que les Cr# des spinelles s'approchent plus de ceux observés dans les webstérite. Ceci pourrait suggérer que la wehrlite dunitique du puits de l'indice Star Chrome représente une injection de matériel primitif, non enrichi en terres rares légères, dont la composition aurait été imprégnée de la signature des webstérites encaissantes possiblement via des processus d'assimilation partielle.

En résumé, la dunite du secteur Saint-François, l'harzburgite du secteur des Collines Diamond, ainsi que l'ensemble des webstérites étudiées sont de nature cumulative et pourraient avoir été formées par des processus de cristallisation fractionnée à partir d'une même série magmatique. La wehrlite dunitique 3056D et la veine de péridotite 4057P refléteraient quant à elles la circulation de matériel primitif post-cumulatif enrichi en terres rares légères, la wehrlite dunitique 3057D indiquerait la circulation de matériel post-cumulatif non enrichi en terres rares légères, tandis que la veine de péridotite 4038P témoignerait de la circulation de matériel (magmas/fluides) plus évolué dans la Zone Pyroxénitique du COTM.

#### 7.2 COMPOSITION DU MAGMA PARENTAL

Dans les ophiolites, la composition du magma parental est typiquement déterminée à partir de la composition des faciès hypabyssaux et volcaniques. Dans le COTM, les roches de l'unité hypabyssale avait initialement été interprétées comme étant des sills (Laurent et al., 1979; Hébert, 1980; Beulac, 1982; Hébert, 1983). Une révision de la polarité des séquences cumulatives a permis à Schroetter et al. (2003) de reconnaître qu'il s'agissait en fait d'un essaim de dykes (*sheeted dyke complex*). Diverses affinités géochimiques ont été observées pour ces dykes; incluant des tholéiites d'arc, des boninites, des tholéiites de type MORB (Laurent et Hébert, 1977; Olive et al., 1997). Des affinités similaires ont été observées dans les séquences volcaniques du Lac de l'Est et du Mont Ham où une unité inférieure est composée d'un mélange de laves tholéiitiques et boninitiques, séparées d'une unité supérieure boninitique par une mince bande d'argilites (Laurent et Hébert, 1977; Beulac 1982; Hébert, 1983; Oshin et Crocket, 1986b). D'après

les observations de Schroetter et al. (2003), les deux séquences volcaniques décrites dans les secteurs du Lac de l'Est et du Mont Ham ne sont pas retrouvées sur l'ensemble du complexe et la présence de laves tholéitiques représenterait des vestiges d'une protocroûte conservés dans les parties profondes de grabens syn-océaniques; impliquant que le COTM serait essentiellement caractérisé par un volcanisme de composition boninitique (Schroetter et al., 2003).

Les rapports Cr/Al élevés et le faible contenu en TiO<sub>2</sub> des chromites, les faibles concentrations en Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> et TiO<sub>2</sub> et les concentrations relativement élevées en Cr et Ni observées pour les analyses de roches totales, en combinaison avec des enrichissements en terres rares légères et LILE par rapports aux chondrites C1, indiquent que les roches de la zone d'étude sont également d'affinité boninitique. Les calculs de liquides primitifs par la méthode de modélisation des éléments traces développée par Bédard (1994; 2004 a, b et en préparation) ont également indiqué une affinité boninitique pour les liquides calculés pour les roches cumulatives du COTM, notamment pour la webstérite 4038B et la wehrlite dunitique 3056D de la présente étude. Ceci corrobore des calculs de liquides primitifs effectués par Hébert et Laurent (1989) pour des roches cumulatives du COTM qui indiquaient une composition de liquide comparable à celles des laves boninitiques de l'unité volcanique inférieure. Une série magmatique d'affinité boninitique est donc privilégiée pour la formation des faciès cumulatifs de l'ophiolite.

# 7.3 ENRICHISSEMENTS EN ÉLÉMENTS INCOMPATIBLES

Les profils des terres rares indiquent que certains échantillons sont affectés par des enrichissements variables en éléments incompatibles. En effet, les webstérites en contact avec la Zone Minéralisée (ZM), ou le puits de Star Chrome, montrent de légers enrichissements en La et Ce par rapport aux webstérites observées dans les secteurs Saint-François et Diamond (figure 4.3). La webstérite 4058B du secteur Star Chrome montre également des légers enrichissements en La et Ce comparativement aux autres webstérites du secteur Star Chrome. Cette webstérite est d'ailleurs celle qui est localisée le plus près

de la ZM. Qu'est-ce qui contrôle ces enrichissements? Sont-ils reliés à une particularité de la source magmatique ou résulteraient-ils plutôt d'effets métasomatiques post-cumulatifs?

Puisque l'ensemble des webstérites sont interprétées comme étant cumulatives et cogénétiques, un enrichissement en éléments incompatibles associé à une particularité de la source magmatique devrait donc être perceptible dans l'ensemble des lithologies constituant la Zone Pyroxénitique. Toutefois, pour les webstérites de la zone d'étude, les enrichissements en éléments incompatibles semblent être restreints aux échantillons en contact, ou du moins localisés à proximité de la Zone Minéralisée (ZM) de l'indice Star Chrome. La figure 7.2 indique une grande variabilité du rapport La/Sm au sein même des webstérites des secteurs de la ZM et du puits. Compte tenu que ces échantillons couvrent une superficie restreinte et que certains d'entre eux ne sont séparés que de quelques dizaines de centimètres, ces rapports variables témoignent d'enrichissements en La très ponctuels reflétant davantage des processus d'enrichissements locaux que des processus à l'échelle de la Zone Pyroxénitique. Certaines webstérites de la ZM et du puits ont des rapports La/Sm similaires à ceux observés pour les webstérites des secteurs Saint-François, Diamond et Star Chrome, réaffirmant le caractère local des enrichissements en éléments incompatibles. Ces enrichissements sont donc attribués à des processus métasomatiques post-cumulatifs. Ceci corrobore l'hypothèse d'enrichissements tardifs en La et Ce tels que suggérés par la modélisation des éléments traces de la wehrlite dunitique 3056D et la divergence existant entre les concentrations en La, Ce et en terres rares lourdes lors de la contamination d'une webstérite type (4038B) par un fluide enrichi en terres rares légères (figures 6.3 et 6.4). De tels processus métasomatiques sont d'ailleurs fréquemment invoqués comme processus d'enrichissements secondaires en éléments incompatibles des péridotites mantelliques (Pagé et al., 2003) et ont été proposés pour expliquer l'enrichissement en éléments du groupe du platine (ÉGP) dans certaines intrusions litées (e.g., Boudreau, 1999; Boudreau et Meurer, 1999).

Les rapports La/Sm observés dans les unités dunitiques et veines de péridotite ne dépendent pas de la concentration en La, contrastant avec ce qui est observé pour les

webstérites (figure 7.2). Pour des concentrations en La similaires, le rapport La/Sm de la wehrlite dunitique 3056D est plus du double de celui de la veine de péridotite 4057P qui indique, à son tour, un rapport La/Sm deux fois plus élevé que celui de la veine de péridotite 4038P. Les profils des terres rares de la wehrlite dunitique 3056D et de la veine de péridotite 4057P montrent des enrichissements marqués en terres rares légères. Ces lithologies ont d'ailleurs précédemment été interprétées comme représentant des intrusions de matériel primitif dans les cumulats webstéritiques du complexe ophiolitique de Thetford Mines. La veine de péridotite 4038P ne montre pas d'enrichissements marqués en terres rares légères mais indique un profil généralement plus concentré dans l'ensemble des éléments incompatibles comparativement aux autres lithologies étudiées. Cet échantillon montre d'ailleurs une composition similaire à celle des boninites de Thetford, fortes concentrations en Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> et TiO<sub>2</sub>, un rapport FeO\*/MgO élevé, et est interprété comme représentant la circulation de matériel évolué au sein de la Zone Pyroxénitique. La composition de la veine de péridotite 4038P est présumée représenter celle d'un quasi-liquide (figure 7.1). La concentration en La de la veine de péridotite 4038P, très similaire à celles de la wehrlite dunitique 3056D et de la veine de péridotite 4057P, laisse supposer que la composition de cette veine de péridotite pourrait correspondre à la composition du liquide responsable de l'enrichissement en éléments incompatibles observé dans la wehrlite dunitique 3056D et la veine de péridotite 4057P mais également dans les webstérites de la ZM et du puits de l'indice Star Chrome. Il est reconnu que les fluides magmatiques peuvent percoler sur une certaine distance avant de s'injecter dans des systèmes de fractures (e.g., Nelson et Wilshire, 1993). Les roches riches en olivine, entre autre à cause de l'angle dièdre de l'olivine, permettent généralement une meilleure percolation des fluides magmatiques (e.g. Mathez, 1999). Ceci pourrait expliquer l'enrichissement marqué en terres rares légères observé dans les profils de la wehrlite dunitique 3056D et la veine de péridotite 4057P par rapport aux webstérites de la Zone Minéralisée et du puits.

La dunite du secteur Saint-François a un rapport La/Sm normalisé aux chondrite C1 légèrement supérieur à un pour une très faible concentration en La (0,011 ppm). Le coefficient de partage du La dans l'olivine, en équilibre avec un magma basaltique, est

légèrement inférieur à celui du Sm (figure 4.5), ce qui devrait donner un rapport La/Sm légèrement inférieur à un. Toutefois, puisque la source magmatique avancée pour les cumulats du COTM serait d'affinité boninitique et que les boninites sont reconnues pour être enrichies en terres rares légères (profil des terres rares en forme de « U »), ce rapport La/Sm montrant un léger enrichissement en terres rares légères pour la dunite du secteur Saint-François pourrait donc être refléter une caractéristique de la source magmatique. Un liquide provenant de la cristallisation de dunites de compositions similaires à celle observée dans le secteur Saint-François pourrait donc avoir une concentration élevée en éléments incompatibles, notamment en terres rares légères (La/Sm > 1), et pourrait migrer vers la Zone Pyroxénitique pour enrichir les webstérites du secteur Star Chrome. Alternativement, ces concentrations élevées en terres rares légères pourraient enregistrer une histoire plus complexe avec augmentations successives des contenus en La et Ce par des petites injections de liquide évolué.

L'association spatiale entre les enrichissements en éléments incompatibles et la zone minéralisée de Star Chrome suggère qu'un lien existe entre les deux phénomènes. En effet, certains modèles d'enrichissements en ÉGP suggèrent que ces derniers sont concentrés par des fluides tardifs, notamment de natures magmatiques ou hydrothermales (e.g., Balhaus et Stumpfl, 1986; Boudreau et al., 1986; Boudreau et McCallum, 1992; Boudreau et Meurer, 1999). Boudreau et Meurer, (1999), suggèrent que les ÉGP se concentrent à un front de réaction lors de la percolation d'un fluide vers le haut d'un empilement de cumulats en solidification empruntant un mécanisme de concentration similaire à celui observé dans une colonne chromatographique. Un graphique du rapport La/Sm en fonction de la concentration totale en ÉGP montre qu'il existe un découplage entre les processus d'enrichissements en éléments incompatibles et celui en ÉGP (figure 7.3A). Oshin et Crocket (1982) et Tanguay et al. (1990) ont observé des chevauchements dans les rapports Ni/Co des courbes de fractionnement des dunites et des pyroxénitesgabbros de la zone cumulative du COTM, suggérant l'interaction de plusieurs liquides dans la formation de ceux-ci. Des chevauchements similaires des rapports Ni/Co sont observés entre les faciès riches en olivine, veines de péridotites et pyroxénites de l'indice Star Chrome (figure 7.3B). Ceci témoignerait de l'implication de plus d'un liquide à Star

Chrome et pourrait expliquer le découplage observé entre les enrichissements en éléments incompatibles et les concentrations en ÉGP. La figure 7.3B montre également qu'il y a une bonne corrélation entre les fortes concentrations en Pt et la courbe de fractionnement de la dunite suggérant que les minéralisations en ÉGP retrouvées à l'indice Star Chrome peuvent être associées à des liquides dérivés de la cristallisation de la Zone Dunitique du COTM.

## 7.4 ORIGINES DES MINÉRALISATIONS

L'indice Star Chrome se distingue des autres gîtes et indices de chromitite du COTM par sa position dans la stratigraphie de l'ophiolite et par ses concentrations élevées en Pt et Pd. Cette section traitera de l'origine des minéralisations en chromitite et ÉGP et tentera d'établir si des processus de formation similaires peuvent être proposés, ou s'ils ont des origines différentes.

### 7.4.1 Chromitites

Dans la littérature, un modèle de formation unique est typiquement proposé pour la formation de toutes les chromitites ophiolitiques. Ce modèle suggère que des magmas primitifs, chenalisés dans le manteau, s'engorgent de cristaux de chromite à cause d'une vitesse d'ascension du magma inférieure à la vitesse de décantation des grains ou nodules de chromite (Lago et al., 1982; Leblanc et Ceuleneer, 1991). Les auréoles de dunite entourant ces dépôts sont alors nterprétées comme reflétant des zones cumulatives ou des zones d'assimilation partielle fournissant le Cr nécessaire à la formation des gîtes (Zhou et al., 1996). Ce modèle est valable pour les gîtes de chromite retrouvés dans le manteau et à la base de la Zone Dunitique du COTM mais explique mal la formation de gîtes et indices à des niveaux stratigraphiques supérieurs. Pour expliquer la présence de chromitites intra-crustales, Bédard et Hébert (1998) et Hébert et Bédard (2000) ont proposé un modèle basé sur la contamination d'intrusions péridotitiques par les roches encaissantes (gabbros ou pyroxénites) où une dissolution partielle des feldspaths et

pyroxènes de la roche hôte entraînerait la saturation du liquide péridotitique en chromite. La composition des chromitites formées par de tels processus refléterait davantage celle de la roche se faisant assimilée que de celle de l'intrusion magmatique dérivée du manteau (Bédard et Hébert, 1998). Ce mécanisme de syntexie n'est pas sans rappeler celui de contamination crustale du magma proposé par Irvine (1975) pour expliquer la formation de chromitite dans les complexes ignés lités.

Les Zones Dunitique et Pyroxénitique du COTM encaissent de nombreux gîtes et indices de chromitite dont certains contiennent des valeurs anomales en ÉGP. Le gîte Reed-Bélanger est l'exemple type cité comme représentant des minéralisations stratiformes, c'est-à-dire des minéralisations concordantes, localisées à la base des cumulats dunitiques (Kaçira, 1971). La chromite est massive à disséminée et forme des lits massifs ou diffus dont certains montrent des signes de plissements isoclinaux (Hébert et Bédard, 2000). Ce type de chromitite est interprété comme étant d'origine cumulative résultant d'un dépôt gravitationnel dans des filons couches intra-crustaux ou dans des apports magmatiques piégés à l'interface croûte-manteau (Hébert et Bédard, 2000; Pagé et al., 2000). Ces chromitites ne contiennent qu'occasionnellement des concentrations appréciables en ÉGP et leurs contenus en Pt et Pd sont généralement plus faibles que ceux observés pour des chromitites intra-crustales discordantes (e.g., Hall et Star Chrome; Pagé et al., 2002).

Le haut des Zones Dunitique et Pyroxénitique du COTM contiennent des chromitites enrichies en ÉGP, notamment en platine, palladium et rhodium (Gauthier et al., 1990). L'exemple le plus connu est le gîte Hall qui est caractérisé par des chromitites, de texture anti-nodulaire remplissant des brèches dans une dunite métasomatique, qui sont discordantes à la foliation et au litage des pyroxénites et péridotites hôtes (Bédard et al., 1992). Un processus de dissolution sélective des pyroxènes de la roche encaissante est interprété comme ayant contribué à l'enrichissement en chrome (Hébert et Bédard, 2000). L'implication d'un magma boninitique, avec des concentrations élevées en H<sub>2</sub>O et en Cl, aurait retardé la saturation en chromite et pourrait expliquer le remplissage tardif des brèches par la chromite (Bédard et al., 1992; Morin et al., 1992; Bédard et Hébert, 1998). L'indice Finneth #1 est un autre exemple de chromitite encaissée dans la Zone

Pyroxénitique et enrichie en ÉGP, particulièrement en Pt et Pd (Gauthier et al., 1990). La chromite de Finneth #1 est interprétée comme étant de nature réactionnelle (Pagé et al., 2001) et proviendrait de la dissolution partielle des pyroxènes de la roche encaissante (wehrlite) par un magma primitif saturé en chromite (Bédard et Hébert, 1998; Hébert et Bédard, 2000).

Qu'en est-t-il des chromitites de l'indice Star Chrome; sont-elles de nature cumulative, provenant d'une décantation à l'intérieur d'un filon couche intra-crustal, ou seraient-elles plutôt de nature métasomatique, associées à la présence d'une injection tardive d'un magma hydraté ou d'un fluide (H<sub>2</sub>O et Cl) comme proposé pour la formation du gîte Hall? Est-ce qu'un enrichissement local en chrome, provenant de la dissolution/résorption des clinopyroxènes de la webstérite encaissante, pourrait expliquer la présence de chromitites au sein de la Zone Pyroxénitique du COTM?

Les observations de terrain, appuyées par les données de chimie minérale et de lithogéochimie, ont permis de discriminer la présence d'une wehrlite dunitique de nature intrusive (3056D) au sein de la Zone Minéralisée de l'indice Star Chrome. L'observation de veines et d'amas de chromite encaissés par cette wehrlite dunitique (planche 1.4) indiquerait l'existence d'un lien probable entre la wehrlite dunitique 3056D et le processus de formation des minéralisations en chromite de Star Chrome. La morphologie anastomosée des veines de chromitites, l'observation d'une texture anti-nodulaire (planches 1.3 et 1.4), et de bordures réactionnelles d'orthopyroxénite, impliquent une formation tardive de la minéralisation, avec digestion partielle des encaissants. Les évidences de déformations plastiques de haute-température (planches 1.3 et 1.4) suggéreraient que des conditions dynamiques prévalaient lors de la précipitation de la chromite à Star Chrome. Ces observations semblent peu compatibles avec l'hypothèse d'une formation par des processus de décantation au sein d'un filon couche intra-crustal, telle que proposée pour la formation des chromitites stratiformes. Aussi, la wehrlite dunitique 3056D montre des enrichissements marqués en terres rares légères et LILE, contrastant avec ce qui est observé pour les dunites massives de la Zone Dunitique. Ces enrichissements en éléments traces hygromagmatophiles ont été interprétés dans la

section 7.3 comme reflétant des processus métasomatiques post-cumulatifs. L'association spatiale entre les minéralisations en chromite et cette wehrlite dunitique métasomatisée permettrait d'envisager qu'un processus de formation analogue à celui proposé pour le gîte Hall, où l'interaction de la roche encaissante avec un magma/fluide riche en H<sub>2</sub>O et en Cl (Bédard et al., 1992; Morin et al., 1992; Bédard et Hébert, 1998) est impliquée dans l'origine de formation des chromitites, pourrait être suggéré pour la formation des minéralisations en chromite de l'indice Star Chrome.

Un processus d'assimilation/résorption des clinopyroxènes de la webstérite encaissante est envisageable comme source d'enrichissement en chrome. D'emblée, les observations de terrain indiqueraient qu'il y aurait possiblement eu dissolution partielle de la webstérite encaissante à Star Chrome, suivie d'un remplacement du clinopyroxène par l'orthopyroxène. La présence d'une auréole orthopyroxénitique soulignant le contact entre les veines de chromitite et la wesbstérite encaissante, lorsque les veines sont encaissées dans de la wehrlite dunitique, et la présence d'orthopyroxène soulignant le contact wehrlite dunitique/webstérite, témoignerait d'une assimilation partielle (ou réaction) de l'encaissant par une intrusion primitive, possiblement saturée en orthopyroxène.

La présence d'enclaves de webstérite au sein de l'auréole orthopyroxénitique (planche 1.3) indique une chronologie relative où la cristallisation de l'orthopyroxénite serait tardive par rapport à celle de la webstérite allant ainsi à l'encontre de l'ordre de cristallisation (chromite + olivine, orthopyroxène, clinopyroxène, plagioclase) établi par Schroetter et al. (2003) pour la séquence cumulative du COTM. La présence de telles auréoles réactionnelles orthopyroxénitiques serait en accord avec une saturation en chromite et orthopyroxène d'un liquide primitif, possiblement induit par l'assimilation des roches encaissantes, notamment les clinopyroxènes de la webstérite (Zhou et al., 1996; Bédard et Hébert, 1998). Ceci appuierait l'hypothèse d'une formation de l'auréole orthopyroxénitique via un mécanisme de syntexie, i.e. par dissolution partielle de la roche hôte par le liquide primitif.

Dans leur modèle, Bédard et Hébert (1998) proposent que la composition de la chromite formée par des processus d'assimilation et de résorption de la roche encaissante dépend davantage de la nature des minéraux assimilés que de la composition du magma. La figure 7.4 montre trois diagrammes du Cr# en fonction du Fe<sup>2+</sup># comparant les chromitites de Star Chrome avec des gîtes de chromitites stratiformes encaissés dans la Zone Dunitique du COTM, le gîte Hall et différents environnements tectoniques (Barnes et Roeder, 2001). À l'instar du gîte Reed-Bélanger, les autres indices stratiformes présentés, en l'occurrence les Mines Montréal et Huard, sont encaissés dans la Zone Dunitique du Massif du Mont Adstock à proximité de la zone d'étude (figure 1.3). Les chromitites de Star Chrome ont des Cr# similaires à celles des chromitites stratiformes du COTM (Pagé, 2002) et à celles définissant le champ plus large des chromitites ophiolitiques (Barnes et Roeder, 2001), tandis que leur contenu en Fe<sup>2+</sup> est plus élevé et ressemble davantage aux chromitites issues des intrusions ignées litées (Barnes et Roeder, 2001). Toutefois, en comparaison avec les chromitites du gîte Hall, les chromitites de Star Chrome ont des Fe<sup>2+</sup># similaires avec des Cr# plus faibles. Hall et Star Chrome ayant tous deux des pyroxénites comme encaissants, la valeur élevée en Fe<sup>2+</sup># des chromitites de Hall et Star Chrome par rapport aux chromitites stratiformes du COTM pourrait donc refléter l'influence de la composition de la roche encaissante sur la composition des chromites. Alternativement, le contenu élevé en Fe<sup>2+</sup> pourrait refléter un effet de la température de cristallisation.

La juxtaposition des compositions des chromites avec les isothermes de la forstérite (Fo) de l'olivine coexistante, calculés par Bédard et Hébert (1998), pourrait suggérer une alternative à cette hypothèse syntectique. Ces isothermes ont été calculés pour une température de 700°C, ce qui correspond assez bien avec les températures de rééquilibration obtenues par calculs géothermobarométriques sur les olivines et chromites des ophiolites appalachiennes (Bédard et Hébert, 1998). Les pyroxènes cependant, préservent des températures plus élevées (figure 6.1). La figure 7.4 indique que les chromitites de Star Chrome se retrouvent entre les isothermes de 700°C correspondants à des olivines de Fo 87 et Fo 92. Ces valeurs en forstérite sont plus faibles que celles déduites pour le gîte Hall ou pour les chromitites stratiformes du COTM. En comparaison

avec les chromitites de Hall, les faibles valeurs en Fo des olivines correspondant aux chromitites de Star pourraient indiquer que ces dernières sont le produit d'un liquide plus évolué, possiblement de température moins élevée. Roberts et Neary (1993) ont observé que les olivines associées à des chromitites ophiolitiques ont typiquement des valeurs élevées de Fo (Fo<sub>94-96</sub>) et suggèrent que ces variations refléteraient davantage des échanges Fe-Mg postcumulus/subsolidus entre la chromite et l'olivine qu'un contenu initial en Mg de l'olivine. De tels échanges, dans un environnement où la proportion modale de chromite tamponne la perte de Mg des grains de chromite vers les olivines interstitielles, auraient tendance à produire des valeurs anormalement élevées en Mg dans les olivines. Les fortes valeurs de Fo observées pour Hall comparativement à Star Chrome pourraient donc être reliées aux différences de proportions modales de chromite et d'olivine entre les deux dépôts, ne reflétant pas nécessairement la nature du liquide/magma impliqué. Également à souligner que les veines de chromitite de l'indice Star Chrome sont généralement de petites tailles (1 à 10 cm en épaisseur) ce qui pourraient favoriser les échanges Fe-Mg. Aussi, considérant la prédominance de webstérite comme roche encaissante, la nature des échanges Fe-Mg entre clinopyroxène et chromite serait à examiner.

# 7.4.1 ÉGP

Les minéralisations en ÉGP observées à Star Chrome consistent principalement en des chromitites avec des concentrations élevées en Pt et Pd par rapport aux chromitites stratiformes encaissées dans la Zone Dunitique qui ceinture les Collines Diamond (figure 1.3). Par contre, les contenus en Os, Ir et Ru des chromitites stratiformes (e.g. la Mine Montréal) sont du même ordre de grandeur que les chromitites de Star Chrome (figure 5.1). Seules les concentrations du gîte Hall indiquent des enrichissements marqués en Os, Ir et Ru. Par rapport aux chromitites de Hall et Finneth #1 (figure 5.1 : Gauthier et al., 1990), Star Chrome montre des concentration en Rh similaires, avec des enrichissements marqués en Pt et Pd. D'où proviennent ces enrichissements en Pt et Pd? Reflètent-ils une caractéristique de la source magmatique ou sont-ils plutôt le produit d'une concentration via des processus tardi-magmatiques, possiblement hydrothermaux? Est-ce que des

processus tardifs et/ou de remobilisation peuvent expliquer les concentrations appréciables d'ÉGP et la présence de MGP dans les chromitites de Star Chrome?

Les observations empiriques ont depuis longtemps indiquées que les roches mafiques et ultramafiques contenant des sulfures étaient aussi enrichies en Ni, Cu, ÉGP, Au et Ag. Les ÉGP sont chalcophiles et montrent une propension pour les liquides sulfureux (Barnes et al., 1993). Puisque le manteau constitue la source ultime d'ÉGP, la capacité du magma à dissoudre les sulfures est aussi un facteur important pour former des gîtes d'ÉGP. Le transport du magma vers le site d'intrusion est également un paramètre critique dans la formation d'un dépôt d'ÉGP. Ainsi, si le magma perd sa phase sulfurée avant d'arriver au site de dépôt, c'est à dire s'il y a ségrégation précoce des sulfures, les ÉGP seront complètement récupérés par ces derniers et déposés en profondeur (Barnes et al., 1988). Tel que mentionné au chapitre V, le fait que les coefficients de partage des ÉGP dans les sulfures sont plus élevés que ceux du Ni et le Cu peut fournir des indications quant à la ségrégation précoce des sulfures (Barnes et al., 1988). La figure 5.1 montre des profils en forme d'arches doublées pour les chromitites, avec des concentrations marquées en Pt et Pd, et en forme d'arche simple pour les concentrations en Rh, Pt, et Pd pour les wehrlites dunitiques et pyroxénites de la Zone Minéralisée (ZM) et du secteur Star Chrome. Ces patrons indiquent que les chromitites de Star Chrome, ainsi que leurs unités encaissantes, pourraient contenir des sulfures enrichis en ÉGP, principalement en Pt et Pd; impliquant que les sulfures n'ont pas été retenus dans le manteau ou perdus lors de l'immiscibilité de sulfures en profondeur. La figure 7.5 montre que le rapport Cu/Pd des échantillons provenant de la ZM ou du secteur Star Chrome ont des concentrations en Pd supérieures à celle du manteau tandis que les échantillons de webstérite prélevés dans les secteurs du Lac Saint-François et des Collines Diamond ont des contenu en Pd similaires à ceux du manteau. Ceci pourrait témoigner de la plus grande fertilité des magmas parentaux impliqués dans la formation des unités pyroxénitiques du secteur Star Chrome et reflèterait donc une caractéristique de la source magmatique. Toutefois, il est possible d'observer des variations considérables de la concentration en Pd et La (figures 7.5 et 7.2 respectivement) pour des échantillons de webstérite de la ZM de Star Chrome, échantillons qui sont physiquement très rapprochés

et chimiquement très semblables, ce qui suggérerait l'implication de mécanismes d'enrichissements tardifs pour ces éléments.

Selon Barnes et al. (1988), l'utilisation de rapports multi-éléments peut s'avérer utile pour évaluer si une ségrégation des sulfures a eu lieu. Ainsi, les roches se trouvant à droite du champ délimité par les roches effusives mafiques (komatiites, basaltes riches en MgO et basaltes en plateau - figure 7.6) présenteraient des rapports Ni et Cu sur ÉGP élevés, indiquant possiblement que le magma a subi une ségrégation de ses sulfures et qu'il a conséquemment perdu ses ÉGP (Barnes et al., 1993). Par contre, si les roches ont des rapports de Ni et Cu sur ÉGP inférieurs à ceux observés dans les roches effusives, alors un processus d'enrichissement en ÉGP peut être soupçonné, indiquant que l'intrusion est une bonne cible pour contenir un dépôt d'ÉGP (Barnes et al., 1993). La figure 7.6 montre que les échantillons de webstérites proximales et la veine de péridotite 4058P ont des rapports Ni/Pd et Cu/Ir inférieurs à ceux des roches effusives, suggérant l'action d'un processus d'enrichissement en ÉGP dans le secteur Star Chrome. Les rapports Ni/Pd et Cu/Ir des chromitites de Star Chrome sont similaires à ceux rapportés pour les chromitites d'intrusions ignées litées (IIL) ou encore les « reef » d'ÉGP, suggérant que les processus d'enrichissements en ÉGP des chromitites de Star Chrome s'apparenteraient à ceux décrits pour ces types d'environnements. Ceci serait en accord avec les patrons d'arches prononcés en Pt et Pd observés dans les profils de métaux qui rappelaient ceux observés pour les minéralisations de type « reefs » (figure 5.1).

De nombreux mécanismes sont invoqués pour expliquer la concentration en ÉGP dans les ophiolites et les intrusions ignées litées. Une hypothèse orthomagmatique (Campbell et al., 1983; Irvine et al., 1983; Barnes et Naldrett, 1985) suggère que l'interaction entre deux magmas sous-saturés provoque une saturation en S permettant la formation d'un liquide sulfuré immiscible, qui concentre les ÉGP. Les concentrations anomaliques en ÉGP des chromitites de Star Chrome pourraient effectivement refléter une caractéristique du magma parental. La saturation en sulfures de ce magma pourrait alors être induite par des changements de la température, de la composition du magma ascendant, de l'augmentation de la concentration en S du magma, et/ou d'une baisse au niveau de la

fugacité de l'oxygène (fO<sub>2</sub>) ou de la pression (MacLean, 1969; Haughton et al., 1974). L'immiscibilité des sulfures concentrerait alors les ÉGP (Campbell et al., 1983). Un problème avec ce modèle serait la quantité insignifiante de sulfures observés et l'inexistence de corrélation entre les concentrations observées en Pt et Pd et S pour l'ensemble des lithologies analysées (figure 5.3). Un modèle orthomagmatique impliquerait donc nécessairement une perte tardive de S et Cu, possiblement lors du métamorphisme, notamment lors de la serpentinisation.

L'hypothèse post-cumulative ou deutérique (Boudreau et McCallum, 1992; Boudreau, 1999; Boudreau et Meurer, 1999) fait appel à des processus post-cumulatifs de transport des ÉGP, via un fluide, agissant lors de la solidification d'un épais empilement de cristaux. Un mécanisme de concentration similaire à celui observé le long d'une colonne chromatographique a d'ailleurs été invoqué par Boudreau et Meurer (1999). Ce modèle suggère qu'il y a concentration d'ÉGP à un front de réaction lors de la percolation d'un fluide vers le haut d'un empilement de cumulats en solidification. Ainsi, la concentration en ÉGP dans un fluide se dégazant d'un empilement de cumulats serait faible au-dessus ou en-dessous du front de résorption et élevée au front de réaction. L'enrichissement total serait fonction de la distance parcourue par le front de réaction impliquant qu'une certaine épaisseur de cumulats est requise pour avoir des concentrations totales significatives en ÉGP.

Barnes et al. (1985), ont suggérer qu'une fusion partielle de 20 à 25% du manteau est nécessaire pour concentrer suffisamment les ÉGP pour former des dépôts économiques. Un magma parental d'affinité boninitique, tel qu'interprété pour les unités cumulatives du complexe ophiolitique de Thetford Mines (COTM), suggérerait que le manteau pourrait avoir atteint un taux de fusion partielle suffisamment élevé pour générer des magmas enrichis en ÉGP. D'ailleurs, les analyses des éléments majeurs et traces indiquent que les harzburgites du COTM représentent des résidus de 20 à 25% de fusion (Pagé et al., 2003). Une comparaison entre les caractéristiques de différents complexes ophiolitiques a conduit Prichard et al. (1996) à proposer que les ophiolites montrant des enrichissements en Pt et Pd sont caractérisées par d'épaisses unités crustales qui ont cristallisé à partir de

magmas boninitiques enrichis en ÉGP et qui se sont formées dans des zones de subduction.

La croûte du COTM est interprétée comme s'étant cristallisée à partir d'une série magmatique dominante d'affinité boninitique (Schroetter et al., 2003 et section 7.2). Dans la zone d'étude, les lithologies sont également d'affinité boninitique, appuyant l'hypothèse de l'implication d'une seule série magmatique dans la formation des unités cumulatives. Cette déduction contraste un peu avec le modèle d'enrichissement en ÉGP par des processus de mélanges magmatiques. La présence de potarite (PdHg), un minéral de basse température encaissé dans de la serpentine ou de l'actinote interstitielle aux chromites dans la chromitite de Star Chrome implique un processus tardif. Les enrichissements en éléments traces, tels La et Ce, dans les roches situées près de la Zone Minéralisée (ZM), et le découplage entre ceux-ci et les concentration en ÉGP suggèrent que les fortes concentrations en Pt et Pd observées à Star Chrome soient le résultat de processus métasomatiques. Ces enrichissements en La et Ce semblent incompatibles avec un lessivage hydrothermal intensif. Également, la présence d'un faciès de webstérite grossière (pegmatitique - 4066BG), montrant un très fort enrichissement en terres rares légères (figure 4.3), a été reconnu dans la ZM de Star Chrome. L'association de roches pegmatitiques avec des chromitites d'horizons enrichis en ÉGP dans les intrusions ignées litées ont amené certains chercheurs à suggérer que l'infiltration de fluides et l'action de processus métasomatiques peuvent être déterminants dans la formation d'horizons tels le Merensky Reef (Bushveld) et le J-M Reef (Stillwater) (e.g., Von Gruenewaldt, 1979; Stumpfl et Rucklidge, 1982).

Dans le COTM, les Zones Dunitique et Pyroxénitique sont hôtes de nombreux gîtes et indices de chromitites, dont certains ont été reconnus pour leur caractère platinifère et palladifère (e.g. Hall, Finneth #1, Nayes; Gauthier et al., 1990). Considérant que la Zone Dunitique fait environ 1 km d'épaisseur, qu'elle enferme des concentrations anomaliques en ÉGP, que l'indice Star Chrome est localisé dans la Zone Pyroxénitique sus-jacente, un modèle de concentration des ÉGP via un mécanisme de concentration le long d'une colonne chromatographique (Boudreau et Meurer, 1999) pourrait être envisager pour

expliquer les teneurs exceptionnellement élevées en Pt et Pd des chomitites de l'indice Star Chrome. Toutefois, la superficie plutôt restreinte de la Zone Minéralisée de Star Chrome (~ 60 m²), la présence de failles pré-obduction et la présence de chromitites dans une position stratigraphique aussi élevée, suggéreraient plutôt une canalisation de résidus de fusions riches en Cl et H<sub>2</sub>O provenant de la différentiation d'une intrusion boninitique à la base de la croûte telle qu'avancée par Hébert et Bédard (2000) (cf. Corrivaux et Laflamme, 1990). Les ÉGP auraient été concentrés dans ces fluides puis transportés le long des structures pré-obduction jusqu'au site de dépôt. La séparation des ÉGP des fluides peut être engendrée par la rencontre d'une barrière de perméabilité, ou par un changement abrupte des conditions de Eh-pH des fluides (Ballhaus et Stumpfl, 1986; Boudreau et al., 1986).

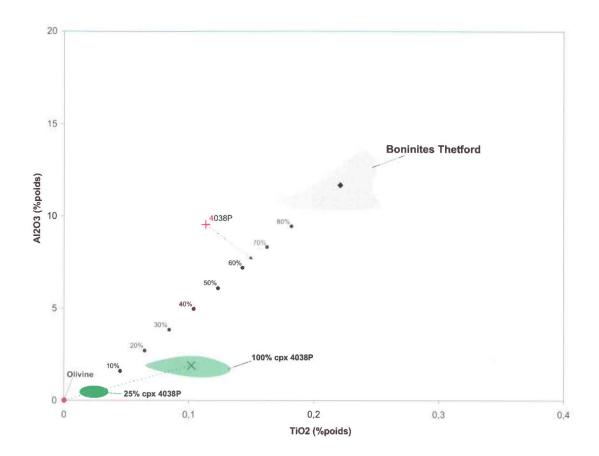


Figure 7.1. Diagramme binaire de la concentration en Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (% poids) en fonction de la concentration en TiO<sub>2</sub> (% poids) pour la veine de péridotite 4038P et les cpx la constituant. Une ligne de mélange entre la composition en cpx de 4038P (25% cpx) et le liquide type du COTM (boninites de Thetford, tirées de Oshin et Crocket (1986)) indiquerait que la composition roche totale de la veine de péridotite 4038P s'approcherait d'une composition constituée à environ 60-70 % de liquide.

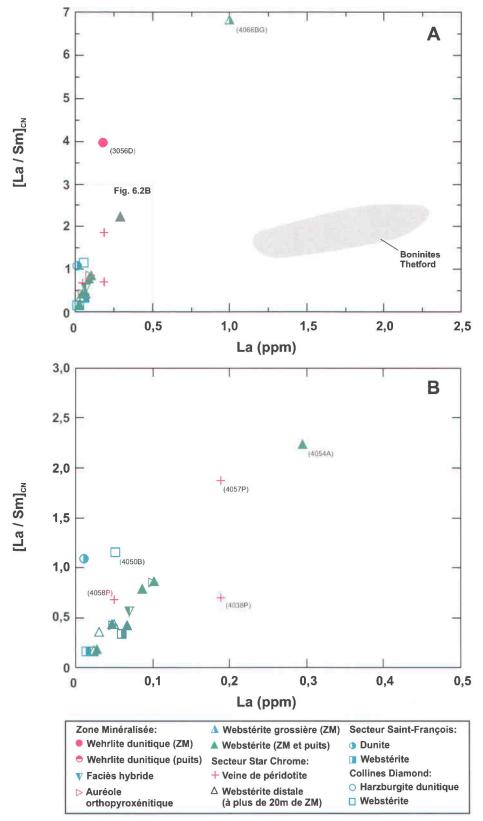


Figure 7.2. Diagramme [La/Sm]<sub>CN</sub> en fonction du La montrant le fractionnement des terres rares légères. Composition des boninites de Theford compilée de Oshin et Crocket (1986) et Olive et al. (1997).

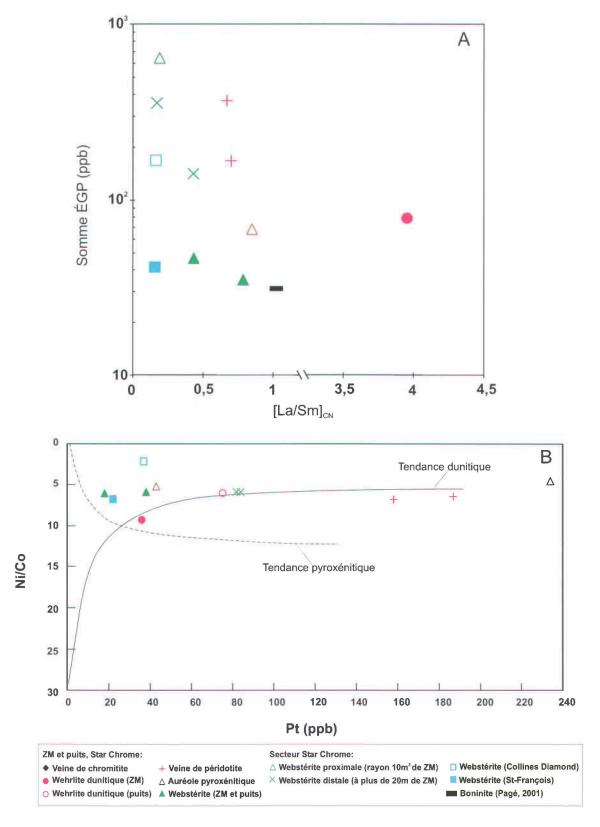


Figure 7.3. (A), Diagramme de la concentration totale en ÉGP (ppb) en fonction du rapport [La/Sm]<sub>CN</sub>; (B) Diagramme du rapport Ni/Co en fonction de la concentration en Pt (ppb) modifié d'après Oshin et Crocket (1982).

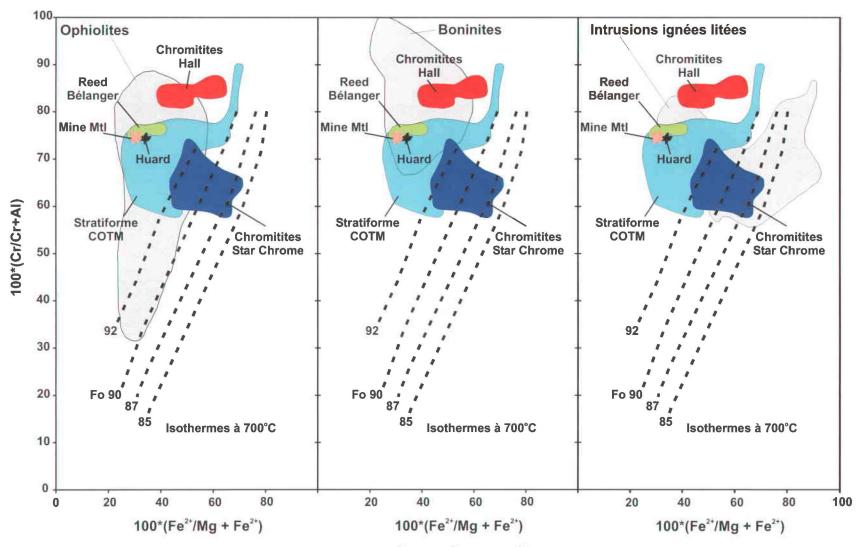


Figure 7.4. Comparaison des Cr# [(Cr/(Cr+Al))] et des Fe<sup>2+</sup># [(Fe<sup>2+</sup>/(Mg+Fe<sup>2+</sup>))] des chromitites de Star Chrome avec d'autres chromitites du COTM et différents environnements tectoniques de formations. Les données du COTM sont tirées de Pagé (2002) tandis que les champs des ophiolites, boninites et intrusions ignées litées (IIL) proviennent de Barnes et Roeder (2001).

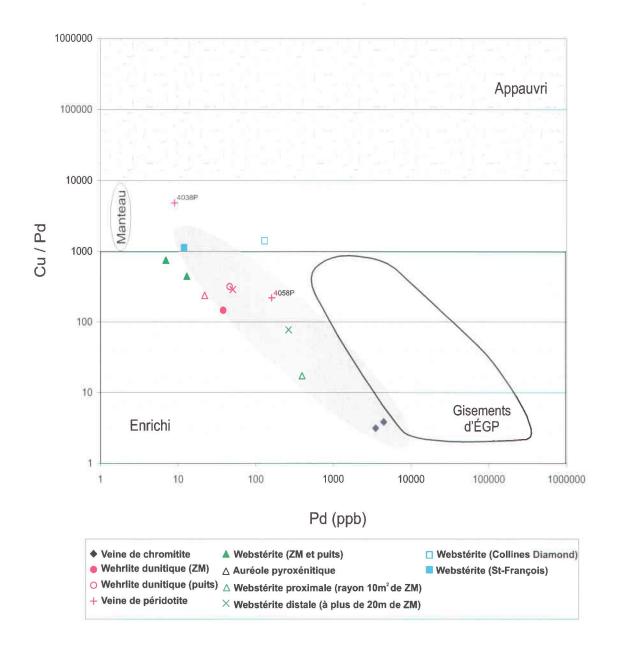


Figure 7.5. Diagramme Cu/Pd en fonction du Pd pour les lithologies de la zone d'étude. (Modifié de Barnes et al., 1985).

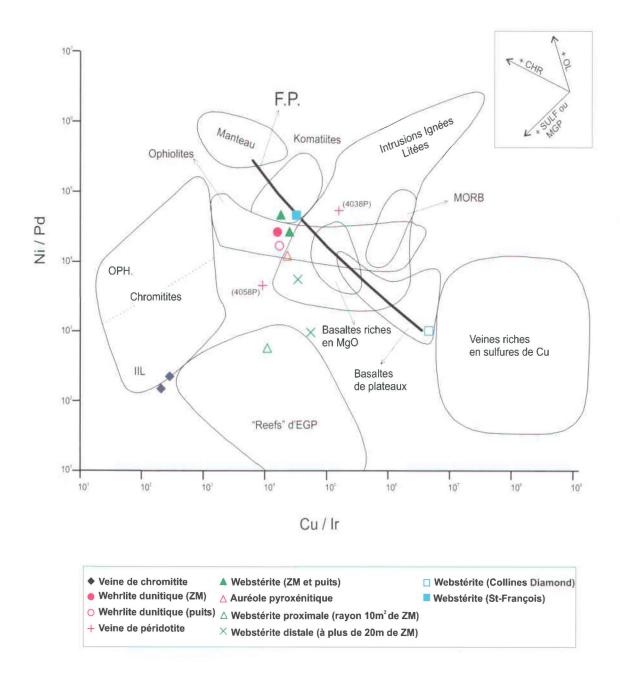


Figure 7.6. Diagramme des rapports d'éléments Ni/Pd en fonction de Cu/Ir pour les lithologies de la zone d'étude. (Modifié de Barnes et al., 1988).

#### **CHAPITRE VIII**

#### **CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS**

L'étude de la pétrologie, de la chimie minérale et de la géochimie des unités et chromitites de l'indice Star Chrome et ses environs a permis de contraindre le contexte géologique, d'identifier la présence d'unités intrusives et de composition plus évoluées, de caractériser la composition du magma parental et de proposer un modèle de formation pour les minéralisations en chromite. Les analyses d'ÉGP ont permis de bien définir les anomalies en platine et palladium associées aux chromitites de Star Chrome et ont fourni de précieuses informations quant au potentiel platinifère de la Zone Pyroxénitique du complexe ophiolitique de Thetford Mines (COTM).

Les observations pétrographiques ont confirmé l'homogénéité globale de la webstérite du massif des Collines Diamond, essentiellement composée de diopside (Wo<sub>46-48</sub>En<sub>48-50</sub>Fs<sub>3-5</sub>) relativement frais avec un peu d'enstatite (± 5% de Wo<sub>02</sub>En<sub>86</sub>Fs<sub>12</sub>) interstitielle et, localement, la présence d'olivine relique inter-cumulative. La présence de veines de péridotite, en veines de cisaillement syn-cinématiques et créant un pseudo-litage, est caractéristique à l'ensemble des webstérites du secteur étudié. Les profils des terres rares reflètent la grande proportion de clinopyroxènes dans les webstérites.

Les unités dunitiques sont essentiellement composées de serpentine, en remplacement de l'olivine, et seulement quelques olivines reliques peuvent désormais être identifiés. Les faciès riches en olivine sont généralement caractérisés par des profils appauvris en terres rares à l'exception de la wehrlite dunitique 3056D de la Zone Minéralisée de Star Chrome qui montre un enrichissement marqué en terres rares légères. D'ailleurs, sur base d'observations de terrain et de composition géochimique, cette wehrlite dunitique est

interprétée comme représentant une intrusion tardive de matériel primitif enrichi en éléments incompatibles, notamment en terres rares légères. La présence de veines de composition péridotitique dans le secteur, dont certaines ont la composition d'un quasi-liquide, témoignerait de la circulation de magmas/liquides post-cumulatifs au sein des cumulats pyroxénitiques du COTM.

Des enrichissements en éléments incompatibles, notamment en La et Ce, caractérisent les webstérites de la Zone Minéralisée de Star Chrome. Des enrichissements similaires ont été observés pour la wehrlite intrusive 3056D. Ces enrichissements en éléments incompatibles sont attribués à des processus métasomatiques post-cumulatifs, possiblement associés à la mise en place d'intrusions tardive de matériel primitif enrichi.

Les calculs de liquides modèles ont permis de confirmer que les magmas parentaux des webstérites du massif des Collines Diamond et des wehrlites dunitiques de l'indice Star Chrome étaient d'affinité boninitique. Les profils de contamination d'une webstérite type de la Zone Pyroxénitique avec un liquide modèle enrichi en éléments incompatibles de même type que le liquide modèle calculé pour la wehrlite dunitique 3056D de la Zone Minéralisée ont permis de vérifier l'hypothèse que les enrichissements en La et Ce observés dans les profils des terres rares des webstérite de la Zone Minéralisée étaient possiblement attribuables à des processus métasomatiques.

Les chromitites de l'indice Star Chrome sont interprétées comme étant le résultat d'une réaction d'assimilation/résorption des clinopyroxènes de la webstérite encaissante par un magma/fluide riche en H<sub>2</sub>O, Cl et éléments volatiles. La présence de concentrations anomales en Pt et Pd associées aux chromitites est également attribuée à la présence d'un magma/fluide chargé en volatiles qui aurait récolté des ÉGP lors de la percolation au travers d'un empilement substantiel de cumulats en solidification. Les failles précoces pré-obduction auraient canalisé ces magmas/fluides minéralisés.

#### Recommandations

Suite aux observations faites dans cette étude, il est recommandé que les travaux de caractérisations pétrologique et géochimique et d'étude de la genèse des faciès cumulatifs du complexe ophiolitique de Thetford Mines soient poursuivis, et étendus à l'ensemble des faciès cumulatifs, dans le but de bien cerner les processus responsables de la mise en place des Zones Dunitique et Pyroxénitique au sein de l'ophiolite. La présence de chromitites enrichies en Pt et Pd dans la Zone Pyroxénitique du COTM ouvre l'ensemble des cumulats ophiolitiques à toute exploration pour des minéralisations en ÉGP au sein d'ophiolites. L'association avec des failles précoces pré-obduction suggéraient que ces dernières pourraient servir de guides dans le cadre de toute campagne éventuelle d'exploration pour des minéralisations en ÉGP dans le COTM.

#### Références:

Ballhaus, C.G. et Stumpfl, E.F. 1986. Sulfide and platinum mineralization in the Merensky Reef: evidence from hydrous silicates and fluid inclusions. Contributions to Mineralogy and Petrology, 94: 193-204.

Barnes, S-J. et Maier, W.D. 1999. The fractionation of Ni, Cu and the nobles metals in silicate and sulphide liquids. *Dans*, Dynamic processes in magmatic ore deposits and their application to mineral exploration. *Édité par* Keays, R.R., Lesher, C.M., Lightfoot, P.C. et Farrow, C.E.G. Association géologique du Canada, Notes de cours volume 13, pp. 69-106.

Barnes, S.-J. et Naldrett, A.J. 1985. Geochemistry of the J-M (howland) Reef of the Stillwater Complex, Minneapolis Adit Area. I. Sulfide chemistry and sulfide-olivine equilibration. Economic Geology, 80: 627-645.

Barnes, S.-J., Naldrett, A.J. et Gorton, M.P. 1985. The origin of the fractionation of platinum-group elements in terrestrial magmas. Chemical Geology, 53: 303-323.

Barnes, S.J. et Roeder, P.L. 2001. The range of spinel compositions in terrestrial mafic and ultramafic rocks. Journal of Petrology, **42**: 2279-2302.

Barnes. S-J., Boyd, R., Korneliussen, A.K., Nilsson, P-P., Often, M., Pedersen, R.B. et Robins, B. 1988. The use of mantle normalization and metal ratios in discriminating between the effects of partial melting, crystal fractionation and sulfide segregation on platinum-group elements, gold, nickel and copper: examples from Norway. *Dans*, Geoplatinum 87. *Édité par* Prichard, H.M., Potts, P.J., Bowles, J.F.W. et Cribb, S.J. Elsevier, pp. 113-145.

Bédard, J.H. 1991. Cumulate recycling and crustal evolution in the Bay of Island ophiolite. Journal of Geology, 99: 225-249.

Bédard, J.H. 1994. A procedure for calculating the equilibrium distribution of trace elements among the minerals of cumulate rocks, and the concentration of trace elements in coexisting liquids. Chemical Geology, 118:143-153.

Bédard J.H. 2004a. Partitioning coefficients between olivine and silicate melts. Lithos, article accepté.

Bédard J.H. 2004b. Trace element partitioning coefficients between silicate melts and orthopyroxene: Parameterizations of D variations. Article soumis à Chemical Geology.

Bédard, J.H. et Hébert, R. 1998. Intra-crustal chromitites, North Arm Mountain Massif, Bay of Islands ophiolite: Formation by incongruent dissolution of feldspar and pyroxene into intrusions of peridotite. Journal of Geophysical research, 103: 5165-5184.

Bédard, J.H., Hébert, R. et Constantin, M. 1992. Synkinematic boninitic intrusions and hybride gabbroic breccias from the Thetford Mines complex. Geological Association of Canada – Mineralogical Association of Canada, Program with Abstracts, 17, p. A7

Bédard, J.H., Lauzière, K., Tremblay, A., Sangster, A., Douma, S.L. et Dec, T. 2000. Betts Cove ophiolite and its cover rocks, Newfoundland. Geological Survey of Canada, Bulletin 550, 76p.

Bédard, L.P. et Barnes, S.-J. 2002. A comparison of N-type semi-planar and coaxial INAA detectors for 33 geochemical reference materials. Journal of Radiochemistry, **254**: 485-497.

Beulac, R.X. 1982. Étude pétrologique du Complexe ophiolitique du Lac Nicolet. Mémoire de Maîtrise, Université Laval, Québec.

Blanchet, C. 1993. Étude pétrographique de l'indice Star, Thetford Mines (Québec). Projet de fin d'études, Université Laval, Québec.

Boudreau, A.E. 1999. Fluid fluxing of cumulates: The J-M reef and associated rocks of the Stillwater complex, Montana. Journal of Petrology, 40: 755-772.

Boudreau A.E., Mathez, E.A. et McCallum, I.S. 1986. Halogen geochemistry of the Stillwater and Bushveld Complexes: Evidence for transport of the platinum-group elements by Cl-rich fluids. Journal of Petrology, 27: 967-986.

Boudreau, A.E. et McCallum, I.S. 1992. Concentration of platinum-group elements by magmatic fluids in layered intrusions. Economic Geology, 87: 1830-1846.

Boudreau, A.E. et Meurer, W.P. 1999. Chromatographic separation of the platinum-group elements, gold, base metals and sulfurs during degassing of a compacting and solidifying crystal pile. Contributions to Mineralogy and Petrology, 134: 174-185.

Brey, G.P. et Köhler, T. 1990. Geothermobarometry in four-phase lherzolites, II, New thermobarometers, and practical assessment of existing thermobarometers. Journal of Petrology, 31: 1353-1378.

Cabri, L.J. 2002. The platinum-group minerals. *Dans* The Geology, Geochemistry, Mineralogy and Mineral Benefication of Platinum-Group Elements. *Édité par* Cabri, L.J. Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum, Special Volume 54, pp. 483-506.

Campbell, I.H., Naldrett, A.J. et Barnes, S.-J. 1983. A model for the origin of the platinum-rich sulfide horizons in the Bushveld and Stillwater complexes. Journal of Petrology, 24: 133-165.

Church, W.R. 1977. The ophiolites of southern Quebec: oceanic crust of Betts Cove type. Canadian Journal of Earth Sciences, 14: 1668-1673.

Church, W.R. 1987. The geochemistry and petrogenesis of ophiolitic volcanic rocks from Lac de l'Est, Thetford Mines Complex, Quebec, Canada: Discussion. Canadian Journal of Earth Sciences, **24**: 1270-1273.

Clague, D., Rubin, J. et Brackett, R. 1981. The age and origin of the garnet amphibole underlying the Thetford Mines ophiolite, Quebec. Canadian Journal of Earth Sciences, 18: 469-486.

Coish, R.A., Hickey, R. et Frey, F.A. 1982. Rare earth element geochemistry of the Betts Cove Ophiolites, Newfoundland: complexities in ophiolite formation. Geochimica et Cosmochimica Acta, 46: 2117-2134.

Corrivaux, L. 1989. Étude des gîtes de chrome-platine du canton Coleraine, Estrie. Mémoire de Maîtrise., Université du Québec à Montréal, Montréal, Canada.

Corrivaux, L. et Laflamme, J.H.G. 1990. Minéralogie des éléments du groupe du platine dans les chromitites de l'ophiolite de Thetford Mines, Québec. Canadian Mineralogist, 28:579-595.

Crawford A.J., Beccaluva, L. et Serri, G. 1981. Tectonomagmatic evolution of the West Philippine-Mariana region and the origin of boninites. Earth and Planetary Science Letters, 54: 346-356.

Dérosier, C. 1971. Étude géologique des brèches de la région de Thetford Mines. Thèse de doctorat, Université de Paris, Paris, France.

Gaetani, G.A. et Grove, T.L., 1995. Partitioning of rare earth elements between clinopyroxene and silicate melt: Crystal-chemical controls. Geochimica et Cosmochimica Acta, 59: 1951-1962.

Gauthier, M. et Trottier, J. 1987. Platinoïdes dans les chromitites de l'Estrie-Beauce. Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec, Document de promotion, 14p.

Gauthier, M., Corrivaux, L., Trottier, L.J., Capri, J., Laflamme, J.H.G. et Bergeron, M. 1990. Chromitites platinifères des complexes ophiolitiques de l'Estrie-Beauce, Appalaches du sud du Québec. Mineralium Deposita, 25: 169-178.

Haughton, D.R., Roeder, P.L. et Skinner, B.J. 1974. Solubility of sulfur in mafic magmas. Economic Geology, 69: 451-467.

Harnois, L., Trottier, J. et Morency, M. 1990. Rare earth element geochemistry of Thetford Mines ophiolite complex, Notrthern Appalachians, Canada. Contributions to Mineralogy and Petrology, 105: 433-445.

Hébert, R. 1980. Étude pétrologique des roches d'Asbestos et du Mont Ham (Ham Sud), Québec. Mémoire de Maîtrise., Université Laval, Québec, Canada.

Hébert, R. 1981. Conglomérats polygéniques ophiolitiques : anciens éboulis de talus de fond océanique. Canadian Journal of Earth Sciences, 18 : 619-623.

Hébert, R. 1985. Pétrologie des roches ignées océaniques et comparaison avec les complexes ophiolitiques du Québec, de Chypre et de l'Apennin. Thèse de doctorat, Université Laval, Québec, Canada.

Hébert, R. et Bédard, J.H. 2000. Les ophiolites d'avant-arc et leur potentiel minéral: exemple des complexes ophiolitiques du sud du Québec. Chronique de la Recherche minière, 539: 101-107.

Hébert, R. et Laurent, R. 1989. Mineral chemistry of ultramafic and mafic plutonic rocks of the Appalachians ophiolites, Quebec, Canada. Chemical Geology, 77: 265-285.

Hébert, Y. 1983. Étude pétrologique du complexe ophiolitique de Thetford Mines, Québec. Thèse de doctorat, Université Laval, Québec, Canada.

Hickey, R.L. et Frey, F.A. 1982. Geochimical characteristics of boninite-series volcanic: Implication for their source. Geochimica et Cosmochimica Acta, 46: 2099-2115.

Irvine, T.N. 1975. Crystallisation sequence of the Muskox intrusion and other layered intrusions – II. Origin of chromitite layers and similar deposits of other magmatic ores. Geochimica et Cosmochimica Acta, 39: 991-1020.

Irvine, T.N., Keinth, D.W. et Todd, S.G. 1983. The J-M platinum palladium reef of the Stillwater Complex, Montana: II. Origin by double-diffusive convective magma mixing and implications for the Bushveld Complex. Economic Geology, 78: 1287-1334.

Kaçira, N. 1971. Geology of chromitite occurences and ultramafic rocks of the Thetford Mines – Disraëli area, Québec. Thèse de Doctorat, University of Western Ontario, London, Canada.

Lago, B.L., Rabinowicz, M. et Nicolas, A. 1982. Podiform chromite ore bodies: A genetic model. Journal of Petrology, **23**: 103-125.

Laurent, R. 1975. Occurences and origin of the ophiolites of southern Quebec, Northern Appalachians. Canadian Journal of Earth Sciences, 12: 443-455.

Laurent, R. 1977. Ophiolites from the northern Appalachians of Quebec. Mineral Industries Bulletin, 95: 25-40.

Laurent, R. 1980. Environment of formation, evolution, and emplacement of the Appalachian ophiolites from Quebec. *Dans* Proceedings of the international Ophiolite Symposium, Geological Survey of Cyprus, Nicosia, pp. 628-636.

Laurent, R. et Hébert, Y. 1977. Features of submarine volcanism in ophiolites from the Quebec Appalachians. *Dans* Volcanic Regimes in Canada. *Édité par* Baragar, W.R.A., Colemen, L.C. et Hall, J.M. Geological Association of Canada, Special Paper no. 16, pp. 91-109.

Laurent, R., Hébert, R. et Hébert, Y. 1979. Tectonic setting and petrological features of the Quebec Appalachians ophiolites. *Dans* Ophiolites of the Canadian Appalachians and Soviet Urals. *Édité par* Malpas, J. et Talkington, R.W. International Geological Correlation Project, no 39, pp. 53-77.

Leblanc, M. 1991. Platinum-group elements and gold in ophiolitic complexes: Distribution an fractionation from mantle to oceanic floor. *Dans* Tj. Peters et al. (Eds) *Ophiolite genesis and evolution of the oceanic lithosphere*. Ministry of Petroleum and Minerals, Sultanate of Oman, pp. 231-260.

Leblanc, M. et Ceuleneer, G. 1992. Chromite crystallisation in a multicellular magma flow: Evidence from chromitite dikes in the Oman ophiolite. Lithos, 27: 231-257.

Lindsley, D.H. et Andersen, D. J. 1983. A two pyroxene thermometer. Journal of Geophysical Research Supplement, 88: A887-A906.

Lundstrom, C.C., Shaw, H.F., Ryerson, F.J., Phinney, D.L., Gill, J.B. et Williams, Q. 1994. Compositional controls on the partitioning of U, Th, Ba, Pb, Sr and Zr between clinopyroxene and haplobasaltic melts: Implications for uranium series disequilibria in basalts. Earth and Planetary Science Letters, 128: 407-423.

MacLean, W.H. 1969. Liquidus phase relations in the FeS-FeO-Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-SiO<sub>2</sub> system, and their application in geology. Economic Geology, 64: 865-884.

Mathez, E.A. 1999. On factors controlling the concentrations of platinum group elements in layered intrusions and chromitites. *Dans* Dynamic processes in magmatic ore deposits and their application in mineral exploration. *Édité par* Keays, R.R., Lesher, C.M., Lightfoot, P.C. et Farrow, C.E.G. Geological Association of Canada, Short course volume 13, pp. 251-285.

Nelson, J.E. et Wilshire, H.G. 1993. Magma transport and metasomatism in the mantle: A critical review of current geochemical models. American Mineralogist, 78: 1117-1134.

Olive, V., Hébert, R. et Loubet, M. 1997. Isotopic and trace element constraints on the genesis of a boninitic sequence in the Thetford Mines ophiolitic complex, Quebec, Canada. Canadian Journal of Earth Sciences, 34: 1258-1271.

Oshin, I.O. et Crocket, J.H. 1982. Noble metals in the Thetford Mines ophiolites, Quebec, Canada. Part I: Distribution of gold, iridium, platinum, and palladium in the ultramafic and gabbroic rock. Economic Geology, 77: 1556-1570.

- Oshin, I.O. et Crocket, J.H. 1986a. Noble metals in the Thetford Mines ophiolites, Quebec, Canada. Part II: Distribution of gold, iridium, platinum, and palladium in the Lac de l'Est volcanosedimentary section. Economic Geology, 81: 931-945.
- Oshin, I.O. et Crocket, J.H. 1986b. The geochemistry and petrogenesis of ophiolitic volcanic rocks from Lac de l'Est, Thetford Mines Complex, Quebec. Canadian Journal of Earth Sciences, 23: 202-231.
- Page, N.J., Cassard, D. et Haffty, J. 1982. Palladium, platinum, rhodium, ruhtenium and iridium in chromitites from the Massif du Sud and Tiébaghi Massif, New Caledonia. Economic Geology, 77: 1571-1577.
- Pagé, P., Bécu, V., Bédard, J.H. et Brassard, B. 2001. Occurrences of platinum-palladium-enriched chromitites in the Thetford Mines ophiolite, southern Québec. Geological Society of America, Northeast Section, Program with Abstracts, 33, pp.58-59.
- Pagé, P., Bécu, V., Schroetter, J.-M., Bédard, J.H., Tremblay, A. et Minarick, W.G. 2002. Contexte pétrologique et structural des minéralisations en ÉGP et chromitites du Complexe ophiolitique de Thetford Mines. Ministère des Ressources naturelles du Québec. DV 2002-10, p. 43.
- Pagé, P., Bédard, J.H., Tremblay, A. et Schroetter, J-M. 2003. The Thetford Mines ophiolite complex: focus on the petrology, mineralogy and geochemistry (REE, PGE) of a supra-subduction mantle section. Eos Trans. AGU, Abstract volume 84, p.46.
- Pendersen, R.B., Johannsen, G.M. et Boyd, R. 1993. Stratiforme platinum-group mineralizations in the ultramafic cumulates of the Leka Ophiolite Complex, Norway, Economic Geology, 88: 782-803.
- Pinet, N. et Tremblay, A. 1995a. Is the Taconian orogeny of southern Quebec the result of an Oman-type obduction?. Geology, 23: 121-124.
- Pinet, N. Et Tremblay, A. 1995b. Tectonic evolution of the Québec-Maine Appalachians: from oceanic spreading to obduction and collision in the Northern Appalachians. American Journal of Science, 295: 173-200.
- Prichard, H.M., Neary, C.R. et Potts, P.J. 1986. Platinum group minerals in the Shetland Ophiolite. *Dans* Metallogeny of Basic and Ultrabasic Rocks. *Édité par* Gallagher, M.J., Ixer, R.A., Neary, C.R. et Prichard H.M. Institute of Mining and Metallurgy, London, pp. 395-414.
- Roberts, S. et Neary, C. 1993. Petrogenesis of ophiolitic chromite. *Dans* Processes and Plate Tectonics. *Édité par* Prichard, H.M., Alabaster, T., Harris, N.B.W. et Neary, C.R. Geological Society Special Publication, no 76, pp. 257-272.

Schroettter, J.-M., Bécu, V., Pagé, P. Tremblay, A. et Bédard, J.H. 2000. Chromitites ophiolitiques de la région de Thetford Mines. Rapport des activités de terrain de la saison été 2000. Ministère des Ressources naturelles du Québec, GM 58649.

Schroetter, J.-M., Pagé, P., Tremblay, A. et Bédard, J.H. 2002. Structural evolution of the Thetford Mines Ophiolitic Complex, Québec: From syn-oceanic rifting to obduction and post-obduction deformation. Geological Society of America, Northeast Section, Program with Abstracts, 34, p.A21.

Schroetter, J-M., Pagé P., Bédard J.H., Tremblay A., et Bécu, V. 2003. Forearc extension and seafloor spreading in the Thetford Mines Ophiolite complex. *Dans* Ophiolite Volume. *Édité par* Dilek, Y. et Robinson, P. Special Publication of the Geological Society of London, no 218, pp. 213-251.

Stumpfl, E.F. et Rucklidge, J.C. 1982. The platiniferous dunite pipes of the Eastern Bushveld. Economic Geology, 77: 1419-1431.

Tanguay, S., Hébert, R. et Bergeron, M. 1990. Distribution of PGE in pyroxene-bearing ultramafic cumulates in the Thetford Mines ophiolitic complex, Québec. The Canadian Mineralogist, **28**: 597-605.

Thayer, T.P. 1964. Principal features and origin of podiform chromite deposits, and some observations on the Guleman-Soridag district, Turkey. Economic Geology, 13: 247-259.

Tremblay, A. et Castonguay, S. 2002. The structural evolution of the Laurentian margin revisited (southern Quebec): Implications for the Salinian Orogeny and Appalachians successor basins. Geology, 30: 7-82.

Trottier, J. 1982. Géochimie et pétrologie du complexe ophiolitique de Thetford Mines, Québec. Mémoire de maîtrise (M.Sc), Université du Québec à Montréal, Montréal, Canada.

Von Gruenewaldt, G. et Naldrett, A.J. 1979. A review of some recent concepts of the Bushveld Complex, with particular reference to sulfide mineralization in nickel sulfide and platinum group element deposits. Mineralogical Association of Canada, Nickel Sulfide Field Conference, 17: 233-256.

Whitehead, J., Dunning, G.R. et Spray, J.G. 2000. U-Pb geochronology and origin of granitoid rocks in the Thetford Mine ophiolite, Canadian Appalachians. Geological Society of America Bulletin, 112: 915-928.

Whitehead, J., Reynolds, P.H. et Spray, J.G. 1995. The sub-ophiolitic metamorphic rocks of the Quebec Appalachians. Journal of Geodynamics, 19: 325-350.

William, H. et St-Julien, P. The Baie Verte-Brompton Line: Early Paleozoic continent ocean interface in the Canadian Appalachians. *Dans* Major Structural Zones and Faults of the Northern Appalachians. *Édité par* St-Julien, P. et Béland, J. Geological Association of Canada Special Paper, no. 24, pp. 177-207.

Zhou, M.-F., Robinson, P.T., Malpas, J. et Li, A.Z. 1996. Podiform chromitites in the Luobosa Ophiolite (Southern Tibet): implication for melt-rock interaction and chromitite segregation in the upper mantle. Journal of Petrology, 37: 3-21.

# ANNEXE 1

Résultats des analyses réalisées à la micro-sonde présentés par échantillon.

Échantillon: 3056C

Localisation: ZM-Star Chrome Lithologie: Veine de chromitite

	Spinelle a1 coeur	Spinelle a2 bordure	Spinelle a3 coeur	Spinelle a4 bordure	Spinelle b1 coeur	Spinelle b2 bordure	Spinelle b3	Spinelle b7	Spinelle b8 bordure	Spinelle c3	Spinelle c4	Spinelle c5	Spinelle c6 bordure
SiO2	0,04	0,03	0,02	0,03	0,02	0,02	0,00	0,02	0,04	0,02	0,02	0,01	0,03
Al2O3	16,87	16,43	17,39	18,26	17,67	17,04	17,44	16,81	17,72	17,68	17,63	17,35	17,17
Fe2O3	7,32	7,86	7,03	8,00	6,61	6,51	6,63	6,30	6,40	6,04	6,18	6,21	6,14
FeO	21,64	21,92	21,58	21,33	21,42	21,42	21,28	18,66	18,95	18,52	18,35	18,53	18,65
TiO2	0,37	0,32	0,33	0,30	0,31	0,32	0,35	0,35	0,33	0,34	0,37	0,34	0,35
Cr2O3	45,24	45,84	45,19	43,79	45,70	46,03	45,31	47,80	46,60	47,60	47,18	47,33	48,04
V2O3	0,27	0,34	0,28	0,19	0,33	0,26	0,21	0,30	0,26	0,28	0,25	0,29	0,21
MgO MnO	8,83	8,72	8,91	9,16	9,18	8,94	9,04	10,88	10,77	11,12	11,17	11,01	11,03
CaO	-	0,03	-	0,03	-	0,02	-	-	0,02	0,05	-	-	-
NiO Na2O	0,09	0,13	0,10	0,19	0,03	0,07	0,06	0,06	0,05	0,09	0,10	0,04	0,07
K2O Total	100,66	101,63	100,81	101,29	101,26	100,64	100,32	101,17	101,13	101,72	101,23	101,11	101,69
Si	0,0108	0,0082	0,0041	0,0071	0,0041	0,0054	0,0008	0,0053	0,0096	0,0048	0,0038	0,0013	0,0063
AI AI IV	5,1315	4,9695	5,2672	5,4828	5,3147	5,1739	5,2995	5,0200	5,2769	5,2272	5,2354	5,1699	5,0931
Al VI													
Fe 3+	1,4221	1,5206	1,3606	1,5356	1,2711		1,2883	1,2018	1,2184	1,1417			1,1634
Fe 2+	4,6672	4,7017	4,6358	4,5397	4,5674		4,5835	3,9520	4,0011	3,8823	3,8622		3,9225
Fe total	6,0893	6,2223	5,9964	6,0753	5,8385	•	5,8718	5,1538	5,2196	5,0241	5,0352		5,0860
Ti	0,0710	0,0625	0,0630	0,0569	0,0599	•	0,0675	0,0663	0,0621	0,0636	•	0,0654	0,0666
Cr	9,2274	9,2987	9,1807	8,8153	9,2190	•	9,2333	9,5736	9,3090	9,4389	,	9,4555	9,5561
V	0,0552	0,0697	0,0573	0,0382	0,0673		0,0424	0,0613	0,0523	0,0555	•	0,0581	0,0416
Mg	3,3971	3,3340	3,4104	3,4765	3,4906	3,4331	3,4714	4,1076	4,0547	4,1557	4,1918	4,1451	4,1356
Mn Ca	-	0,0082	-	0,0093	**	0,0063	-		0,0057	0,0124	_	_	
Na K	•	0,0082	-	0,0093	*	0,0003	-	-	0,0037	0,0124	-	-	-
Total	23,98	23,97	23,98	23,96	23,99	23,99	23,99	23,99	23,99	23,98	23,98	23,99	23,99
Mg# Wo En Fs	42,13	41,49	42,39	43,37	43,32	42,67	43,10	50,96	50,33	51,70	52,05	51,44	51,32
Cr#	64,26	65,17	63,54	61,65	63,43	64,44	63,53	65,60	63,82	64,36	64,21	64,65	65,23
r/Fe3+Cr+Al	58,47	58,89	58,07	55,67	58,33	59,29	58,36	60,61	58,90	59,71	59,45	59,81	60,43
3/Fe3+Cr+Al	9,01	9,63	8,61	9,70	8,04	7,99	8,14	7,61	7,71	7,22	7,42	7,48	7,36
Fe2/Mg+Fe	57,87	58,51	57,61	56,63	56,68	57,33	56,90	49,04	49,67	48,30	47,95	48,56	48,68

Échantillon: 3056C

Fe2/Mg+Fe

47,94

48,02

47,56

48,44

Localisation: ZM-Star Chrome Lithologie: Veine de chromitite

	Spinelle c7 coeur	Spinelle c8 bordure	Spinelle d1	Spinelle d2	Срх а5	Срх а6	Cpx b9 interstitiel	Cpx b10 interstitiel	Cpx c1 inclusion	Cpx c2 inclusion	Cpx c9 interstitiel	Cpx c10 interstitiel
SiO2	0,02	0,01	0,02	0,03	53,95	53,44	54,14	54,05	53,56	53,57	53,84	53,31
AI2O3	17,59	17,52	17,89	17,59	1,73	1,90	1,12	1,39	1,46	1,58	1,19	1,73
Fe2O3	6,91	6,20	5,84	6,16	0,43	0,52	-	0,58	1,19	0,44	0,69	1,07
FeO	18,33	18,25	18,32	18,55	4,20	1,69	1,58	2,16	1,77	2,28	1,41	1,14
TiO2	0,35	0,37	0,39	0,33	0,06	0,06	0,09	0,08	0,09	0,08	0,10	0,11
Cr2O3	46,34	46,98	47,44	47,32	0,82	0,85	0,58	0,70	1,38	1,22	0,77	0,92
V2O3	0,33	0,20	0,35	0,31								
MgO	11,13	11,11	11,33	11,08	18,99	17,52	17,81	17,55	17,84	17,64	17,79	17,92
MnO					0,11	0,05	0,04	0,04	0,02	0,06	0,04	0,04
CaO	-	-	-	~	19,81	23,71	24,06	23,67	23,08	22,91	23,87	23,48
NiO	0,12	0,10	0,07	0,07	0,06	0,02	0,01	0,05	0,02	0,05	-	0,02
Na2O					0,22	0,13	0,12	0,20	0,21	0,21	0,16	0,14
K2O					-	0,00	-	-	-	0,01	-	-
Total	101,12	100,75	101,63	101,45	100,32	99,84	99,54	100,40	100,51	100,00	99,78	99,76
Si	0,0061	0,0033	0,0038	0,0070	1,9519	1,9431	1,9709	1,9570	1,9378	1,9480	1,9568	1,9372
Al	5,2329	5,2280	5,2820	5,2182	0,0738	0,0815	0,0480	0,0595	0,0623	0,0677	0,0512	0,0740
AI IV					0,0481	0,0569	0,0291	0,0430	0,0622	0,0520	0,0432	0,0628
Al VI					0,0257	0,0246	0,0189	0,0165	0,000	0,0157	0,0080	0,0113
Fe 3+	1,3139	1,1832	1,1014	1,1677	0,0116	0,0143	0,000	0,0158	0,0324	0,0121	0,0188	0,0292
Fe 2+	3,8650	3,8604	3,8341	3,9015	0,1270	0,0515	0,0481	0,0654	0,0536	0,0693	0,0428	0,0346
Fe total	5,1789	5,0436	4,9355		0,1386	0,0657	0,0481	0,0811	0,0860	0,0814	0,0617	0,0638
Ti	0,0664	0,0706	0,0733	0,0623	0,0016	0,0015	0,0023	0,0022	0,0025	0,0023	0,0026	0,0029
Cr	9,2419	9,3998	9,3922		0,0235	0,0243	0,0167	0,0200	0,0395	0,0350	0,0221	0,0264
V	0,0663	0,0412	0,0703									
Mg	4,1839	4,1917	4,2279	4,1530	1,0238	0,9494	0,9660		0,9619	0,9560	0,9638	0,9702
Mn					0,0032	0,0014	0,0012	- ,	0,0007	0,0018	0,0013	0,0013
Ca	-	-	-	-	0,7680	0,9237	0,9384	0,9185	0,8946	0,8928	0,9296	0,9142
Na					0,0157	0,0093	0,0084	0,0137	0,0147	0,0149	0,0110	0,0099
K					0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,000	0,0003	0,0000	0,0000
Total	23,98	23,98	23,98	23,99	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Mg#	51,98	52,06	52,44	51,56	88,97	94,86	95,26	93,54	94,72	93,24	95,75	96,56
Wo					40,03	48,00	48,06	47,57	46,83	46,55	48,01	47,64
En					53,36	49,33	49,47	49,04	50,36	49,84	49,78	50,56
Fs					6,62	2,67	2,46	3,39	2,81	3,61	2,21	1,80
Cr#	63,85	64,26	64,00	64,33								
Cr/Fe3+Cr+Al	58,53	59,45	59,54	59,58								
Fe3/Fe3+Cr+Al	8,32	7,48	6,98	7,39								
F 0/44 . F	40.00	47.04	47.50	40.44								

Échantillon: 3056CPX Localisation: ZM-Star Chrome Lithologie: Webstérite

	Spinelle a2	Spinelle a6	Spinelle b3	Cpx a1	Срх а3	Срх а5	Cpx b4
SiO2	0,03	0,02	0,03	54,02	53,48	53,86	54,04
Al2O3	18,46	15,75	19,71	1,47	1.59	1,51	1,42
Fe2O3	9,50	11,78	6,37	0,21	0,69	0,54	0,08
FeO	25,14	26,27	22,16	2,32	1,97	2,23	2,55
TiO2	0,13	0,16	0,15	0,08	0,09	0,03	0,04
Cr2O3	40,51	40,75	42,72	0,56	0,91	0,70	0,66
V2O3	0,27	0,31	0,32				
MgO	6,49	5,52	8,45	17,36	17,52	17,40	17,41
MnO				0,07	0,07	0,06	0,10
CaO	0,06	0,02	0,13	23,89	23,46	23,69	23,50
NiO	0,09	0,05	0,07	0,01	0,06	~	0,06
Na2O				0,16	0,15	0,17	0,19
K20				=		-	-
Total	100,67	100,63	100,10	100,13	99,93	100,12	100,02
Si	0,0070	0,0045	0,0064	1,9610	1,9463	1,9555	1,9648
Al	5,6695	4,9355	5,9645	0,0629	0,0680	0,0646	0,0607
Al IV				0,0390	0,0537	0,0445	0,0352
AI VI				0,0239	0,0143	0,0201	0,0255
Fe 3+	1,8654	2,3596	1,2313	0,0058	0,0189	0,0146	0,0021
Fe 2+	5,4749	5,8366	4,7531	0,0704	0,0601	0,0678	0,0775
Fe total	7,3404	8,1961	5,9844	0,0762	0,0790	0,0824	0,0796
Ti	0,0253	0,0326	0,0291	0,0023	0,0025	8000,0	0,0010
Сг	8,3450	8,5647	8,6682	0,0162	0,0261	0,0200	0,0189
V	0,0554	0,0661	0,0648				
Mg	2,5220	2,1854	3,2309	0,9391	0,9504	0,9413	0,9434
Mn				0,0020	0,0023	0,0018	0,0029
Са	0,0168	0,0043	0,0363	0,9290	0,9150	0,9215	0,9154
Na				0,0113	0,0105	0,0120	0,0133
K	22.00	00.00	02.00	4.00	-	-	4.00
Total	23,98	23,99	23,98	4,00	4,00	4,00	4,00
Mg#	31,54	27,24	40,47	93,03	94,05	93,28	92,41
Wo				47,92	47,52	47,73	47,28
En				48,44	49,36	48,76	48,72
Fs				3,63	3,12	3,51	4,00
Cr#	59,55	63,44	59,24				
Cr/Fe3+Cr+Al	52,55	54,00	54,64				
Fe3/Fe3+Cr+Al	11,75	14,88	7,76				
Fe2/Mg+Fe	68,46	72,76	59,53				

Échantillon: 3056D

Localisation: ZM-Star Chrome Lithologie: Wehrlite dunitique

	Spinelle c1	Spinelle c2	Spinelle c3	Spinelle b2	Spinelle b3	Spinelle b4	Spinelle b7	Spinelle a1	Spinelle a2	Spinelle a3	Spinelle a4
SiO2	0,01	- · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	0,02	0,02	0,02	0,03	0,01	0,02	0,01	0,02	
Al2O3	10,51	10,36	10,34	11,26	11,16	10,62	12,95	10,18	9,81	10,17	10,30
Fe2O3	8,85	9,28	10,39	8,73	8,80	8,78	7,39	8,32	8,99	8,20	10,65
FeO	24,65	23,99	24,33	24,56	23,74	23,73	21,74	24,22	24,03	24,09	25,53
TiO2	0,19	0,16	0,14	0,17	0,12	0,16	0,12	0,16	0,18	0,20	0,17
Cr2O3	49,99	48,98	47,99	48,27	49,32	49,46	49,52	51,02	49,81	50,30	48,01
V2O3	0,26	0,26	0,23	0,24	0,11	0,19	0,22	0,24	0,24	0,26	0,28
MgO	5,84	5,92	5,74	5,66	6,30	6,20	7,87	6,05	5,86	5,96	5,14
MnO	0,48	0,51	0,51	0,49	0,49	0,49	0,43	0,50	0,51	0,44	0,52
CaO	-	-	0,01	0,01	0,01	-	0,03	-	-	-	-
NiO											
Na2O											
K2O											
Total	100,79	99,44	99,70	99,40	100,06	99,64	100,28	100,71	99,44	99,63	100,61
Si	0,0038	0,0000	0,0060	0,0049	0,0051	0,0076	0,0037	0,0062	0,0033	0,0041	-
ΑI	3.3546	3,3481	3,3406	3,6317	3,5625	3,4127	4,0466	3,2513	3,1788	3,2805	3,3158
AI IV											
Al VI											
Fe 3+	1,8056	1,9166	2,1450	1,7998	1,7948	1,8030	1,4766	1,6966	1,8629	1,6909	2,1908
Fe 2+	5,5766	5,4960	5,5708	5,6141	5,3731	5,4084	4,8146	5,4816	5,5209		5,8238
Fe total	7,3822	7,4126	7,7158	7,4140	7,1679	7,2114	6,2912	7,1782	7,3838		8,0145
Ti	0,0387	0,0322	0,0291	0,0339	0,0246	0,0318	0,0237	0,0326	0,0374		0,0357
Cr	10,6984	10,6145	10,3942	10,4389	10,5598	10,6639	10,3752	10,9226	10,8242		10,3605
V	0,0564	0,0565	0,0501	0,0518	0,0232	0,0415	0,0467	0,0519	0,0527		0,0615
Mg	2,3567	2,4180	2,3434	2,3092	2,5428	2,5190	3,1089	2,4425	2,4017		2,0919
Mn	0,1091	0,1182	0,1191	0,1135	0,1122	0,1120	0,0956	0,1147	0,1181	0,1029	0,1200
Ca	0,0000	0,0000	0,0018	0,0021	0,0017	-	0,0082	•	-	-	~
Na											
K											
Total	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00
Mg#	29,71	30,55	29,61	29,14	32,12	31,78	39,24	30,82	30,31	30,61	26,43
Wo											
En											
Fs			_								
Cr#	76,13	76,02	75,68	74,19	74,77	75,76	71,94	77,06	77,30	76,84	75,76
Cr/Fe3+Cr+Al	67,46	66,85	65,46	65,78	66,34	67,15	65,26	68,82	68,22	68,64	65,30
Fe3/Fe3+Cr+Al	11,39	12,07	13,51	11,34	11,28	11,35	9,29	10,69	11,74	10,67	13,81
Fe2/Mg+Fe	70,29	69,45	70,39	70,86	67,88	68,22	60,76	69,18	69,69	69,39	73,57

Échantillon: 3056D (suite) Localisation: ZM-Star Chrome Lithologie: Wehrlite dunitique

	Cpx c4 altéré	Cpx c5 <i>altéré</i>	Cpx b1	Cpx b6 <i>altéré</i>
SiO2	54,73	54,50	54,83	54,53
Al2O3	1,00	1,18	0,99	1,24
Fe2O3	0,24	0,20	0,73	0,22
FeO	1,90	2,24	2,23	2,33
TiO2	0.04	0,07	0,04	0,08
Cr2O3	0,86	0,83	0,58	0,92
V2O3	0,00	0,50	0,00	0,02
MgO	17.63	17,66	18,91	17,48
MnO	0,08	0,11	0.09	0,13
CaO	24,37	23,81	22.58	23,95
NiO	0,03	0,01	0,05	0,01
Na2O	0,18	0,19	0.14	0,21
K2O	0,10	5,15		-,-
Total	101,07	100,80	101,18	101,11
Si	1,9686	1,9653	1,9646	1,9629
Αl	0,0426	0,0501	0,0420	0,0525
AI IV	0,0314	0,0347	0,0354	0,0371
Al VI	0.0112	0.0154	0,0066	0,0154
Fe 3+	0.0066	0,0055	0,0197	0,0060
Fe 2+	0.0572	0,0677	0,0669	0,0700
Fe total	0,0637	0,0732	0,0867	0,0760
Ti	0,0010	0,0018	0,0012	0,0021
Cr	0,0243	0,0237	0,0165	0,0261
V				
Mg	0,9452	0,9491	1,0096	0,9378
Mn	0,0025	0,0033	0,0027	0,0041
Ca	0,9394	0,9202	0,8669	0,9239
Na	0,0126	0,0134	0,0098	0,0146
K				
Total	4,00	4,00	4,00	4,00
Mg#	94,30	93,35	93,78	93,05
Wo	48,38	47,51	44,61	47,83
En	48,68	49,00	51,95	48,55
Fs	2,94	3,49	3,44	3,63
Cr#				

Cr# Cr/Fe3+Cr+Al Fe3/Fe3+Cr+Al Fe2/Mg+Fe Échantillon: 3057C1

Localisation: Puits-Star Chrome

Lithologie: Veine de chromitite montrant une texture anti-nodulaire

	Spinelle c3	Spinelle c4	Spinelle c6	Spinelle c7	Spinelle b1	Spinelle b5	Spinelle b6	Spinelle a3	Spinelle a4	Cpx d1	Cpx d2
SiO2	0,02	0,01	0,03	0,04	0,01	-	0,05	0,03	0,02	53,82	53,38
Al2O3	17,61	18,17	17,91	17,80	18,11	17,13	16,96	17,20	19,03	1,86	2,06
Fe2O3	8,15	6,56	6,13	6,14	7,63	6,82	6,33	6,49	6,85	0,40	0,80
FeO	21,50	20,67	20,11	19,58	18,21	18,39	18,52	19,85	17,78	2,75	1,82
TiO2	0,17	0,22	0,16	0,21	0,26	0,26	0,28	0,26	0,28	0,05	0,10
Cr2O3	43,22	44,76	44,86	45,38	44,19	46,24	46,66	45,49	44,33	1,00	0,82
V2O3	0,30	0,24	0,18	0,28	0,25	0,20	0,30	0,18	0,32		
MgO	8,52	9,24	9,29	9,78	10,79	10,58	10,52	9,53	11,28	17,06	17,26
MnO	0,34	0,32	0,36	0,35	0,27	0,32	0,34	0,31	0,27	0,12	0,07
CaO	-	0,00	0,01	- -	0,00	0,01	0,00	0,01	-	23,43	23,53
NiO		-,								0,03	0,04
Na2O										0,24	0,24
K2O										-	-
Total	99,84	100,18	99,04	99,55	99,72	99,94	99,95	99,35	100,16	100,78	100,13
Si	0,0049	0,0018	0,0073	0,0093	0,0028	_	0,0115	0,0070	0,0045	1,9475	1,9389
Al	5,3917	5,5033	5,4801	5,4071	5,4534	5,1746	5,1276	5,2579	5,6651	0,0795	0,0882
ALIV	-,									0,0525	0,0611
AI VI										0,0269	0,0272
Fe 3+	1,5943	1,2692	1,1995	1,1922	1,4685	1,3171	1,2230	1,2669	1,3035	0,0110	0,0219
Fe 2+	4,6660	4,4374	4,3622	4,2170	3,8867	3,9376	3,9697	4,3017	3,7533	0,0832	0,0553
Fe total	6,2603	5,7066	5,5617	5,4092	5,3553	5,2547	5,1927	5,5686	5,0568	0,0941	0,0772
Ti	0,0338	0,0417	0,0316	0,0397	0,0499	0,0505	0,0530	0,0497	0,0532	0,0015	0,0027
Cr	8,8737	9,0908	9,2045	9,2444	8,9222		9,4586	9,3246	8,8503	0,0286	0,0237
V	0,0629	0,0496	0,0381	0,0583	0,0504	0,0407	0,0617	0,0372	0,0656		
Mg	3,2982	3,5361	3,5942	3,7552		4,0416	4,0204	3,6838	4,2458	0,9199	0,9341
Mn	0,0746	0,0692	0,0789	0,0768	·	0,0699		0,0690	0,0586	0,0036	0,0022
Ca	-	0,0008	0,0036	-	0,0008	0,0014	8000,0	0,0022	-	0,9085	0,9157
Na										0,0168	0,0171
K										-	-
Total	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	4,0	4,0
Mg#	41,41	44,35	45,17	47,10	51,37	50,65	50,32	46,13	53,08	91,71	94,41
Wo										47,53	48,06
En										48,12	49,03
Fs										4,35	2,90
Cr#	62,20	62,29	62,68	63,10	62,06	64,41	64,85	63,94	60,97		
Cr/Fe3+Cr+Al	55,95	57,31	57,95	58,35	56,31	59,06	59,83	58,83	55,95		
Fe3/Fe3+Cr+Al	10,05	8,00	7,55	7,52	9,27	8,31	7,74	7,99	8,24		
Fe2/Mg+Fe	58,59	55,65	54,83	52,90	48,63	49,35	49,68	53,87	46,92		

Échantillon: 3057C1 (suite) Localisation: Puits-Star Chrome

Lithologie: Veine de chromitite montrant une texture anti-nodulaire

	Cpx d3	Cpx b2	Cpx b7	Cpx a1 interstitiel	Cpx a2 interstitiel	Cpx a6 interstitiel	Cpx b3 <i>altéré</i>	Cpx b4 <i>altéré</i>
SiO2	54,69	54,22	54,97	53,86	54,15	53,49	54,88	53,78
Al2O3	0,27	0,21	0,22	1,65	1,70	0,70	0,27	0,52
Fe2O3	0,02	0,94	-	0,72	0,12	2,08	0,15	1,82
FeO	2,47	1,77	2.40	1.53	2,62	1.03	2,44	0,63
TiO2	0,05	0,05	0,06	0.09	0,08	0,10	0,04	0,03
Cr2O3	0,42	0.34	0.40	0.87	0,84	0,36	0,46	0,64
V2O3	0,42	0,04	0,10	0,07	5,01	2,00	0,10	0,01
MgO	17,41	17.87	17,49	17,54	17,30	18,21	17,45	18,38
MnO	0,08	0,05	0,08	0.08	0,09	0,06	0,08	0,11
CaO	24.46	24,18	24,77	24,23	23,74	23,66	24,78	23,86
NiO		0.03	0.04	0,02	0,04	0.05	0.02	0,02
Na2O	0.10	0,05	0,07	0,12	0,18	0,04	0,06	0,05
K2O	0,02	0,00	0,01	0.01	0.01	-	-	0,02
Total	100,00	99,73	100,51	100,73	100,88	99,79	100,63	99.85
TOTAL	100,00	55,75	100,01	100,70	100,00	00,70	.00,00	00,00
Si	1,9903	1,9780	1,9914	1,9445	1,9545	1,9500	1,9867	1,9561
Al	0.0115	0.0090	0,0093	0,0702	0,0725	0,0299	0,0116	0,0222
AI IV	0,0097	0,0090	0,0086	0,0555	0,0455	0,0299	0,0116	0,0221
AI VI	0,0018	0.0000	0,0007	0,0147	0.0270	0,0000	0,0000	0,0000
Fe 3+	0,0006	0,0258	0,0000	0,0197	0,0032	0,0570	0,0042	0,0496
Fe 2+	0,0753	0,0539	0,0728	0,0462	0,0791	0,0313	0,0739	0,0191
Fe total	0,0760	0,0797	0,0728	0,0659	0,0823	0,0883	0,0780	0,0688
Ti	0,0015	0,0014	0,0016	0,0025	0,0021	0,0028	0,0011	0,0008
Cr	0,0122	0,0099	0,0115	0,0249	0,0241	0,0105	0,0131	0,0183
V								
Mg	0,9445	0,9717	0,9443	0,9435	0,9305	0,9894	0,9413	0,9964
Mn	0,0025	0,0017	0,0024	0,0026	0,0029	0,0020	0,0023	0,0034
Ca	0,9537	0,9449	0,9614	0,9371	0,9179	0,9242	0,9614	0,9300
Na	0,0069	0,0035	0,0051	0,0084	0,0128	0,0029	0,0044	0,0032
К	0,0009	-	0,0002	0,0004	0,0003	-	-	0,0008
Total	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
Mg#	92,61	94,75	92,85	95,33	92,17	96,93	92,72	98,12
Wo	48,33	47,95	48,59	48,64	47,62	47,52	48,64	47,80
En	47,86	49,31	47,73	48,97	48,27	50,87	47,62	51,21
Fs	3,82	2,73	3,68	2,40	4,10	1,61	3,74	0,98
Cr#								

Cr# Cr/Fe3+Cr+Al Fe3/Fe3+Cr+Al Fe2/Mg+Fe

Échantillon: 3057C2 Localisation: Puits-Star Chrome Lithologie: Veine de chromitite semi-massive

	Spinelle a2	Spinelle a3	Spinelle a5	Spinelle b4	Spinelle b5	Spinelle c1	Spinelle c2	Spinelle d10	Cpx a1 interstitiel	Срх а4
SiO2	0,02	0,01	0.01	0,01	0,02	0,00	0,01	0,01	54,00	54,55
Al2O3	16,73	16,76	16,95	17,31	17,27	15,94	17,07	17,36	1,53	1,14
Fe2O3	6,70	7,28	6,81	7,49	7,16	6,39	6,96	6,67	0,69	0,35
FeO	17,55	17,54	17,29	17,48	17,34	17,69	17,62	19,23	1,14	1,58
TiO2	0,28	0,28	0,31	0,31	0,33	0,29	0,29	0,30	0,09	0,05
Cr2O3	47,01	46,83	46,50	46,26	45,92	47,64	46,94	45,71	0,78	0,55
V2O3	0,32	0,24	0,31	0.27	0,31	0,18	0,25	0,26		
MgO	11,16	11,24	11,31	11,42	11,36	10,79	11,27	10,08	17,78	17,68
MnO	0,29	0,31	0,30	0,32	0,31	0,31	0,31	0,32	0,07	0,07
CaO	0,01	-	-	-	0,01	0,01	-	-	24,26	24,44
NiO									0,09	0,05
Na2O									0,15	0,17
K2O									-	-
Total	100,07	100,48	99,79	100,86	100,02	99,25	100,71	99,93	100,58	100,64
Si	0,0041	0,0023	0,0031	0,0018	0,0051	0,0003	0,0025	0,0015	1,9494	1,9679
Al	5,0358	5,0260	5,1071	5,1574	5,1831	4,8598	5,0999	5,2562	0,0652	0,0484
Al IV									0,0506	0,0321
Al VI									0,0147	0,0163
Fe 3+	1,2896	1,3956	1,3112	1,4262	1,3741	1,2462	1,3293		0,0189	0,0095
Fe 2+	3,7453	3,7279	3,6927	3,6909	3,6893	3,8253	3,7337		0,0344	0,0478
Fe total	5,0348	5,1235	5,0039	5,1171	5,0634	5,0715	5,0630		0,0533	0,0573
Ti	0,0542	0,0532	0,0594	0,0580	0,0640	0,0560	0,0547		0,0025	0,0015
Cr	9,4920	9,4181	9,3929	9,2414	9,2420	9,7435	9,4059		0,0222	0,0157
V	0,0661	0,0494	0,0639	0,0555	0,0627	0,0380	0,0504			
Mg	4,2474	4,2603	4,3057	4,3005	4,3114	4,1610	4,2581		0,9566	0,9506
Mn	0,0634	0,0672	0,0641	0,0683	0,0664	0,0675	0,0655	0,0705	0,0020	0,0020
Ca	0,0022	=	*	m.	0,0019	0,0025	-	-	0,9386	0,9445
Na K									0,0102	0,0120
Total	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	4,00	4,00
Mg#	53,14	53,33	53,83	53,81	53,89	52,10	53,28	48,31	96,52	95,21
Wo									48,64	48,61
En									49,57	48,93
Fs									1,78	2,46
Cr#	65,34	65,20	64,78	64,18	64,07	66,72	64,84	63,85		
Cr/Fe3+Cr+Al	60,01	59,46	59,41	58,40	58,50	61,48	59,40	58,64		
Fe3/Fe3+Cr+Al	8,15	8,81	8,29	9,01	8,70	7,86	8,39	8,16		
Fe2/Mg+Fe	46,86	46,67	46,17	46,19	46,11	47,90	46,72	51,69		
-										

Échantillon: 3057C2 (suite) Localisation: Puits-Star Chrome

Lithologie: Veine de chromitite semi-massive

	Cpx b3	Cpx b6	Срх с3
	interstitiel	interstitiel	inclusion
SiO2	54,52	54,40	54,71
Al2O3	0,63	1,23	0.90
Fe2O3	0,90	0,63	0,14
FeO	1,14	1,51	1,55
TiO2	0,07	0,12	0,05
Cr2O3	0,45	0,69	0,61
V2O3	0,.0	3,00	0,0
MgO	18,09	17,88	17,81
MnO	0,03	0,08	0,05
CaO	24,58	24,08	24,67
NiO	0,03	0,04	0,01
Na2O	0,08	0,18	0,11
K20	-	0,01	0,01
Total	100,52	100.84	100,61
Si	1,9687	1,9587	1,9728
Αl	0,0268	0,0522	0,0381
AI IV	0,0268	0,0413	0,0272
Al VI	0,0000	0,0109	0,0109
Fe 3+	0,0244	0,0170	0,0037
Fe 2+	0,0344	0,0455	0,0469
Fe total	0,0587	0,0624	0,0506
Ti	0,0020	0,0033	0,0014
Cr	0,0129	0,0196	0,0175
V			
Mg	0,9734	0,9594	0,9572
Mn	0,0010	0,0024	0,0014
Ca	0,9510	0,9292	0,9533
Na	0,0055	0,0125	0,0075
K	-	0,0003	0,0002
Total	4,00	4,00	4,00
Mg#	96,59	95,47	95,33
Wo	48,55	48,04	48,70
En	49,69	49,61	48,90
Fs	1,75	2,35	2,39
Cr#			
Cr/Fe3+Cr+A!			
Fe3/Fe3+Cr+Al			
F-2/M-1F-			

Fe2/Mg+Fe

Échantillon: 3057CPX Localisation: Puits-Star Chrome Lithologie: Webstérite

	Spinelle a1	Spinelle a4	Spinelle b2	Spinelle b3	Срх а2	Срх а3	Срх а5	Cpx b1	Cpx b4
SiO2	0,03	0,02	0,01	0,05	54,20	54,31	54,00	54,19	54,06
Al2O3	13,67	13,30	14,25	15,28	1,21	1,19	1,21	1,22	1,22
Fe2O3	9,50	7,81	8,35	8,59	0,65	1,09	1,42	0,49	0,90
FeO	25,41	23,40	23,97	24,31	2,32	1,70	1,41	1,89	1,63
TiO2	0,21	0,11	0,15	0,17	-	-	0,06	0,05	0,02
Cr2O3	44,44	48,13	46,12	43,01	0,95	0,65	0,67	0,69	0,85
V2O3	0,36	0,28	0,32	0,33					
MgO	5,42	6,85	6,56	6,06	18,07	17,71	17,67	17,74	17,73
MnO	0,47	0,42	0,40	0,45	0,10	0,11	0,12	0,11	0,10
CaO	0,01	-	0,01	-	22,92	23,68	23,95	23,82	23,86
NiO					0,01	0,03	0,05	0,04	0,05
Na2O					0,17	0,25	0,20	0,15	0,16
K2O					0,01	0,02	-	-	-
Total	99,52	100,31	100,14	98,27	100,60	100,74	100,75	100,40	100,60
Si	0,0089	0,0048	0,0032	0,0141	1,9580	1,9600	1,9508	1,9613	1,9549
Al	4,3640	4,1771	4,4759	4,8750	0,0517	0,0504	0,0515	0,0522	0,0519
Al IV					0,0420	0,0400	0,0492	0,0387	0,0451
A! VI					0,0097	0,0104	0,0024	0,0136	0,0068
Fe 3+	1,9397	1,5682	1,6753	1,7523	0,0175	0,0296	0,0386	0,0133	0,0244
Fe 2+	5,7520	5,2123	5,3367	5,4989	0,0700	0,0514	0,0426	0,0571	0,0494
Fe total	7,6917	6,7805	7,0121	7,2513	0,0875	0,0810	0,0811	0,0704	0,0738
Ti	0,0418	0,0228	0,0303	0,0354	-	-	0,0015	0,0014	0,0006
Cr	9,5167	10,1392	9,7131	9,2029	0,0272	0,0185	0,0191	0,0198	0,0242
V	0,0782	0,0603	0,0688	0,0707					
Mg	2,1887	2,7210	2,6034	2,4459	0,9728	0,9525	0,9512	0,9567	0,9556
Mn	0,1074	0,0944	0,0894	0,1041	0,0031	0,0032	0,0036	0,0035	0,0030
Ca	0,0026	-	0,0040	-	0,8873	0,9158	0,9272	0,9239	0,9246
Na					0,0121	0,0177	0,0138	0,0107	0,0113
K					0,0002	8000,0	-	-	-
Total	24,00	24,00	24,00	24,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Mg#	27,56	34,30	32,79	30,79	93,29	94,88	95,72	94,37	95,08
Wo					45,97	47,71	48,27	47,68	47,92
En					50,40	49,62	49,51	49,37	49,52
Fs					3,63	2,68	2,22	2,95	2,56
Cr#	68,56	70,82	68,46	65,37					
Cr/Fe3+Cr+Al	60,15	63,83	61,23	58,13					
Fe3/Fe3+Cr+Al	12,26	9,87	10,56	11,07					
Fe2/Mg+Fe	72,44	65,70	67,21	69,21					

Échantillon: 3057D Localisation: Puits-Star Chrome Lithologie: Wehrlite dunitique

	Spinelle a1	Spinelle a2	Spinelle a5	Spinelle a6	Spinelle b2	Spinelle b4	Spinelle c1	Spinelle c2	Срх а3	Cpx a4 coeur	Cpx b1 coeur
SiO2	0,02	0,03	0,03	0,02	0,03	0,01	0,03	0,02	53,73	53,22	53,55
Al2O3	19,18	21,31	19,29	14,42	20,22	18,93	19,71	19,88	2,10	2,09	1,86
Fe2O3	9,84	11,13	9,83	19,43	15,88	9,67	10,55	12,73	0,57	1,66	0,91
FeO	23,40	24,71	24,08	27,41	25,87	23,63	24,52	24,50	2,96	2,92	2,20
TiO2	0,20	0,13	0,20	0,32	0,27	0,20	0,18	0,21	0,07	0,08	0,09
Cr2O3	39,60	35,23	38,71	32,44	30,64	39,71	37,82	35,36	0,85	0,89	0,78
V2O3	0,26	0,28	0,28	0,43	0,31	0,29	0,31	0,33			
MgO	7,50	6,75	6,96	4,08	5,78	7,27	6,82	6,82	17,65	18,24	17,03
MnO	0,44	0,40	0,43	0,43	0,43	0,41	0,40	0,39	0,11	0,11	0,13
CaO	0.01	-	-	-	-	-	-	-	22,57	21,40	23,90
NiO									0,06	-	0,04
Na2O									0,18	0,16	0,17
K2O											
Total	100,44	99,98	99,81	98,98	99,43	100,12	100,32	100,24	100,87	100,76	100,68
Si	0,0059	0,0078	0,0089	0,0055	0,0066	0,0013	0,0070	0,0039	1,9400	1,9238	1,9405
Al	5,8461	6,5003	5,9308	4,6760	6,2819	5,8022	6,0303	6,0881	0,0894	0,0890	0,0794
Al IV									0,0600	0,0762	0,0595
AI VI									0,0294	0,0128	0,0199
Fe 3+	1,9166	2,1703	1,9323	4,0289	3,1516	1,8952	2,0638	2,4915	0,0155	0,0451	0,0247
Fe 2+	5,0569	5,3414	5,2494	6,2982	5,6947	5,1340	5,3174	5,3170	0,0895	0,0882	0,0666
Fe total	6,9735	7,5117	7,1816	10,3271	8,8463	7,0291	7,3813	7,8085	0,1050	0,1333	0,0913
Ti	0,0379	0,0249	0,0392	0,0660	0,0531	0,0393	0,0344	0,0410	0,0019	0,0021	0,0024
Cr	8,0949	7,2056	7,9826	7,0567	6,3812	8,1612	7,7592	7,2614	0,0242	0,0254	0,0224
V	0,0547	0,0585	0,0581	0,0953	0,0659	0,0602	0,0639	0,0691			
Mg	2,8887	2,6034	2,7044	1,6731	2,2684	2,8161	2,6371	2,6406	0,9498	0,9828	0,9197
Mn	0,0957	0,0879	0,0943	0,1002	0,0966	0,0905	0,0868	0,0865	0,0034	0,0032	0,0041
Ca	0,0025	-	-	-	-	-	-	-	0,8733	0,8290	0,9280
Na									0,0125	0,0114	0,0122
K											
Total	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	4,00	4,00	4,00
Mg#	36,36	32,77	34,00	20,99	28,49	35,42	33,15	33,18	91,39	91,76	93,25
Wo									45,66	43,63	48,48
En									49,66	51,72	48,05
Fs									4,68	4,64	3,48
Cr#	58,07	52,57	57,37	60,15	50,39	58,45	56,27	54,39			
Cr/Fe3+Cr+Al	51,05	45,39	50,38	44,77	40,35	51,46	48,94	45,84			
Fe3/Fe3+Cr+Al	12,09	13,67	12,19	25,56	19,93	11,95	13,02	15,73			
Fe2/Mg+Fe	63,64	67,23	66,00	79,01	71,51	64,58	66,85	66,82			

Échantillon: 3057D (suite) Localisation: Puits-Star Chrome Lithologie: Wehrlite dunitique

	Cpx b3	Срх с3	Cpx c4
0:00	coeur	F2 47	E2 04
SiO2	53,77	53,47	53,84
Al2O3	1,90	2,16	1,85
Fe2O3	0,85	1,04	0,64
FeO	2,43	2,34	2,73
TiO2	0,11	0,09	0,09
Cr2O3	0,81	0,86	0,72
V2O3	47.00	40.07	47.07
MgO	17,03	16,87	17,07
MnO	0,12	0,14	0,14
CaO	24,12	23,77	23,73
NiO	- 0.40	0,03	0,03
Na2O	0,13	0,22	0,17
K2O Total	101,27	101,00	101,01
, 0.2.	1.5.71=-	,	,
Si	1,9379	1,9328	1,9451
Αl	0,0809	0,0920	0,0788
Al IV	0,0621	0,0672	0,0549
AI VI	0,0188	0,0248	0,0239
Fe 3+	0,0231	0,0283	0,0173
Fe 2+	0,0732	0,0708	0,0825
Fe total	0,0963	0,0992	0,0998
Ti	0,0031	0,0025	0,0026
Cr	0,0230	0,0245	0,0204
V			
Mg	0,9147	0,9088	0,9187
Mn	0,0038	0,0043	0,0043
Ca	0,9315	0,9206	0,9184
Na	0,0089	0,0153	0,0118
K			
Total	4,00	4,00	4,00
Mg#	92,59	92,77	91,76
Wo	48,53	48,45	47,84
En	47,66	47,83	47,86
Fs	3,81	3,73	4,30
Cr#			, -
Cr/Fe3+Cr+Al			

Cr/Fe3+Cr+Al Fe3/Fe3+Cr+Al Fe2/Mg+Fe Échantillon: 4038A-LM1

Localisation: Secteur Star Chrome Lithologie: Webstérite recoupée par veine de péridotite

	Cpx a1	Срх а2	Срх а3	Cpx b2	Срх с4	Срх с5	Cpx d1	Cpx d2	Cpx d3	Opx b3
SiO2	53,52	53,33	53,48	53,36	53,12	53,58	53,62	53,27	53,90	56,49
Al2O3	1,76	2,00	2,22	1,89	2,08	1,51	1,97	1,93	1,70	1,60
Fe2O3	1,43	0,88	0.57	1,00	1.04	1,24	0,85	1,32	1,12	1,47
FeO	1,86	2,48	2,64	1,76	2,08	1,53	2,52	2,08	1,95	7,20
TiO2	0,10	0.10	0,12	0,10	0,10	0,11	0,07	0,11	0,12	0,06
Cr2O3	0,56	0,89	0,77	0,75	0,86	0,69	0,69	0,72	0,61	0,46
V2O3										
MgO	17,26	16,87	17,02	17,10	17,03	17,33	16,92	16,99	17,25	33,09
MnO	0,09	0,10	0,10	0,11	0,11	0,11	0,13	0,12	0,07	0,20
CaO	23,84	23,69	23,47	24,22	23,65	24,15	23,74	23,89	24,23	0,96
NiO	0.02	0,04	80,0	-	0,02	0,00	0,02	0,07	0,06	0,02
Na2O	0,18	0,18	0,20	0,11	0,16	0,15	0,21	0,16	0,16	-
K20	0.01	0,01	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	100,61	100.57	100,66	100,40	100.25	100,40	100,74	100,66	101,18	101,56
Si	1,9387	1,9361	1,9376	1,9365	1,9319	1,9432	1,9420	1,9327	1,9424	1,9408
ΑI	0,0751	0,0857	0,0947	0,0808	0,0891	0,0647	0,0839	0,0827	0,0723	0,0649
ALIV.	0,0613	0,0639	0,0624	0,0635	0,0681	0,0568	0,0580	0,0673	0,0576	0,0592
Al VI	0,0138	0,0218	0,0323	0,0173	0,0210	0,0079	0,0259	0,0155	0,0147	0,0057
Fe 3+	0,0389	0,0240	0,0154	0,0274	0,0285	0,0338	0,0232	0,0360	0,0303	0,0381
Fe 2+	0,0563	0,0752	0,0800	0,0534	0,0632	0,0465	0,0763	0,0631	0,0587	0,2068
Fe total	0,0952	0,0992	0,0955	0,0808	0,0917	0,0803	0,0996	0,0991	0,0890	0,2449
Ti	0,0026	0,0028	0,0031	0,0027	0,0026	0,0029	0,0019	0,0030	0,0034	0,0016
Cr	0,0160	0,0256	0,0222	0,0215	0,0248	0,0198	0,0197	0,0207	0,0173	0,0124
V										
Mg	0,9316	0,9130	0,9190	0,9248	0,9233	0,9365	0,9131	0,9185	0,9265	1,6942
Mn	0,0026	0,0030	0,0032	0,0033	0,0034	0,0034	0,0039	0,0038	0,0021	0,0058
Ca	0,9255	0,9216	0,9111	0,9416	0,9218	0,9387	0,9214	0,9286	0,9355	0,0354
Na	0,0124	0,0129	0,0138	0,0079	0,0114	0,0105	0,0146	0,0109	0,0115	-
K	0,0002	0,0002	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Mg#	94,30	92,39	91,99	94,54	93,59	95,27	92,28	93,57	94,04	89,12
Wo	48,37	48,26	47,70	49,05	48,31	48,85	48,22	48,61	48,70	1,83
En	48,69	47,81	48,11	48,17	48,38	48,73	47,79	48,08	48,24	87,49
Fs	2,94	3,94	4.19	2,78	3,31	2,42	4,00	3,30	3,06	10,68
Cr#	-,- '	-,- '	.,	,	- 1	, -	, .	, -	, -	- 1 - 2

Cr# Cr/Fe3+Cr+Al Fe3/Fe3+Cr+Al Fe2/Mg+Fe

Échantillon: 4038A-LM1 (suite) Localisation: Secteur Star Chrome

Lithologie: Webstérite recoupée par veine de péridotite

	Opx b4	Opx c1	Орх с3	Орх с6
SiO2	56,45	56,28	56,80	56,21
Al2O3	1,53	1,63	1,40	1,51
Fe2O3	1,17	1,71	0.34	1,26
FeO	7,09	7,29	8,56	7,80
TiO2	0,01	0.03	0.03	0,04
Cr2O3	0,45	0,43	0,40	0,41
V2O3				
MgO	32,92	32,98	32,96	31,49
MnO	0,20	0,21	0,20	0,23
CaO	1.20	0,75	0,35	2,41
NiO	0,08	0,06	0,07	0,08
Na2O	- -	0.02	_	
K20	-	_	-	-
Total	101,09	101,42	101,10	101,46
Si	1,9477	1,9385	1,9611	1,9461
Al	0,0620	0,0663	0,0568	0,0614
ALIV	0,0523	0,0605	0,0389	0,0539
		0,0018	0,0389	0,0039
AI VI	0,0097	·	0,0180	0,0076
Fe 3+	0,0302 0,2047	0,0442 0,2101	0,0087	0,0326
Fe 2+ Fe total	0,2047	0,2101	0,2558	0,2588
re totai Ti	0,2349	0,2543	0,2538	0,2366
			0,0008	0,0011
Cr V	0,0122	0,0118	0,0109	0,0113
Mg	1,6929	1,6931	1,6958	1,6250
Mn	0,0059	0,0062	0,0057	0,0066
Ca	0,0442	0,0278	0,0129	0,0895
Na	-	0,0011	-	-
K	~	-	-	-
Total	4,00	4,00	4,00	4,00
Mg#	89,21	88,96	87,28	87,79
Wo	2,28	1,44	0,66	4,61
En	87,18	87,68	86,70	83,74
Fs	10,54	10,88	12,63	11,65
Cr#	,			•

Cr/Fe3+Cr+Al Fe3/Fe3+Cr+Al Fe2/Mg+Fe

Échantillon: 4038A-LM2 Localisation: Secteur Star Chrome Lithologie: Webstérite

	Cpx a1	Срх а2	Cpx b1	Cpx b2	Cpx c1	Cpx c2	Срх с4
SiO2	54,05	54,27	53,63	53,88	54,54	53,77	54,37
AI2O3	1,21	1,14	1,35	1,27	1,33	1,39	1,30
Fe2O3	0.67	0,82	1,55	0,66	0.50	1.62	0,47
FeO	2,10	1,88	1,74	2,17	3,17	1,59	2,53
TiO2	0,03	0,03	0,06	0,06	0,04	0,05	80,0
Cr2O3	0,51	0,63	0,72	0,62	0,67	0,61	0,50
V2O3							
MgO	17,49	17,72	17,26	17,43	18,76	18,18	17,56
MnO	0.08	0.09	0,12	0,11	0,11	0,08	0,08
CaO	23,92	24,04	24,02	23,86	21,81	23,14	23,73
NiO	0,04	0,06	0,04	0,01	0,03	0,04	0,01
Na2O	0,14	0,12	0,17	0,12	0,13	0,13	0,16
K20	_	-	0,00	_	-	-	0,01
Total	100,24	100,80	100,68	100,18	101,09	100,60	100,80
Si	1,9618	1,9593	1,9440	1,9575	1,9590	1,9430	1,9625
Αl	0,0519	0,0484	0,0578	0,0544	0,0564	0,0591	0,0551
AI IV	0,0382	0,0407	0,0560	0,0425	0,0410	0,0570	0,0375
Al VI	0,0137	0,0077	0,0018	0,0120	0,0154	0,0021	0,0176
Fe 3+	0,0182	0,0224	0,0423	0,0179	0,0135	0,0440	0,0127
Fe 2+	0,0638	0,0569	0,0529	0,0660	0,0953	0,0482	0,0765
Fe total	0,0820	0,0793	0,0951	0,0839	0,1089	0,0922	0,0892
Ti	0,0008	0,0007	0,0017	0,0017	0,0009	0,0012	0,0022
Cr	0,0147	0,0178	0,0206	0,0178	0,0190	0,0175	0,0144
V	-	-	-	-	-	-	<del>-</del>
Mg	0,9460	0,9532	0,9323	0,9437	1,0044	0,9792	0,9446
Mn	0,0023	0,0027	0,0035	0,0032	0,0033	0,0025	0,0026
Ca	0,9305	0,9299	0,9329	0,9291	0,8393	0,8962	0,9178
Na	0,0100	0,0087	0,0119	0,0087	0,0088	0,0091	0,0112
K	-	-	0,0001	-	-	-	0,0004
Total	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Mg#	93,68	94,37	94,63	93,46	91,33	95,31	92,51
Wo	47,96	47,93	48,64	47,92	43,28	46,59	47,34
En	48.75	49,13	48,60	48,68	51,80	50,91	48,72
Fs	3,29	2,93	2,76	3,40	4,92	2,50	3,94
Cr#							

Cr/Fe3+Cr+Al Fe3/Fe3+Cr+Al Fe2/Mg+Fe

Échantillon: 4040D

Localisation: Secteur St-François

Lithologie: Dunite

	Spinelle a1c coeur	Spinelle a2b bordure	Spinelle a3	Spinelle b1	Spinelle b2	Spinelle b5	Spinelle b6
SiO2	-	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,00
Al2O3	13,16	13,47	13,31	13,16	13,28	14,76	14,47
Fe2O3	5,18	6,37	5,31	5,80	6,26	6,71	5,24
FeO	22,06	22,83	23,04	22,81	23,40	23,97	22,50
TiO2	0,20	0,21	0,19	0,17	0,13	0,13	0,05
Cr2O3	50,99	49,88	51,66	50,98	50,32	47,98	50,04
V2O3	0,19	0,21	0,19	0,20	0,17	0,22	0,18
MgO	7,91	7,59	7,62	7,64	7,24	7,02	7,77
MnO							
CaO							
NiO	-	0,10	0,04	-	0,01	-	0,06
Na2O							
K2O							
Total	99,68	100,67	101,36	100,78	100,83	100,82	100,32
Si	-	0,0037	0,0021	0,0026	0,0042	0,0045	0,0005
Al	4,1246	4,1921	4,1159	4,0939	4,1394	4,5805	4,4899
AI IV							
AI VI							
Fe 3+	1,0380	1,2665	1,0503	1,1541	1,2467	1,3304	1,0397
Fe 2+	4,9051	5,0371	5,0521	5,0325	5,1726	5,2740	4,9507
Fe total	5,9431	6,3036	6,1024	6,1866	6,4194	6,6043	5,9904
Ti	0,0392	0,0411	0,0377	0,0345	0,0251	0,0253	0,0107
Cr	10,7187	10,4071	10,7139	10,6363	10,5184	9,9836	10,4104
V	0,0403	0,0447	0,0404	0,0415	0,0369	0,0460	0,0376
Mg	3,1341	2,9860	2,9794	3,0035	2,8530	2,7551	3,0474
Mn							
Ca							
Na							
K							
Total	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	23,99
Mg#	38,99	37,22	37,10	37,38	35,55	34,31	38,10
Wo							
En							
Fs							
Cr#	72,21	71,29	72,25	72,21	71,76	68,55	69,87
Cr/Fe3+Cr+Al	67,49	65,59	67,47	66,96	66,13	62,81	65,31
Fe3/Fe3+Cr+Al	6,54	7,98	6,61	7,27	7,84	8,37	6,52
Fe2/Mg+Fe	61,01	62,78	62,90	62,62	64,45	65,69	61,90

Échantillon: 4041W Localisation: Secteur St-François Lithologie: Webstérite

	Spinelle a3	Spinelle a4	Spinelle b3	Spinelle b4	Cpx a1	Срх а2	Срх а5	Срх а6	Cpx b1	Cpx b2	Cpx b6
SiO2	0,02	0,03	0,01	0.03	53,36	53,69	53,60	53,18	53,60	53,41	53,37
A12O3	22,48	22,67	25,95	24,68	1,84	1,63	1,62	1,83	1,76	1,79	1,84
Fe2O3	8,96	8,93	8,14	8.68	0,34	0,79	0,22	0,72	0,44	0,40	0,52
FeO	25,58	25,74	24,74	25,30	2,74	2,40	2,99	2,45	2,61	2,51	2,23
TiO2	0,16	0,19	0,12	0,10	0,06	0,06	0,08	0,08	0,06	0.05	0,08
Cr2O3	35,09	34,79	32,89	33,13	0,90	0,66	0,50	0,73	0,65	0,55	0,70
V2O3	0,41	0,41	0,38	0,33							
MgO	6,36	6,22	7,35	6,77	17,01	17,13	17,46	17,12	17,27	16,99	17,09
MnO	-	-	-	-	0,10	0,07	0,09	0,04	0,09	0,07	0,04
CaO	0,01	0,12	0,01	0,02	23,49	23,88	22,86	23,43	23,41	23,68	23,90
NiO	80,0	0,07	0,09	0,02	0,07	0,03	0,02	0,00	0,01	-	0,03
Na2O					0,13	0,14	0,15	0,14	0,15	0,15	0,12
K2O											
Total	99,14	99,17	99,66	99,07	100,00	100,40	99,56	99,66	99,99	99,56	99,87
Si	0,0042	0,0068	0,0028		1,9460	1,9483	1,9580	1,9428	1,9503	1,9520	1,9453
A1	6,8847	6,9388	7,7419	7,4712	0,0790	0,0697	0,0698	0,0789	0,0757	0,0773	0,0790
Al IV					0,0540	0,0517	0,0420	0,0572	0,0497	0,0480	0,0547
Al VI					0,0250	0,0180	0,0278	0,0217	0,0260	0,0293	0,0243
Fe 3+	1,7547				0,0093	0,0216	0,0060	0,0197	0,0119	0,0111	0,0141
Fe 2+	5,5535				0,0835	0,0729	0,0914	0,0749	0,0795	0,0766	0,0681
Fe total	7,3082		6,7853	·	0,0928	0,0945	0,0974	0,0945	0,0914	0,0877	0,0823
Ti	0,0305				0,0015	0,0017	0,0021	0,0022	0,0016	0,0013	0,0022
Cr	7,2062				0,0259	0,0188	0,0145	0,0212	0,0188	0,0159	0,0203
V	0,0852		0,0761				0.0500	0.0000	0.0005	0.0050	0.0000
Mg	2,4608				0,9245	0,9262	0,9503	0,9322	0,9365	0,9256	0,9280
Mn	-	-	-	-	0,0031	0,0023	0,0027	0,0013	0,0027	0,0021	0,0011
Ca	0,0033	0,0345	0,0027	0,0044	0,9179	0,9285	0,8947	0,9172	0,9128	0,9273	0,9335
Na					0,0091	0,0101	0,0105	0,0098	0,0102	0,0108	0,0082
K	00.00	22.00	22.00	24.00	4.00	4.00	4,00	4,00	4.00	4,00	4,00
Total	23,98	23,98	23,98	24,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Mg#	30,71	30,10	34,62	32,29	91,72	92,70	91,23	92,57	92,18	92,36	93,16
Wo					47,66	48,17	46,20	47,66	47,33	48,06	48,38
En					48,00	48,05	49,08	48,45	48,55	47,97	48,09
Fs					4,33	3,78	4,72	3,89	4,12	3,97	3,53
Cr#	51,14	50,72	45,94	47,37							
Cr/Fe3+Cr+Al		45,12	41,45	42,36							
Fe3/Fe3+Cr+Al		11,04	9,78	10,58							
Fe2/Mg+Fe	69,29	69,90	65,38	67,71							

Échantillon: 4044D

Localisation: Secteur St-François Lithologie: Dunite

	Spinelle a1	Spinelle a3	Spinelle b1	Spinelle b2	Spinelle b3	Spinelle c1	Spinelle c2
SiO2	0,02	0,02	<u> </u>		-	0,03	-
A12O3	12,98	12,85	12,86	12,47	13,35	13,30	12,97
Fe2O3	7,94	7,06	7,07	6,10	6,34	8,25	7,04
FeO	24,77	24,46	24,79	23,68	24,29	25,12	24,71
TiO2	0,20	0,18	0,19	0,17	0,19	0,14	0,18
Cr2O3	48,39	49,11	49,38	51,33	48,92	47,84	48,69
V2O3	0,29	0,26	0,25	0,27	0,28	0,32	0,27
MgO	6,37	6,41	6,32	7,04	6,51	6,18	6,19
MnO							
CaO	-	-	-	-	-	0,01	-
NiO	0,02	0,05	0,04	0,02	-	0,05	0,04
Na2O							
K2O							
Total	100,98	100,40	100,89	101,08	99,88	101,24	100,08
Si	0.0040	0,0045	_	-	_	0,0069	
AI	4,0725			3,8963	4,2177		
ALIV	1,0720	1,0020	.,	0,0000	,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,	.,	• • • • • •
Al VI							
Fe 3+	1,5934	1,4242	1,4198	1,2195	1,2802	1,6503	1,4239
Fe 2+	5,5122		· ·			5,5766	5,5481
Fe total	7,1057				6,7199	7,2269	6,9720
Ti	0,0392		0,0385	0,0339	0,0387	7 0,0288	0,0354
Cr	10,1853	10,3886	10,4061	10,7588	10,3639	10,0452	10,3391
V	0,0623	0,0551	0,0524	0,0576	0,0608	3 0,0683	0,0577
Mg	2,5259	2,5577	2,5091	2,7830	2,5990	2,4469	2,4792
Mn							
Ca	-	-	-	-	-	0,0017	-
Na							
K							
Total	23,99	23,99	23,99	24,00	24,00	23,99	23,99
Mg#	31,42	31,86	31,24	34,66	32,33	30,50	30,88
Wo							
En							
Fs							
Cr#	71,44	71,94	72,02	73,41	71,08	70,69	71,57
Cr/Fe3+Cr+Al		65,48	65,58	67,77	65,34	63,34	65,15
Fe3/Fe3+Cr+Al		8,98	8,95	7,68	8,07	10,40	8,97
Fe2/Mg+Fe	68,58	68,14	68,76	65,34	67,67	69,50	69,12

Échantillon: 4048W

Localisation: Collines Diamond Lithologie: Webstérite

	Cpx a1	Срх а3	Срх а4	Срх а6	Cpx b1	Cpx b2	Cpx b3
SiO2	54,58	53,79	53,81	54,03	53,96	53,85	54,22
A12O3	0,52	1,12	1,03	0,99	1,09	1,02	1,06
Fe2O3	0,86	0,38	0,81	0,46	1,03	0,93	-
FeO	2,13	3,36	2,94	3,09	2,90	2,55	3,42
TiO2	0,04	0,06	0,07	0,05	0,06	0,03	0,04
Cr2O3	0,06	0,14	0,19	0,18	0,20	0,20	0,18
V2O3							
MgO	17,42	17,10	17,36	17,34	17,54	17,62	17,32
MnO	0,13	0,13	0,14	0,12	0,11	0,09	0,12
CaO	24,92	23,31	23,34	23,47	23,23	23,30	23,45
NiO	0,08	-	-	0,03	0,04	-	-
Na2O	0,01	0,11	0,11	0,10	0,12	0,11	0,09
K2O	0.01	0,01	-	-	-	-	-
Total	100,67	99,49	99,70	99,81	100,18	99,60	99,88
Si	1,9757	1,9709	1,9657	1,9719	1,9621	1,9658	1,9771
Al	0,0220	0,0485	0,0443	0,0428	0,0467	0,0438	0,0454
AI IV	0,0220	0,0291	0,0343	0,0281	0,0379	0,0342	0,0229
AI VI	-	0,0194	0,0100	0,0147	0,0088	0,0096	0,0226
Fe 3+	0,0235	0,0104	0,0223	0,0127	0,0281	0,0255	-
Fe 2+	0,0644	0,1031	0,0897	0,0943	0,0882	0,0777	0,1041
Fe total	0,0879	0,1135	0,1120	0,1070	0,1164	0,1033	0,1041
Ti	0,0012	0,0018	0,0019	0,0013	0,0018	0,0007	0,0011
Cr	0,0018	0,0041	0,0055	0,0052	0,0058	0,0056	0,0051
V							
Mg	0,9396	0,9337	0,9453	0,9431	0,9504	0,9584	0,9410
Mn	0,0040	0,0040	0,0042	0,0037	0,0034	0,0029	0,0036
Ca	0,9664	0,9151	0,9135	0,9179	0,9052	0,9115	0,9162
Na	0,0008	0,0080	0,0074	0,0069	0,0082	0,0080	0,0063
K	0,0004	0,0004	-	=	-	-	-
Total	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Mg#	93,58	90,06	91,33	90,91	91,50	92,50	90,04
Wo	49,05	46,88	46,88	46,94	46,57	46,80	46,71
En	47,69	47,84	48,52	48,23	48,89	49,21	47,98
Fs	3,27	5,28	4,60	4,82	4,54	3,99	5,31
Cr#							
Cr/Fe3+Cr+Al							
Fe3/Fe3+Cr+Al							
Fe2/Mg+Fe							

Échantillon: 4050B Localisation: Collines Diamond Lithologie: Webstérite

	Spinelle b5	Spinelle b6	Spinelle b8	Cpx b1	Cpx b2
SiO2	0,01	0,01	0,05	54,71	54,95
AI2O3	5,70	6,49	6,12	0,65	0,57
Fe2O3	5,69	6,02	4,94	0,45	-
FeO	23,31	24,21	23,69	1,74	2,00
TiO2	0,04	80,0	0,03	0,01	_
Cr2O3	59,07	57,48	59,72	0,64	0,60
V2O3	0,15	0,22	0,15		
MgO	6,37	5,90	6,35	18,07	18,05
MnO				0,04	0,02
CaO				23,49	23,48
NiO	-	0,03	0,01	-	0,01
Na2O				0,29	0,30
K2O				-	0,01
Total	100,34	100,44	101,05	100,05	99,99
Si	0,0022	0,0039	0,0129	1,9807	1,9902
A1	1,8554	2,1121	1,9760		
AI IV				0,0193	0,0098
Al VI				0,0084	0,0144
Fe 3+	1,1851	1,2526	1,0195	0,0123	-
Fe 2+	5,3848	5,5866	5,4253		
Fe total	6,5699				
Ti	0,0085				
Cr	12,9054				0,0172
V	0,0326	,			
Mg	2,6248	2,4281	2,5910	,	,
Mn				0,0012	
Ca				0,9114	
Na K				0,0201	0,0213
	24.00	22.00	24.00	4.00	0,0005
Total	24,00	23,99	24,00	4,00	4,00
Mg#	32,77	30,29	32,32	94,88	94,14
Wo				47,00	46,81
En				50,29	50,07
Fs				2,71	3,12
Cr#	87,43	85,59	86,75		
Cr/Fe3+Cr+Al	80,93	78,85	81,19		
Fe3/Fe3+Cr+Al	7,43	7,87	6,40		
Fe2/Mg+Fe	67,23	69,71	67,68		

Échantillon: 4050D

Localisation: Collines Diamond Lithologie: Harzburgite dunitique

	Spinelle a1	Spinelle a2	Spinelle a3	Spinelle b1	Spinelle b2	Spinelle b3	Spinelle b4	Spinelle b5	Spinelle c1	Spinelle c2	Spinelle c3	Spinelle c4
SiO2	0,02	0,06	0,03	0,02	0,03	0,05		0,02	0,04	0,02	0,03	0,04
Al2O3	7,16	7,31	8,54	6,83	7,13	6,93	6,98	7,00	7.07	7,20	7,42	6,88
Fe2O3	5,79	6,31	6,35	6,10	6,26	6,36	6,45	7,02	6,47	6,15	8,34	6,03
FeO	23,45	21,95	23,28	23,00	23,64	22,84	23,23	22,87	23,85	21,97	22,05	23,55
TiO2	0,10	0,08	0,09	0,08	0,07	0,10	0,09	0,04	0,05	0,06	0,06	80,0
Cr2O3	56,25	56,04	54,20	56,31	55,76	56,55	55,78	55,82	55,37	56,82	54,33	57,01
V2O3	0,19	0,19	0,29	0,10	0,20	0,25	0,18	0,21	0,25	0,26	0,20	0,28
MgO	5,94	6,96	6,24	6,13	5,81	6,47	6,01	6,38	5,63	7,05	6,98	6,09
MnO	0,52	0,49	0,48	0,50	0,50	0,52	0,50	0,45	0,50	0,44	0,47	0,49
CaO	0,01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
NiO												
Na2O												
K2O												
Total	99,41	99,39	99,50	99,06	99,41	100,06	99,22	99,81	99,23	99,97	99,87	100,46
Si	0,0056	0,0152	0,0094	0,0047	0,0075	0,0124		0,0041	0,0100	0,0044	0,0093	0,0121
Al	2,3455	2,3748	2,7711	2,2458	2,3387	2,2491	2,2918	2,2791	2,3265	2,3272	2,4014	2,2322
ALIV												
AI VI												
Fe 3+	1,2122					1,3197					1,7238	•
Fe 2+	5,4442	5,0577									5,0572	•
Fe total	6,6564	6,3670		6,6396						,	6,7811	
Ti	0,0198	0,0164										•
Cr	12,3503	12,2110				12,3104				,	•	
V	0,0412	0,0418		0,0223		0,0559				,	0,0431	
Mg	2,4583	2,8588						,			2,8541	
Mn	0,1214	0,1151	0,1110	0,1171	0,1168	0,1208	0,1174	0,1062		0,1028	0,1100	0,1135
Ca	0,0015	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Na												
K	04.00	04.00	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00
Total	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00
Mg#	31,11	36,11	32,35	32,20	30,48	33,56	31,57	33,23	29,61	36,41	36,08	31,55
Wo												
En												
Fs	0.4.0.4	00.70	00.07	04.07	00.00	04.55	04.07	04.05	04.00	04.40	02.00	04.74
Cr#	84,04	83,72	80,97	84,67	83,98	84,55	84,27	84,25	84,00	84,10	83,08	84,74
Cr/Fe3+Cr+Al	77,64	76,82	74,26	77,87	77,06	77,53	77,11	76,53	76,81	77,39	74,08	78,08
Fe3/Fe3+Cr+Al	7,62	8,24	8,29	8,04	8,24	8,31	8,50	9,17	8,56	7,99	10,83	7,87
Fe2/Mg+Fe	68,89	63,89	67,65	67,80	69,52	66,44	68,43	66,77	70,39	63,59	63,92	68,45

Échantillon: 4052B-LM1 Localisation: ZM-Star Chrome

Lithologie: Webstérite recoupée par filon d'orthopyroxénite

	Срх а3	Срх а4	Cpx a5	Cpx b1	Cpx b3	Cpx b4	Срх с2	Срх с3	Opx a1	Opx a2
SiO2	54,30	54,29	54,00	54,07	54,33	54,88	53,87	53,57	57,10	57,02
AI2O3	1,36	1,35	1,34	1,34	1,29	0,08	2,02	1,83	1,18	1,18
Fe2O3	=	_	0,52	0,36	- -	<u>-</u>	· -	-	0,40	0,59
FeO	3,15	3,07	2,53	2,98	3.07	3.88	3,15	3,25	8,66	8,49
TiO2	0,01	0,04	0,04	0,00	0,07	0,05	0,09	0,07	0,02	0,02
Cr2O3	0,68	0,53	0,62	0,54	0,59	-	0,69	0,78	0,30	0,40
V2O3	,									
MgO	17,11	18,32	17,30	17,56	17,04	16,55	16,63	16,78	32,61	32,81
MnO	0,14	0,10	0,11	0,13	0,09	0,21	0,09	0,14	0,21	0,21
CaO	23,73	21,83	23,81	23,12	23,71	24,72	23,54	23,41	0,89	0,73
NiO	0.07	0.03	0,03	0.02	0,04	0,00	0,07	0,05	0,10	0,07
Na2O	0,16	0,15	0.14	0,14	0,15	0,03	0,20	0,18	0,03	0,01
K20	0,01	0,00	-	-	0,00	0,01	- -	0,01	0,02	0,01
Total	100,72	99,70	100,42	100,26	100,38	100,40	100,34	100,06	101,03	101,54
Si	1,9668	1,9748	1,9591	1,9634	1,9737	2,0020	1,9597	1,9541	1,9674	1,9632
Αl	0,0579	0,0577	0,0573	0,0572	0,0553	0,0032	0,0867	0,0785	0,0481	0,0480
AI IV	0,0332	0,0252	0,0409	0,0366	0,0263	-	0,0403	0,0459	0,0326	0,0368
AI VI	0,0247	0,0325	0,0164	0,0206	0,0290	0,0032	0,0464	0,0326	0,0155	0,0112
Fe 3+	_	-	0,0141	0,0099	-	-	-	-	0,0105	0,0153
Fe 2+	0,0954	0,0935	0,0767	0,0904	0,0932	0,1183	0,0957	0,0993	0,2495	0,2445
Fe total	0,0954	0,0935	0,0908	0,1003	0,0932	0,1183	0,0957	0,0993	0,2600	0,2598
Tí	0,0003	0,0010	0,0012	0,0001	0,0018	0,0013	0,0023	0,0018	0,0006	0,0004
Cr V	0,0194	0,0153	0,0177	0,0155	0,0169	-	0,0197	0,0226	0,0080	0,0108
Mg	0,9237	0.9933	0.9352	0.9504	0.9225	0,8998	0.9016	0.9121	1,6747	1.6834
Mn	0.0042	0.0030	0,0033	0,0039	0,0029	0,0064	0,0026	0,0042	0.0060	0.0061
Ca	0.9209	0.8507	0,9256	0,8997	0,9228	0.9662	0.9175	0,9147	0.0328	0,0270
Na	0.0110	0,0104	0.0097	0,0095	0,0106	0,0022	0.0140	0.0124	0.0017	0.0008
K	0,0003	0.0002	-	-	0,0001	0,0006	-	0,0004	0.0007	0,0004
Total	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Mg#	90,64	91,40	92,42	91,31	90,82	88,38	90,40	90,19	87,03	87,32
Wo	47,47	43,91	47,77	46,36	47,60	48,69	47,92	47,49	1,68	1,38
En	47,61	51,27	48,27	48,98	47,59	45,35	47,09	47,36	85,57	86,11
Fs Cr#	4,92	4,82	3,96	4,66	4,81	5,96	5,00	5,15	12,75	12,51

Cr# Cr/Fe3+Cr+Al Fe3/Fe3+Cr+Al Fe2/Mg+Fe

Échantillon: 4052T-LM2 Localisation: ZM-Star Chrome

Lithologie: Contact auréole orthopyroxénitique/webstérite

	Spinelle a1	Spinelle c3	Spinelle c4	Spinelle d1	Spinelle e4	Spinelle f1	Срх а3	Cpx b1	Cpx b2	Cpx c1	Cpx c2
SiO2	0.03	0,01	0,03	0,01	0,03	0,03	54,21	54,00	54,07	54,33	53,65
Al2O3	16,67	16,17	17,10	16,18	16,33	17,32	0,05	1,29	1,15	1,50	1,78
Fe2O3	7,62	7,93	7,84	8,07	8,53	8,26	-	0,36	0,38	-	-
FeO	18,55	18,21	18,56	18,52	20,21	21,62	3,87	1,71	1,88	2,62	2,74
TiO2	0,27	0,28	0,30	0,22	0,22	0,30	0,05	0,06	0,05	0,05	0,07
Cr2O3	45,57	46,22	45,68	46,41	44,58	42,83	-	0,85	0,70	0,82	0,84
V2O3	0,29	0,29	0,26	0,21	0,28	0,36					
MgO	10,41	10,64	10,70	10,47	9,22	8,40	16,00	17,61	17,65	17,31	17,08
MnO	0,32	0,32	0,30	0,31	0,38	0,37	0,29	0,09	0,12	0,06	0,09
CaO	-	-	-	-	0,01	-	24,97	24,04	23,90	23,64	23,26
NiO							0,05	0,07	0,08	0,03	0,05
Na2O							0,03	0,14	0,13	0,15	0,17
K2O							0,01	0,01	-	0,01	0,00
Total	99,72	100,07	100,76	100,39	99,79	99,50	99,52	100,24	100,12	100,51	99,72
Si	0,0075	0,0036	0,0066	0,0028	0,0078	0,0076	1,9994	1,9586	1,9635	1,9676	1,9590
Al	5,0631	4,9009	5,1270	4,8935	5,0068	5,3288	0,0023	0,0552	0,0491	0,0639	0,0764
AI IV							0,0006	0,0414	0,0365	0,0324	0,0410
IV IA							0,0018	0,0137	0,0126	0,0314	0,0354
Fe 3+	1,4789	1,5349	1,5035	1,5606	1,6713	1,6249	0,0000	0,0099	0,0105	0,0000	0,0000
Fe 2+	3,9924	3,9106	3,9452	3,9715	4,3906	4,7164	0,1194	0,0518	0,0570	0,0793	0,0837
Fe total	5,4713	5,4454	5,4487	5,5321	6,0619	6,3412	0,1194	0,0617	0,0675	0,0793	0,0837
Ti	0,0515	0,0532	0,0580	0,0415	0,0422	0,0593	0,0015	0,0017	0,0015	0,0014	0,0018
Cr	9,2805	9,3913	9,1869	9,4145	9,1627	8,8382	0,000	0,0243	0,0200	0,0234	0,0243
V	0,0595	0,0593	0,0534	0,0428	0,0590	0,0745					
Mg	3,9959	4,0757	4,0552	4,0038	3,5742	3,2674	0,8795	0,9517	0,9553	0,9340	0,9296
Mn	0,0707	0,0705	0,0642	0,0683	0,0833	0,0822	0,0089	0,0028	0,0038	0,0019	0,0029
Ca	•	-	-	-	0,0020	-	0,9869	0,9343	0,9300	0,9173	0,9102
Na							0,0018	0,0096	0,0094	0,0108	0,0120
K							0,0003	0,0003	-	0,0006	0,0001
Total	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Mg#	50,02	51,03	50,69	50,20	44,88	40,93	88,05	94,84	94,37	92,18	91,74
Wo							49,70	48,22	47,88	47,52	47,32
En							44,29	49,11	49,18	48,38	48,33
Fs							6,01	2,67	2,94	4,11	4,35
Cr#	64,70	65,71	64,18	65,80	64,66	62,39					
Cr/Fe3+Cr+Al		59,34	58,08	59,33	57,84	55,97					
Fe3/Fe3+Cr+Al		9,70	9,51	9,83	10,55	10,29					
Fe2/Mg+Fe	49,98	48,97	49,31	49,80	55,12	59,07					

Échantillon: 4052T-LM2 (suite) Localisation: ZM-Star Chrome

Lithologie: Contact auréole orthopyroxénitique/webstérite

	Cpx d2	Cpx d3	Срх е3	Cpx f2	Opx e1	Opx f3
SiO2	54,27	53,63	53,88	53,70	56,51	56,75
Al2O3	1,41	1,33	1,36	1,83	1,54	1,50
Fe2O3	0,15	0,47	-	0,28	1,39	-
FeO	3,48	1,74	2,15	3,01	7,96	7,97
TiO2	0,05	0,03	0,06	0,10	0,03	0,05
Cr2O3	0,74	0,71	0,84	0,83	0,51	0,53
V2O3						
MgO	18,63	17,77	17,13	17,18	32,85	32,80
MnO	0,11	0,10	0,09	0,08	0,21	0,21
CaO	21,31	23,49	23,93	22,97	0,67	0,44
NiO	0,03	0,04	0,06	0,03	0,05	80,0
Na2O	0,18	0,11	0,12	0,25	-	0,02
K2O	0,00	0,01	-	-	0,01	-
Total	100,36	99,42	99,61	100,25	100,93	101,67
Si	1,9623	1,9581	1,9688	1,9514	1,9434	1,9702
ΑI	0,0603	0,0571	0,0584	0,0782	0,0624	0,0614
AI IV	0,0377	0,0419	0,0312	0,0486	0,0566	0,0298
A! VI	0,0226	0,0152	0,0272	0,0296	0,0058	0,0316
Fe 3+	0,0041	0,0128	-	0,0075	0,0360	-
Fe 2+	0,1051	0,0532	0,0656	0,0914	0,2289	0,2315
Fe total	0,1092	0,0660	0,0656	0,0990	0,2648	0,2315
Ti	0,0014	0,0009	0,0018	0,0027	0,0008	0,0013
Cr	0,0210	0,0205	0,0243	0,0239	0,0138	0,0146
V						
Mg	1,0042	0,9668	0,9329	0,9303	1,6835	1,6969
Mn	0,0032	0,0032	0,0028	0,0025	0,0061	0,0062
Ca	0,8256	0,9190	0,9370	0,8944	0,0245	0,0164
Na	0,0127	0,0078	0,0085	0,0177	0,0000	0,0015
K	0,0001	0,0006	-	-	0,0006	-
Total	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Mg#	90,52	94,78	93,43	91,05	88,03	87,99
Wo	42,67	47,40	48,41	46,68	1,27	0,84
En	51,90	49,86	48,20	48,55	86,92	87,25
Fs	5,43	2,74	3,39	4,77	11,82	11,90
Cr#						

Cr/Fe3+Cr+Al Fe3/Fe3+Cr+Al Fe2/Mg+Fe

Échantillon: 4052T-LM3 Localisation: ZM-Star Chrome

Lithologie: Veine de chromite en contact avec auréole orthopyroxénitique

	Spinelle e4	Spinelle d7	Spinelle c1	Spinelle c2	Spinelle b3	Spinelle a1	Cpx e2	Cpx d3	Cpx d4	Cpx d5	Cpx b1	Cpx b2
SiO2	0,02	0,03	0,04	0,01	0,08	0,01	54,71	53,97	54,44	53,06	54,13	53,58
Al2O3	14,63	16,17	16,37	16,51	14,65	15,40	0,77	1,31	1,28	1,54	1,19	1,40
Fe2O3	8,93	8,75	8,09	9,00	8,44	7,93	-	0,43	0,59	1,36	0,14	0,16
FeO	20,47	22,33	19,72	20,87	19,63	19,79	2,81	2,78	3,70	1,97	2,16	2,28
TiO2	0,32	0,25	0,25	0,19	0,28	0,29	0,02	0,02	0,06	0,02	0,05	0,03
Cr2O3	46,43	44,29	45.61	44,14	47,08	47,05	0,39	0,49	0,53	0,83	0,69	0,92
V2O3	0,35	0,35	0,24	0,27	0,21	0.40						
MgO	9,11	8,02	9,73	8,87	9,66	9.69	17,47	17,16	19,23	17,03	17,49	17,23
MnO	0,39	0,34	0,34	0.38	0,32	0,36	0,11	0,12	0,09	0,09	0,11	0,09
CaO	-	0,01	-	0,01	0,01	0,01	23,94	23,65	20,70	23,46	23,91	23,65
NiO							0,03	0,02	0,08	0,04	0,05	0,07
Na2O							0,14	0,16	0,12	0,21	0,14	0,16
K2O							0,02	0,01	-	0,01	0,01	-
Total	100,65	100,54	100,40	100,24	100,36	100,91	100,40	100,11	100,81	99,62	100,07	99,56
Si	0,0055	0,0070	0,0100	0,0018	0,0195	0,0026	1,9830	1,9645	1,9602	1,9432	1,9667	1,9590
ΑI	4,4875	4,9698		5,0509	4,4875	4,6766	0,0327	0,0560	0,0542	0,0663	0,0508	0,0604
Al IV							0,0170	0,0355	0,0398	0,0568	0,0333	0,0410
Al VI							0,0157	0,0205	0,0144	0,0094	0,0175	0,0195
Fe 3+	1,7509	1,7177		1,7589	1,6527	1,5398	-	0,0118	0,0159	0,0373	0,0037	0,0043
Fe 2+	4,4512	4,8632		4,5248	4,2599	4,2609	0,0851	0,0845	0,1113	0,0602	0,0656	0,0696
Fe total	6,2021	6,5808	5,8164	6,2838	5,9126		0,0851	0,0963	0,1272	0,0976	0,0693	0,0739
Ti	0,0628	0,0496		0,0379	0,0553	0,0564	0,0006	0,0005	0,0016	0,0007	0,0014	0,0009
Cr	9,5518	9,1260	9,2894	9,0542		9,5840	0,0112	0,0141	0,0150	0,0240	0,0198	0,0267
V	0,0732	0,0733	0,0504	0,0566	0,0431	0,0816						
Mg	3,5313	3,1160	3,7375	3,4305		3,7189	0,9439	0,9310	1,0318	0,9295	0,9471	0,9387
Mn	0,0857	0,0755		0,0826		•	0,0034	0,0035	0,0028	0,0029	0,0034	0,0027
Са	0,0000	0,0020	0,0000	0,0017	0,0025	0,0014	0,9296	0,9223	0,7986	0,9207	0,9309	0,9264
Na							0,0098	0,0116	0,0087	0,0149	0,0101	0,0113
_ K			0.4.00	04.00	04.00	04.00	0,0007	0,0002	-	0,0003	0,0004	4.00
Total	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Mg#	44,24	39,05	46,82	43,12	46,76	46,60	91,73	91,68	90,26	93,91	93,52	93,10
Wo							47,46	47,59	41,13	48,19	47,90	47,88
En							48,19	48,05	53,14	48,65	48,73	48,52
Fs	_					o= -:	4,34	4,36	5,73	3,15	3,37	3,60
Cr#	68,04	64,74	65,13	64,19	68,30	67,21						
Cr/Fe3+Cr+Al	60,49	57,71	58,67	57,07	61,16	60,66						
Fe3/Fe3+Cr+Al	11,09	10,86	9,92	11,09	10,46	9,75						
Fe2/Mg+Fe	55,76	60,95	53,18	56,88	53,24	53,40						

Échantillon: 4052T-LM3 (suite) Localisation: ZM-Star Chrome

Lithologie: Veine de chromite en contact avec auréole orthopyroxénitique

	Cpx a2	Opx e1	Opx d1	Opx d2	Opx d6	Орх с4
SiO2	54,47	56,88	56,69	57,07	56,95	56,37
Al2O3	1,19	1,32	1,08	1,04	1,30	1,43
Fe2O3	-	1,78	0,08	0,21	0,43	1,52
FeO	2,15	7,78	9,25	9,03	8,20	7,21
TiO2	0,06	0,02	-	0,03	0.03	0,05
Cr2O3 V2O3	0.74	0,45	0,29	0,27	0.36	0,49
MgO	17,42	31,68	32,15	32,32	32,91	33,18
MnO	0,10	0.23	0,23	0.23	0,23	0,21
CaO	24,03	2,72	0,75	1,08	0,76	0,67
NiO	0,06	0,07	0,07	0,09	0,11	0,04
Na2O	0,16	0,02	0.01	0,03	0,01	0,01
K20	-	-	0,01	-	0,01	-
Total	100,39	101,40	100.67	101,51	102,02	101,18
Si	1,9734	1,9446	1,9732	1,9718	1,9629	1,9437
Αl	0,0509	0,0532	0,0442	0,0423	0,0527	0,0580
AI IV	0,0266	0,0532	0,0268	0,0282	0,0371	0,0563
Al VI	0,0243	0,0000	0,0173	0,0141	0,0155	0,0017
Fe 3+	-	0,0456	0,0022	0,0055	0,0111	0,0394
Fe 2+	0,0651	0,2225	0,2693	0,2610	0,2364	0,2080
Fe total	0,0651	0,2682	0,2714	0,2665	0,2475	0,2475
Ti	0,0016	0,0005	-	8000,0	0,0009	0,0012
Cr	0,0212	0,0122	0,0080	0,0074	0,0097	0,0132
V						
Mg	0,9404	1,6141	1,6679	1,6642	1,6906	1,7051
Mn	0,0031	0,0066	0,0068	0,0066	0,0067	0,0061
Ca	0,9329	0,0997	0,0279	0,0401	0,0281	0,0249
Na	0,0114	0,0010	0,0004	0,0003	0,0007	0,0004
K	-	=	0,0003	_	0,0002	-
Total	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Mg#	93,52	87,88	86,10	86,45	87,73	89,13
Wo	48,13	5,15	1,42	2,04	1,44	1,28
En	48,51	83,36	84,88	84,68	86,47	87,98
Fs	3,36	11,49	13,70	13,28	12,09	10,73
Cr#						

Cr# Cr/Fe3+Cr+Al Fe3/Fe3+Cr+Al Fe2/Mg+Fe

Échantillon: 4053T-LM1 Localisation: ZM-Star Chrome Lithologie: Webstérite

	Cpx a1	Срх а2	Cpx b1	Cpx b2	Cpx c1
SiO2	54,28	54,12	53,82	54,94	53,89
Al2O3	1,46	1,29	1,43	0,05	1,36
Fe2O3	•	-	_	-	0,07
FeO	3,20	2,72	2,81	1,98	2,59
TiO2	0,05	0,00	0,05	0,07	0,06
Cr2O3	0,61	0,63	0.69	0,01	0,63
V2O3		-,		-,-	
MgO	17,83	16.99	17.07	17.03	17,18
MnO	0,07	0,13	0,08	0,18	0,10
CaO	22,39	23,70	23,56	25,45	23,82
NiO	0.05	0,01		0,02	0.02
Na2O	0,17	0,15	0,16	0,03	0,14
K20	0,01	*	-	-	0,00
Total	100,13	99,74	99,67	99,76	99,89
· Otal	700,10	001.	,	,	,
Si	1,9709	1,9763	1,9659	2,0055	1,9640
Αi	0,0626	0,0555	0,0614	0,0023	0,0586
ALIV	0,0291	0,0237	0,0341	-	0,0360
Al VI	0.0335	0,0319	0,0273	0,0023	0,0226
Fe 3+		· -	· -	-	0,0019
Fe 2+	0,0973	0,0831	0,0858	0,0605	0,0790
Fe total	0,0973	0,0831	0,0858	0,0605	0,0809
Ti	0,0012	0,0001	0.0014	0,0019	0,0016
Cr	0,0176	0,0183	0,0199	0,0002	0,0183
V					
Mg	0,9646	0,9247	0,9295	0,9265	0,9333
Mn	0,0022	0,0039	0,0026	0,0055	0,0032
Ca	0,8712	0,9272	0,9221	0,9956	0,9301
Na	0,0121	0,0109	0,0114	0,0020	0,0100
K	0,0003	-	-	-	0,0000
Total	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Mg#	90,84	91,76	91,55	93,87	92,19
Wo	45,07	47,92	47,59	50,22	47,88
En	49,90	47,79	47,98	46,73	48,05
Fs	5,03	4,29	4,43	3,05	4,07
Cr#					

Cr/Fe3+Cr+Al Fe3/Fe3+Cr+Al Fe2/Mg+Fe

Échantillon: 4053T-LM2

Localisation: ZM-Star Chrome
Lithologie: Contact auréole orthopyroxénitique/webstérite

	Cpx c1	Cpx c2	Cpx b2	Cpx b4	Cpx b5	Cpx b6	Срх а4
SiO2	54.48	54,51	53,92	53,34	53,11	53,07	54.68
AI2O3	1,37	1,42	0,84	1,86	2,05	2,25	1,03
Fe2O3	-	=	0,99	0,23	1,15	0,57	_
FeO	2,85	3,43	0,98	2,74	1,84	2,58	1,97
TiO2	0,07	0,02	0,05	0,10	0,08	0,14	0,07
Cr2O3	0.77	0.72	0,54	0.95	0.97	0.86	0,65
V2O3							
MgO	17,04	17,91	18,58	17,33	17,41	16,70	17,41
MnO	0,13	0,11	0,15	0,13	0,12	0,11	0,05
CaO	23,79	22,31	23,34	22,90	23,31	23,63	24,19
NiO	0,02	0,04	0,02	0,04	0,05	0,07	0,07
Na2O	0,18	0,19	0,07	0,17	0,16	0,18	0,15
K2O	-	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	100,69	100,66	99,47	99,79	100,26	100,17	100,25
Si	1,9726	1,9697	1,9624	1,9464	1,9298	1,9342	1,9831
Al	0,0586	0,0607	0,0358	0,0799	0,0877	0,0968	0,0439
AI IV	0,0274	0,0303	0,0358	0,0536	0,0702	0,0658	0,0169
Al VI	0,0311	0,0303	-	0,0263	0,0175	0,0310	0,0270
Fe 3+	-	*	0,0270	0,0063	0,0313	0,0156	-
Fe 2+	0,0862	0,1036	0,0298	0,0836	0,0560	0,0787	0,0596
Fe total	0,0862	0,1036	0,0568	0,0899	0,0874	0,0943	0,0596
Ti	0,0019	0,0005	0,0013	0,0028	0,0023	0,0037	0,0019
Cr	0,0220	0,0206	0,0154	0,0274	0,0279	0,0248	0,0186
V	-	-	-	-	-	-	-
Mg	0,9196	0,9646	1,0078	0,9426	0,9426	0,9070	0,9410
Mn	0,0038	0,0033	0,0047	0,0040	0,0038	0,0034	0,0014
Ca	0,9228	0,8638	0,9101	0,8951	0,9074	0,9227	0,9401
Na	0,0126	0,0130	0,0052	0,0119	0,0110	0,0129	0,0104
K	-	0,0001	0,0005	0,0001	0,0001	0,0002	0,0000
Total	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Mg#	91,43	90,30	97,12	91,86	94,39	92,02	94,04
Wo	47,85	44,71	46,73	46,59	47,61	48,35	48,44
En	47,68	49,93	51,74	49,06	49,45	47,53	48,49
Fs	4,47	5,36	1,53	4,35	2,94	4,12	3,07
Cr#							
Cr/Fe3+Cr+Al							
Fe3/Fe3+Cr+Al							
Fe2/Mg+Fe							

Échantillon: 4053T-LM3 Localisation: ZM-Star Chrome

Fe3/Fe3+Cr+Al

Fe2/Mg+Fe

8,87

48,93

10,11

58,47

13,14

62,68

8,65

58,70

8,99

50,66

10,48

57,90

9,18

49,32

Lithologie: Veine de chromitite avec auréole orthopyroxénitique

	Spinelle a1	Spinelle b3	Spinelle c1	Spinelle c2	Spinelle d2	Spinelle d3	Spinelle e3	Cpx a2	Срх а3	Cpx b2	Срх с3	Cpx d1	Cpx e1	Cpx e2
SiO2	0,03	-	0,03	-	0,04	0,04	0,04	54,54	54,05	52,67	52,18	54,23	54,25	54,57
Al2O3	16,78	17,32	17,21	18,89	17,18	14,14	15,87	0,77	1,39	1,66	1,99	1,17	1,01	0,84
Fe2O3	7,26	8,13	10,58	7,03	7,44	8,39	7,45	-	-	1,61	1,81	0,27	-	0,49
FeO	18,28	21,38	23,00	21,70	19,16	21,04	18,24	1,94	2,28	1,33	1,95	1,27	1,83	1,37
TiO2	0,32	0,29	0,26	0,30	0,33	0,24	0,32	0,10	0,08	0,11	0,07	0,10	0,06	0,07
Cr2O3	46,09	43,07	41,01	42,56	46,23	47,20	46,57	0,42	0,71	0,79	0,76	0,72	0,60	0,46
V2O3	0,28	0,35	0,34	0,26	0,28	0,23	0,23							
MgO	10,73	10,70	8,56	8,52	8,58	7,68	10,46	17,70	17,34	17,09	17,12	17,68	17,55	17,95
MnO	0,32	0.31	0,29	0,36	0,37	0,32	0,34	0,06	0,07	0,10	0,14	80,0	0,09	0,04
CaO								24,28	23,62	23,68	22,30	24,70	24,18	24,41
NiO								0,01	0,03	0,04	0,04	0,01	0,03	0,06
Na2O								0.06	0,17	0,18	0,28	0,09	0,15	0,13
K20								0,01	0,01	0,01	-	<del>-</del>	_	-
Total	99,92	100,04	99,59	99,41	100,21	100,42	101,45	99,88	99,74	99,26	98,64	100,32	99,76	100,41
Si	0,0067	-	0,0081	<u>.</u>	0,0096	0,0097	0,0096	1,9825	1,9695	1,9340	1,9284	1,9617	1,9739	1,9717
Al	5,0675	5,3295	5,2880	5,7588	5,1263	4,3774	4,8375	0,0332	0,0599	0,0718	0,0869	0,0498	0,0435	0,0357
Al IV								0,0175	0,0305	0,0660	0,0716	0,0383	0,0261	0,0283
Al VI								0,0157	0,0294	0,0058	0,0152	0,0115	0,0174	0,0074
Fe 3+	1,4025	1,5988	2,0773	1,3695	1,4198	1,6604	1,4516	-	-	0,0443	0,0502	0,0074	-	0,0133
Fe 2+	3,9144	4,6630	5,0071	4,6920	4,0531	4,6177	3,9420	0,0590	0,0695	0,0408	0,0603	0,0383	0,0558	0,0413
Fe total	5,3169	6,2618	7,0844	6,0615	5,4730	6,2781	5,3935	0,0590	0,0695	0,0851	0,1104	0,0457	0,0558	0,0546
Ti	0,0607	0,0563	0,0504	0,0582	0,0634	0,0472	0,0613	0,0026	0,0021	0,0030	0,0021	0,0027	0,0017	0,0020
Cr	9,3369	8,8868	8,4470	8,7020	9,2518	9,8005	9,5218	0,0120	0,0203	0,0229	0,0221	0,0205	0,0171	0,0131
V	0,0583	0,0722	0,0708	0,0529	0,0560	0,0478	0,0475							
Mg	4,0861	3,3122	2,9816	3,3009	3,9472	3,3569	4,0509	0,9588	0,9416	0,9353	0,9427	0,9532	0,9517	0,9668
Mn	0,0669	0,0800	0,0697	0,0635	0,0727	0,0823	0,0769	0,0018	0,0022	0,0030	0,0043	0,0024	0,0029	0,0013
Ca								0,9458	0,9224	0,9319	0,8831	0,9574	0,9427	0,9452
Na								0,0040	0,0121	0,0125	0,0199	0,0064	0,0107	0,0094
K								0,0003	0,0005	0,0006	-	-	-	-
Total	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Mg#	51,07	41,53	37,32	41,30	49,34	42,10	50,68	94,20	93,13	95,82	93,99	96,14	94,46	95,90
Wo								48,17	47,71	48,84	46,82	49,13	48,34	48,39
En								48,83	48,70	49,02	49,98	48,91	48,80	49,50
Fs								3,00	3,59	2,14	3,20	1,96	2,86	2,12
Cr#	64,82	62,51	61,50	60,18	64,35	69,13	66,31							
Cr/Fe3+Cr+Al	59,07	56,19	53,42	54,97	58,56	61,88	60,22							
		40.44			0.00	40.40	0.40							

Échantillon: 4054T

Localisation: ZM-Star Chrome Lithologie: Contact entre auréole orthopyroxénitique/webstérite

	Срх а2	Cpx b1	Cpx b2	Cpx d1	Cpx d2
SiO2	54,08	54,07	54,59	53,83	54,11
Al2O3	1,36	1,32	1,33	1,43	1,50
Fe2O3	-	0,20	-	0.20	- -
FeO	2,72	2,56	4,24	2,36	2,81
TiO2	0,05	0,07	0.05	0,05	0.07
Cr2O3	0,69	0,61	0.63	0,68	0,70
V2O3	-,	, ,			
MgO	17,04	17,14	19.52	16,98	16,89
MnO	0.13	0.09	0,12	80,0	0.09
CaO	23,76	23,75	19,70	23,91	23,84
NiO	0,06	0,03	0,06	80,0	0,01
Na2O	0,18	0,24	0,18	0,23	0,21
K2O	0,01	0,00	-	0,00	-
Total	100,08	100,08	100,42	99,85	100,22
Si	1,9687	1,9665	1,9690	1,9636	1,9670
ΑI	0,0585	0,0566	0,0566	0,0614	0,0643
AI IV	0,0313	0,0335	0,0310	0,0364	0,0330
Al VI	0,0272	0,0232	0,0255	0,0251	0,0313
Fe 3+	-	0,0053	-	0,0054	-
Fe 2+	0,0828	0,0780	0,1279	0,0721	0,0854
Fe total	0,0828	0,0833	0,1279	0,0774	0,0854
Ti	0,0013	0,0020	0,0013	0,0014	0,0018
Cr	0.0197	0,0176	0,0180	0,0197	0,0201
V					
Mg	0,9245	0,9290	1,0492	0,9231	0,9150
Mn	0,0040	0,0029	0,0038	0,0024	0,0028
Ca	0,9269	0,9254	0,7615	0,9344	0,9287
Na	0,0129	0,0166	0,0129	0,0163	0,0149
K	0,0005	0,0000	-	0,0002	-
Total	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Mg#	91,78	92,25	89,13	92,76	91,46
Wo	47,92	47,89	39,28	48,42	48,14
En	47,80	48,07	54,12	47,84	47,43
Fs	4,28	4,04	6,60	3,73	4,43
Cr#					

Cr# Cr/Fe3+Cr+Al Fe3/Fe3+Cr+Al Fe2/Mg+Fe

Échantillon: 4056T-LM1a Localisation: ZM-Star Chrome

Fe2/Mg+Fe

47,47

47,62

47,82

49,63

Lithologie: Webstérite grossière entre deux veines de chromitite

	Spinelle e7	Spinelle d1	Spinelle d2	Spinelle a4	Cpx e2	Cpx e5	Cpx e6	Cpx d3	Cpx d4	Срха3	Opx f1	Opx e3
SiO2	0,03	0,02	0,02	0,01	53,84	53,44	53,80	54,39	54,27	53,84	56,24	56,50
Al2O3	17,22	17,82	16,86	17,42	1,85	1,83	1,62	1,14	1,16	1,86	1,56	1,63
Fe2O3	6,83	6,44	6,40	7,11	-	-	-	-	-	-	-	0,30
FeO	17,91	17,93	17,93	18,72	2,71	2,92	1,93	1,88	1,84	2,71	8,56	8,65
TiO2	0,36	0,28	0,33	0,35	0,09	0,07	80,0	0,11	0,12	80,0	0,06	0,07
Cr2O3	46,40	46,13	46,96	46,02	0,81	0,81	08,0	0,69	0,65	0,91	0,49	0,53
V2O3	0,34	0,26	0,29	0,26								
MgO	11,11	11,06	10,97	10,65	17,36	16,82	17,38	17,55	17,44	17,48	31,52	32,36
MnO	0,32	0,30	0,26	0,32	0,13	80,0	0,10	0,12	0,05	0,12	0,19	0,19
CaO	-	0,01	-	-	22,90	23,61	23,99	24,19	24,13	23,11	1,71	0,81
NiO					0,04	0,03	0,02	0,06	0,04	0,06	0,09	0,11
Na2O					0,15	0,15	0,12	0,17	0,14	0,14	0,01	0,01
K2O					-	-	-	-	-	-	0,01	0,01
Total	100,51	100,25	100,02	100,86	99,87	99,75	99,82	100,30	99,85	100,31	100,44	101,17
Si	0,0063	0,0058	0,0046	0,0036	1,9614	1,9532	1,9575	1,9697	1,9744	1,9529	1,9617	1,9544
Αl	5,1563	5,3357	5,0810	5,2117	0,0792	0,0787	0,0693	0,0487	0,0496	0,0796	0,0643	0,0663
ALIV					0,0386	0,0468	0,0425	0,0303	0,0256	0,0471	0,0383	0,0456
AI VI					0,0407	0,0319	0,0268	0,0183	0,0240	0,0325	0,0260	0,0207
Fe 3+	1,3068	1,2322	1,2323	1,3602	-	-	-	-	-	-	-	0,0077
Fe 2+	3,8009	3,8056	3,8312	3,9706	0,0827	0,0891	0,0588	0,0570	0,0560	0,0821	0,2498	0,2503
Fe total	5,1078	5,0378	5,0636	5,3308	0,0827	0,0891	0,0588	0,0570	0,0560	0,0821	0,2498	0,2580
Ti	0,0690	0,0525	0,0642	0,0672	0,0024	0,0020	0,0021	0,0029	0,0034	0,0021	0,0015	0,0018
Cr	9,3162	9,2618	9,4899	9,2347	0,0232	0,0233	0,0229	0,0197	0,0187	0,0261	0,0135	0,0145
V	0,0700	0,0535	0,0592	0,0519	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Mg	4,2066	4,1865	4,1798	4,0305	0,9428	0,9159	0,9423	0,9473	0,9457	0,9451	1,6388	1,6685
Mn	0,0678	0,0650	0,0570	0,0697	0,0040	0,0024	0,0032	0,0038	0,0016	0,0037	0,0056	0,0054
Ca	-	0,0014	-	-	0,8938	0,9245	0,9352	0,9389	0,9405	0,8982	0,0640	0,0302
Na					0,0105	0,0109	0,0087	0,0122	0,0102	0,0101	0,0004	0,0004
K					-	-	-	-	-	-	0,0004	0,0005
Total	24,00	24,00	24,00	24,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Mg#	52,53	52,38	52,18	50,37	91,94	91,13	94,12	94,33	94,41	92,01	86,77	86,96
Wo					46,57	47,91	48,30	48,32	48,42	46,65	3,28	1,55
En					49,12	47,47	48,67	48,75	48,69	49,09	83,93	85,61
Fs					4,31	4,62	3,04	2,93	2,88	4,26	12,79	12,84
Cr#	64,37	63,45	65,13	63,92								
Cr/Fe3+Cr+Al	59,04	58,51	60,05	58,42								
e3/Fe3+Cr+Al	8,28	7,78	7,80	8,61								
F 0/14 . F	47 47	47.00	47.00	40.00								

Échantillon: 4056T-LM1a (suite) Localisation: ZM-Star Chrome

Lithologie: Webstérite grossière entre deux veines de chromitite

	Opx e4	Opx a1	Opx a2
SiO2	56,66	57,02	56,75
Al2O3	1,59	1,46	1,51
Fe2O3	-	0,28	0,56
FeO	8,71	7,14	6,76
TiO2	0.04	0.07	0.04
Cr2O3	0.57	0.45	0,37
V2O3		•	
MgO	32,34	33,21	33,64
MnO	0,18	0,16	0,20
CaO	0,68	1,25	0,72
NiO	0,08	0,04	0,09
Na2O	0,01	0,02	0,01
K2O	-	0,01	-
Total	100,85	101,13	100,68
Si	1,9639	1,9598	1,9561
ΑI	0,0648	0,0593	0,0615
Al IV	0,0361	0,0402	0,0439
Al VI	0,0287	0,0191	0,0176
Fe 3+	-	0,0072	0,0146
Fe 2+	0,2526	0,2054	0,1950
Fe total	0,2526	0,2126	0,2096
Ti	0,0010	0,0019	0,0011
Cr	0,0156	0,0123	0,0101
V	0,0000	0,0000	0,0000
Mg	1,6706	1,7014	1,7282
Mn	0,0053	0,0048	0,0059
Са	0,0253	0,0459	0,0267
Na	0,0009	0,0015	0,0006
K		0,0006	-
Total	4,00	4,00	4,00
Mg#	86,87	89,23	89,86
Wo	1,30	2,35	1,37
En	85,74	87,13	88,63
Fs	12,96	10,52	10,00
Cr#			
-/C-3.C-1AL			

Cr/Fe3+Cr+Al Fe3/Fe3+Cr+Al Fe2/Mg+Fe

Échantillon: 4056T-LM1b Localisation: ZM-Star Chrome

Lithologie: Webstérite grossière entre deux veines de chromitite

	Spinelle a4	Spinelle a5	Spinelle a6	Spinelle b1	Spinelle b7	Spinelle c8	Cpx a2	Cpx b3	Cpx b5	Opx b4	Opx b6	Opx b2
SiO2	0,01		0,02	0,03	0,01	0,02	52,28	54,04	53,48	56,95	56,90	57,09
AI2O3	16,03	17,21	17,41	16,22	15,39	12,84	2,04	1,63	2,03	1,43	1,31	1,34
Fe2O3	7,46	7,15	7,42	7.09	7,43	6,63	1,85		-	-	1,24	0,88
FeO	18,06	17,81	18,19	18,55	21.02	18,77	1,24	2,79	2,59	7,62	6,90	6,79
TiO2	0,34	0,36	0,33	0,35	0,20	0,24	0,08	0,07	0,13	0,05	0,02	0,07
Cr2O3	46,70	46,19	45,75	47,30	47.06	51,36	0,82	0,79	0,98	0,48	0,45	0,37
V2O3	0,28	0,36	0,23	0,26	0,31	0,27						
MgO	10,73	11,17	10,96	10,61	8,75	10,00	17,26	17,21	17,13	33,18	33,66	33,62
MnO	0,32	0,31	0,28	0,34	0,36	0,33	0,09	0,10	0,09	0,18	0,18	0,19
CaO	-	-	-	0,01	-	_	23,20	23,32	23,28	0,88	0,74	1,03
NiO							0,02	0,04	0,08	0,05	80,0	0,09
Na2O							0,17	0,20	0,21	0,01	0,00	0,03
K2O							-	-	0,01	-	0,01	-
Total	99,92	100,55	100,59	100,75	100,53	100,46	99,04	100,19	100,02	100,83	101,49	101,51
Si	0,0013	_	0,0058	0,0072	0,0031	0,0063	1,9222	1,9634	1,9466	1,9642	<b>1</b> ,9514	1,9556
Al	4,8626	5,1515	5,2115	4,8842	4,7189	3,9467	0,0883	0,0700	0,0872	0,0583	0,0528	0,0541
ALIV							0,0778	0,0366	0,0534	0,0358	0,0486	0,0444
AI VI							0,0105	0,0333	0,0339	0,0225	0,0042	0,0097
Fe 3+	1,4467	1,3668	1,4190	1,3641	1,4559	1,3019	0,0511	0,0000	0,0000	0,0000	0,0320	0,0227
Fe 2+	3,8833	3,7794	3,8593	3,9583	4,5693	4,0922	0,0382	0,0849	0,0787	0,2197	0,1979	0,1946
Fe total	5,3300	5,1461	5,2783	5,3224	6,0252	5,3941	0,0893	0,0849	0,0787	0,2197	0,2298	0,2174
Ti	0,0656	0,0693	0,0623	0,0670	0,0385	0,0467	0,0021	0,0018	0,0036	0,0012	0,0005	0,0019
Cr	9,4989	9,2694	9,1856	9,5497	9,6770	10,5894	0,0237	0,0226	0,0281	0,0132	0,0122	0,0100
V	0,0580	0,0737	0,0476	0,0536	0,0649	0,0560						
Mg	4,1145	4,2243	4,1484	4,0400	3,3924	3,8876	0,9459	0,9320	0,9295	1,7055	1,7203	1,7162
Mn	0,0691	0,0656	0,0604	0,0733	0,0800	0,0731	0,0028	0,0032	0,0028	0,0051	0,0052	0,0055
Ca	-	-	-	0,0025	-	-	0,9140	0,9078	0,9080	0,0325	0,0272	0,0377
Na							0,0118	0,0143	0,0151	0,0003	0,0003	0,0017
_ K						24.22	-	-	0,0003	-	0,0004	-
Total	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Mg#	51,45	52,78	51,81	50,51	42,61	48,72	96,12	91,65	92,19	88,59	89,68	89,81
Wo							48,15	47,16	47,39	1,66	1,40	1,93
En							49,83	48,42	48,51	87,12	88,43	88,08
Fs							2,01	4,41	4,11	11,22	10,17	9,99
Cr#	66,14	64,28	63,80	66,16	67,22	72,85						
Cr/Fe3+Cr+Al	60,09	58,71	58,08	60,45	61,05	66,86						
Fe3/Fe3+Cr+Al	9,15	8,66	8,97	8,63	9,18	8,22						
Fe2/Mg+Fe	48,55	47,22	48,19	49,49	57,39	51,28						

Échantillon: 4057B

Localisation: Secteur Star Chrome

Lithologie: Webstérite

	Spinelle a3	Spinelle b3	Cpx a1	Cpx a4	Срх а5	Срх а6	Срх а7	Cpx b2	Cpx b4	Cpx b5
SiO2	0,02	0,02	53,95	54,37	53,91	53,73	54,10	54,60	54,14	54,05
A12O3	16,96	14,40	1,10	0,95	1,28	1,32	1,18	0,85	1,20	1,30
Fe2O3	6,67	9,11	0,54	0.50	0,71	<del>.</del>	<del>-</del>	0,15	-	-
FeO	26,68	26,10	1,93	2,17	2,61	2,49	2,60	2,34	2,69	2,75
TiO2	0,18	0,12	0,06	0,05	0,08	0,03	0,04	0,05	80,0	0,02
Cr2O3	43,61	44,24	0,61	0,35	0,78	0,61	0,58	0,30	0,64	0,54
V2O3	0,29	0,31								
MgO	5,25	5,24	17,50	17,89	18,89	17,25	17,52	17,75	17,53	18,31
MnO			80,0	0,09	0,10	0,07	0,07	0,05	0,05	0,09
CaO	-	0,06	23,94	23,74	21,57	23,59	23,61	24,00	23,41	22,19
NiO	0,07	0,10	0,01	0.02	00,0	0,01	0,06	0,03	0,01	0,03
Na2O			0,15	0,11	0,11	0,14	0,12	0,12	0,16	0,13
K20										
Total	99,72	99,72	99,80	100,19	99,97	99,22	99,88	100,23	99,91	99,41
Si	0,0064	0,0059	1,9641	1,9702	1,9537	1,9687	1,9698	1,9783	1,9702	1,9704
Al	5,3287	4,5814	0,0471	0,0407	0,0547	0,0568	0,0507	0,0363	0,0515	0,0560
Al IV			0,0359	0,0298	0,0463	0,0313	0,0302	0,0217	0,0298	0,0296
Al VI			0,0112	0,0109	0,0085	0,0255	0,0205	0,0146	0,0216	0,0264
Fe 3+	1,3396	1,8523	0,0148	0,0137	0,0194	-	-	0,0042	-	-
Fe 2+	5,9433		0,0588	0,0658	0,0792	0,0764	0,0791	0,0709	0,0818	0,0840
Fe total	7,2829	,	0.0736	0,0794	0,0986	0,0764	0,0791	0,0751	0,0818	0,0840
Ti	0,0359		0,0016	0,0014	0,0021	0,0008	0,0010	0,0014	0,0022	0,0006
Cr	9,1860	,	0,0176	0,0101	0,0224	0,0177	0,0166	0,0085	0,0184	0,0155
V	0,0611									
Mg	2,0846	2,1057	0,9493	0,9660	1,0200	0,9417	0,9508	0,9587	0,9506	0,9946
Mn			0,0023	0,0029	0,0030	0,0020	0,0021	0,0016	0,0016	0,0027
Ca	-	0,0185	0,9337	0,9217	0,8374	0,9261	0,9212	0,9319	0,9128	0,8669
Na			0,0107	0,0077	0,0080	0,0098	0,0086	0,0083	0,0110	0,0093
K										
Total	23,99	23,98	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Mg#	25,97	26,35	94,17	93,62	92,79	92,50	92,32	93,11	92,08	92,21
Wo			48,09	47,18	43,24	47,63	47,21	47,51	46,92	44,56
En			48,89	49,45	52,67	48,44	48,73	48,88	48,87	51,12
Fs			3,03	3,37	4,09	3,93	4,06	3,61	4,21	4,32
Cr#	63,29	67,32								
Cr/Fe3+Cr+Al	57,94	59,46								
Fe3/Fe3+Cr+Al	8,45	11,67								
Fe2/Mg+Fe	74,03	73,65								

Échantillon: 4057P

Localisation: Secteur Star Chrome Lithologie: Veine de péridotite

	Spinelle a1	Spinelle a2	Spinelle a3	Spinelle b1	Spinelle b2
SiO2	0.04	0.01		0.02	0,01
Al2O3	9,61	8,14	9,61	8,50	9,27
Fe2O3	7,57	10,10	9,81	8,35	8,70
FeO	23,29	24,60	23,90	24,12	23,76
TiO2	0,17	0,15	0,10	0,14	0,14
Cr2O3	51,81	50,11	50,28	52,01	51,54
V2O3	0,09	0,23	0,17	0,19	0,18
MgO	6.37	5,21	6.09	5,65	6,12
MnO	0,49	0,50	0,48	0,54	0,51
CaO	-	0,01	0,00	-	0,01
NiO					
Na2O					
K2O					
Total	99,43	99,04	100,44	99,50	100,23
Si	0,0112	0,0022	-	0,0042	0,0019
Al	3,1048	2,6837	3,0864	2,7731	2,9845
Al IV					
Al VI					
Fe 3+	1,5628	2,1267	2,0132	1,7402	1,7890
Fe 2+	5,3328	5,7458	5,4383	5,5778	5,4209
Fe total	6,8955	7,8725	7,4515	7,3180	7,2100
Ti	0,0348	0,0305	0,0199	0,0285	0,0294
Cr	11,2214	11,0731	10,8234	11,3785	11,1256
V	0,0189	0,0511	0,0373	0,0428	0,0383
Mg	2,6003	2,1682	2,4698	2,3285	2,4899
Mn	0,1130	0,1172	0,1112	0,1263	0,1184
Ca	-	0,0015	0,0006	=	0,0020
Na					
K					
Total	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00
Mg#	32,78	27,40	31,23	29,45	31,47
Wo					
En					
Fs				00.10	70.05
Сг#	78,33	80,49	77,81	80,40	78,85
Cr/Fe3+Cr+Al		69,71	67,97	71,60	69,98
Fe3/Fe3+Cr+Al		13,39	12,64	10,95	11,25
Fe2/Mg+Fe	67,22	72,60	68,77	70,55	68,53

Échantillon: 4058B

Localisation: Secteur Star Chrome Lithologie: Webstérite

	Cpx a1	Cpx a2	Срх а3	Cpx a4	Срх а6	Cpx a7	Cpx a9	Cpx b2	Cpx b3	Cpx b4	Cpx b5	Cpx b6
SiO2	54,61	53,83	54,21	54,16	53,71	54,07	54,14	53,53	53,70	54,15	53,75	53,67
AI2O3	1,27	1,33	1,34	1,38	1,38	1,32	1,29	1,47	1,57	1,45	1,75	1,57
Fe2O3	-	0,81	0,02	0,69	1,16	0,63	0,83	0,86	1,14	0,29	0,99	0,83
FeO	3,82	1,95	2,88	2,32	1,80	2,38	2,40	2,07	1,98	2,61	2,07	1,88
TiO2	0,04	0,03	0,06	0,07	0,07	0,02	0,01	0,03	0,05	0,03	0,03	0,06
Cr2O3	0,49	0,45	0,56	0,53	0,48	0,48	0,39	0,50	0,56	0,39	0,52	0,48
V2O3												
MgO	19,62	17,43	17,40	17,97	17,47	17,43	18,21	17,44	17,36	17,59	17,40	17,48
MnO	0,07	0,08	0,06	0,07	0,10	0,05	0,11	0,08	0,09	0,07	0,04	0,08
CaO	19,89	23,81	23,54	23,15	23,90	23,75	22,65	23,55	23,85	23,41	23,72	23,70
NiO	-	-	<u>.</u>	0,05	0,06	-	0,03	-	-	-	0,02	0,01
Na2O	0,14	0,18	0,17	0,16	0,14	0,16	0,17	0,14	0,15	0,16	0,17	0,16
K2O												
Total	99,95	99,80	100.24	100,49	100,14	100,22	100,12	99,57	100,33	100,11	100,36	99,85
Si	1,9749	1,9593	1,9672	1,9573	1,9507	1,9614	1,9613	1,9535	1,9468	1,9645	1,9469	1,9521
Αl	0,0539	0,0572	0,0575	0,0590	0,0591	0,0564	0,0550	0,0632	0,0669	0,0619	0,0745	0,0674
ALIV	0,0251	0,0407	0,0328	0,0427	0,0493	0,0386	0,0387	0,0465	0,0532	0,0355	0,0531	0,0479
Al VI	0,0289	0,0165	0,0247	0,0163	0,0098	0,0178	0,0162	0,0167	0,0137	0,0265	0,0215	0,0195
Fe 3+	- -	0,0221	0,0005	0,0186	0,0316	0,0171	0,0225	0,0235	0,0311	0,0078	0,0269	0,0226
Fe 2+	0,1157	0,0593	0,0873	0,0701	0,0547	0,0721	0,0727	0,0632	0,0601	0,0792	0,0627	0,0572
Fe total	0,1157	0,0814	0,0878	0,0888	0,0863	0,0892	0,0952	0,0867	0,0912	0,0870	0,0897	0,0798
Ti	0,0012	8000,0	0,0016	0,0020	0,0019	0,0006	0,0002	0,0009	0,0013	8000,0	0,0009	0,0017
Cr	0,0141	0,0128	0,0162	0,0152	0,0136	0,0138	0,0113	0,0143	0,0160	0,0111	0,0149	0,0138
V						0.0400	0.0000	0.0400	0.0000	0.0540	0.0004	0.0475
Mg	1,0574	0,9452	0,9410	0,9676	0,9457	0,9423	0,9829	0,9486	0,9380	0,9510	0,9391	0,9475
Mn	0,0021	0,0024	0,0019	0,0021	0,0031	0,0015	0,0033	0,0023	0,0027	0,0020	0,0013	0,0026
Ca	0,7706	0,9285	0,9152	0,8965	0,9299	0,9233	0,8791	0,9206	0,9267	0,9100	0,9204	0,9236
Na	0,0100	0,0124	0,0117	0,0115	0,0096	0,0114	0,0116	0,0098	0,0103	0,0115	0,0121	0,0115
K							4.00		4.00	4.00	4.00	4.00
Total	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Mg#	90,14	94,10	91,51	93,24	94,53	92,89	93,12	93,76	93,98	92,31	93,74	94,31
Wo	39,65	48,03	47,09	46,35	48,17	47,65	45,44	47,64	48,15	46,90	47,88	47,90
En	54,40	48,90	48,42	50,03	48,99	48,63	50,81	49,09	48,73	49,01	48,85	49,14
Fs	5,95	3.07	4,49	3,63	2,84	3,72	3,76	3,27	3,12	4,08	3,26	2,97

Cr# Cr/Fe3+Cr+Al Fe3/Fe3+Cr+Al Fe2/Mg+Fe

Échantillon: 4058B (suite) Localisation: Secteur Star Chrome Lithologie: Webstérite

	Cpx c1	Срх с2	Срх с3
SiO2	54,04	53,85	53,90
AI2O3	1,34	1,40	1,33
Fe2O3	0,10	0,94	0,99
FeO	2,45	2,18	1,81
TiO2	0,03	0,04	0,07
Cr2O3	0.41	0.49	0.51
V2O3		,	
MgO	17,45	17,64	17,64
MnO	0,08	0,11	0.08
CaO	23,72	23,33	23,70
NiO	0,05	0,00	0,03
Na2O	0,14	0.17	0,18
K20			
Total	99,79	100,06	100,14
Si	1,9679	1,9553	1,9551
ΑI	0,0574	0,0598	0,0568
Al IV	0,0321	0,0447	0,0449
Al VI	0,0253	0,0151	0,0120
Fe 3+	0,0029	0,0256	0,0270
Fe 2+	0,0746	0.0662	0,0548
Fe total	0,0775	0,0918	0,0818
Ti	8000,0	0,0011	0,0018
Cr	0,0119	0,0141	0,0147
V			
Mg	0,9469	0,9546	0,9536
Mn	0,0023	0,0034	0,0026
Ca	0,9257	0,9077	0,9211
Na	0,0096	0,0123	0,0123
K			
Total	4,00	4,00	4,00
Mg#	92,69	93,51	94,57
Wo	47,54	47,07	47,74
En	48,63	49,50	49,42
Fs	3,83	3,43	2,84
Cr#			

Cr/Fe3+Cr+Al Fe3/Fe3+Cr+Al Fe2/Mg+Fe Échantillon: 4058P

Localisation: Secteur Star Chrome Lithologies: Veine de péridotite

	Spinelle b3	Spinelle c5	Spinelle c8	Срх а1	Срх а2	Срх а3	Срх а4	Cpx b1	Cpx b2
SiO2	0,04	0,19	0,07	53,75	53,84	53,80	54,18	53,70	53,69
Al2O3	18,70	13,85	15,31	1,57	1,53	1,62	1,44	1,63	1,61
Fe2O3	12,90	11,43	10,26	0,68	0,41	0,64	0,36	0,65	0,86
FeO	26,00	27,17	27,52	2,07	2,19	2,03	2,06	2,15	2,45
TiO2	0,34	0,28	0,24	0,06	80,0	0,05	0,04	0,04	0,02
Cr2O3	35,17	39,16	40,06	0,44	0,59	0,55	0,49	0,62	0,52
V2O3	0.34	0,50	0,39						
MgO	5,86	4,15	4,05	17,19	17,25	17,28	17,42	17,69	17,84
MnO				0,08	0,10	0,09	0,04	0,07	0.05
CaO	-	0.03	0,31	24.17	24,03	24,03	24,28	23,31	22,81
NiO	0,06	0,03	0,02	0,01	0,01	0,03	-	0,02	-
Na2O				0,12	0,13	0,15	0,13	0,14	0,15
K2O				-	0,01	-	-	-	-
Total	99,40	96,77	98.24	100,06	100,14	100,18	100,40	99,97	99,91
0:	0.0005	0.0504	0.0402	1,9535	1,9555	1,9527	1,9606	1,9508	1,9510
Si	0,0095	0,0524	0,0192 4,9557	0,0673	0,0657	0,0694	0,0615	0,0699	0.0690
Al	5,8377	4,5758	4,9557	0,0673	0,0637	0,0094	0,0394	0,0099	0,0090
ALIV				0,0465	0,0443	0.0222	0,0394	0.0207	0,0490
Al VI	0.5700	0.4400	0.4000			0,0222	0,0221	0,0207	0,0200
Fe 3+	2,5736	2,4128	2,1228	0,0185	0,0113	•	0,0096	0,0176	0,0233
Fe 2+	5,7516	6,3626	6,3153	0,0630 0,0815	0,0666 0,0779	0,0615 0,0788	0,0624	0,0832	0,0744
Fe total	8,3252	8,7754	8,4382	,	0,0779	0,0766	0,0722	0,0032	0.0006
Ti	0,0677	0,0584	0,0504	0,0015		0,0013	0,0012	0,0012	0,0008
Cr	7,3619	8,6771	8,6964	0,0127	0,0171	0,0157	0,0139	0,0179	0,0146
V	0,0724	0,1128	0,0859	0.0040	0.0000	0.0046	0.0202	0.9579	0,9665
Mg	2,3131	1,7326	1,6570	0,9312	0,9338	0,9346	0,9392	,	
Mn				0,0023	0,0030	0,0027	0,0013	0,0023	0,0016 0.8881
Ca	-	0,0081	0,0924	0,9413	0,9351	0,9344	0,9413	0,9074	0.0105
Na				0,0085	0,0093	0,0104	0,0088	0,0095	บ,บ เบอ
K				-	0,0003	-	-	-	4.00
Total	24,00	24,00	24,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Mg#	28,68	21,40	20,78	93,67	93,34	93,83	93,77	93,61	92,85
Wo				48,64	48,31	48,40	48,45	47,00	46,04
En				48,11	48,25	48,41	48,34	49,61	50,10
Fs				3,25	3,44	3,19	3,21	3,39	3,86
Cr#	55,77	65,47	63,70	•					
Cr/Fe3+Cr+Al	46,67	55,39	55,13						
Fe3/Fe3+Cr+Al	16,32	15,40	13,46						
Fe2/Mg+Fe	71,32	78,60	79,22						

Échantillon: 4058P (suite) Localisation: Secteur Star Chrome Lithologies: Veine de péridotite

Fe3/Fe3+Cr+Al Fe2/Mg+Fe

	Cpx c1	Cpx c2	Срх с3	Cpx c4	Срх с6	Cpx c7
SiO2	53,65	54,38	53,58	54,30	53,98	54,57
Al2O3	1,62	1,06	1,78	1,01	1,68	0,91
Fe2O3	1,07	-	1,08	0,61	0,12	0,52
FeO	1,70	2,60	1,60	2,10	2,70	1,85
TiO2	0.06	80,0	80,0	0,06	0,07	0,04
Cr2O3	0,59	0,40	0,63	0.29	0,56	0,27
V2O3						
MgO	17,41	17,55	17,46	17,76	17,50	17,76
MnO	0,07	0,09	0,06	0,08	0,07	0,09
CaO	23,89	23,96	23,98	23,90	23,29	24,33
NiO	0,02	0,00	0,03	0,02	0,06	0,01
Na2O	0,17	0,09	0,14	0,11	0,17	0,11
K2O	=	-	-	-	-	-
Total	100,14	100,21	100,30	100,17	100,20	100,41
Si	1,9467	1,9730	1,9410	1,9685	1,9586	1,9726
Al	0,0694	0,0453	0,0760	0,0430	0,0718	0,0389
AI IV	0,0533	0,0270	0,0590	0,0315	0,0414	0,0274
Al VI	0,0161	0,0183	0,0170	0,0116	0,0305	0,0115
Fe 3+	0,0293	0,0000	0,0293	0,0166	0,0032	0,0142
Fe 2+	0,0515	0,0788	0,0485	0,0636	0,0818	0,0559
Fe total	8080,0	0,0788	0,0778	0,0801	0,0850	0,0701
Ti	0,0017	0,0023	0,0021	0,0016	0,0020	0,0010
Cr	0,0169	0,0114	0,0179	0,0083	0,0161	0,0076
V						
Mg	0,9413	0,9490	0,9428	0,9596	0,9464	0,9568
Mn	0,0021	0,0026	0,0020	0,0024	0,0021	0,0028
Ca	0,9288	0,9314	0,9309	0,9283	0,9056	0,9423
Na	0,0122	0,0062	0,0095	0,0080	0,0122	0,0078
K	-	-	-	-	_	-
Total	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Mg#	94,81	92,33	95,11	93,79	92,05	94,48
Wo	48,34	47,54	48,43	47,57	46,83	48,20
En	48,98	48,44	49,05	49,17	48,94	48,94
Fs	2,68	4,02	2,52	3,26	4,23	2,86
Cr#						
Cr/Fe3+Cr+Al						
F 2/F 2 . O . A1						

Échantillon: 4059B Localisation: ZM-Star Chrome Lithologie: Webstérite

	Spinelle d1	Срх а1	Cpx b1	Cpx b2	Cpx b5	Cpx c1	Срх с3	Opx b3	Opx b4	Орх с2
SiO2	0,05	54,41	54,26	54,56	53,98	54,04	53,98	56,76	56,86	56,57
AI2O3	21,66	1,62	1,58	1,42	1,55	1,56	1,61	1,23	1,22	1,32
Fe2O3	9,48	-	0,18	-	-	-	0,03	0,26	0,43	0,50
FeO	34,20	4,27	3,41	3,63	3,08	3,21	3,01	8,76	8,93	8,35
TiO2	0,15	0,07	0,05	0,08	0,05	0,05	0,09	0,06	0,07	0,03
Cr2O3	35,16	0,58	0,59	0,53	0,66	0,55	0,65	0,36	0,48	0,36
V2O3	0,37	-,	_,	-,	,		·			
MgO	5,97	18,97	18,20	19,37	16,88	17,03	17,12	32,32	32,24	32,42
MnO	0,40	0,09	0,13	0,13	0,11	0,12	0,11	0,26	0,20	0,23
CaO	.,	20,46	22,00	20,48	23,70	23,48	23,54	0,95	1,08	0,97
NiO		0,04	0.07	0,02	0,03	0,02	0,03	0,05	0.08	0,06
Na2O		0,12	0,16	0,13	0,17	0,18	0,18	0,02	0.02	0,01
K20		-	0,00	0,01	0,01	_	0,00	-	0,01	0,01
Total	98,91	100,62	100,65	100,34	100,21	100,24	100,35	101,03	101,61	100,84
Si	0,0120	1,9627	1,9598	1,9677	1,9642	1,9647	1,9597	1,9656	1,9621	1,9615
AI	6,6960	0,0688	0,0674	0,0602	0,0664	0,0667	0,0690	0,0503	0,0495	0,0538
Al IV	0,0000	0,0373	0,0402	0,0323	0,0358	0,0353	0,0403	0.0344	0,0379	0,0385
AI VI		0,0314	0,0272	0,0279	0,0306	0,0314	0,0287	0,0159	0.0116	0,0152
Fe 3+	1,9090	-	0,0049	-	-	-,	0,0008	0,0067	0,0112	0,0130
Fe 2+	7,5010	0,1289	0,1030	0,1093	0.0936	0,0976	0,0913	0,2537	0,2577	0,2420
Fe total	15,9860	0,1289	0,1079	0,1093	0,0936	0,0976	0,0920	0,2604	0,2689	0,2550
Ti	0,0020	0,0020	0,0012	0,0023	0,0013	0,0014	0,0024	0,0016	0,0017	0,0007
Cr	7,2880	0,0165	0,0170	0.0150	0,0189	0.0159	0.0186	0,0098	0.0130	0,0099
V	0,0780	0,0.00	-,	-,	-,-	,	'	·	•	,
Mg	2,3340	1,0196	0.9799	1,0411	0,9153	0.9228	0,9266	1,6682	1,6578	1,6753
Mn	0,0890	0,0026	0,0039	0,0040	0,0035	0.0037	0.0034	0.0075	0,0059	0,0068
Ca	0,0000	0,7909	0,8515	0,7913	0,9243	0,9149	0,9159	0,0353	0,0399	0,0360
Na		0,0080	0,0113	0,0088	0,0119	0,0123	0,0124	0,0013	0,0010	0,0006
K		-	0,0001	0.0003	0,0005	-	0,0001	_	0,0003	0.0004
Total	25,91	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Mg#	29,45	88,78	90,49	90,50	90,72	90,43	91,03	86,80	86,54	87,38
Wo	,	40,78	44,02	40,75	47,81	47,27	47,36	1,80	2,04	1,84
En		52,57	50,66	53,62	47,35	47,68	47,92	85,23	84,78	85,77
Fs		6,65	5,32	5,63	4,84	5,04	4,72	12,96	13,18	12,39
Cr#	52,12	-,	-,	-,	,	,	,	,	,	·
Cr/Fe3+Cr+Al	45,86									
Fe3/Fe3+Cr+Al	12,01									
Fe2/Mg+Fe	70,55									
. 52,mg . 0	. 0,00									

Échantillon: 4100A Localisation: Puits-Star Chrome Lithologie: Veine de chromitite

	Spinelle a1	Spinelle a2	Spinelle b4	Spinelle c1	Spinelle c2	Срх с3	Cpx b1	Cpx b2	Cpx b3
SiO2	0,01	0,02	0,00	-	0,01	53,88	53,96	53,95	54,05
Al2O3	16,29	17,14	16,12	16,59	16,45	1,72	1,72	1,70	1,74
Fe2O3	8,41	6,41	6,74	7,84	7,87	0,35	0,18	-	0,01
FeO	25,21	19,80	21,86	24,00	23,50	2,70	3,28	2,68	3,36
TiO2	0,32	0,36	0,30	0,32	0,29	0,09	0,08	0,09	0,03
Cr2O3	43,61	47,01	47.18	44,63	44,88	0,70	0,81	0,92	0,87
V2O3	0.32	0,21	0,29	0,24	0,19				
MgO	6.38	10,16	8,67	7,28	7,56	17,35	17,62	17,29	17,71
MnO						0,06	0,08	0,04	0,07
CaO	0,01	-	_	-	_	23,47	22,55	23,53	22,35
NiO	0,06	0,10	80,0	0,06	0,04	0,04	0,02	0,06	0,05
Na2O		-,	.,		,	0,16	0,21	0.20	0,22
K20						-	-	_	0.01
Total	100,62	101,21	101,24	100,95	100,79	100,49	100,47	100,37	100,46
Si	0,0024	0,0046	0,0005	0,000	0,0029	1,9518	1,9544	1,9561	1,9571
ΑI	5,0560	5,1368	4,9000	5,0955	5,0534	0,0735	0,0734	0,0727	0,0743
AI IV						0,0482	0,0456	0,0439	0,0429
Al VI						0,0253	0,0278	0,0288	0,0314
Fe 3+	1,6693	1,2274	1,3095	1,5394	1,5445	0,0095	0,0049	-	0,0004
Fe 2+	5,5486	4,2057	4,7104	5,2253	5,1171	0,0816	0,0993	0,0789	0,1017
Fe total	7,2179	5,4332	6,0198	6,7647	6,6616	0,0911	0,1042	0,0789	0,1021
Ti	0,0628	0,0690	0,0574	0.0619	0,0564	0,0025	0,0021	0,0025	8000,0
Cr	9,0762	9,4460	9,6158	9,1904	9,2433	0,0199	0,0232	0,0264	0,0248
V	0,0682	0,0426	0,0589	0,0510	0,0403	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Mg	2,5018	3,8470	3,3301	2,8245	2,9334	0,9368	0,9510	0,9341	0,9559
Mn						0,0019	0,0024	0,0011	0,0022
Ca	0,0020	-	-	-	-	0,9110	0,8750	0,9142	0,8673
Na						0,0114	0,0144	0,0140	0,0151
K						-	=	-	0,0003
Total	23,99	23,98	23,98	23,99	23,99	4,00	4,00	4,00	4,00
140#	31,08	47,77	41,42	35,09	36,44	91,98	90.55	92.00	90,38
Mg# Wo	31,06	47,77	41,42	55,05	50,44	47,21	45,45	47,38	45,06
						48,55	49,40	48,41	49,66
En En						46,55	5,16	4,21	5,28
Fs Cr#	64,22	64.78	66,24	64,33	64.65	7,20	5,10	7,41	0,20
	57,44	59,75	60,76	58,07	58,35				
Cr/Fe3+Cr+Al									
Fe3/Fe3+Cr+Al	10,56	7,76	8,27	9,73	9,75				
Fe2/Mg+Fe	68,92	52,23	58,58	64,91	63,56				

Échantillon: 4103

Localisation: ZM-Star Chrome

Lithologies: Dunite avec veines de chromitite

	Spinelle a1	Spinellele a4	Spinelle b1	Spinelle b2	Spinelle b3	Spinelle b5	Spinelle b6	Spinelle b7	Spinelle c1	Spinelle c2	Spinelle c3
SiO2	-	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02	-	0,02	0,03	0,01	0,02
Al2O3	16,90	16,54	16,93	16,25	16,38	15,89	16,33	15,63	16,80	18,77	16,26
Fe2O3	6,88	8,24	7,19	9,12	8,33	8,57	8,06	8,50	7,63	9,51	6,85
FeO	20,39	24,16	21,35	23,29	23,95	22,08	21,78	24,88	24,29	24,29	23,34
TiO2	0,35	0,26	0,31	0,27	0,37	0,35	0,30	0,34	0,30	0,24	0,27
Cr2O3	46,10	44,50	44,70	44,46	44,04	45,41	46,15	43,65	44,00	40,68	45,27
V2O3	0.23	0,38	0,33	0,20	0,27	0,23	0,24	0,16	0,22	0,15	0,26
MgO	9,53	7,22	8,77	7,79	7,27	8,51	8,82	6,32	6,98	7,25	7,42
MnO											
CaO								0,01			
NiO	0,19	0.10	0,09	0,03	0,04	80,0	0,13	0,08	0,05	0,07	0,03
Na2O			·		•	·	,		•		•
K2O											
Total	100,55	101,42	99,68	101,42	100,66	101,15	101,81	99,58	100,29	100,97	99,72
Si		0,0062	0.0044	0.0028	0,0031	0,0044	-	0,0051	0,0066	0,0026	0,0039
Al	5,1197		5,1949	4,9618	5,0492		4,9309	4,9135	5,1939	5,7156	
ALIV	5,1197	5,0017	5,1949	4,8010	3,0492	4,0470	4,9309	4,5133	3,1939	3,7130	3,0476
ALVI											
Fe 3+	1,3319	1,6120	1,4107	1,7800	1,6414	1,6715	1,5558	1,7078	1,5079	1,8501	1,3595
Fe 2+	4,3797			5,0431	5,2329	4,7747	4,6639	5,5428	5,3255	5,2418	
	4,3797 5,7116		6,0542		6,8743	6,4462	6,2196	7,2506	6,8334	7,0919	,
Fe total	0.0677		,	0,0231	0,0743	0,0681	0,0582	0.0674	0,0584	0.0456	•
Ti			9,1975			,	9,3476	9,1996	9,1224	8,3062	
Cr	9,3663 0.0468		0.0687	9,1048 0,0422	9,1020 0,0555	9,2890 0,0475	0.0493	0,0342	•	0,0317	
V			3,4014				3,3677	2,5113	2,7280		
Mg	3,6489	2,7935	3,4014	3,0065	2,8344	3,2803	3,3677	2,5113	2,7200	2,7911	2,9135
Mn								0,0020			
Ca								0,0020			
Na											
K	00.00	22.00	02.00	22.00	22.00	22.00	22.07	22.00	22.00	22.00	22.00
Totat	23,96	23,98	23,98	23,99	23,99	23,98	23,97	23,98	23,99	23,98	23,99
Mg#	45,45	34,76	42,28	37,35	35,13	40,72	41,93	31,18	33,87	34,75	36,19
Wo											
En											
Fs											
Cr#	64,66	64,34	63,91	64,73	64,32	65,71	65,47	65,18	63,72	59,24	65,12
Cr/Fe3+Cr+Al	59,21	57,78	58,20	57,46	57,63	58,76	59,03	58,15	57,65	52,33	59,53
Fe3/Fe3+Cr+Al	8,42	10,20	8,93	11,23	10,39	10,57	9,83	10,79	9,53	11,66	8,59
Fe2/Mg+Fe	54,55	65,24	57,72	62,65	64,87	59,28	58,07	68,82	66,13	65,25	63,81

Échantillon: 4103 (suite) Localisation: ZM-Star Chrome Lithologies: Dunite avec veines de chromitite

	Spinelle c4	Spinelle c8	Cpx a2	Срх а3	Cpx a5	Cpx b4	Cpx b8	Cpx b9	Cpx c5	Срх с6	Срх с7
SiO2	-	0,03	53,59	53,43	55,31	54,19	53,57	53,79	53,47	53,66	53,78
Al2O3	18,15	16,79	1,82	1,91	0,31	1,65	1,74	1,47	1,87	1,79	1,72
Fe2O3	9,15	6,97	0,35	0,42	0,10	0,02	0,92	0,24	0,51	-	0,28
FeO	23,51	21,97	2,18	2,57	1,16	4,20	2,56	2,88	2,75	2,60	2,75
TiO2	0,24	0,21	0,11	0,05	0,00	0,08	0,09	0,07	0,08	0,09	0,05
Cr2O3	41,71	45,54	0,94	0,90	0,45	0,89	0,96	0,64	0,81	0,72	0,76
V2O3	0,32	0,27									
MgO	7,66	8,41	17,17	17,04	18,51	19,10	17,92	17,62	17,29	16,90	17,10
MnO			0,05	0,06	0,11	0,03	0,05	0,05	0,07	0,06	0,09
CaO		0,01	23,74	23,34	24,65	20,09	22,31	22,72	23,04	23,81	23,33
NiO	0.08	0,11	0,07	0.07	-	0,05	0,02	0.04	0,01	0,02	0,04
Na2O			0,20	0,22	0,06	0.19	0,22	0,20	0,18	0,19	0,25
K20											=
Total	100,83	100,32	100,16	99.96	100,64	100,49	100,25	99,70	100,03	99,83	100,12
Si	-	0,0067	1,9471	1,9468	1,9880	1,9563	1,9418	1,9610	1,9456	1,9566	1,9557
Al	5,5319	5,1376	0,0778	0,0819	0,0130	0,0704	0,0742	0,0633	0,0804	0,0769	0,0737
AHV			0,0529	0,0532	0,0120	0.0437	0.0582	0,0390	0,0544	0.0434	0,0443
At VI			0,0250	0,0287	0,0010	0,0267	0,0160	0,0243	0,0260	0,0335	0,0294
Fe 3+	1,7816	1,3638	0,0095	0,0114	0,0027	0,0005	0,0252	0,0066	0,0140	0,0000	0,0077
Fe 2+	5,0793	4,7677	0,0663	0,0782	0,0348	0,1269	0,0777	0,0877	0,0836	0,0792	0,0835
Fe total	6,8609	6,1315	0,0758	0,0896	0,0375	0,1274	0,1028	0,0944	0,0976	0,0792	0,0912
Ti	0,0474	0,0410	0,0029	0,0014	0,0000	0,0022	0,0024	0,0020	0,0022	0,0026	0,0014
Cr	8,5245	9,3461	0,0269	0,0260	0,0128	0,0253	0,0275	0,0184	0,0232	0,0209	0,0217
V	0,0671	0,0570									
Mg	2,9507	3,2541	0,9295	0,9255	0,9917	1,0275	0,9682	0,9575	0,9378	0,9187	0,9270
Mn			0,0015	0,0018	0,0033	0,0009	0,0015	0,0017	0,0021	0,0019	0,0028
Ca		0,0031	0,9243	0,9114	0,9493	0,7771	0,8664	0,8875	0,8981	0,9303	0,9092
Na			0,0141	0,0156	0,0044	0,0130	0,0152	0,0143	0,0130	0,0131	0,0173
K											
Total	23,98	23,98	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Mg#	36,75	40,57	93,34	92,21	96,61	89,00	92,57	91,61	91,82	92,07	91,74
Wo			48,14	47,59	48,05	40,23	45,31	45,92	46,79	48,25	47,36
En			48,41	48,33	50,19	53,20	50,63	49,54	48,86	47,65	48,29
Fs			3,45	4,08	1,76	6,57	4,06	4,54	4,35	4,11	4,35
Cr#	60,64	64,53									
Cr/Fe3+Cr+A	53,82	58,98									
Fe3/Fe3+Cr+A		8,61									
Fe2/Mg+Fe	63,25	59,43									

### ANNEXE 2

#### Résultats d'analyses lithogéochimiques

Méthode d'analyse utilisée: fusion métaborate + ICP-AES

Éléments majeurs	Limite
	de détection
SiO <sub>2</sub> (wt%)	0,010
TiO <sub>2</sub>	0,001
$Al_2O_3$	0,030
FeO*	0.400
MnO	0.001
MgO	0,001
CaO	0.003
Na <sub>2</sub> O	0,005
K <sub>2</sub> O	0,010
S	0,010

Éléments traces	Limite
	de détection
Cr (ppm)	10
Ni	30
V	20
Cu	10
Zn	6
Sc	1
Со	20
Ba	2
Sr	2

Méthode d'analyse utilisée: fusion alcaline + fluxeur Claisse + ICP-MS

Terres rares	Limite
	de détection
La (ppm)	0,002
Ce	0.002
Pr	0.0005
Nd	0.002
Sm	0.002
Eu	0.001
Gd	0,005
Tb	0.001
Dy	0.002
Но	0.0001
Er	0.002
Tm	0.0005
Yb	0.002
Lu	0.0005

Éléments à fort	Limite
champs ioniques (HFSE)	de détection
Rb (ppm)	0,003
Nb	0,005
Та	0.0005
Zr	0.01
Hf	0,002
Pb	0,01
Th	0,01
U	0,003
Cs	0.003

## Résultats d'analyses lithogéochimiques

	4041 B	4041 W	4050 B	4048 W	4038 B	4058 B	4057 B
	St-François	St-François	Diamond	Diamond	Star Chrome	Star Chrome	Star Chrome
ļ	Webstérite	Webstérite		Webstérite	Webstérite	Webstérite	Webstérite
	,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,	,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,	,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,				
SiO <sub>2</sub> (wt%)	50,98	44,84	49,99	52,00	51,35	50,97	51,28
TiO <sub>2</sub>	0,07	0,04	0,01	0,04	0,05	0,04	0,04
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,81	0,99	0,49	0,87	1,27	1,19	1,02
FeO*	6,45	7,78	6,99	6,60	4,28	5,02	4,59
MnO	0,17	0,15	0,18	0,16	0,12	0,12	0,10
MgO	18,23	26,95	30,22	21,18	19,98	20,89	21,24
CaO	20,51	10,89	1,99	15,31	20,79	18,50	18,61
Na <sub>2</sub> O	0,10	0,05	0,04	0,09	0,10	0,10	0,12
K₂O	0,02	< 0,01	0,02	0,02	< 0,01	< 0,01	0,02
S	0,04	0,03	0,01	0,06	0,04	0,05	0,06
LOI	1,46	7,58	8,50	3,16	2,06	3,00	2,63
Total	100,25	99,69	98,81	99,68	100,50	100,25	100,12
FeO*#	26,13	22,40	18,79	23,76	17,63	19,36	17,78
FeO*/MgO	0,35	0,29	0,23	0,31	0,21	0,24	0,22
Mg#	74,06	77,77	81,36	76,43	82,52	80,50	82,36
Cr (ppm)	2872	2616	2662	1128	3489	2625	3081
Ni	173	548	290	132	256	282	297
V	187	83	32	130	116	115	102
Cu	114	14	< 10	182	20	15	102
Zn	38	40	31	32	30	34	28
Sc	65,4	30,0	11,6	55,6	45,4	48,5	44,0
Co	50	81	64	62	. 44	48	47
Rb	C,179	0,056	0,647	0,299	0,120	0,152	0,246
Ва	7,2	< 2.0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0
Sr	187,3	82,6	32,4	129,7	115,6	114,6	102,2
Nb	0,119	0,050	0,097	0,040	0,043	0,040	0,048
Та	0,004	0,004	0,016	0,005	0,005	0,004	0,007
Zr	4,68	0,64	0,48	0,41	0,67	0,95	1,22
Y	< 0.02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02
Hf ,	0,144	0,025	0,018	0,019	0,025	0,033	0,034
La	0,059	0,013	0,051	0,024	0,024	0,050	0,030
Ce	0,168	0,033	0,082	0,085	0,079	0,107	0,077
Pr	0,0363	0,0163	0,0162	0,0251	0,0183	0,0226	0,0169
Nd	0,249	0,088	0,060	0,121	0,126	0,143	0,107
Sm	0,115	0,054	0,029	0,092	0,089	0,074	0,056
Eu	0,063	0,032	0,015	0,040	0,041	0,038	0,030
Gd	0,229	0,083	< 0,030	0,104	0,138	0,110	0,095
Tb	0,052	0,027	0,011	0,031	0,034	0,031	0,025
Dy	0,383	0,192	0,055	0,223	0,255	0,228	0,195
Ho	0,0945	0,0456	0,0209	0,0619	0,0609	0,0510	0,0440
Er	0,277	0,129	0,035	0,156	0,174	0,148	0,131
Tm	0,0374	0,0192	0,0047	0,0204	0,0257	0,0222	0,0203
Yb	0,259	0,127	0,038	0,152	0,167	0,138	0,119
Lu	0,0397	0,0209	0,0076	0,0208	0,0265	0,0206	0,0183
Pb	1,50	1,52	0,25	0,98	2,14	1,13	1,05 < 0,01
Th	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	
U	0,09	< 0.003	< 0.003	< 0.003	< 0,003	< 0,003	< 0.003
Cs	< 0,003	< 0.003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003

<sup>&</sup>lt; ld = sous les limites de détection

<sup>- =</sup> pas de données disponibles

Résultats d'analyses lithogéochimiques (suite)

	4067 B	4066 BG	4059 B	4060 hyb	3 057 F	3057 CPX	3056 CPX
	ZM	ZM	ZM	ZM	Puits	Puits	ZM
	Webstérite	Webstérite	Webstérite	Faciès	Veine	Webstérite	Webstérite
				hybride d'	orthopyroxén	ite	
SiO <sub>2</sub> (wt%)	49,61	44,61	51,12	46,65	47,06	48,86	48,80
TiO <sub>2</sub>	0,06	0,03	0,06	0,04	0,01	0,03	0,04
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,31	2,32	1,41	1,26	0,69	1,12	1,11
FeO*	5,29	6,98	5,03	7,12	6,38	5,11	5,08
MnO	0,12	0,12	0,12	0,14	0,29	0,12	0,13
MgO	21,23	27,67	20,60	25,41	27,68	22,60	23,10
CaO	18,38	9,27	19,32	12,73	10,25	16,65	16,26
Na₂O	0,09	0,05	0,12	0,07	0,02	0,11	0,09
K₂O	0,02	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
S	0,04	0,05	0,04	0,05	0,03	0,04	0,04
LOI	3,50	8,40	2,55	6,60	7,10	4,12	4,86
Total	100,10	99,83	100,84	100,64	100,06	99,28	100,09
FeO*#	19,96	20,14	19,62	21,90	18,74	18,43	18,03
FeO*/MgO	0,25	0,25	0,24	0,28	0,23	0,23	0,22
Mg#	80,20	80,02	80,53	78,28	81,41	81,72	82,12
Cr (ppm)	3109	1935	3370	4158	4203	4211	3732
Ni	337	677	229	465	371	346	326
V	130	76	134	88	40	102	119
Cu	48	18	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
Zn	32	30	31	37	38	36	29
Sc	52,5	23,9	56,5	32,0	14,4	42,8	49,5
Co	53	110	50	76	62	57	48
Rb	0,309	0,124	0,149	0,145	0,126	0,122	0,127
Ba	< 2,0	2,3	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0
Sr	130,0	75,8	133,9	87,9	39,6	101,7	119,2
Nb	0,081	0,110	0,032	0,144	0,035	0,136	0,091
Та	0,014	0,011	0,005	0,007	0,003	0,007	0,019
Zr	0,76	1,85	0,63	1,35	0,96	0,80	1,29
Y	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02
Hf	0,040	0,050	0,032	0,043	0,021	0,024	0,027
La	0,067	0,998	0,027	0,069	< 0,002	0,047	0,086
Ce	0,160	1,242	0,057	0,147	< 0,002	0,106	0,176
Pr	0,0217	0,1086	0,0166	0,0255	0,0048	0,0202	0,0257
Nd	0,156	0,357	0,143	0,153	0,016	0,108	0,135
Sm	0,103	0,094	0,093	0,080	< 0,002	0,070	0,071
Eu	0,041	0,031	0,050	0,038	0,007	0,030	0,033
Gd -:	0,212	0,104	0,206	0,123	< 0,005	0,077	0,092
Tb	0,045	0,028	0.046	0,032	< 0,001	0,023	0,026
Dy	0,387	0,207	0,388	0,237	0,021	0,202	0,210
Ho	0,0851	0,0496	0,0878	0,0538	0,0079	0,0450	0,0478
Er +	0,257	0,148	0,260	0,187	0,022	0,136	0,145
Tm	0,0359	0,0222	0,0359	0,0245	0,0042	0,0189	0,0228
Yb	0,238	0,148	0,222	0,151	0,032	0,111	0,139
Lu	0,0383	0,0204	0,0388	0,0235	0,0068	0,0200	0,0208
Pb	< 0,01	0,22	0,85	0,67	0,41	0,51	0,54
Th	< 0.01	< 0,01	< 0,01	< 0.01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
U	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
Cs	< 0,003	< 0.003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003

<sup>&</sup>lt; ld = sous les limites de détection

<sup>- =</sup> pas de données disponibles

Résultats d'analyses lithogéochimiques (suite)

	4054 A	4052 A	4054 B	4052 B
	ZM	ZM	ZM	ZM
	Webstérite	Webstérite	Orthopyroxénite	Orthopyroxénite
SiO <sub>2</sub> (wt%)	50,62	50,61	49,52	49,48
TiO <sub>2</sub>	0,04	0,05	0,04	0,04
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,17	1,28	1,15	1,25
FeO*	4,98	4,74	5,02	4,70
MnO	0,12	0,13	0,12	0,14
MgO	21,15	21,73	21,22	21,47
CaO	18,81	18,41	18,52	18,43
Na <sub>2</sub> O	0,12	0,11	0,10	0,10
K₂O	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
s	0,04	0,04	0,04	0,04
LOI	3,20	3,58	3,44	3,55
Total	100,73	101,21	99,67	99,72
FeO*#	19,05	17,92	19,15	17,97
FeO*/MgO	0,24	0,22	0,24	0,22
Mg#	81,10	82,23	81,01	82,18
Cr (ppm)	4066	3748	3707	3881
Ni Ni	297	266	269	326
V	121	117	119	95
Cu	< 10	< 10	< 10	< 10
Zn	31	30	30	28
Sc	49,9	48,6	48,6	43,2
Co	54	51	52	55
Rb	0,121	0,120	0,217	0,122
Ва	3,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0
Sr	120,9	117,0	118,8	95,3
Nb	0,072	0,088	0,083	0,053
Та	< ld	0,015	0,003	0,006
Zr	0,69	0,97	1,10	0,67
Y	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02
Hf	0,052	0,022	0,034	0,028
La	0,295	0,102	0,100	0,049
Ce	0,253	0,205	0,228	0,091
Pr	0,0389	0,0295	0,0312	0,0210
Nd	0,211	0,174	0,179	0,127
Sm	0,085	0,076	0,076	0,074
Eu	0,039	0,036	0,039	0,039
Gd	0,123	0,111	0,122	0,129
Tb	0,033	0,032	0,033	0,037
Dy	0,276	0,236	0,250	0,294
Ho	0,0635	0,0525	0,0547	0,0657
Er	0,189	0,180	0,174	0,201
Tm	0,0271	0,0259	0,0250	0,0293
Yb	0,172	0,152	0,163	0,180
Lu	0,0275	0,0255	0,0253	0,0303
Pb	2,39	0,93	0,93	0,72
Th	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
U	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
Cs	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
C <sub>S</sub>	\ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \	~ 0,003	~ 0,003	~ 0,003

<sup>&</sup>lt; Id = sous les limites de détection

<sup>- =</sup> pas de données disponibles

# Résultats d'analyses lithogéochimiques (suite)

	4044 D	4050 D	4038 P	4058 P	4057 P	3057 D	3056 D
	St-François	Diamond	Star Chrome	Star Chrome	Star Chrome	Puits	ZM
	Dunite	Harzburgite	Veine	Veine	Veine	Wehrlite	Wehrlite
		dunitique	de péridotite	de péridotite	de péridotite		
SiO <sub>2</sub> (wt%)	40,26	38,60	39,27	45,26	42,98	41,79	38,21
TiO <sub>2</sub>	0,01	0,00	0,11	0,02	0,01	0,02	0,01
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,43	0,16	9,55	0,63	0,75	0,48	0,81
FeO*	9,73	9,08	9,48	9,07	8,83	11,78	9,05
MnO	0,18	0,09	0,14	0,12	0,14	0,15	0,14
MgO	34,86	36,38	23,42	30,79	34,00	33,47	35,10
CaO	0,01	0,02	9,09	4,66	0,39	0,63	0,53
Na <sub>2</sub> O	0,01	0,00	0,05	0,02	0,01	0,01	0,01
K₂O	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
S	0,07	0,03	0,04	0,13	0,05	0,07	0,05
LOI	11,62	13,18	7,88	9,75	11,80	10,95	12,73
Total	97,82	97,94	99,34	100,68	99,27	99,61	97,34
FeO*#	21,82	19,98	28,80	22,75	20,62	26,03	20,50
FeO*/MgO	0,28	0,25	0,40	0,29	0,26	0,35	0,26
Mg#	78,35	80,18	71,40	77,43	79,55	74,16	79,66
Cr (ppm)	4742	2537	1801	1193	1672	1460	4952
Ni	813	753	484	734	846	776	1003
V	44	17	186	47	34	38	37
Cu	< 10	< 10	43	35	42	15	< 10
Zn	46	23	45	32	30	37	49
Sc	11,7	4,45	37,2	17,3	9,91	11,6	8,50
Co	114	114	71	114	133	130	109
Rb	-	-	-	~	-	-	-
Ва	< 2,0	< 2,0	2,5	< 2,0	3,9	< 2,0	< 2,0
Sr	44,2	16,9	185,7	47,1	33,9	38,0	37,1
Nb	-	-	-	-	-	-	-
Та	-	-	-	-	-	-	-
Zr	-	-	-	-	-	-	-
Y	< 0,02	< 0,02	3,20	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02
Hf	-	-	-	-	-	-	~
La	0,011	< 0,002	0,188	0,050	0,189	< 0,002	0,177
Ce	0,028	0,008	0,509	0,120	0,390	< 0,002	0,294
Pr	< 0,0005	< 0,0005	0,0625	0,0151	0,0504	< 0,0005	0,0271
Nd	0,017	< 0,002	0,343	0.101	0,234	0,029	0,114
Sm	0,006	< 0,002	0,173	0.048	0,065	0,026	0,029
Eu	0,003	< 0,001	0,059	0,020	0,017	0,009	0,021
Gd	0,016	0,003	0,443	0.088	0,082	0,058	0,043
Tb	0,004	< 0,001	0,102	0,017	0,015	0,013	0,008
Dy	0,029	0,005	0,850	0,124	0,098	0,103	0,060
Но	0,0067	< 0,0001	0,2125	0,0279	0,0198	0,0243	0,0128
Er	0,029	0,007	0,701	0,094	0,061	0,080	0,044
Tm	0,0044	0,0013	0,1078	0,0131	0,0103	0,0131	0,0067
Yb	0,033	0,012	0,728	0,090	0,067	0,089	0.047
Lu	0,0059	0,0023	0,1202	0,0138	0,0117	0,0144	0,0079
Pb		-	-	-	-	-	-
Th	-	-	-	-	-	-	-
U	-	-	-	-	-	-	-
Cs	-	-	-	-	-	-	-
	L						

<sup>&</sup>lt; ld = sous les limites de détection

<sup>- =</sup> pas de données disponibles

### ANNEXE 3

Concentrations en éléments du groupe du platine.

Échantillons	Localisation	Lithologie	Cu	Ni	Os	lr	Ru	Rh	Pt	Pd	Au	ΣEGP
			(ppm)	(ppm)	(ppb)	(ppb)	(ppb)	(ppb)	(ppb)	(ppb)	(ppb)	(ppb)
3056C*	ZM	Chromitite	17	674	54	83	78	240	8240	4480	17,21	13175
4100**	ZM	Chromitite	11	794	27	39	34	99	4270	3530	44,02	7999
3056D	ZM	Wehrlite dunitique	< 10	1003	0,4	0,35	3	1	36	38	0,222	79
3057 D	ZM	Wehrlite dunitique	14,5	776	0,6	0,86	8	2	75	46	0,45	132
4058 P	Star Chrome	Veine de péridotite	34,9	734	1,5	3,88	5	10,4	187	161	1,14	369
4038 P	Star Chrome	Veine de péridotite	43,4	484	0,2	0,28	< 4	< 0,7	158	9	1,89	167
4054 B	ZM	Orthopyroxénite	< 10	269	0,4	0,23	2	0,4	43	22	0,637	68
3056 CPX	ZM	Webstérite	< 10	326	0,7	0,23	2	0,9	18	13	0,325	35
3057 CPX	ZM	Webstérite	<10	346	< 0,6	0,29	< 3	1	38	7	0,339	46
4059 B	ZM	Webstérite (rayon 10m² de ZM)	6,8	229	0,3	0,63	2	1,2	234	398	15,27	636
4058 B	Star Chrome	Webstérite (à plus de 20m de ZM)	14,5	282	1,1	0,43	3	1,9	84	51	4,88	141
4038 B	Star Chrome	Webstérite (à plus de 20m de ZM)	20,4	256	8,0	0,37	6	1,4	82	266	24,41	357
4041 W	St-François	Webstérite	13,5	548	1,1	0,42	4	1,7	22	12	0,449	41
4048 W	Diamond	Webstérite	181,6	132	0,7	0,04	< 4	8,0	37	130	6,67	169
Standard AX	-90 (déterminé	)			2,2	2,5	11	10,8	141	342	4,25	
Standard AX	-90 (accepté)				2,8	3,2	12	12	136	330	5	
Blanc analyti	que				< 1	< 0,03	< 5	< 0,5	< 2	< 2	0,3	

Pour la localisation des échantillons se référer aux figures 1.2 et 1.3 du chapitre 1.

Analyses de Cu et Ni tirées des analyses AES sur roche totale réalisée à l'INRS.

\* Cu et Ni proviennent d'analyses réalisées pour le compte de Ressources Allican Inc. (été 2000)

\*\*Cu et Ni proviennent d'analyses réalisées pour le compte de Ressources Allican Inc. (été 2000) sur l'échantillon 00 PP 3057 C1