

**UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL**

**INTERPRÉTATION  
TECTONOMÉTAMORPHIQUE DU NORD DE  
LA PROVINCE DU SUPÉRIEUR, QUÉBEC,  
CANADA.**

**THÈSE PRÉSENTÉE À L'UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À  
CHICOUTIMI COMME EXIGENCE PARTIELLE DU DOCTORAT  
EN RESSOURCES MINÉRALES OFFERT À L'UNIVERSITÉ DU  
QUÉBEC À MONTRÉAL EN VERTU D'UN PROTOCOLE  
D'ENTENTE AVEC L'UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À CHICOUTIMI**

**PAR  
SANDRINE CADÉRON**

**Juin 2003**



### **Mise en garde/Advice**

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

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

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

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

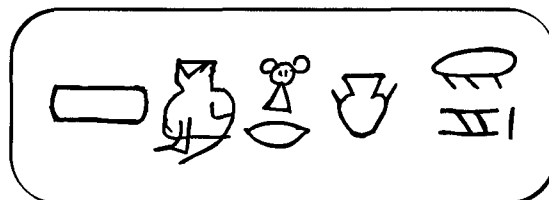


“Point n’est besoin de faire un appel - évidemment plus aisé - à l’imagination pour reconstituer l’existence d’une des plus étonnantes personnalités du monde de la haute Antiquité. Quoiqu’il en soit, ce serait, dans ce cas, en quelque sorte le trahir.”

Christiane Desroches Noblecourt



Silencieuses depuis des millénaires, les roches du vieux craton conservent leur secret. Les granulites gardent encore les énigmes des processus profonds de l’écorce terrestre. Décrypter leur message est le privilège du pétrologue. Chaque indice dévoilé sous l’œil du microscope doit-être minutieusement analysé. Les idées les plus folles peuvent surgir de son imagination mais le pétrologue doit toujours garder son objectivité scientifique dans le plus grand respect de l’héritage minéralogique qui lui est offert...



Pierre au coeur de la terre...

***À ma soeur Sylvie...***



## RÉSUMÉ

Les deux premiers chapitres de cette thèse sont complémentaires et rassemblent l'étude de la partie est de la Province du Supérieur.

Plusieurs projets de cartographie ont été effectués dans les sous-provinces d'Opinaca et d'Ashuanipi. Un modèle tectonique, basé sur l'étude d'une région limitée de l'Ashuanipi, a été proposé antérieurement pour expliquer l'évolution tectono-thermale de cette sous-province. Ce modèle n'incluait pas la Sous-province d'Opinaca. Cependant, les nouveaux travaux de cartographie effectués par le Ministère des Ressources Naturelles du Québec (MRNQ) ont montré que l'évolution tectono-thermale de la Sous-province d'Ashuanipi semblait intimement liée à celle d'Opinaca. Or, aucune étude tectono-métamorphique n'avait été effectuée à l'échelle de cette sous-province. De plus, l'Ashuanipi a toujours été définie en tant que sous-province. Cependant, ce projet de recherche montre que l'Ashuanipi ne peut être considérée comme une sous-province à part entière. Cet ensemble géologique provient de la fusion d'un protholite plus ancien représenté par la Sous-province d'Opinaca (voir explications dans le chapitre II de cette thèse). Dès lors, on parlera plutôt de « Complexe » d'Ashuanipi plutôt que de Sous-province d'Ashuanipi tout au long de cette thèse. Le degré de métamorphisme élevé, ainsi que la complexité structurale de ces terrains, refoulaient l'exploration minière dans cette région. Cette étude présente une étude de l'évolution métamorphique de cette région. et propose un modèle hypothétique novateur pour l'interprétation tectonique de toute la partie est de la Province du Supérieur.

La Sous-province d'Opinaca, métamorphisée au faciès des granulites, est essentiellement composée d'une épaisse unité de métasédiments et de ceintures volcaniques témoignant d'un volcanisme bimodal. La complexité géologique du Complexe d'Ashuanipi repose sur la nature de ses lithologies composées essentiellement de granitoïdes diatexitiques issus de l'anatexie de protholites plus anciens soumis à des conditions granulitiques extrêmes. On y retrouve également des lambeaux et des xénolithes de ceintures volcano-sédimentaires. Des intrusions syn- à tardi-tectoniques essentiellement composées de tonalite, de monzogranite et de granite à fluorine recoupent toutes les lithologies des deux sous-provinces.

La région étudiée a été affectée par une tectonique archéenne polyphasée reliée à l'orogène kénoréenne et présente des patrons d'interférences complexes. Quatre périodes de déformations ductiles ( $D_1$  à  $D_4$ ) sont observables.  $D_2$  se retrouve uniquement dans le Complexe d'Ashuanipi qui a servi de référence pour recalibrer les différentes déformations dans le temps. Une déformation cassante tardive ( $D_5$ ) semble être reliée à l'orogène grenvillienne et entraîne de grands accidents cassants.

Cette étude a permis de caractériser trois épisodes métamorphiques ( $M_1$ ,  $M_2$ , et  $M_3$ ) au faciès des granulites, reliées respectivement aux déformations  $D_1$ ,  $D_2$  et  $D_3$ , dans la Sous-province d'Opinaca et dans le Complexe d'Ashuanipi. Les calculs géothermobarométriques ont été effectués en utilisant le logiciel TWEEQU (Thermobarometry With Estimation of EQUilibration state). Dans les métasédiments de la Sous-province d'Opinaca, on observe un premier assemblage métamorphique syn  $D_1$ , qui

montre des conditions P-T maximales de  $8.2 \pm 1$  kbar -  $900 \pm 50^\circ\text{C}$  (orthopyroxène - grenat - biotite - plagioclase - quartz) et de  $7.4 \pm 1$  kbar -  $960 \pm 50^\circ\text{C}$  (orthopyroxène - grenat - cordiérite - biotite - plagioclase - quartz). Un épisode métamorphique  $M_3$ , reliée à  $D_3$  et caractérisé par un assemblage à orthopyroxène - grenat - biotite - plagioclase - quartz orienté selon la foliation  $S_3$ , donne des conditions P-T maximales de  $8.3 \pm 1$  kbar -  $890 \pm 50^\circ\text{C}$ . L'étude des xénolithes métasédimentaires présents dans les diatexites du Complexe d'Ashuanipi a également permis la reconnaissance de deux épisodes au faciès des granulites. Le premier événement granulitique  $M_1$  est relié à  $D_1$  et est caractérisé par un assemblage à orthopyroxène - grenat - biotite - plagioclase - quartz orienté dans la foliation pénétrative  $S_1$  des enclaves.  $M_1$  montre des conditions P-T maximales de  $8.8 \pm 1$  kbar -  $955 \pm 50^\circ\text{C}$ . Le second épisode métamorphique  $M_2$ , relié à la déformation  $D_2$  qui caractérise l'Ashuanipi, montre le même assemblage minéralogique que  $M_1$  et donne des conditions P-T extrêmes de  $9.8 \pm 1$  kbar -  $940 \pm 50^\circ\text{C}$ .

Tous ces épisodes métamorphiques au faciès des granulites évoluent à travers des chemins P-T-t de sens horaires avec  $M_1$ ,  $M_2$ , et  $M_3$ , datés respectivement à 2700 Ma, 2680-2670 Ma et à 2645 Ma. Une datation de 2635 Ma représente une période de métamorphisme rétrograde. Cette étude démontre que ces différents événements métamorphiques représentent une même période granulitique polyphasée qui perdure dans l'est de la Province du Supérieur sur plus de 65 Ma. De plus, ces nouvelles données témoignent que l'évolution tectono-thermale du Complexe d'Ashuanipi fait partie intégrante de celle de la Sous-province d'Opinaca. Cette recherche propose alors que l'Opinaca représente un bassin marginal archéen caractérisé par une évolution tectono-thermale polycyclique évoluant à travers une activité orogénique pulsative.

Le troisième chapitre de cette thèse étudie un assemblage à saphirine - quartz retrouvé dans le nord-est de la Province du Supérieur.

La Sous-province de Minto, située au NE du craton archéen, est divisée en plusieurs domaines litho-tectoniques. Le Domaine du Douglas-Harbour est constitué des complexes de Troie, de Qimussinguat, et de Faribault-Thury. Les deux premiers dessinent des intrusions enderbitiques contenant des lambeaux de ceintures volcano-sédimentaires et sont caractérisés par un faciès granulitique, tandis que le dernier, au faciès amphibolite, se compose d'intrusions tonalitiques contenant des ceintures métavolcaniques.

Un assemblage à saphirine - quartz a été retrouvé dans une brèche ignée composée de fragments de nature polygénique et localisée dans le coeur du Complexe de Troie. Un fragment métasédimentaire contient un assemblage granulitique à saphirine - sillimanite - spinel - cordiérite - plagioclase - quartz - corindon. La saphirine se présente sous forme de textures variées. Les réactifs et les produits caractérisant les réactions métamorphiques observables sont composés des mêmes phases et témoignent donc d'un métamorphisme isochimique. La composition alumineuse de la roche semble avoir déterminé l'absence de grenat et d'orthopyroxène dans l'assemblage minéralogique. Des thermomètres basés sur l'échange Fe-Mg entre spinel - cordiérite et saphirine - spinel montrent des températures respectives de 890 -  $1160^\circ\text{C}$  et de  $755 - 920 \pm 100^\circ\text{C}$ . Des calculs géothermobarométriques, effectués par TWEEQU en utilisant l'assemblage à biotite - cordiérite - spinel - corindon -

quartz, donnent des conditions P-T de 810 - 1260°C et de 7.5 - 14  $\pm$ 1 kbar. Les textures sont difficiles à interpréter en terme de métamorphisme prograde ou rétrograde. Deux hypothèses peuvent être proposées pour expliquer la cristallisation et la préservation de ces textures: 1) une période de haute température sur un cours laps de temps, ou 2) des conditions P-T minimales au faciès des granulites.

## REMERCIEMENTS

**Daniel Lamothe** (MRNQ) est le maître-d'oeuvre de cette thèse. Il a dessiné les fondations de ma recherche et est resté présent en permanence pour m'aider à construire cette thèse 'pierre par pierres...'. Plus qu'un chef d'équipe, il a été un guide, un éducateur, un professeur patient qui a su combler mes lacunes scientifiques. Deux étés de terrain à ses côtés m'ont apporté de multiples connaissances. L'échelle de cartographie couplée à la complexité structurale de ces terrains de haut grade métamorphique, représentait un défi de taille et demandait donc une objectivité scientifique maximale. De nature très minutieuse, Daniel a su mener cette aventure à terme. Je dois souligner ici que plusieurs n'ont pas cru à la possibilité de ce type de projet dont l'étendue semblait inadaptée à une recherche académique. Daniel peut donc se féliciter d'avoir réussi à réaliser le premier et l'unique projet doctoral parmi tous les projets Grand-Nord et Moyen-Nord à ce jour. Merci de ta confiance, merci pour ton enseignement. Il m'est difficile de trouver les mots pour t'exprimer ma gratitude. Mon seul souci a été de ne jamais décevoir les espoirs que tu nourrissais face à ce doctorat. Mettre le point final à cette thèse est ma façon à moi de te remercier.

Je viens maintenant remercier le chef de chantier, mon directeur de thèse, le **Dr Normand Goulet** (UQÀM) que j'ai bien vite surnommé 'Norm'§. Ce professeur est tout un personnage. Sous ses allures d'ours, Norm'§ possède plusieurs qualités qui ont été primordiales pour mener ce projet à terme.

Tout d'abord, le professeur Normand Goulet est un homme de terrain. Je n'ose pas employer le terme 'bête' de terrain bien que cela lui irait à merveille. Mes expériences dans le Moyen-Nord avec lui ont été plus qu'enrichissantes sur le plan scientifique et humain. Les traverses se sont souvent transformées en aventures exigeantes et périlleuses. Normand est un chasseur, il guette la roche, observe le contexte géologique, épluche les indices. Lorsqu'il poursuit les conglomérats, rien ne l'arrête, pas même les ours, les torrents ni les marécages! Plus le degré de complexité structurale de la roche est haut, plus il s'accroche à la comprendre. Sa démarche et son raisonnement face à des problèmes structuraux de haut niveau ont toujours soulevé de nombreuses questions fondamentales et ont fait naître des idées novatrices face à l'interprétation de terrains ayant découragé plusieurs géologues. Sa passion pour le terrain faisait de lui le candidat idéal pour la direction d'un projet doctoral de ce type. Normand est un professeur généreux. Son support financier m'a permis de participer à plusieurs colloques internationaux. J'ai pu ainsi rencontrer et sympathiser avec des scientifiques de grande renommée et m'enrichir à leur contact en partageant de nombreuses idées en lien avec mon projet doctoral. Merci d'avoir fait de cette entreprise qui, au départ, pouvait sembler irréalisable car trop vaste, une réalité prometteuse.

Je viens ensuite remercier le très regretté **James Bourne** (UQÀM) qui n'a pas eu le temps de terminer ce projet avec moi. Sa disparition a créé un grand vide sentimental et scientifique. Mais je n'oublierai jamais ce professeur et sa signature humaine reste à jamais gravée dans ce projet.

Je souhaite maintenant remercier celui qui a si généreusement succédé à Jamie pour la partie métamorphique de ma thèse: le **Dr Walter Trzcienski** (Université de Montréal). En fait, Walter est celui qui m'a encouragée à poursuivre mes études supérieures en pétrologie métamorphique. Il a dirigé mon projet de fin de Baccalauréat et ma Maîtrise. Découragée, il m'a vue arriver à son bureau et m'a ouvert sa porte une nouvelle fois. Son mérite est d'autant plus grand qu'il n'est pas évident de rentrer dans un projet bien avancé et même en voie de rédaction. Je ne pensais jamais m'orienter vers les méandres nébuleux du métamorphisme mais Walter a su me communiquer sa passion, sa curiosité et sa patience face aux nombreuses énigmes des roches métamorphiques. Mon respect pour ce professeur est infini et j'espère devenir une pétrologue métamorphique digne de ses connaissances. Merci à vous et sachez que ma future carrière dans ce domaine est empreinte de votre savoir.

Au niveau du département, je voudrais remercier tout spécialement notre dessinatrice, Michèle Laithier, qui a fait un travail admirable pour la partie graphique de ma thèse. Mimi a également réalisé mes idées les plus extravagantes dans le design de mes différents posters et conférences. Sa main de maître m'a permis de mériter plusieurs récompenses et de nombreux compliments. Je remercie également Georges Huard pour le soutien informatique.

Je voudrais aussi remercier le Dr Jean Bédard (CGC) pour sa participation dans ce doctorat, Louis Madore (MRNQ) pour les échantillons de saphirine, et le Dr Alain Tremblay (INRS - UQÀM) ainsi que le Dr Jean-Yves Labbé (MRNQ) pour avoir accepté d'entrer dans mon jury de thèse.

Enfin, je viens remercier les différents organismes ayant contribué au financement de ma recherche: le MRNQ, le FCAR, le PAFARC, et le département des Sciences de la Terre et de l'Atmosphère. Je voudrais également souligner la participation financière du Dr Normand Goulet.

J'en arrive à ceux qui reste trop souvent dans l'ombre mais qui possèdent selon moi le plus grand rôle sentimental: **ma famille**. Mes bases familiales ont encouragé et permis la réalisation de cette thèse. Merci à **mes parents** qui m'ont toujours encouragée à réaliser mes rêves les plus fous. J'ai puisé ma détermination dans leur amour. Grâce à l'éducation et aux valeurs qu'ils m'ont transmises, j'ai réussi à chasser mes doutes et je me suis accrochée à leur confiance. Je voudrais aussi remercier tout spécialement ma grande soeur **Sylvie**. Elle a été mon guide et j'ai suivi ses traces sur la soif de la connaissance. Je suis si fière de vous avoir comme famille.

## AVANT-PROPOS

Ce travail de recherche découle directement des travaux de cartographie au 1:250 000 entrepris par le Ministère des Ressources Naturelles du Québec (MRNQ) dans le nord-est (projet Grand-Nord) et dans l'est (projet Moyen-Nord) de la Province du Supérieur. La complexité de ce projet repose sur l'échelle de cartographie (1:250 000) utilisée pour la récolte des données, sur l'étendue du terrain à étudier (cartes SNRC: 23C, 23E, 23F, 23G, et 24M, Fig. 1) et sur la durée limitée des travaux de terrain. Bien que de nombreuses thèses soient basées sur l'étude de terrains cartographiés à plus petite échelle et d'étendue limitée, les lecteurs doivent réaliser l'ampleur régionale de la recherche proposée ici.

La thèse s'organise en trois articles, présentés sous forme de trois chapitres, qui ont comme point commun l'étude d'assemblages métamorphiques de haut grade (faciès des granulites de Moyenne/Haute Pression - MP/HP - et de Haute/Ultra-haute Température - HT/UHT).

Dans l'est de la Province du Supérieur (SNRC 23C, 23E, 23F et 23G; Fig. 1), les nouvelles données structurales, métamorphiques, géochimiques et géochronologiques récoltées lors d'une première campagne de cartographie à l'été 1996 ont soulevé de nombreuses questions concernant l'interprétation tectono-métamorphique de la partie est de la Province du Supérieur. Les nouvelles observations structurales et métamorphiques semblaient démontrer une évolution tectono-thermale différente de celle proposée antérieurement pour ces terrains de hauts grades métamorphiques. Aussi, Daniel Lamothe,

chef de projet et géologue professionnel (MRNQ), a décidé de faire appel à une étude académique afin d'approfondir et de réinterpréter la géologie de la Sous-province d'Opinaca et du Complexe d'Ashuanipi. L'échelle de la cartographie et l'étendue de la superficie à étudier demandaient une large recherche de synthèse basée sur deux étés de terrain (1997 et 1998) qui m'ont permis de récolter les données nécessaires à ce projet doctoral.

Les deux premiers chapitres rassemblent la partie la plus importante de ma recherche essentiellement axée sur l'interprétation tectono-métamorphique de l'est de la Province du Supérieur. Des assemblages granulitiques typiques (orthopyroxène - grenat - +/- cordiérite - biotite - feldspaths) se retrouvent dans les roches métasédimentaires de la Sous-province d'Opinaca et dans les xénolithes métasédimentaires du Complexe d'Ashuanipi. Un modèle tectonique novateur découle de l'étude géothermobarométrique et pétro-structurale de ces assemblages.

La cartographie du Moyen-Nord a permis de prouver la faisabilité de tels travaux au 1:250 000 et a ouvert la porte au projet Grand-Nord en 1997. Les travaux entrepris dans le cadre du projet Grand-Nord nous permettaient donc de faire une étude métamorphique comparative des enclaves métasédimentaires présentes dans les terrains de haut grade du nord-est et de l'est du craton québécois afin de déterminer un modèle de mise en place valide à chacun de ces grands ensembles géologiques.

La cartographie de la région du lac Peters (SNRC 34M, cf. Fig.1) a permis de reconnaître de grands ensembles intrusifs contenant de nombreuses enclaves dont le

contexte lithologique s'identifiait à celles retrouvées dans le Complexe d'Ashuanipi par leur nature volcano-sédimentaire, leur faciès métamorphique granulitique, et leur processus de mise en place. De plus, le Complexe d'Ashuanipi (région du lac Bermen, SNRC 23C, 23F et 23G) et le Domaine de Douglas-Harbour (région du lac Peters) se situent sur la limite est de la Province du Supérieur, au contact des unités archéennes avec les unités protérozoïques de la Fosse du Labrador (Fig. 2).

La carte magnétique générale de la partie est de la Province du Supérieur montre une signature continue d'unités à fort magnétisme du sud vers le nord. En effet, dans la Sous-province du Minto, ces unités montrent une direction préférentielle NO-SE à N-S pour évoluer dans une direction E-O dans l'Ashuanipi. Ces unités semblent alors dessiner une méga-charnière d'ampleur régionale. Le Complexe d'Ashuanipi est localisé au coeur de cette méga-charnière. Une étude géothermobarométrique comparative des xénolithes métasédimentaires retrouvés dans le Domaine du Douglas-Harbour (lac Peters) et dans l'Ashuanipi pouvait donc permettre de mieux comprendre les processus tectoniques à l'origine de la mise en place de ces grands ensembles granitoïdes et de vérifier la continuité éventuelle de l'Ashuanipi vers le nord-est.

L'étude pétrographique d'une enclave métasédimentaire du Domaine de Douglas-Harbour a révélé la présence de saphirine, un minéral de UHT/HT-HP très rare et jamais étudié dans la Province du Supérieur. Louis Madore, chef de projet et géologue professionnel (MRNQ) m'a donc proposé d'approfondir l'occurrence de l'assemblage à saphirine - quartz présent dans ce xénolithe et de déterminer la géothermobarométrie de cet assemblage. Ceci afin de vérifier si l'on pouvait proposer un modèle de mise en place



semblable à celui du Complexe d'Ashuanipi pour les intrusions du Domaine de Douglas-Harbour. Cependant, mon mandat se limitait à l'étude chimique et géothermobarométrique de la saphirine à partir d'échantillons fournis par le MRNQ. N'ayant aucunement participé aux travaux de cartographie du Douglas-Harbour, mon étude a simplement contribué à l'interprétation tectonique de cette région effectuée par le Dr Jean H. Bédard (CGC) qui démontre que la nature des intrusions du Douglas-Harbour s'inscrit davantage dans un modèle de tectonique verticale plutôt que dans un modèle de tectonique horizontal tel que décrit dans cette thèse pour l'Ashuanipi.

Le dernier chapitre de ma thèse concerne donc l'étude de cet assemblage à saphirine - quartz typique des granulites de UHT. L'importance de cet article repose sur le fait que la présence de saphirine dans la Province du Supérieur n'avait jamais été documentée auparavant et identifie un modèle tectonique de mise en place différent de celui proposé pour le Complexe d'Ashuanipi pour les ensembles intrusifs du Douglas-Harbour. Cette étude est purement minéralogique et géothermobarométrique et montre que les textures préservées dans les échantillons se distinguent des caractéristiques tectono-thermales du Complexe d'Ashuanipi. Ces travaux ne représentent qu'une faible part de ma recherche doctorale.

# TABLE DES MATIÈRES

<b>RÉSUMÉ.....</b>	<b>iv</b>
<b>REMERCIEMENTS.....</b>	<b>vii</b>
<b>AVANT-PROPOS.....</b>	<b>ix</b>
<b>LISTE DES FIGURES.....</b>	<b>xviii</b>
<b>LISTE DES TABLEAUX.....</b>	<b>xxv</b>
<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>1</b>
<b>CONTEXTE GÉOLOGIQUE.....</b>	<b>2</b>
<i>L'est de la Province du Supérieur.....</i>	<i>2</i>
<i>Le nord-est de la Province du Supérieur.....</i>	<i>8</i>
<b>PROBLÉMATIQUE.....</b>	<b>10</b>
<i>L'est de la Province du Supérieur.....</i>	<i>10</i>
Modèles antérieurs.....	10
Nouvelles observations de terrain et lacunes des modèles antérieurs.....	12
<i>Le nord-est de la Province du Supérieur.....</i>	<i>16</i>
Études antérieures.....	16
Nouvelles observations et lacunes des études antérieures.....	17
<b>OBJECTIFS DE TRAVAIL.....</b>	<b>18</b>
<i>L'est de la Province du Supérieur.....</i>	<i>18</i>
<i>Le nord-est de la Province du Supérieur.....</i>	<i>19</i>
<b>APERÇU SUR LES MÉTHODES DE TRAVAIL.....</b>	<b>19</b>
<b>APERÇU SUR LES CHAPITRES DE LA THÈSE.....</b>	<b>21</b>
<b>CONTRIBUTION DE L'ÉTUDIANTE DANS L'ÉLABORATION DE LA THÈSE.....</b>	<b>22</b>

## CHAPITRE I

### THE OPINACA SUBPROVINCE: A POLYMETAMORPHIC AND POLYPHASED ARCHEAN BASIN IN THE SOUTHEASTERN PART OF THE SUPERIOR PROVINCE, QUEBEC, CANADA.....

1.1 ABSTRACT.....	30
1.2 RÉSUMÉ.....	32
1.3 INTRODUCTION.....	34
1.4 GEOLOGICAL SETTING.....	36
1.5- DEFORMATION HISTORY.....	41
1.5.1 Detailed structures.....	42
1.5.2 Structural boundaries.....	44

1.6 LITHOLOGIES AND MINERAL ASSEMBLAGES.....	46
1.7 PETROGRAPHY AND MINERAL CHEMISTRY.....	47
1.7.1 Petrography and microstructures.....	48
1.7.1.1 <i>S<sub>1</sub> mineral fabric</i> .....	48
1.7.1.2 <i>S<sub>3</sub> mineral fabric</i> .....	49
1.7.2 Textural interpretation.....	50
1.7.2.1 <i>M<sub>1</sub> metamorphism</i> .....	50
1.7.2.2 <i>M<sub>3</sub> metamorphism</i> .....	52
1.7.3 Mineral chemistry.....	52
1.7.3.1 <i>Orthopyroxene</i> .....	53
1.7.3.2 <i>Garnet</i> .....	54
1.7.3.3 <i>Biotite</i> .....	55
1.7.3.4 <i>Cordierite</i> .....	56
1.7.3.5 <i>Plagioclase</i> .....	56
1.7.3.6 <i>Oxides</i> .....	56
1.8 TIMING, GEOTHERMOBAROMETRY AND P-T-t PATHS.....	57
1.8.1 Thermobarometric techniques.....	57
1.8.2 Thermobarometric results.....	59
1.8.2.1 <i>M<sub>1</sub> metamorphic episode</i> .....	59
1.8.2.2 <i>M<sub>3</sub> metamorphic episode</i> .....	62
1.9 DISCUSSION.....	63
1.9.1 Diachronous metamorphic events or continuous tectono-thermal evolution?.....	63
1.9.2 Tectonometamorphic model.....	64
1.9.2.1 <i>Extension and deposition of Opinaca sediments</i> .....	64
1.9.2.2 <i>Compression and initial closure of the Opinaca basin:</i> <i>M<sub>1</sub>-D<sub>1</sub> tectonometamorphic episode</i> .....	67
1.9.2.3 <i>Ashuanipi formation: M<sub>2</sub> (late-M<sub>1</sub>)-D<sub>2</sub> tectonometamorphic episode</i> .....	68
1.9.2.4 <i>Terminal closing phase: M<sub>3</sub>-D<sub>3</sub> tectono-metamorphic episode</i> .....	69
1.10 COMPARISON WITH PREVIOUS STUDIES AND CONCLUSIONS.....	71

## CHAPITRE II

### LE COMPLEXE D'ASHUANIPI ET LA SOUS-PROVINCE D'OPINACA: UNE ÉVOLUTION POLYMÉTAMORPHIQUE SUR 65 MA DANS LE SUD-EST DE LA PROVINCE DU SUPÉRIEUR, QUÉBEC, CANADA.....

2.1 RÉSUMÉ.....	96
2.2 INTRODUCTION.....	98
2.3 GÉOLOGIE RÉGIONALE.....	101
2.3 ÉTUDE STRUCTURALE.....	107
2.3.1 Les contacts entre les sous-provinces.....	110
2.4 DESCRIPTION DES LITHOLOGIES ET DES ASSEMBLAGES MINÉRALOGIQUES.....	111
2.4.1 Pétrographie des xénolithes métasédimentaires.....	112
2.4.2 Pétrographie des diatexites.....	114

2.5 TEXTURES ET CHIMIE DES MINÉRAUX DES XÉNOLITHES METASÉDIMENTAIRES.....	115
2.5.1 Pétrographie et microstructures.....	116
2.5.1.1 <i>Foliation S<sub>1</sub></i> .....	116
2.5.1.2 <i>Foliation S<sub>2</sub></i> .....	117
2.5.2 Interprétation des textures.....	118
2.5.3 Chimie des minéraux.....	119
2.5.4 Résultats.....	120
2.5.4.1 <i>Orthopyroxène</i> .....	120
2.5.4.2 <i>Grenat</i> .....	121
2.5.4.3 <i>Biotite</i> .....	122
2.5.4.4 <i>Plagioclase</i> .....	122
2.6 GEOTHERMOBAROMÉTRIE ET CHEMINS P-T-t.....	123
2.6.1 Méthodes de calcul.....	123
2.6.2 Résultats des calculs P-T.....	125
2.6.2.1 <i>Épisodes métamorphiques M<sub>1</sub> et M<sub>2</sub>: assemblage à grenat - orthopyroxène - biotite - plagioclase - quartz</i> .....	125
2.7 DISCUSSION.....	127
2.7.1 M <sub>1</sub> vs M <sub>2</sub> : des événements métamorphiques diachroniques ou continus?.....	127
2.7.2 Comparaison des résultats P-T entre les parties nord et sud du Complexe d'Ashuanipi.....	129
2.7.3 Relations entre les épisodes métamorphiques M <sub>1</sub> et M <sub>3</sub> dans la Sous-province d'Opinaca et M <sub>1</sub> et M <sub>2</sub> dans le Complexe d'Ashuanipi.....	131
2.7.4 Modèle tectonique.....	134
2.7.4.1 <i>Début de la phase de compression: épisode tectonothermal M<sub>1</sub>/D<sub>1</sub></i> .....	136
2.7.4.2 <i>Mise en place des diatexites et des xénolithes du Complexe d'Ashuanipi: Épisode tectonothermal M<sub>2</sub>/D<sub>2</sub> en continuité avec M<sub>1</sub>/D<sub>1</sub></i> .....	137
2.7.4.3 <i>Fin de la phase de compression: épisode tectonothermal M<sub>3</sub>/D<sub>3</sub>; Dernière pulsion orogénique en continuité avec M<sub>1</sub></i> .....	140
2.7.5 Comparaisons avec les modèles antérieurs.....	143

### CHAPITRE III

A SAPPHIRINE-QUARTZ ASSEMBLAGE IN THE MINTO BLOCK, DOUGLAS HARBOUR DOMAIN, NORTHEASTERN SUPERIOR PROVINCE, QUEBEC, CANADA.....	169
3.1 ABSTRACT.....	170
3.2 RÉSUMÉ.....	172
3.3 INTRODUCTION.....	174
3.4 GEOLOGICAL SETTING.....	175
3.4.1 The Douglas-Harbour Domain.....	176
3.4.1.2 <i>The Troie Complex</i> .....	178
3.5 PETROGRAPHY.....	180
3.5.1 Sample selection.....	180
3.5.2 Petrographic study.....	181

3.6 MINERAL CHEMISTRY.....	183
3.6.1 Analytical method.....	183
3.6.2 Mineral chemistry.....	184
3.7 INTERPRETATION OF TEXTURES.....	186
3.7.1 Early mineral assemblages.....	187
3.7.2 Appearance of cordierite and sapphirine.....	187
3.7.3 Cordierite formation.....	188
3.7.4 Sapphirine formation.....	188
3.8 THERMOBAROMETRY.....	190
3.8.1 Sapphirine-spinel geothermometer.....	191
3.8.2 Cordierite-spinel geothermometer.....	191
3.8.3 Geothermobarometers calculated using TWEEQU.....	192
3.8.3.1 <i>P-T estimations</i> .....	193
3.9 DISCUSSION AND CONCLUSIONS.....	194
3.9.1 Comparisons with other sapphirine granulites.....	194
3.9.2 Tectonic model.....	195
<b>CONCLUSION.....</b>	<b>213</b>
<b>APPORT POUR LE DOMAINE DU MÉTAMORPHISME.....</b>	<b>213</b>
<b>APPORT POUR LE DOMAINE TECTONIQUE.....</b>	<b>216</b>
<b>APPORT AU NIVEAU DES SUBDIVISIONS DE LA PROVINCE DU SUPÉRIEUR.....</b>	<b>218</b>
<b>APPORT ÉCONOMIQUE.....</b>	<b>220</b>
<b>PERSPECTIVES POUR DES RECHERCHES ULTÉRIEURES.....</b>	<b>221</b>
 <b>APPENDICE I</b>	
<b>FIGURES COMPLÉMENTAIRES AUX CHAPITRES I ET II.....</b>	<b>224</b>
 <b>APPENDICE II</b>	
<b>TABLEAU DE LOCALISATION ET D'IDENTIFICATION DES ÉCHANTILLONS</b>	
<b>UTILISÉS POUR LA GÉOTHERMOBAROMÉTRIE.....</b>	<b>231</b>
 <b>APPENDICE III</b>	
<b>ABRÉVIATIONS DES MINÉRAUX UTILISÉS</b>	
<b>SELON KRETZ (1983).....</b>	<b>234</b>
 <b>APPENDICE IV</b>	
<b>ANALYSES MICROSONDE DES PYROXÈNES.....</b>	<b>236</b>
 <b>APPENDICE V</b>	
<b>ANALYSES MICROSONDE DES GRENATS.....</b>	<b>248</b>

<b>APPENDICE VI</b>	
<b>ANALYSES MICROSONDE DES CORDIÉRITES.....</b>	<b>258</b>
 <b>APPENDICE VII</b>	
<b>ANALYSES MICROSONDE DES BIOTITES.....</b>	<b>262</b>
 <b>APPENDICE VIII</b>	
<b>ANALYSES MICROSONDE DE LA SAPHIRINE.....</b>	<b>272</b>
 <b>APPENDICE IX</b>	
<b>ANALYSES MICROSONDE DES SPINELLES.....</b>	<b>275</b>
 <b>APPENDICE X</b>	
<b>ANALYSES MICROSONDE DES FELDSPATHS-PLAGIOCLASES.....</b>	<b>278</b>
 <b>RÉFÉRENCES.....</b>	<b>292</b>

## LISTE DES FIGURES

<b>Fig.1.</b> Localisation des feuillets SNRC 23C, 23E, 23F, 23G et 24M.....	<b>24</b>
<b>Fig. 2.</b> Localisation des régions étudiées dans la Province du Supérieur (modifiée de Percival <i>et al.</i> , 1992). En encart: carte de localisation générale de la Province du Supérieur.....	<b>25</b>
<b>Fig. 3.</b> Localisation de la région étudiée par Percival (1990, 1991b, 1994), Percival <i>et al.</i> (1992) et Percival et Girard (1988) (modifiée de Percival <i>et al.</i> , 1992).....	<b>26</b>
<b>Fig. 4.</b> Modèle de prisme d'accrétion proposé par Percival <i>et al.</i> (1992) pour l'évolution du Complexe d'Ashuanipi.....	<b>27</b>
<b>Fig. 5.</b> Modèle proposé par Percival <i>et al.</i> (2003).....	<b>28</b>
<b>Fig. 1.1..</b> Localisation of the study area (modified from Percival <i>et al.</i> , 1992).....	<b>76</b>
<b>Fig. 1.2.</b> Geological map of the study area (Fm: Formation; modified from Lamothe <i>et al.</i> , 1998, 2000). (*) See appendix II.....	<b>77</b>
<b>Fig. 1.3.</b> (a) Polymictic conglomerates (Thor Formation) at the contact of the La Grande/Opinaca subprovinces. Fragments are flattened parallel to the S <sub>1</sub> foliation and folded by F <sub>3</sub> ; (b) F <sub>3</sub> folds in granulitic metasediments in the Opinaca Subprovince; (c) S <sub>2</sub> foliation folded by F <sub>3</sub> fold in the Ashuanipi diatexites; (d) F <sub>4</sub> fold in Opinaca metasediments; (e) Mylonitized metasediments along the Dalmas Fault; (f) Mylonitized metabasalts along the Dalmas Fault; (g) Mylonitized metasediments along the Nichicun Fault; (h): Polymictic conglomerates along the Lac Vallard Fault.....	<b>78</b>

**Fig. 1.4.** Stereograms representing the different deformation fabrics in each subprovince. See text for explanations about the distribution of  $L_3$  lineations. (Contour intervals= $2\sigma$ )...82

**Fig. 1.5.** Polymetamorphic metasediments of the Hublet Group (minerals notation from Kretz, 1983; see appendix III). (a)  $M_1$ -Opx flattened in the  $S_1$  foliation and porphyroblastic  $M_3$ -Opx related to the  $D_3$  deformation event; (b)  $M_1$ -Opx folded by  $D_3$  deformation (note the  $M_3$ -Opx grains in the  $F_3$  axial plane).  $M_1$ -Opx and  $M_3$ -Opx are related to the  $M_1$  and  $M_3$  metamorphic episodes, respectively.....83

**Fig 1.6.** Electron microprobe photomicrographs (minerals notation from Kretz, 1983; see appendix III). (a to e) Textures related to the  $M_1$  metamorphic episode; (d, e) Symplectic texture in cordierite; (f to l) Textures related to the  $M_3$  metamorphic episode.....84

**Fig. 1.7.** (a to c) Major element diagrams comparing  $FeO/(FeO+MgO)$  to the  $FeO$ ,  $Al_2O_3$  and  $CaO$  contents of orthopyroxenes from the  $M_1$  ( $M_1$ -Opx) and  $M_3$  ( $M_3$ -Opx) metamorphic episodes; (d) Comparaison between  $M_1$ ,  $M_1/M_3$  and  $M_3$  orthopyroxenes.....85

**Fig. 1. 8.** Zoning profiles across  $M_1$ -Opx and  $M_3$ -Opx grains in contact with garnet (Grt) and plagioclase (Pl): (a, b)  $Fe/(Fe+Mg)$ ; (c, d) Total Al cations.....86

**Fig. 1.9.** Major element diagram comparing the  $FeO/(FeO+MgO)$  ratio to  $FeO$  content of the ( $M_1$ -Bt) and ( $M_3$ -Bt) biotites related to the  $M_1$  and  $M_3$  metamorphic episodes, respectively.....87

**Fig. 1.10.** TWEEQU thermobarometric diagrams: (a, c) Grt-Opx-Bt-Pl-Qtz assemblage of the  $M_1$  and  $M_3$  metamorphic episodes, respectively; (b) Grt-Opx-Crd-Pl-Qtz assemblage of the  $M_1$  metamorphic episode (minerals notation from Kretz, 1983; see appendix III).....88

**Fig. 1.11.** P-T results: (a)  $M_1$  metamorphic episode and (b)  $M_3$  metamorphic episode.....89



**Fig. 1.12.** P-T-t paths of (a) M1 and (b) the M3 metamorphic episodes. Delineated areas were defined using data from Figure 1.11.....90

**Fig. 1.13.** Tectono-metamorphic model (see text for explanations).....91

**Fig. 2.1.** Localisation de la région étudiée dans la Province du Supérieur (modifiée de Percival *et al.*, 1992).....150

**Fig. 2.2.** Carte géologique simplifiée de la région étudiée (Fm: Formation; échantillon récolté: lames minces utilisées pour le traitement des données par TWEEQU; modifiée de Lamothe *et al.*, 1998 et Leclair *et al.*, 1998). (\*) Voir appendice II pour détails.....151

**Fig. 2.3.** Stéréogrammes des éléments structuraux mesurés dans le Complexe d'Ashuanipi (de Cadéron *et al.*, 2002a). Voir explications dans le chapitre I pour la distribution aléatoire des linéations L<sub>3</sub>. (Intervalle entre les contours=2σ).....152

**Fig. 2.4.** (a) Foliation S<sub>2</sub> plissée par les plis P<sub>3</sub> et affectée par la foliation S<sub>4</sub> dans les diatexites de l'Ashuanipi; (b) Foliation S<sub>2</sub> plissée par les plis P<sub>3</sub> dans le Complexe d'Ashuanipi; (c) Métasédiments mylonitisés dans la faille du Lac Vallard. La foliation S<sub>1</sub> est plissée par les plis P<sub>3</sub>.....153

**Fig. 2.5.** Abréviations des minéraux selon Kretz (1983) (voir appendice III). (a, b) Xénolithes sédimentaires polymétamorphiques dans le Complexe d'Ashuanipi. Les M<sub>1</sub>-Opx, reliés à l'épisode métamorphique M<sub>1</sub>, sont aplatis selon la foliation S<sub>1</sub>. Les M<sub>2</sub>-Opx porphyroblastiques, reliés à l'épisode métamorphique M<sub>2</sub>, se retrouvent en bordure et/ou à l'intérieur des enclaves; (c) Feldspath (Kfs), grenat (Grt) et orthopyroxène syn-M<sub>2</sub> (M<sub>2</sub>-Opx) dans les diatexites à grenat localisées dans la partie nord de la région étudiée (cf. Fig. 2.2); (d) Clinopyroxène (Cpx) dans les diatexites dépourvues de grenat localisées dans la partie sud de la région étudiée (cf. Fig. 2.2). Schlierens de biotite (Bt) dans la foliation S<sub>2</sub>

plissée par les plis  $P_3$ ; (e)  $M_1$ -Opx aplati dans la foliation  $S_1$  et  $M_3$ -Opx orienté dans la foliation  $S_3$ . Cette mylonite marque le contact entre la Sous-province d'Opinaca et le Complexe d'Ashuanipi-ouest.....154

**Fig 2.6.** Photos prises à la microsonde électronique (abréviations des minéraux selon Kretz, 1983; voir appendice III). (a à c) Textures représentatives de l'épisode granulitique  $M_1$ ; (d à i) Textures représentatives de l'épisode granulitique  $M_2$ .....156

**Fig. 2.7.** (a à c) Diagrammes comparatifs des teneurs en FeO,  $Al_2O_3$ , et CaO (wt%) vs FeO/(FeO+MgO) pour les orthopyroxènes des épisodes métamorphiques  $M_1$  ( $M_1$ -Opx) et  $M_2$  ( $M_2$ -Opx).....157

**Fig. 2.8.** Diagramme comparatif des teneurs en FeO (wt%) vs FeO/(FeO+MgO) pour les biotites reliées aux épisodes métamorphiques  $M_1$  ( $M_1$ -Bt) et  $M_2$  ( $M_2$ -Bt).....158

**Fig. 2.9.** Diagrammes P-T obtenus dans TWEEQU. Assemblage à Grt-Opx-Bt-Pl-Qtz pour les épisodes métamorphiques  $M_1$  (a) et  $M_2$  (b) (abréviations des minéraux selon Kretz, 1983; voir appendice III).....159

**Fig. 2.10.** Résultats P-T pour les épisodes métamorphiques  $M_1$  (a) et  $M_2$  (b).....160

**Fig. 2.11.** Chemins P-T-t pour les épisodes métamorphiques  $M_1$  (a) et  $M_2$  (b). Limites des zones représentées (coeurs vs bordures) définies selon les résultats obtenus à la Figure 2.10.....161

**Fig. 2.12.** Diagramme comparatif des teneurs en FeO (wt%) vs FeO/(FeO+MgO) pour les orthopyroxènes reliés à l'épisode métamorphique  $M_1$  ( $M_1$ -Opx) dans le Complexe d'Ashuanipi et dans la Sous-province d'Opinaca. Les analyses des orthopyroxènes de l'Opinaca proviennent des travaux de Cadéron *et al.* (2002a; voir chapitre I).....162

**Fig. 2.13.** Diagramme comparatif des conditions P-T obtenues pour les épisodes métamorphiques M<sub>1</sub> (dans la Sous-province d'Opinaca et dans le Complexe d'Ashuanipi) et M<sub>2</sub> (dans le Complexe d'Ashuanipi) selon les résultats de Cadéron *et al.* (2002a; voir chapitre I) et la Figure 2.10 de la présente étude.....163

**Fig. 2.14.** Modèle tectonométamorphique proposé pour la région étudiée (voir texte et figures dans le chapitre I pour explications détaillées pour la période tectonique anté-M<sub>1</sub>; selon Cadéron *et al.*, 2002a). Les résultats P-T proviennent de: (a et b) la présente étude et (a et c) Cadéron *et al.* (2002a; voir chapitre I).....164

**Fig. 2.15.** Modèle simplifié de l'évolution tectonométamorphique de la région étudiée à travers un P-T-t récapitulatif des résultats obtenus par Cadéron *et al.* (2002a; voir chapitre I) et dans la présente étude pour les épisodes métamorphiques M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub> et M<sub>3</sub>.....165

**Fig. 3.1.** Localisation of the Lac Peters study area.....198

**Fig. 3.2.** Geological map of the Lac Peters area (modified from Madore *et al.* 1999). See appendix II for the localization of the sapphirine sample.....199

**Fig. 3.3.** Micrographs of textures in the sapphirine-bearing xenolith from the Troie Complex. Minerals notation according to Kretz (1983) (see appendix III). (a to c): Anhedral microcrystalline Qtz. Bt, Kfs & Sil are present. (d) Sub-circular corona of Spr around Spl + Kfs. This texture is found within the Spr + Kfs symplectites. (e) Circular corona with Spr surrounding Spl, and itself rimmed by Kfs. These textures are found in Crd porphyroblastic matrix. Note the Sil and Bt (right bottom) in Crd porphyroblast. (f) Porphyroblastic Crd in Pl porphyroblast. Spr + Kfs and/or Pl symplectitic textures are adjacent. (g) Porphyroblastic Crd enclosed in a Spr + Kfs symplectitic texture with Bt inclusions. (h) Sil porphyroblast replaced by Spr + Pl symplectitic texture. (i) Crd + Bt replaced by Spr + Kfs symplectitic textures. (j) Spr + Kfs and/or Pl symplectitic textures. Note the large presence of Bt in the

Spr + Kfs symplectites. (k) Two generations of Sil: large porphyroblastic grain with Pl inclusions (left) and sub-automorph little grains (right). (l) Destabilization of Spl = Crn + Hem. Qtz in contact with Spl rimmed by Crd and/or Spr. (m) Crn inclusions replacing Spl. (n) Crn grain replacing Spl. Crd, Kfs and Pl rimmed the Spl. (o) Bt + Spl = Crd reaction. (p) Pl and Kfs inclusions in Spl rimmed by Pl. (q) Pl and Kfs inclusions in Spl rimmed by Spr. (r) Spr + Kfs and/or Pl symplectitic textures. Pl and Kfs in inclusions in Spr. Bt relicts in Spr + Kfs symplectites. Sil is present. (s) Destabilization of Spl in Crn + Hem. Spl is rimmed by Spr.....200

**Fig. 3.4.** Compositions of calco-sodic plagioclases and K-feldspar depending of their textural associations.....202

**Fig. 3.5.** SiO<sub>2</sub> - Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - MgO - FeO 3D projection triangle from water.....203

**Fig. 3.6.** TWEEQU P-T diagram showing calculations of reactions (2), (5), (8) and (9) illustrated in Table 3.6. These reactions correspond to curves respectively noted (3 & 4), (1), (2) and (6) in the Figure.....204

**Fig. Ia.** Stéréogrammes des linéations L<sub>2</sub> dans le Complexe d'Ashuanipi (modifiée de Lamothe *et al.*, 2000).....225

**Fig. Ib.** Stéréogrammes des linéations le long des failles majeures.....226

**Fig. Ic.** (a) Pli P<sub>1</sub> déversé vers le nord-nord-ouest le long de la faille Dalmas; (b) C/S le long de la faille Dalmas. Ces structures montrent un mouvement vers le nord de la Sous-province d'Opinaca sur la Sous-province de La Grande.....227

**Fig. Id.** Feldspath asymétrique montrant des ombres de pression dans les diatexites de l'Ashuanipi le long de la faille Nichicun. L'enroulement du cristal montre un mouvement vers le sud du Complexe d'Ashuanipi sur la Sous-province d'Opinaca.....228

**Fig. Ie.** (a) Pli  $P_1$  déversé vers le sud le long de la faille du lac Vallard; (b) Ecc dans les conglomérats situés le long de la faille Vallard. Ces deux types de structures montrent un mouvement vers le sud-sud-ouest de la Sous-province d'Opinaca sur la Sous-province d'Opatica.....229

**Fig. If.** Foliations  $S_1$ - $S_3$  dans les gneiss de la Sous-province d'Opinaca. Les  $M_1$ -Opx sont replissés selon  $S_3$ . Les  $M_3$ -Opx se retrouvent dans le plan axial des plis  $P_3$ .....230

**Fig. II.** Carte de localisation des isogrades plissés identifiés dans la région étudiée et des échantillons analysés à la microsonde (voir tableau II dans l'appendice II).....232

## LISTE DES TABLEAUX

<b>Table 1.1.</b> Summary of isotopic ages for rock units of the La Grande, Opatica, Opinaca subprovinces and Ashuanipi Complex and their relationship to the inferred ages for the D <sub>1</sub> to D <sub>4</sub> deformation events affecting the study area.....	<b>92</b>
<b>Table 1.2.</b> Representative analyses of mineral samples.....	<b>93</b>
<b>Tableau 2.1.</b> Analyses représentatives d'orthopyroxènes, de grenats, de biotites et de plagioclases.....	<b>166</b>
<b>Tableau 2.2.</b> Conditions P-T obtenues pour les épisodes métamorphiques M <sub>1</sub> , M <sub>2</sub> et M <sub>3</sub> .....	<b>168</b>
<b>Table 3.1.</b> Representative analyses of sapphirine.....	<b>205</b>
<b>Table 3.2.</b> Representative analyses of biotite.....	<b>206</b>
<b>Table 3.3.</b> Representative analyses of feldspars.....	<b>207</b>
<b>Table 3.4.</b> Representative analyses of cordierite.....	<b>208</b>
<b>Table 3.5.</b> Representative analyses of spinel.....	<b>209</b>
<b>Table 3.6.</b> Local equilibria reactions related to the textures observed in Fig. 3.3.....	<b>210</b>
<b>Table 3.7.</b> Calculation of temperature conditions using sapphirine-spinel thermometer (Owen & Greenough 1991).....	<b>211</b>

<b>Table 3.8.</b> Calculation of temperature conditions using cordierite-spinel thermometer (Vielzeuf, 1983).....	<b>212</b>
<b>Tableau II.</b> Coordonnées UTM des échantillons analysés en microsonde.....	<b>233</b>
<b>Tableau</b> des abréviations des minéraux utilisés.....	<b>235</b>

# INTRODUCTION

Ce projet doctoral rassemble une vaste étude minéralogique et géothermobarométrique des assemblages de haut grade métamorphique (faciès des granulites) présents dans les roches métasédimentaires du nord-est et de l'est de la Province du Supérieur (Fig. 2).

De manière plus spécifique, des assemblages à orthopyroxène - grenat  $\pm$  cordiérite - feldspaths - biotite sont étudiés dans la Sous-province métasédimentaire d'Opinaca. Dans le Complexe d'Ashuanipi et dans le Domaine du Douglas-Harbour, ces métasédiments se retrouvent sous forme de xénolithes (ou enclaves) à l'intérieur de roches granitiques diatexitiques et de suites enderbitiques respectivement. Dans l'Ashuanipi, les xénolithes contiennent des assemblages similaires à ceux présents dans la Sous-province d'Opinaca. Dans le Domaine du Douglas-Harbour, un assemblage à saphirine - quartz a été retrouvé dans un dôme enderbitique: le Complexe de Troie.

L'étude géothermobarométrique des assemblages a permis d'établir un modèle d'évolution tectono-thermal novateur pour la partie est de la Province du Supérieur. Ce modèle englobe les sous-provinces de La Grande, d'Opatica, d'Opinaca et le Complexe d'Ashuanipi. L'assemblage à saphirine a fait l'objet d'une étude minéralogique et métamorphique détaillée.



## CONTEXTE GÉOLOGIQUE

### *L'est de la Province du Supérieur*

L'est de la Province du Supérieur rassemble les sous-provinces archéennes de La Grande, d'Opatika, d'Opinaca et le Complexe d'Ashuanipi (Fig. 2) (Card and Ciesielski, 1986; Card, 1990; Cadéron *et al.*, 1998, 1999, 2000; Leclair *et al.*, 1998; Lamothe *et al.*, 1998, 2000).

La Sous-province de La Grande a fait l'objet de plusieurs travaux à proximité de notre secteur d'étude (Sharma, 1977a, 1977b, 1978; Franconi, 1978; Gauthier *et al.*, 1996a, 1996b, 1997; Paquette and Gauthier, 1997; Goutier *et al.*, 1998; Labbé and Bélanger, 1998; Gauthier, 2000; Lamothe *et al.*, 2000). Régionalement, des gneiss tonalitiques appartenant au socle ont été identifiés et datés entre  $2794 \pm 2$  Ma et  $2788^{+4/-3}$  Ma (Goutier *et al.*, 1998) et à  $2811 \pm 2$  Ma (Mortensen et Ciesielski, 1987). Les ceintures volcano-sédimentaires comprennent des volcaniques felsiques datées à  $2732^{+8/-6}$  Ma (Goutier *et al.*, 1998). Au niveau régional, des conglomérats polymictes se retrouvent localement le long du contact entre les sous-provinces de La Grande et d'Opinaca. Paquette et Gauthier (1997) estiment l'âge minimum de déposition de ces conglomérats entre 2730 et 2720 Ma. Des intrusions de tonalite se sont mises en place entre 2716 Ma et 2709 Ma (Goutier *et al.*, 1998). Le métamorphisme évolue des schistes verts à l'amphibolite supérieur (Beausoleil, 1997; Goutier *et al.*, 1998; Labbé et Bélanger, 1998; Cadéron *et al.*, 1999, 2000; Lamothe *et al.*, 2000). Dans notre secteur, les ceintures volcano-sédimentaires sont constituées, de la base

vers le sommet: de pyroxénite, de gneiss, de formation de fer et de conglomérats polymictes (Labbé et Bélanger, 1998; Cadéron *et al.*, 1999, 2000; Lamothe *et al.*, 2000). Ces conglomérats polymictes pourraient se corréler stratigraphiquement à ceux observés par Paquette et Gauthier (1997). On retrouve également des paragneiss et des metabasites. Des tonalites montrent un âge de cristallisation de  $2704 \pm 2$  Ma (Parent, 1998; Lamothe *et al.*, 2000). Dans notre secteur, la Sous-province de La Grande est métamorphisée au faciès amphibolite localement rétro-morphisée au faciès des schistes verts (Cadéron *et al.*, 1999, 2000).

Leclair *et al.* (1998) ont cartographié et délimité un nouveau domaine géologique pour la Province du Supérieur: le Domaine de Caniapiscou localisé dans le feuillet 23F (Fig. 1). Il est caractérisé par des intrusions de granitoïdes à hornblende-biotite qui coupent des assemblages volcanosédimentaires. La zone de déformation de Guichen sépare le Domaine de Caniapiscou du Complexe d'Ashuanipi. Les séries volcanosédimentaires se composent de séquences métavolcaniques bimodales et de paragneiss. La partie est du Domaine de Caniapiscou est caractérisée par la présence d'une ceinture de roches métavolcaniques bimodales appartenant à la Suite de Raynouard. Un échantillon de rhyolite, prélevé dans cette ceinture composée essentiellement de basaltes coussinés, donne un âge de  $2707 \pm 5$  Ma (Leclair *et al.*, 1998). Les roches mafiques contiennent des assemblages métamorphiques caractéristiques du faciès des amphibolites (Leclair *et al.*, 1998). La Suite de Joubert également décrite dans les sous-provinces de La Grande et d'Opinaca, rassemble l'ensemble des roches intrusives tonalitiques datée à  $2704 \pm 2$  Ma. La Suite de Gamart

composée de monzogranite syn à tardi-tectoniques datée à 2647  $\pm$  2 Ma (Parent, 1998; Leclair *et al.*, 1998) représente la lithologie la plus jeune du Domaine de Caniapiscau.

Longtemps définie comme une sous-province métasédimentaire (Card et Ciesielski, 1986; Card, 1990), l'Opatica a été redéfinie comme une sous-province à dominante volcano-plutonique (Benn *et al.*, 1992; Card et King, 1992; Sawyer et Benn, 1993; Hocq, 1994; Davis *et al.*, 1994, 1995; Lamothe *et al.*, 1998). À l'ouest de notre secteur d'étude, dans la région de Matagami, des intrusions tonalitiques montrent des âges qui s'étalent de 2825  $\pm$  3 Ma à 2702  $\pm$  3 Ma (Davis *et al.*, 1994, 1995). Dans cette même portion de l'Opatica, le magmatisme granitique s'étale de 2690  $\pm$  2 Ma à 2678  $\pm$  2 Ma (Davis *et al.*, 1995). Dans notre secteur, des tonalites syn-tectoniques à l'extrémité orientale de l'Opatica ont donné des âges de 2701 Ma et 2695 Ma (Woodicka, 2000). Le métamorphisme a atteint les conditions du faciès amphibolite (Sawyer et Benn, 1993; Lamothe *et al.*, 1998). Plusieurs pics métamorphiques montrent des âges qui s'étalent de 2690 Ma à 2680 Ma et de 2665 Ma à 2640 Ma (Davis *et al.*, 1995).

L'Opinaca n'a fait l'objet que de quelques travaux et reste la moins connue (Franconi, 1978; Fouques et Schumaker, 1979; Hocq, 1985; Gauthier *et al.*, 1996b; Simard et Gosselin 1998). Les travaux effectués par le Ministère des Ressources naturelles du Québec a permis d'élargir sa reconnaissance géologique vers l'est (Lamothe *et al.*, 1998; Leclair *et al.*, 1998; Cadéron *et al.*, 1998, 1999, 2000; Lamothe *et al.*, 2000). Gauthier et al. (1997) introduisent le terme de 'Groupe de Rossignol-Laguiche' pour rassembler l'ensemble des roches métasédimentaires de la partie nord de la Sous-province d'Opinaca. Plusieurs auteurs ont proposé que cette sous-province représente l'équivalent latéral de la Sous-province

métasédimentaire du Quético située en Ontario, dans la partie ouest de la Province du Supérieur (Fig. 2). Des zircons détritiques provenant des métasédiments de la Sous-province du Quético ont donné des âges variant de >3000 Ma à 2698 Ma (Davis et al., 1990; Percival et Sullivan, 1988). Dans notre région, le Groupe de Hublet rassemble l'ensemble des roches métasédimentaires et les lambeaux de ceintures volcaniques felsiques et mafiques à ultramafiques qui témoignent d'un volcanisme bimodal. Régionalement, le Groupe de Hublet est un équivalent latéral du Groupe de Rossignol-Laguiche. L'épaisse unité de métasédiments détritiques compose la Formation de Mercator dont l'âge maximal de déposition semble être plus vieux que 2730 Ma (Cadéron *et al.*, 1999, 2000). En effet, Percival *et al.* (2003) estiment l'âge de mise en place de la Suite de Desliens, composée d'adakites, entre 2725 et 2723 Ma. Or, cette suite est intrusive dans les métasédiments de la Formation de Mercator qui est donc antérieure au Desliens. Les métasédiments de l'Opinaca montrent un polymétamorphisme au faciès des granulites. Le chapitre I de la thèse présente une étude structurale, minéralogique et géothermobarométrique détaillée de ces métasédiments et propose un modèle d'évolution tectono-métamorphique de ces roches granulitiques. De nombreuses intrusions syn à post-tectoniques recoupent ces lithologies. Des intrusions précoces de métatonalite, redéfinies comme adakites par Percival *et al.* (2003), montrent des âges de cristallisation de 2723-2725 Ma. Des tonalites et des intrusions granitiques porphyriques sont datées à  $2704 \pm 2$  Ma et à  $2642^{+9}_{-5}$  Ma -  $2638 \pm 2$  Ma respectivement (David et Parent, 1997; Leclair *et al.*, 1998; Parent, 1998). La Suite de Viau, datée à  $2571 \pm 2$  Ma (David et Parent, 1997) et composée de monzogranite à fluorine

et de syénite tardi-tectoniques, représente l'événement intrusif le plus jeune dans la Sous-province d'Opinaca et dans la Province du Supérieur.

Le Complexe d'Ashuanipi est composé essentiellement de diatexites et se subdivise en deux parties (Ashuanipi-est et Ashuanipi-ouest) selon la nature des enclaves présentes dans les diatexites issues de la fusion partielle de protholites plus anciens. Il se compose également de lambeaux de ceintures métasédimentaires et volcaniques et de nombreuses intrusions syn à post-tectoniques (Eade, 1966; Fahrig, 1967; Sharma et Dubé, 1980; Lapointe, 1985; Percival et Girard, 1988; Lapointe, 1989; Percival, 1991a, 1993, 1994; Chevé et Brouillette, 1995; James, 1997; Lamothe *et al.*, 1998; Leclair *et al.*, 1998; Cadéron *et al.*, 1998, 1999, 2000; Lamothe *et al.*, 2000). Les unités les plus anciennes observées dans le complexe sont des paragneiss migmatitiques dont le protolithe serait un grauwacke déposé il y a environ 2700 Ma (Mortensen et Percival, 1987; Percival *et al.*, 1992). Le chapitre II de la thèse présente une étude tectono-métamorphique détaillée de ces xénolithes métasédimentaires. Un échantillon de lave felsique prélevé dans une méga-enclave volcanosédimentaire au sein de l'Ashuanipi a donné un âge de  $2711 \pm 7/-5$  Ma (David et Parent, 1997; Leclair *et al.*, 1998). L'âge de mise en place des diatexites s'étale de 2680 Ma à 2650 Ma (Percival, 1987, 1991a, 1993, 1994; Percival *et al.*, 1992; Chevé et Brouillette, 1995; James, 1997; Leclair *et al.*, 1998; Parent, 1998). Des âges s'étalant de 2670 Ma à 2640 Ma, obtenus sur des monazites, montrent que le déclin thermique se poursuit sur 30 Ma (Mortensen et Percival, 1987; Percival, 1990; Chevé et Brouillette, 1995; David et Parent, 1997; Leclair *et al.*, 1998). L'Ashuanipi est injectée par un cortège d'intrusions de monzogranite syntectoniques datées à  $2647 \pm 2$  Ma (Parent, 1998; Leclair *et al.*, 1998). La

Suite de Viau, présente également dans la Sous-province d'Opinaca et datée à  $2571 \pm 2$  Ma (David et Parent, 1997), représente la dernière phase intrusive dans l'Ashuanipi.

*En général, les structures primaires ( $S_0$ ) sont extrêmement rares dans la région cartographiée. Elles sont largement oblitérées par la déformation polyphasée et par le polymétamorphisme. Les structures  $S_0$  les mieux préservées se retrouvent dans les laves en coussins des métavolcanites. Le litage compositionnel des paragneiss et de certaines formations de fer est interprété comme un litage sédimentaire primaire. Localement, ce type de litage dans les gneiss mafiques, la métatonalite et la métapyroxénite, pourrait représenter une foliation ignée primaire (Leclair et al., 1998).*

Le Complexe d'Ashuanipi, dont la mise en place est la plus récente, a servi de référence pour caractériser chaque période de déformation et pour les replacer dans le temps les unes par rapport aux autres. Dans la région étudiée, les sous-provinces d'Opatoca, et d'Opinaca, sont affectées par les déformations  $D_1$  et  $D_3$  (Lamothe et al., 1998; Leclair et al., 1998). La déformation majeure  $D_1$  affecte les ceintures volcano-sédimentaires ainsi que les intrusions tonalitiques. Le Complexe d'Ashuanipi est marqué par les déformations  $D_2$  et  $D_3$  (Lamothe et al., 1998, 2000; Cadéron et al., 1999, 2000, 2002). Les enclaves présentes dans les diatexites sont affectées par une foliation pénétrative  $S_1$  et s'orientent selon la foliation  $S_2$  typique des diatexites (Lamothe et al., 1998; Leclair et al., 1998).

À l'échelle de la carte, la foliation  $S_1$  montre une réorientation est-ouest avec un pendage faible à modéré vers le nord (Lamothe et al., 1998). La déformation  $D_1$  est soulignée par des plis  $F_1$  isoclinaux plongeant vers l'est. Dans l'Ashuanipi, la déformation  $D_2$  est caractérisée par des plis isoclinaux  $F_2$  et des axes plongeant faiblement vers le nord-

est avec un déversement vers le sud. La déformation  $D_2$  correspond à la mise en place syn-tectonique des diatexites de l'Ashuanipi. Une déformation  $D_3$  affecte toutes les lithologies des sous-provinces. Les plis  $F_3$  replissent  $S_1$  et/ou  $S_2$  et plongent vers l'E-NE. Ils sont déversés vers le sud avec des traces axiales subméridionales. Une déformation  $D_4$  forme des plis de grandes amplitudes de plan axial N-S. Une déformation cassante tardive semble être reliée à l'orogène grenvillienne et entraîne de grands accidents cassants d'orientation NO-SE à NE-SO. La série de failles orientées NE-SO a imposé un contrôle structural sur la mise en place de plusieurs dykes de diabase (Leclair *et al.*, 1998).

### ***Le nord-est de la Province du Supérieur***

L'échantillon à saphirine étudié dans ce projet se situe dans le NE de la Province du Supérieur (région du Lac Peters), dans la Sous-province de Minto (Fig. 2).

La Sous-province de Minto est constituée de roches archéennes essentiellement plutoniques et gneissiques dans lesquelles se trouvent des sillons volcano-sédimentaires. C'est le terrain de haut-grade le plus étendu de la Province du Supérieur (Percival *et al.*, 1992). Les roches sont typiquement métamorphisées au faciès des amphibolites et des granulites. Les grands ensembles lithologiques de la sous-province montrent une orientation N-NO bien marquée sur la carte régionale du gradient et du champ total du magnétisme. La Sous-province de Minto est bordée par des roches paléoprotérozoïques appartenant, du côté E, à la Fosse du Labrador, et du côté N, à la Fosse de l'Ungava (Fig. 2).

Une subdivision provisoire de la Sous-province de Minto en quatre domaines lithotectoniques a été proposée par Percival *et al.* (1990, 1991), suite à leurs travaux de reconnaissance le long de la rivière aux Feuilles. Des travaux subséquents ont porté cette subdivision à six, puis à neuf domaines (Percival *et al.*, 1992, 1997b). L'échantillon à saphirine - quartz étudié dans le chapitre III de la thèse, provient du Complexe de Troie situé dans le Domaine du Douglas-Harbour limité au sud et à l'ouest par les granodiorites et les granites du Domaine d'Utsalik (Madore *et al.*, 1999). Vers l'est, des klippes de roches protérozoïques similaires à celles de la Fosse du Labrador reposent structuralement sur les roches archéennes. Le Domaine de Douglas-Harbour est composé des complexes de Troie, de Qimussinguat et de Faribault-Thury.

Les complexes de Troie et de Qimussinguat dessinent des massifs de forme ovoïde à forte signature magnétique. Ces complexes sont essentiellement composés d'enderbites à pyroxène + magnétite + biotite (tonalites à hypersthène /trondhjemitites). Une enderbite du Complexe de Troie montre des âges U-Pb sur zircon de  $2740 \pm 11/-8$  Ma (cristallisation), et sur monazite (métamorphique) de  $2707 \pm 3$  Ma (Madore *et al.*, 1999). Percival *et al.* (2001) obtient un âge U-Pb sur zircon de cristallisation de  $2726 \pm 8$  Ma. Une tonalite du Complexe de Qimussinguat a donné un âge U-Pb sur zircon entre 2729 et 2733 Ma. La mise en place de ces deux complexes semble donc synchrone. Les complexes de Troie et de Qimussinguat contiennent des lambeaux de ceintures volcano-sédimentaires métamorphisées au faciès des granulites. Les métavolcanites se composent de gabbro à gabbro-norite transformés en gneiss mafiques. Les xénolithes métasédimentaires se composent de formation de fer, de marbres et de métapélites. La saphirine a été retrouvée dans un échantillon



métasédimentaire situé dans une brèche polygénique localisée au coeur du Complexe de Troie.

Le Complexe de Faribault-Thury se compose essentiellement de tonalite et de trondhémite. Percival *et al.* (2001) obtiennent un âge de cristallisation U-Pb de  $2869 \pm 6$  Ma pour l'ouest du complexe. La forte empreinte de l'orogénèse Protérozoïque sur la partie est du Faribault-Thury entraîne des âges variés qui s'étalent de 2610 à 2810 Ma (Madore *et al.* 1999). Ce complexe contient des lambeaux de ceintures métavolcaniques au faciès des amphibolites.

## PROBLÉMATIQUE

### *L'est de la Province du Supérieur*

#### **Modèles antérieurs**

Un modèle tectonique basé sur l'étude du Complexe d'Ashuanipi et des lambeaux et enclaves métasédimentaires présentes dans les intrusions diatexitiques de ce complexe, a été proposé par Percival (1990, 1991b, 1994) et Percival *et al.* (1992). Ces auteurs ont travaillé au NE de notre région d'étude (Fig. 3). Ils montrent que l'Ashuanipi représente un prisme d'accrétion formé entre 2700 et 2690 Ma suite à une subduction à simple vergence selon un mouvement du sud vers le nord. Cette accrétion aurait entraîné le dépôt et la déformation de grauweekes dans un prisme à l'avant d'un arc (Fig. 4). Percival (1991b) ne mentionne qu'une seule période au faciès des granulites dans les lambeaux de ceintures

métasédimentaires retrouvés dans les diatexites de l'Ashuanipi. Cet auteur propose des conditions de pressions de 4.7 à 6.6 kbar pour des températures de 700-815°C dans les radeaux de ceintures et d'enclaves métasédimentaires retrouvés dans les diatexites de l'Ashuanipi. Ce modèle s'inspire directement de celui proposé pour l'interprétation de la Sous-province du Quético par Percival et Williams (1989) à l'ouest de la Province du Supérieur (Fig. 2).

Les nouveaux travaux de Percival *et al.* (2003), basés uniquement sur des nouvelles datations au SHRIMP, remettent en question le modèle de prisme d'accrétion proposé antérieurement pour la même région (Fig. 3). Cette étude est basée sur l'interprétation géochimique de la Suite de Desliens intrusive dans l'Ashuanipi et composée de métatonalites et de pyroxénites. Cette Suite avait été datée à 2692  $\pm$  9 Ma par Mortensen et Percival (1987). Les nouvelles datations effectuées en 2003 par Percival *et al.* montrent que cette Suite est encore plus ancienne et donne des âges de 2723 à 2725 Ma. De plus, les analyses géochimiques effectuées par Percival *et al.* (2003) caractérisent les métatonalites de la Suite de Desliens en tant qu'adakites. Ces auteurs proposent alors un modèle de subduction vers le NO relié à la présence d'une ride océanique active située à l'est de l'Ashuanipi. Le magmatisme adakitique est alors relié à la délamination de la plaque subductante (Fig. 5). Dans ce nouveau modèle, les auteurs interprètent le Complexe d'Ashuanipi comme un bassin marginal d'arrière-arc. Cependant, ces travaux ne contiennent aucune étude métamorphique ni d'évidences structurales.

Plusieurs interprétations ont été proposées pour la nature du contact entre les sous-provinces de La Grande et d'Opinaca. Selon Gauthier *et al.* (1996a, 1996b), ce contact

correspondrait à une faille inverse qui aurait fait chevaucher les gneiss de La Grande sur les roches métasédimentaires de l'Opinaca. Pour d'autres auteurs, ce contact correspondrait à une discordance marquée par la présence d'un conglomérat polymicte (Chartrand et Gauthier, 1995; Gauthier *et al.*, 1997). Au niveau du lac Lichteneger, Simard et Gosselin (1998) placent ce contact à partir du relevé géophysique sans avoir pu l'observer sur le terrain.

### **Nouvelles évidences de terrain et lacunes des modèles antérieurs**

Les campagnes de cartographie effectuées par le Ministère des Ressources naturelles pendant trois étés (1996 à 1998) au sein du projet Moyen-Nord, ont permis de mettre à jour de nouvelles observations structurales et métamorphiques cadrant difficilement au sein des modèles pré-existants. Les observations faites sur les affleurements cartographiés ont montré que les lithologies de la Sous-province d'Opinaca avaient subi au moins trois épisodes métamorphiques reliés à une histoire structurale polyphasée. De plus, la cartographie des diatexites du Complexe d'Ashuanipi semblait montrer que les enclaves métasédimentaires présentes dans ces intrusions granitoïdes provenaient de la Sous-province d'Opinaca. Ces xénolithes métasédimentaires montraient également deux périodes métamorphiques reliées à deux déformations distinctes. Les analyses pétrographiques et chimiques des assemblages métamorphiques effectuées sur les métasédiments de la Formation de Mercator (dans l'Opinaca) et sur les enclaves métasédimentaires des diatexites de l'Ashuanipi sont venues confirmer ces observations. En effet, il est possible de distinguer trois assemblages métamorphiques localisés dans des habitus structuraux

différents au sein de ces métasédiments. Dans l'Opinaca, un premier assemblage à orthopyroxène +/- cordiérite + grenat + biotite + feldspath + quartz orienté dans une foliation  $S_1$  caractérise un épisode métamorphique  $M_1$ . Cet épisode métamorphique se retrouve aussi dans les xénolithes métasédimentaires de l'Ashuanipi où il est caractérisé par un assemblage à orthopyroxène + grenat + biotite + feldspath + quartz aligné dans  $S_1$ . Un second épisode métamorphique  $M_2$  s'observe uniquement dans les xénolithes métasédimentaires des diatexites de l'Ashuanipi. Il est marqué par un assemblage à orthopyroxène + grenat + biotite + feldspath + quartz, identique à  $M_1$ , dont il se distingue par son orientation dans une foliation  $S_2$  à angle avec  $S_1$  et par une variation dans la chimie des orthopyroxènes. Cet assemblage se retrouve autour des enclaves métasédimentaires, le long du contact entre les enclaves et les diatexites. Enfin, un troisième épisode métamorphique  $M_3$  se retrouve dans les métasédiments de la Sous-province d'Opinaca. Il est caractérisé par un assemblage à orthopyroxène + grenat + biotite + feldspath + quartz orienté dans une foliation  $S_3$  et par une chimie des orthopyroxènes qui diffèrent de celle des  $M_1$ -Opx et  $M_2$ -Opx.

Ces observations ne concordent pas avec les observations et les analyses pétrostructurales effectuées pour l'établissement du modèle de Percival (1990, 1991a, 1994), Percival *et al.* (1992) et Percival *et al.* (2003). Les lacunes des modèles antérieurs reposent sur les faits suivants:

(1) Ces auteurs font référence à l'Ashuanipi mais ne mentionnent jamais la Sous-province d'Opinaca. Ils ne semblent donc pas reconnaître que les xénolithes métasédimentaires de l'Ashuanipi proviennent de la Sous-province d'Opinaca. Cependant,

ces deux grands ensembles géologiques sont lithologiquement reliés et l'évolution tectono-thermale de l'Ashuanipi fait partie intégrante de celle de l'Opinaca;

(2) Les travaux antérieurs mentionnent deux périodes de déformation majeures ( $D_1$  et  $D_2$ ) et une déformation  $D_3$  tardive marquée par de grands plis ouverts. Ces déformations ne concordent pas avec les nouvelles observations structurales effectuées par le MRNQ. La chronologie relative des déformations diffère et il devient difficile de corréler les observations antérieures (Percival et Girard, 1988) avec les nouvelles évidences récoltées par le MRNQ. Les patrons structuraux évoluent du nord vers le sud. Dès lors, le modèle tectonique proposé antérieurement ne peut s'appliquer dans la région étudiée dans cette thèse;

(3) Ces auteurs ne mentionnent qu'une seule période métamorphique relié à la mise en place des diatexites de l'Ashuanipi. Cette période métamorphique pourrait donc représenter l'épisode métamorphique  $M_2$  identifié dans la présente étude. Les épisodes métamorphiques  $M_1$  et  $M_3$  ne sont pas mentionnés dans les travaux antérieurs. De plus, les intrusions de monzogranites responsables de l'épisode métamorphique  $M_3$  caractérisé dans la présente étude, ne semblent pas avoir été identifiées dans les travaux antérieurs;

(4) La cartographie effectuée au sein de ce projet de doctorat a permis la reconnaissance de grandes failles majeures délimitant les grands ensembles géologiques de la région. Deux failles syn- $D_1$ , les failles Dalmas et du lac Vallard, montrent respectivement un chevauchement de la Sous-province d'Opinaca sur la Sous-province de La Grande au nord et sur la Sous-province de l'Opatica au sud. Une autre faille syn- $D_2$ , la faille Nichicun, marque le chevauchement du Complexe d'Ashuanipi sur la Sous-province d'Opinaca. Le

modèle de Percival (1990, 1991a, 1994) et Percival *et al.* (1992) ne mentionne pas l'existence de ces grandes failles majeures. Il devient donc difficile de relier ces structures au sein d'un leur modèle;

(5) Les conditions P-T proposées antérieurement par Percival (1991b; 4.7 à 6.6 kbar et 700 - 815°C) dans les ceintures métasédimentaires en enclaves dans les diatexites de l'Ashuanipi, ne peuvent expliquer la genèse de ces roches granitoïdes. En effet, les diatexites de l'Ashuanipi proviennent de la fusion des métasédiments et des conditions de températures  $> 900^{\circ}\text{C}$  sont requises pour engendrer la production d'un tel volume de diatexites. Dès lors, une nouvelle étude géothermobarométrique de ces métasédiments était requise afin de déterminer les conditions extrêmes ayant engendrer la genèse des diatexites de l'Ashuanipi;

(6) L'Ashuanipi ne semble pas contenir d'évidences de croûte océanique. Pourtant, on devrait possiblement retrouver des morceaux de croûte océanique obductés au sein d'un modèle de prisme d'accrétion tel que proposé antérieurement.

Ces nouvelles observations demandaient donc de revoir l'évolution tectono-thermale de la Sous-province d'Opinaca et du Complexe d'Ashuanipi. Le modèle de prisme d'accrétion proposé antérieurement par Percival (1990, 1991a, 1994) et Percival *et al.* (1992) est inspiré de celui proposé pour l'interprétation de la Sous-province du Quético dans l'ouest de la Province du Supérieur par Percival et Williams (1989). Or, bien que le Quético contienne également des diatexites reliés à une fusion élevée, elles restent limitées et localisées et il n'existe rien de comparable à l'Ashuanipi dans l'ouest de la Province du Supérieur.

## ***Le nord-est de la Province du Supérieur***

### **Études antérieures**

Percival et Skulski (2000) et Bédard (2002) obtiennent des pressions maximales de 8.4 kbar pour la géobarométrie des lithologies du nord-est de la Province du Supérieur. Percival *et al.* (1992, 1994, 2001) proposent alors un modèle basé sur la tectonique horizontale (subductions successives) pour l'évolution tectono-thermale de cette partie du Supérieur.

Sur la carte magnétique régionale, les complexes de Troie et de Qimussinguat dessinent des massifs circulaires plurikilométriques (Madore *et al.*, 1999). La transition entre le Complexe de Troie et celui de Faribault-Thury est respectivement marquée par le passage d'un massif enderbitique à des intrusions de tonalite. En terme de roches supracrustales, cette transition correspond au passage du faciès granulite (Troie) au faciès des amphibolites (Faribault-Thury) (Bédard, 2002). De plus, une zone de cisaillement majeure (zone de cisaillement de Thury) sépare le Complexe de Qimussinguat au nord du Complexe de Troie au sud. Dès lors, Bédard (2002) suggère que le métamorphisme des roches supracrustales n'est pas relié à un événement orogénique (tectonique horizontale) comme proposé par Percival *et al.* (1992, 1994) et Percival et Skulski (2000) mais plutôt que les plutons felsiques sont responsables du transport de la chaleur et donc du métamorphisme (tectonique verticale). Bédard (2002) explique l'apparition du faciès amphibolite dans le Complexe de Faribault-Thury par la mise en place d'intrusions

‘humides’ relativement chaudes tandis que le faciès granulitique serait relié à la mise en place d’intrusions anhydres de haute température.

### **Nouvelles observations et lacunes des études antérieures**

Un assemblage à saphirine-quartz a été retrouvé dans un xénolithe métasédimentaire se retrouvant dans le complexe enderbitique de Troie. Ce xénolithe montre donc le même habitus lithologique que les enclaves métasédimentaires du Complexe d’Ashuanipi. Or, aucun modèle de tectonique verticale n’a été proposé pour expliquer la mise en place des diatexites de l’Ashuanipi. De plus, les assemblages à saphirine-quartz témoignent de conditions de haute à ultra-haute température et de pression élevée. La pression de 8.4 kbar retrouvée par Percival et Skulski (2000) et Bédard (2002) peut difficilement expliquer la présence de cet assemblage.

De plus, la carte magnétique régionale et le patron structural semblent montrer une continuité des lithologies de l’Ashuanipi vers le nord-est dans le Bloc du Minto, au contact avec la Fosse du Labrador. Dès lors, une comparaison entre les xénolithes métasédimentaires retrouvés dans les diatexites de l’Ashuanipi et ceux retrouvés dans le Douglas-Harbour pouvait permettre de vérifier cette hypothèse.

Enfin, les textures observées lors de l’étude pétrographique des assemblages à saphirine-quartz semblent témoigner de conditions géothermobarométriques reliées à une tectonique différente de celle proposée pour le Complexe d’Ashuanipi. Dès lors, des hypothèses concernant la mise en place des complexes de Troie et de Qimussinguat peuvent être proposées pour expliquer la conservation des textures métamorphiques observées afin



d'éclaircir le dilemme existant entre les modèles de tectonique horizontale (Percival *et al.*, 1992, 1994; Percival et Skulski, 2000) vs verticale (Bédard, 2002).

## **OBJECTIFS DE TRAVAIL**

### ***L'est de la Province du Supérieur***

L'objectif principal de cette thèse est de déterminer l'évolution métamorphique de la Sous-province d'Opinaca en se basant sur l'étude des différents assemblages métamorphiques retrouvés dans des habitus structuraux distincts. À partir de la caractérisation des épisodes métamorphiques par la détermination des conditions géothermobarométriques, l'objectif essentiel de cette thèse est de retracer l'histoire polymétamorphique de cette sous-province. Un modèle structural hypothétique sera alors proposé mais sans toutefois porter une ombre sur la contribution principale de ce projet doctoral qui vise avant tout à déterminer les conditions P-T de chaque assemblage métamorphique identifié au sein de l'analyse chimique et pétrostructurale d'échantillons de métasédiments appartenant à l'Opinaca. Cette étude vise également à comprendre les relations possibles des xénolithes métasédimentaires de l'Ashuanipi avec les métasédiments de l'Opinaca. Cette étude permettra de vérifier si la genèse de ces xénolithes correspond à un événement métamorphique majeur dans la Sous-province d'Opinaca ayant engendré une fusion intense justifiant l'origine des diatexites de l'Ashuanipi. L'objectif ici est donc de déterminer le fil conducteur qui existe entre ces deux grands ensembles géologiques à partir

de la reconstruction de l'évolution métamorphique d'unités lithologiques métasédimentaires semblables retrouvées dans l'Opinaca et dans l'Ashuanipi.

### ***Le nord-est de la Province du Supérieur***

L'étude de l'assemblage à saphirine-quartz a pour objectif principal de comparer les conditions géothermobarométriques des xénolithes métasédimentaires du Complexe de Troie dans le nord-est de la Province du Supérieur avec les xénolithes métasédimentaires de l'Ashuanipi situés à l'est du Supérieur. Ceci afin de vérifier si: 1)- les xénolithes métasédimentaires du nord-est et de l'est de la Province du Supérieur montrent des conditions géothermobarométriques identiques; 2)- si ces xénolithes peuvent être reliés à un même modèle tectonique de mise en place; et 3)- si les unités lithologiques de l'Ashuanipi se poursuivent jusque dans le nord-est du craton du Supérieur.

De plus, l'analyse géothermobarométrique a pour objectif d'éclaircir le dilemme existant entre l'école de la tectonique horizontale (Percival *et al.*, 1992, 1994; Percival et Skulski, 2000) vs celle de la tectonique verticale (Bédard, 2002).

### **APERÇU SUR LES MÉTHODES DE TRAVAIL**

Les chapitres I et II rassemblent l'étude des métasédiments de la Sous-province d'Opinaca et des xénolithes métasédimentaires de l'Ashuanipi. Les études effectuées sont basées sur (1) des échantillons récoltés de façon ponctuelle sur des affleurements

cartographiés au cours des étés 1997 et 1998, (2) des mesures d'éléments structuraux, (3) l'étude pétrographique et pétro-structurale détaillées des assemblages métamorphiques, (4) l'analyse chimique en microsonde (université McGill) des minéraux indicateurs des faciès métamorphiques (orthopyroxène - grenat - cordiérite - feldspath - biotite; plus de 2400 points ont été analysés à travers les différents minéraux, voir appendices V à VIII et XI), (5) le calcul des conditions géothermobarométriques (P-T) par le logiciel TWEEQU (Thermobarometry With Estimation of EQUilibration state) de Berman (1988, 1991), (6) et le traçage des chemins P-T-t à partir des résultats P-T obtenus et des datations métamorphiques effectuées par le GEOTOP (UQÀM) et par la Commission Géologique du Canada à Ottawa.

Le chapitre III est basé sur (1) des échantillons de métasédiments provenant du nord-est de la Province du Supérieur du Québec (récoltés par le MRNQ au sein du projet Grand-Nord), (2) l'étude pétrographique détaillée des assemblages métamorphiques, (3) l'étude chimique en microsonde (université McGill) des minéraux indicateurs (saphirine - cordiérite - spinel - feldspath - biotite; plus de 200 points ont été analysés à travers les minéraux, voir appendices VII à XI), et (4) le calcul des conditions géothermobarométriques (P-T) par le logiciel TWEEQU (Thermobarometry With Estimation of EQUilibration state) de Berman (1988, 1991), et par des thermomètres basés sur les échanges Fe-Mg tels que saphirine-spinel calibré par Owen et Greenough (1991) et spinel-cordiérite calibré par Vielzeuf (1983).

## APERÇU SUR LES CHAPITRES DE LA THÈSE

Les résultats sont exposés à l'intérieur des trois chapitres de la thèse, lesquels correspondent à autant de manuscrits d'articles. L'article 1 et 3 (chapitres I et III) ont été soumis à des revues avec comité de lecture, tandis que l'article 2 (chapitre II) sera soumis sous peu.

Le chapitre I présente l'étude minéralogique et géothermobarométrique des métasédiments granulitiques de la Sous-province d'Opinaca. Ce chapitre permet de caractériser les épisodes métamorphiques  $M_1$  et  $M_3$  par le calcul des conditions P-T permettant de tracer des chemins P-T-t caractéristiques. Couplés à l'étude structurale régionale, les résultats permettent de proposer un modèle tectonique hypothétique caractérisant un bassin marginal archéen évoluant à travers des périodes tectono-thermales pulsatives. Cette tectonique novatrice amène donc à la révision des modèles antérieurs.

Le chapitre II complète le modèle proposé pour la Sous-province d'Opinaca par l'étude des xénolithes métasédimentaires présents dans le Complexe d'Ashuanipi. Ce chapitre permet de caractériser les épisodes métamorphiques  $M_1$  et  $M_2$  par le calcul des conditions P-T permettant de tracer des chemins P-T-t caractéristiques. Cette étude montre que l'Ashuanipi représente une période tectono-métamorphique à part entière dans l'évolution tectonique de la région. Les conclusions enrichissent et résument le modèle tectonique régional proposé dans le chapitre I. Cet article éclaire les relations qui existent entre les différentes entités géologiques existant dans l'est de la Province du Supérieur.

Le troisième article (chapitre III) concerne surtout le domaine de la minéralogie et de la pétrologie. La richesse et la variété des textures métamorphiques observées entraînent une étude pétrologique détaillée. L'évolution chimique et texturale de la saphirine et des autres minéraux sont explicitées. Des conditions géothermobarométriques ont été calculées et amènent à des conclusions enrichissantes pour retracer le cadre tectonique favorable à la cristallisation de tels assemblages.

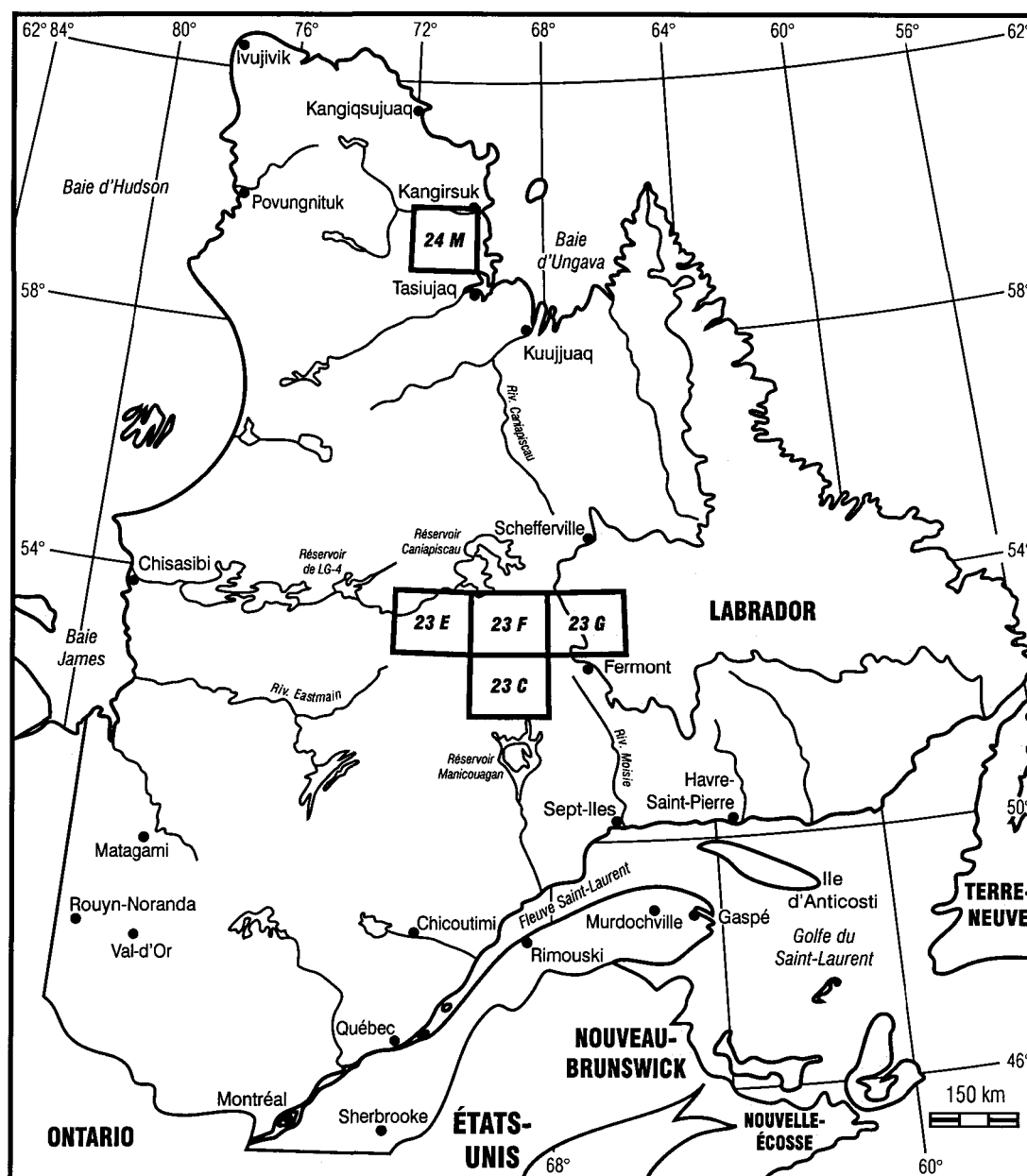
### **CONTRIBUTION DE L'ÉTUDIANTE DANS L'ÉLABORATION DE LA THÈSE**

Cette thèse se présente donc sous forme de trois articles à auteurs multiples. L'auteure tient donc ici à souligner que ces articles contiennent essentiellement les résultats issus de la recherche menée par l'étudiante. Sans minimiser l'importance des co-auteurs, ces articles proviennent essentiellement des travaux de recherche menés par l'étudiante.

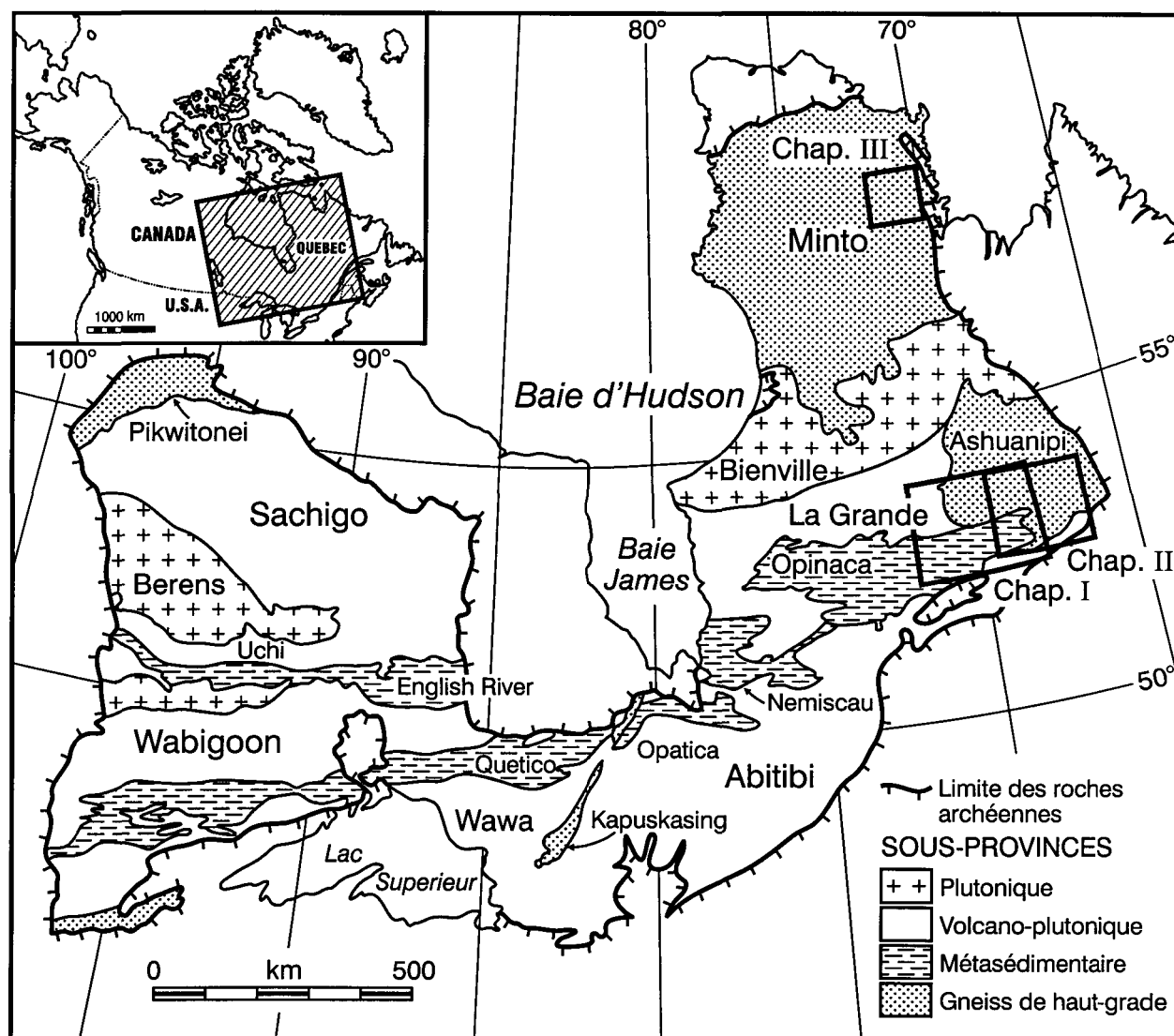
Le Dr Normand Goulet a participé à la récolte des données sur le terrain et a contribué au financement de ce projet. De plus, son aide a été importante dans l'interprétation des données structurales et dans l'élaboration du modèle tectonique proposé dans les chapitres I et II de la thèse. Le Dr Walter E. Jr. Trzcienski a apporté une aide précieuse à ce projet pour la critique des résultats thermobarométriques et pour son soutien technique à la microsonde électronique (université McGill) dans les trois chapitres de la thèse. Le Ministère des Ressources Naturelles du Québec, représenté par Mr Daniel Lamothe, a financé la plus grande partie de ce projet (chapitres I et II de la thèse). Mr Lamothe a permis à l'étudiante de participer à deux campagnes de cartographie sur la région d'étude du projet de doctorat

(Est de la Province du Supérieur) afin de pouvoir récolter les données nécessaires à la recherche doctorale. De plus, il a fourni toutes les cartes géologiques, structurales, les échantillons macroscopiques, les lames minces ainsi que les résultats géochronologiques concernant la partie est de la Province du Supérieur. Les nombreuses discussions sur la géologie de la région ont été un support essentiel à l'interprétation des résultats. Le Dr Jean H. Bédard a uniquement participé à l'élaboration du chapitre III de la thèse. Il a fourni tous les renseignements sur la géologie régionale et la géochronologie de la région d'étude.

L'étudiante a donc récolté les échantillons et les données structurales sur le terrain pour les chapitres I et II. Les échantillons du chapitre III ont été fournis par le MRNQ (projet Grand-Nord: nord-est de la Province du Supérieur). L'analyse pétrographique et pétro-structurale des lames minces ainsi que le choix des échantillons à étudier en microsonde ont été effectués par l'étudiante. Les analyses microsonde à l'université McGill, l'interprétation de ces analyses chimiques, le traitement des données par TWEEQU, et le traçage des chemins P-T-t ont également été menés par l'étudiante dans les trois chapitres de la thèse. L'élaboration du modèle tectonique proposé dans les chapitres I et II s'est déroulé sous l'égide du Dr Normand Goulet, du Dr Walter E. Jr. Trzcinski et de Mr Daniel Lamothe.

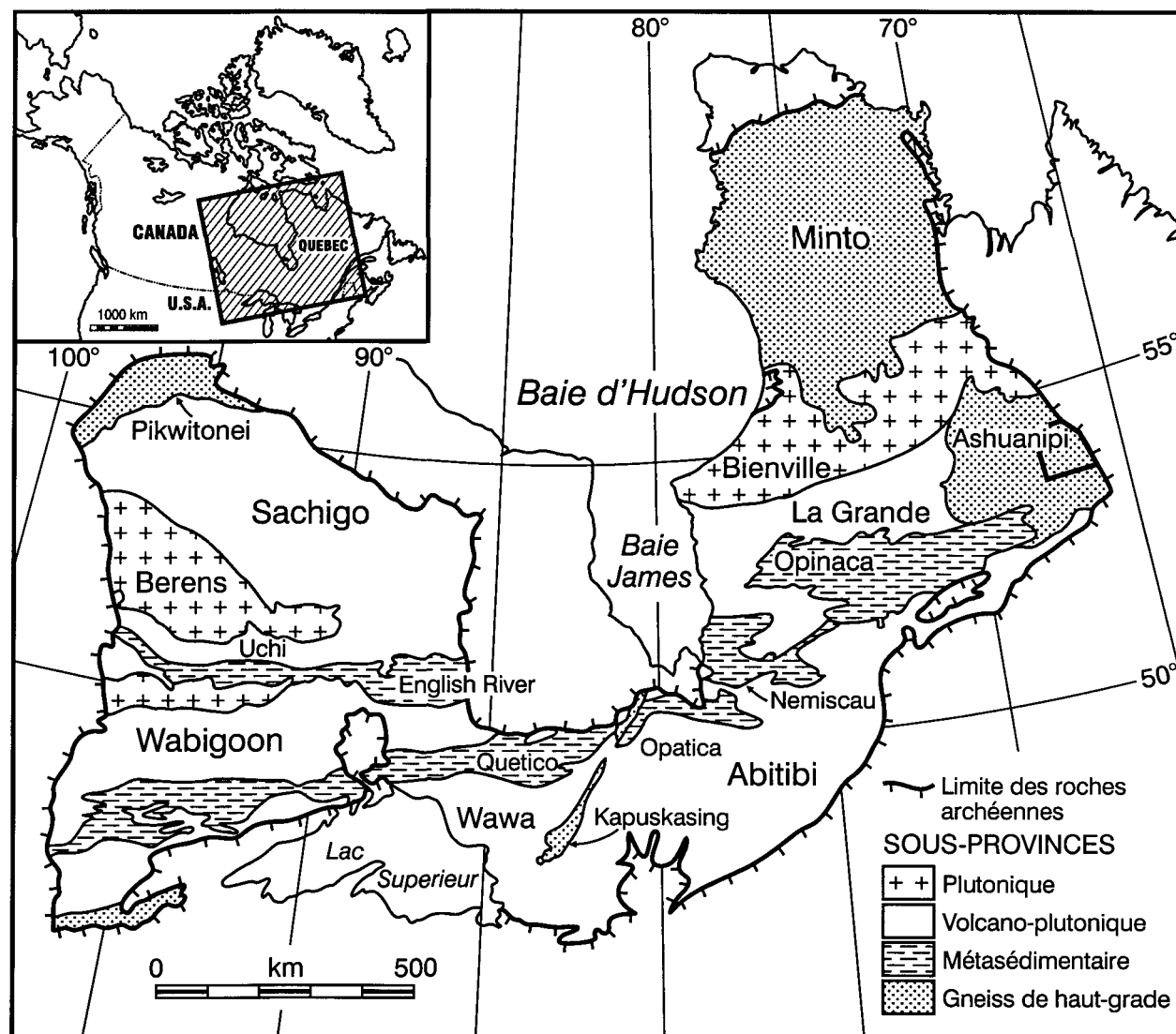


**Figure 1:** Localisation des feuillets SNRC 23C, 23E, 23F, 23G et 24 M.

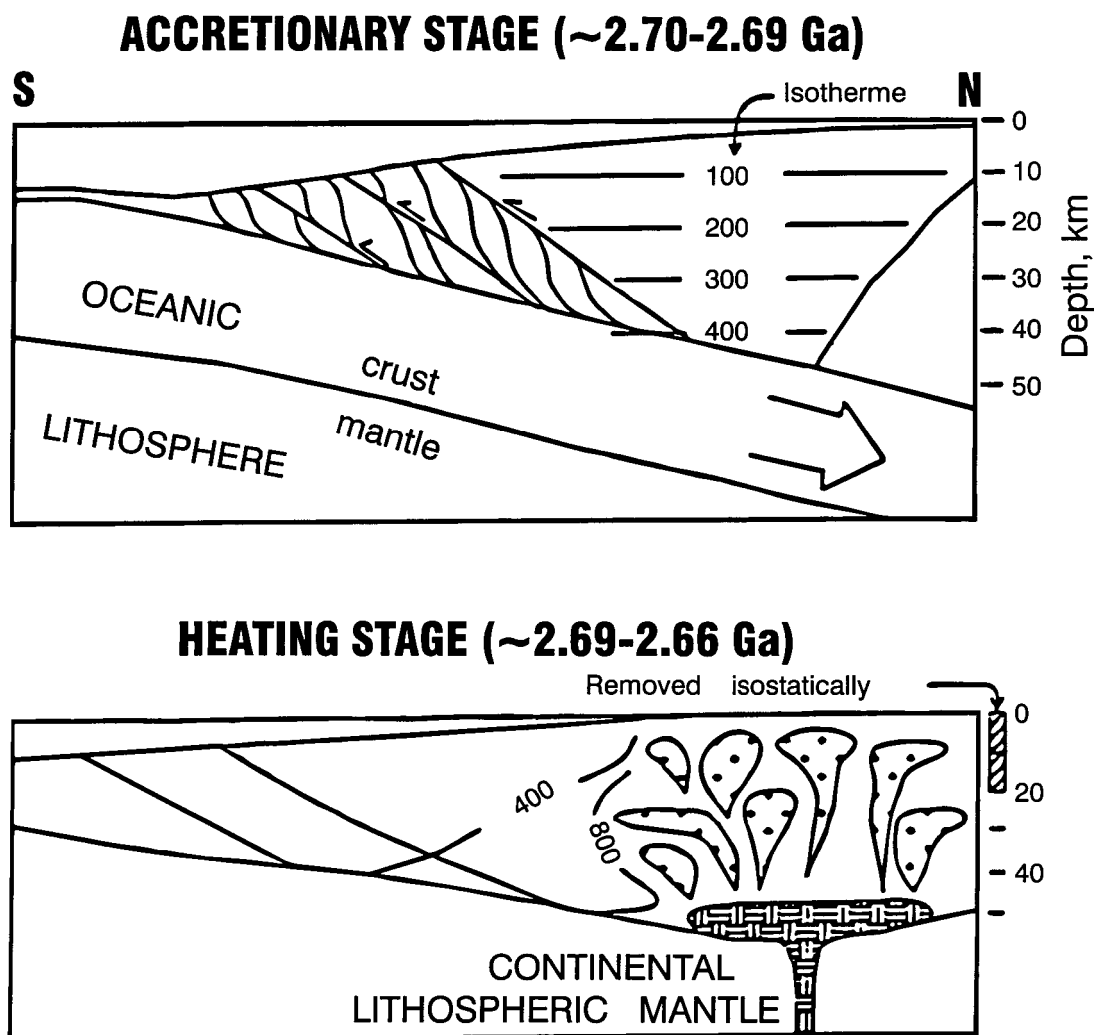


**Figure 2:** Localisation des régions étudiées dans la Province du Supérieur (modifiée de Percival *et al.*, 1992). En encart: carte de localisation générale de la Province du Supérieur.

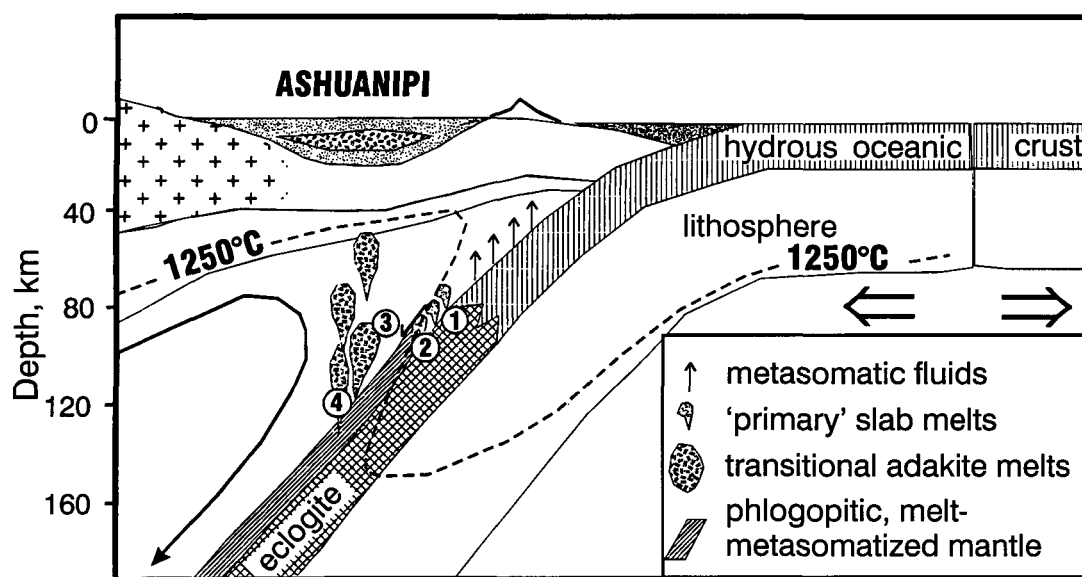




**Figure 3:** Localisation de la région étudiée par Percival (1990, 1991b, 1994), Percival *et al.* (1992, 2003) et Percival et Girard (1988) (modifiée de Percival *et al.*, 1992).



**Figure 4:** Modèle de prisme d'accrétion proposé par Percival *et al.* (1992) pour l'évolution du Complexe d'Ashuanipi. Une période d'accrétion (2700-2690 Ma) est représentée par le dépôt de grauwackes et l'intrusion de tonalites. Cette période est suivie par un réchauffement (2690-2660 Ma) relié à des magmas dérivés du manteau entraînant la formation des diatexites et le métamorphisme au faciès granulite.



**Figure 5:** Modèle proposé par Percival *et al.* (2003). L'Ashuanipi est alors interprété comme un bassin marginal d'arrière-arc. Le métamorphisme granulitique est relié à l'intrusion de magmas adakitiques représentés par la Suite de Desliens (modifiée de Percival *et al.*, 2003).

# **CHAPITRE I**

## **THE OPINACA SUBPROVINCE: A POLYMETAMORPHIC AND POLYPHASED ARCHEAN BASIN IN THE SOUTHEASTERN PART OF THE SUPERIOR PROVINCE, QUEBEC, CANADA.**

Cadéron <sup>(1)</sup>, S., Goulet <sup>(1)</sup>, N., Lamothe <sup>(3)</sup>, D., Trzcienski <sup>(2)</sup>, W. E. Jr.

<sup>(1)</sup> Université du Québec à Montréal, Département des Sciences de la Terre et de l'Atmosphère.

<sup>(2)</sup> Ministère des Ressources Naturelles du Québec.

<sup>(3)</sup> Université de Montréal, École Polytechnique.

Article soumis au Precambrian Research en juillet 2002.

## 1.1 ABSTRACT

The Opinaca Subprovince, a subdivision of the world-renowned Archean Superior Province, has been the object of several studies and local mapping projects. To date, there has been no detailed interpretation of the tectono-metamorphic evolution at the scale of the subprovince. Consequently, the eastern sector of the Superior Province remains poorly understood and uninviting to the mineral exploration industry. The present study clarifies the tectonic development of this region by proposing an innovative model that assembles the La Grande, Opatoca, Opinaca subprovinces and the Ashuanipi Complex. Previous studies demonstrated that the La Grande Subprovince consists of a tonalitic gneiss basement ( $2811 \pm 2$  Ma) and upper amphibolite facies volcano-sedimentary sequences dated at  $2732 \pm 8/-6$  Ma. Polymictic conglomerates containing detrital zircons gave ages of 2730 to 2720 Ma. The Opatoca Subprovince, previously described as volcanoplutonic, comprises tonalitic intrusions ( $2825 \pm 3$  Ma) and granitic massifs ( $2690-2678 \pm 2$  Ma), but is dominated by volcano-sedimentary sequences in our study area. The Opinaca Subprovince and the Ashuanipi Complex are characterized by granulite facies metamorphism. Other studies have shown that the Opinaca includes bimodal volcanic sequences and paragneiss units containing detrital zircons older than 2700 Ma. The diatexites that dominate the Ashuanipi Complex reveal crystallization ages of 2680-2650 Ma. Our results demonstrate that all of these subprovinces have been affected by a complex polyphased tectonic history. The first episode of ductile deformation,  $D_1$ , developed a regional foliation ( $S_1$ ) oriented N-S in the northern sector. The  $F_1$  folds are isoclinal, plunging to the NE and overturned to the W-

NW. A second  $D_2$  deformation phase was restricted to the Ashuanipi Complex where it manifested as isoclinal  $F_2$  folds overturned to the S and plunging to the NE. The regional  $D_3$  deformation refolded all previous structures into E-W  $F_3$  folds overturned to the south and plunging to the E-NE. A late stage ductile deformation event ( $D_4$ ) developed large amplitude  $F_4$  folds oriented N-S. Our new chemical and geothermobarometric results using mineral assemblages from the study area demonstrate that the metasedimentary Opinaca Subprovince underwent two episodes of granulite facies metamorphism. A syn- $D_1$  generation of orthopyroxene defines the first granulitic event,  $M_1$ , characterized by orthopyroxene + garnet  $\pm$  cordierite + biotite + plagioclase + quartz assemblage that reveal minimum peak P-T conditions of  $8.2 \pm 1$  kbar at  $900 \pm 50$  °C and  $7.4 \pm 1$  kbar at  $960 \pm 50$  °C (with cordierite). A syn- $D_3$  orthopyroxene defines another granulitic episode,  $M_3$ , characterized by orthopyroxene + garnet + biotite + plagioclase + quartz assemblage that reveal minimum peak P-T conditions of  $8.3 \pm 1$  kbar at  $890 \pm 50$  °C. These two events represent a continuous tectonothermal evolution that followed clockwise P-T paths. Decompressional symplectic textures are evidence of syn- $D_1$  exhumation of the Opinaca basin. The  $M_3$  episode consequently reflects the terminal phase of a granulite event that began prior to 2700 Ma ( $M_1$ ) and culminated at 2645 Ma ( $M_3$ ) before the onset of a cooling event. The Opinaca Subprovince therefore represents a marginal Archean basin.

## 1.2 RÉSUMÉ

La Sous-province de l'Opinaca, une subdivision de la Province archéenne du Supérieur de renommée mondiale, a fait l'objet de plusieurs études et de projets de cartographie à l'échelle locale. Cependant, aucune interprétation détaillée de l'évolution tectono-métamorphique à l'échelle de la sous-province n'a été effectuée. La partie est de la Province du Supérieur reste donc méconnue et abandonnée par l'exploration minière. Cette étude vient éclaircir le développement tectonique de la région en proposant un modèle d'évolution tectono-métamorphique novateur qui rassemble les sous-provinces de La Grande, de l'Opatica, de l'Opinaca et le Complexe d'Ashuanipi. Des travaux antérieurs montrent que la Sous-province de La Grande se compose d'un socle tonalitique ( $2811 \pm 2$  Ma) et de séquences volcano-sédimentaires datées à  $2732 \pm 8/-6$  Ma et métamorphisées au faciès amphibolite supérieur. Des conglomérats polymictes contiennent des zircons détritiques montrant des âges qui s'étalent de 2730 à 2720 Ma. Dans notre secteur d'étude, la Sous-province de l'Opatica, reconnue antérieurement comme une entité volcano-plutonique composée d'intrusions tonalitiques ( $2825 \pm 3$  Ma) et d'intrusions granitiques ( $2690-2678 \pm 2$  Ma), contient des séquences à dominante volcano-sédimentaires. La Sous-province d'Opinaca et le Complexe d'Ashuanipi sont métamorphisés au faciès des granulites. Des études antérieures montrent que l'Opinaca se compose de séquences volcaniques bimodales et de paragneiss contenant des zircons détritiques plus vieux que 2700 Ma. L'Ashuanipi est constituée essentiellement de diatexites montrant des âges de cristallisation qui s'étalent de 2680 Ma à 2650 Ma. Cette étude démontre que toute la région

est affectée par une tectonique polyphasée complexe. Une première déformation ductile  $D_1$  développe une foliation régionale  $S_1$  orientée N-S dans le nord de la région. Les plis isoclinaux  $P_1$  plongent vers le NE et sont déversés vers l'O-NO. Une seconde phase de déformation  $D_2$ , caractéristique de l'Ashuanipi, développe des plis  $P_2$  déversés vers le S et plongeant vers le NE. La déformation régionale  $D_3$  replisse toutes les structures antérieures et forme alors des plis  $P_3$  déversés vers le S et plongeant vers l'E-NE. Une déformation tardive  $D_4$  est marquée par des plis  $P_4$  de grande amplitude de plan axial N-S. L'analyse chimique et l'évaluation géothermobarométrique des assemblages métamorphiques présents dans les métasédiments de l'Opinaca montrent que cette sous-province a subi deux épisodes au faciès des granulites. Une première génération d'orthopyroxène syn-  $D_1$  définit un épisode métamorphique  $M_1$ , caractérisé par un assemblage à orthopyroxène + grenat  $\pm$  cordiérite + biotite + plagioclase + quartz qui montre des conditions P-T minimales de pic métamorphique de  $8.2 \pm 1$  kbar et  $900 \pm 50^\circ\text{C}$  et de  $7.4 \pm 1$  kbar et  $960 \pm 50^\circ\text{C}$  (avec cordiérite). Un orthopyroxène syn- $D_3$  définit un second épisode au faciès des granulites  $M_3$  caractérisé par un assemblage à orthopyroxène + grenat + biotite + plagioclase + quartz montrant des conditions P-T minimales de pic métamorphique de  $8.3 \pm 1$  kbar et  $890 \pm 50^\circ\text{C}$ . Ces deux événements définissent une évolution tectonothermale continue à travers des P-T de sens horaire. Des textures symplectiques de décompression témoignent d'une exhumation syn- $D_1$  du bassin de l'Opinaca. L'épisode métamorphique  $M_3$  représente la dernière phase d'un événement granulitique qui débute avant 2700 Ma ( $M_1$ ) et culmine à 2645 Ma ( $M_3$ ) avant une longue phase de refroidissement. La Sous-province de l'Opinaca représente donc un bassin marginal archéen.



### 1.3 INTRODUCTION

The geological history of the Superior Province, one of the largest Archean cratons in the world, has been documented by many researchers (see Card, 1990, for summary). The results of their work led Card and Ciesielski (1986) to divide the Superior into plutonic, volcano-plutonic and metasedimentary subprovinces, and high grade metamorphic terranes (Fig. 1.1). Since 1996, the Ministry of Natural Resources of Quebec has undertaken a vast mapping project at 1:250.000 to better understand the lesser known central and northern sectors of the Superior (La Grande, Opatica, Opinaca and Ashuanipi subprovinces; Fig. 1.1). These recent geophysical, geochronological, geochemical, structural and metamorphic results have led to revisions of earlier tectono-metamorphic models. This study is part of that larger project and focuses on the origin of the metasedimentary Opinaca.

The study of Archean sedimentary basins is problematic due to their generally high grade metamorphic history (e.g., amphibolite to granulite facies) that obliterates primary sedimentary structures. In addition, multiple episodes of granulite facies metamorphism and superimposed retrograde events make it difficult to identify peak metamorphic conditions (e.g., Friend and Nutman, 1994; Jiasheng *et al.*, 1994; Wasteneys *et al.*, 1995). Various tectonic models have been proposed to explain the P-T-t paths obtained during such studies (e.g., England and Thompson, 1984; Thompson and England, 1984; England and Thompson, 1986; Bohlen, 1987; Percival, 1989b, 1990; Bohlen, 1991; Jamieson, 1991; Martignole, 1992; Percival, 1994). Another characteristic common to metasedimentary environments within ancient orogens is the contrasting metamorphic grade between

adjacent regions. For example, the metasedimentary Quetico in the southwestern sector of the Superior Province is characterized by amphibolite to granulite conditions, whereas the adjacent volcano-plutonic belts (Wabigoon and Wawa) reached lower metamorphic conditions (Card and Ciesielski, 1986; Percival and Girard, 1988; Percival, 1989a; Percival and Williams, 1989; Card, 1990). Similar relationships exist in the southeast Superior Province, between the metasedimentary Opinaca and the volcano-sedimentary La Grande and volcano-plutonic Opatca subprovinces (Card and Ciesielski, 1986; Card, 1990; Cadéron *et al.*, 1998; Lamothe *et al.*, 1998; Cadéron *et al.*, 1999, 2000, Lamothe *et al.*, 2000). The metasedimentary Opinaca was subjected to granulite facies conditions, whereas the La Grande and Opatca attained greenschist to upper amphibolite facies.

This article presents the results of our tectono-metamorphic study on the metasedimentary Opinaca Subprovince using field-based structural data and observations in addition to petrographic and geothermobarometric work on metamorphic mineral assemblages. The object of our study is to demonstrate that the Opinaca represents an extensive Archean sedimentary basin that was subjected to a complex polymetamorphic granulite metamorphism and polyphased tectonism. Our study presents a new tectonothermal model for the development of the Opinaca based on: (i) the interpretation of structural data for the region; and (ii) the analysis of metamorphic assemblages and estimates of P-T conditions for these rocks. The proposed tectonothermal model contradicts earlier models and invokes a multi-stage tectonic history.

## 1.4 GEOLOGICAL SETTING

The Opinaca is one of four Archean subprovinces that form the southeast sector of the Superior Province of Quebec (Fig. 1.1). It is bounded by La Grande to the northwest, Opatica to the south and Ashuanipi to the north and east (Figs. 1.1 & 1.2; Card and Ciesielski, 1986; Card, 1990; Leclair *et al.*, 1998; Cadéron *et al.*, 1998; Lamothe *et al.*, 1998; Cadéron *et al.*, 1999, 2000; Lamothe *et al.*, 2000). Table 1.1 presents the isotopic ages for the lithologies of interest in the study region, and Figure 1.2 shows the simplified geology. The four subprovinces, all of which are involved in the tectono-metamorphic model of this study, are described below from oldest to youngest.

The La Grande Subprovince was the subject of several studies near the present study area (Sharma, 1977a, 1977b, 1978; Franconi, 1978; Gauthier *et al.*, 1996a, 1996b, 1997; Paquette and Gauthier, 1997; Goutier *et al.*, 1998; Labbé and Bélanger, 1998; Gauthier, 2000; Lamothe *et al.*, 2000). Tonalitic gneiss that forms the regional basement was dated at  $2811 \pm 2$  Ma (Mortensen and Ciesielski, 1987), and at  $2794 \pm 2$  Ma and  $2788 +4/-3$  Ma (Goutier *et al.*, 1998). The volcano-sedimentary belts include felsic volcanic rocks with an age of  $2732 +8/-6$  Ma (Goutier *et al.*, 1998). At the regional scale, polymictic conglomerates are locally found along the contact between the La Grande and Opinaca subprovinces. Paquette and Gauthier (1997) estimate the minimum age of deposition to be between 2730 and 2720 Ma. Tonalitic intrusions were again emplaced between 2716 Ma and 2709 Ma (Goutier *et al.*, 1998). The rocks of the La Grande Subprovince display greenschist and upper amphibolite facies metamorphism (Beausoleil, 1997; Goutier *et al.*,

1998; Labbé and Bélanger, 1998; Cadéron *et al.*, 1999, 2000; Lamothe *et al.*, 2000). The La Grande in the study area consists of several generations of volcano-sedimentary and intrusive rocks. The metamorphosed volcano-sedimentary sequence comprises (from base to summit; Fig. 1.2): pyroxenite (Dutreuil Suite), gneiss, an iron formation, and polymictic conglomerate (Thor Formation; Labbé and Bélanger, 1998; Cadéron *et al.*, 1999, 2000; Lamothe *et al.*, 2000). The latter could be possibly correlated with the conglomerate units observed by Paquette and Gauthier (1997). Paragneiss and metabasalt comprise the Duhesme Group (Fig. 1.2), and these rocks have been found as inclusions in the gneissic tonalitic plutons belonging to the Joubert Suite (2704 $\pm$ 2 Ma; Parent, 1998; Lamothe *et al.*, 2000). In the study area, the La Grande is metamorphosed to amphibolite facies and locally retrograded to greenschist conditions (Cadéron *et al.*, 1999, 2000).

The Opinaca Subprovince was the subject of several studies yet remains the least known (Franconi, 1978; Fouques and Schumaker, 1979; Hocq, 1985; Gauthier *et al.* 1996b; Simard and Gosselin, 1998). The work conducted by the Ministry of Natural Resources of Quebec improved the geological understanding in the eastern sector by defining the contacts between the Ashuanipi Complex and Opinaca Subprovince (see Fig. 1.2; Lamothe *et al.*, 1998; Leclair *et al.*, 1998; Cadéron *et al.*, 1998, 1999, 2000; Lamothe *et al.*, 2000). The Opinaca is dominated by psammitic rocks metamorphosed to amphibolite to granulite facies. Gauthier *et al.* (1997) combined the metasedimentary rocks in the northern sector into the Rossignol-Laguiche Group. Determining the ages of Opinaca metasedimentary rocks is problematic. Several authors have proposed that this represents the lateral equivalent of the metasedimentary Quetico Subprovince (Ontario) in the western Superior

Province (see Fig. 1.1; e.g., Card, 1990; Lamothe *et al.*, 1998; Cadéron *et al.*, 1999, 2000). Detrital zircons from metasedimentary rocks in the Quetico gave ages that ranged from >3000 Ma to 2698 Ma (Davis *et al.*, 1990; Percival and Sullivan, 1988). In the present study area, the Hublet Group (Fig. 1.2) includes metasedimentary rocks and lenses of ultramafic, mafic and felsic volcanic rocks. At the regional scale, the Hublet Group is the lateral equivalent of the Rossignol-Laguiche Group. In the study area, the Hublet Group is a flysch assemblage, including a distal equivalent of the Duhesme Group of the La Grande (Lamothe *et al.*, 2000). The thick sequence of polygranulitized detrital metasediments that forms the Mercator Formation (Fig. 1.2) is estimated to have a depositional age of 2730 Ma (Cadéron *et al.*, 1999, 2000). Numerous syn- to post-tectonic intrusions cut the lithologies, including early metatonalite redefined as adakite by Percival *et al.* (2002). These rocks gave crystallization ages of 2723-2725 Ma, and define the Desliens Suite along with layered pyroxenite sills (Mortensen and Percival, 1987; Percival, 1991; Percival *et al.*, in progress). The metatonalitic rocks display two episodes of granulite facies metamorphism at 2691-2700 Ma and 2643 Ma respectively (Parent, 1998; Percival *et al.*, 2002). The Joubert Suite in La Grande ( $2704 \pm 2$  Ma) contains inclusions of the Hublet Group. A horizon of felsic metavolcanics revealed an age of  $2659 \pm 3$  Ma (Woodicka, 2000). Syn- to late-tectonic porphyritic granitic intrusions gave ages that range from  $2642 \pm 5$  Ma and  $2638 \pm 2$  Ma (Lataignant Suite, see Fig. 1.2; David and Parent, 1997; Leclair *et al.*, 1998; Parent, 1998). The Viau Suite ( $2571 \pm 2$  Ma; David and Parent, 1997), consisting of fluorite-bearing monzogranite and late-tectonic syenite, represents the youngest intrusive Archean event in the Superior Province.

Long defined as a metasedimentary subprovince (Card and Ciesielski, 1986; Card, 1990), the Opatoca was recently redefined as dominantly volcano-plutonic (Benn *et al.*, 1992; Card and King, 1992; Sawyer and Benn, 1993; Hocq, 1994; Davis *et al.*, 1994, 1995; Lamothe *et al.*, 1998). Nevertheless, the latest mapping near the Opinaca-Opatoca contact in the present study area (scale of 1:20.000) revealed the presence of sedimentary basins containing metasediments, polymictic conglomerates, and bimodal volcanic rocks (Goulet, 2000; Fig. 1.2). These new observations allow the Opatoca in the present study area to be characterized as a volcano-sedimentary (Fig. 1.2). Tonalitic intrusions in the west of the region revealed ages that range from  $2825 \pm 3$  Ma to  $2702 \pm 3$  Ma (Davis *et al.*, 1994, 1995). In the same sector, granitic magmatism ranges in age from  $2690 \pm 2$  Ma to  $2678 \pm 2$  Ma (Davis *et al.*, 1995). Syn-tectonic tonalites in the western sector have been dated at 2701 Ma and 2695 Ma, and a granodiorite enclave in tonalite gave an age of  $2710 \pm 6/-5$  Ma (Woodicka, 2000). Metamorphic conditions attain amphibolite facies (Sawyer and Benn, 1993; Lamothe *et al.*, 1998) and several metamorphic peaks have been dated from 2690 Ma to 2680 Ma, and from 2665 Ma to 2640 Ma (Davis *et al.*, 1995).

The Ashuanipi Complex mainly consists of diatexites and can be divided into two parts, East-Ashuanipi and West-Ashuanipi, according to the type of enclaves in the diatexites (Fig. 1.2). The East-Ashuanipi, which mainly contains metasedimentary lenses, was formed during partial melting of the Opinaca, whereas the West-Ashuanipi contains amphibolitic enclaves that resulted from the partial melting of La Grande (Cadéron *et al.*, 1999, 2000). Amphibolitic rocks are also found in the southeast as a result of partial melting of the Opatoca. The Ashuanipi is therefore distinguished by its high degree of

melting, but is derived from older protoliths represented by the La Grande, Opinaca and Opatica subprovinces. It also contains remnants of metasedimentary and volcanic belts, as well as numerous syn- to post-tectonic intrusions (Eade, 1966; Fahrig, 1967; Sharma and Dubé, 1980; Lapointe, 1985; Percival and Girard, 1988; Lapointe, 1989; Percival, 1991, 1993; Chevé and Brouillette, 1995; James, 1997; Cadéron *et al.*, 1998; Lamothe *et al.*, 1998; Leclair *et al.*, 1998; Cadéron *et al.*, 1999, 2000; Lamothe *et al.*, 2000). The oldest units observed are the migmatitic paragneiss that represent a greywacke deposited at approximately 2700 Ma (Mortensen and Percival, 1987; Percival *et al.*, 1992). A sample of felsic lava from a mega-volcano-sedimentary enclave in the heart of the Ashuanipi gave an age of  $2711 \pm 7/-5$  Ma (David and Parent, 1997; Leclair *et al.*, 1998). The age of emplacement for the diatexites ranges from 2680-2650 Ma (Percival, 1987, 1991; Percival *et al.*, 1992; Percival, 1993; Chevé and Brouillette, 1995; James, 1997; Leclair *et al.*, 1998; Parent, 1998). Ages obtained from monazite grains demonstrate that a thermal decline took place over a 30 Ma period, from 2670 to 2640 Ma (Mortensen and Percival, 1987; Percival, 1990; Chevé and Brouillette, 1995; David and Parent, 1997; Leclair *et al.*, 1998). The Ashuanipi is intruded by a series of syn-tectonic monzogranite magmas that formed the Gamart Suite dated at  $2647 \pm 2$  Ma (Parent, 1998; Leclair *et al.*, 1998). The Viau Suite represents the last intrusive phase in the Ashuanipi.

## 1.5- DEFORMATION HISTORY

Multiple episodes of Archean tectonic activity associated with the Kenorean orogeny affected the study area and resulted in dome and basin style deformation (Leclair *et al.* 1998; Cadéron *et al.*, 1998; Lamothe *et al.*, 1998; Cadéron *et al.*, 1999, 2000; Lamothe *et al.*, 2000). Four phases of ductile deformation (D<sub>1</sub>-D<sub>4</sub>) and one brittle event (D<sub>5</sub>) were documented. Despite the younger age of the Ashuanipi, it is the only to have recorded all deformational fabrics (see below for explanation) and temporal relationships were best elucidated there.

The volcano-sedimentary belts and tonalitic intrusions of the La Grande, Opatika and Opinaca subprovinces, and the volcano-sedimentary lenses within the Ashuanipi diatexite all display a penetrative S<sub>1</sub> foliation that developed during D<sub>1</sub>. The D<sub>2</sub> phase, which affects only the Ashuanipi diatexites, consists of a weakly developed S<sub>2</sub> foliation and isoclinal F<sub>2</sub> folds overturned to the south and plunging gently to the northeast (c.f., Cadéron *et al.*, 2002b). This phase of deformation also caused the volcano-sedimentary lenses in the Ashuanipi to reorient sub-parallel to S<sub>2</sub>. All observed lithologies of the four subprovinces were affected by D<sub>3</sub>, which is characterized by folding of S<sub>1</sub> and S<sub>2</sub> into east-northeast-plunging F<sub>3</sub> folds overturned to the south. Axial traces are approximately E-W. The youngest deformation event, D<sub>4</sub>, was locally observed in the Opinaca where it folds the earlier fabrics into N-S-oriented F<sub>4</sub> folds with subvertical axial planes. The late-stage brittle event, D<sub>5</sub>, resulted in regional-scale fault zones oriented N-S, and a conjugate set oriented NW-SE and NE-SW. This event is linked to the Grenville orogeny.



Table 1.1 places the deformational events in a temporal context with respect to depositional and intrusive events of known age. The La Grande, Opatica and Opinaca subprovinces were affected by D<sub>1</sub>, D<sub>3</sub> and D<sub>4</sub> events, whereas the Ashuanipi was mainly affected by D<sub>2</sub>, D<sub>3</sub> and D<sub>4</sub>. The D<sub>1</sub> phase, which is recorded by the tonalites of the Joubert Suite, the Opinaca lithologies and the Ashuanipi volcano-sedimentary xenoliths but not the Ashuanipi diatexites, must range in age from ~2700 to 2680 Ma. The diatexites were syn-D<sub>2</sub> and define an age range of approximately 2680-2650 Ma (age of diatexites intrusion, see the geological setting) for the second deformational event. Likewise, the granite and monzogranite of the Gamart and Lataignant Suites were syn-tectonic and define an age of ~2647-2638 Ma for D<sub>3</sub>. The last phase of ductile deformation, D<sub>4</sub>, affected the late syn-tectonic fluorite-granite intrusions of the Ashuanipi and Opinaca subprovinces (Viau Suite), and a minimum D<sub>4</sub> age of 2571 Ma (Viau Suite datation, see geological setting) is therefore inferred. The only Proterozoic and brittle event, D<sub>5</sub>, affected the Archean structures and marked the end of tectonic activity in the region.

### **1.5.1 Detailed structures**

The photos in Figure 1.3 and the stereograms of Figure 1.4 characterize the dominant structural features for each subprovince (see appendix I for L<sub>2</sub> lineations in the Ashuanipi Complex). In La Grande, the original N-S orientation of the S<sub>1</sub> penetrative foliation is locally preserved, and the tonalite, iron formation and volcanite fragments in the polymictic conglomerate are flattened subparallel to this fabric (Fig. 1.3a). The maximum

concentration of  $S_1$  poles indicate a preferential reorientation into E-W to SE-NW directions. The distribution of  $S_1$  poles is consistent with folding of  $D_1$  fabrics by  $F_3$  folds defined by axes and lineations plunging to the E-NE ( $20 \rightarrow N81$ ) as observed in the field (Fig. 1.4a). In the Opatica, the maximum for  $S_1$  poles reveals, once again, a reorientation into E-W to SE-NW directions. The  $S_1$  foliation planes were also folded by  $F_3$  folds that plunge moderately to the NE ( $19 \rightarrow N80$ ; Fig. 1.4c). In the Opinaca, the maximum concentration of  $S_1$  poles also indicate a preferential reorientation into E-W and SE-NW directions.  $S_1$  foliation planes display a similar distribution to those of the Opatica and La Grande subprovinces, and are affected by  $F_3$  folds with axes that plunge moderately to the east ( $36 \rightarrow N86$ ; Figs. 1.3b & 1.4e). The E-W alignment of the Opinaca units in the study area has been used to infer the existence of a hinge zone for a regional-scale E-W syn- $D_3$  antiform overturned to the south and plunging to the east (Fig. 1.2). Finally,  $S_2$  foliations that are only observed in the Ashuanipi display a reorientation into NW-SE directions and folding by  $F_3$  folds that plunge gently to the E-SE ( $14 \rightarrow N116$ ; Figs. 1.3c & 1.4g; See appendix I, Fig. 1a for stereograms representing the  $L_2$  lineations).

The  $F_3$  fold axes and  $L_3$  mineral lineations in each subprovince seem to be refolded by  $F_4$  folds locally observed in the Opinaca Subprovince (Fig. 1.3d). However,  $D_3$  affected oldest structures related to  $D_1$  and  $D_2$  deformations. Consequently,  $D_3$  developed on planes with different orientations ( $S_1$  and  $S_2$ ) that could explain the variable distribution of the  $L_3$  linear structures observed in the stereograms (Figs. 1.4b, 1.4d, 1.4f & 1.4h). This variable distribution are aligned along a circle with a maximum oriented to the N-NW ( $8 \rightarrow N346$ ;

Fig. 1.4b) in the La Grande Subprovince, to the NW (27→N311; Fig. 1.4d) in the Opatica, to the west (66→N252; Figs. 1.3c & 1.4f) in the Opinaca and to the SW (21→N206; Fig. 1.4h) in the Ashuanipi Complex.

### 1.5.2 Structural boundaries

To the northwest of the study area, the La Grande/Opinaca boundary is marked by a major fault that thrusts the Opinaca rocks northward over La Grande (Cadéron *et al.*, 1999, 2000; Lamothe *et al.*, 2000). This contact zone is represented by the Dalmas Fault that marks an abrupt transition in foliation dip direction along an E-W shear zone (Figs. 1.2). The fault is parallel to the  $S_1$  foliation with lineations plunging weakly to the S-SE (see appendix I, Fig. Ib). Kinematic indicators in the strongly sheared thrust sheet (Fig. 1.3e) have been used to infer its origin, as well as folds overturned to the north in the tonalite of the underlying segment (Fig. 1.3f and appendix I, Fig. Ic; Lamothe *et al.*, 2000). Along the contact, metabasalts are strongly mylonitized (Fig. 1.3f), and the syn- $D_1$  fault contacts are folded by  $D_3$ . The shear zone is truncated in the east by the Gamart Suite intrusion dated at  $2647 \pm 2$  Ma (Fig. 1.2).

The nature of the contact between the La Grande and the West-Ashuanipi subprovinces remains poorly understood. In fact, the contact is mostly overprinted by the Gamart intrusive Suite (Fig. 1.2). It is possible that these intrusions were emplaced along a possible fault zone between the two subprovinces that acted as a zone of weakness.

Leclair *et al.* (1998) stated that the Opinaca metasedimentary sequence appears to

continue into the interior of East-Ashuanipi, and that the eastern syn-D<sub>2</sub> contact is folded by D<sub>3</sub>. To the west, this contact becomes faulted (Nichicun Fault) and is marked by a mylonite zone that can be traced for over 50 km (Figs. 1.2 & 1.3g; Cadéron *et al.*, 1999, 2000; Lamothe *et al.*, 2000). The re-orientation of S<sub>2</sub> proximal to the fault zone suggests a syn-D<sub>3</sub> origin (c.f. Lamothe *et al.*, 2000). Kinematic indicators and lineations plunging weakly to the E-NE indicate that thrusting was to the south and over the Opinaca (see appendix I, Figs. Ib & Id).

The Dalmas and Nichicun faults delineate an E-W-oriented synform that plunges to the east within the Opinaca (Fig. 1.2). A tonalite intrusion associated with the Joubert Suite (2704  $\pm$ 2 Ma) lies at the core of the synform. Metasedimentary enclaves display plagioclase-orthopyroxene assemblages retrograded to hornblende-magnetite. Originally assigned to the La Grande by Lamothe *et al.* (2000), this synform is actually a sliver of the Opinaca that has been transported southward during D<sub>3</sub> deformation (Cadéron *et al.*, 1999, 2000).

The Opinaca/Opatica/Ashuanipi contact southeast of the study area is marked by the Lac Vallard Fault along which segments of the Ashuanipi Complex and Opinaca Subprovince were thrust over the Opatica (Fig. 1.2; Lamothe *et al.*, 1998). Polymictic conglomerates lie along the contact and their clasts are flattened parallel to S<sub>1</sub> and folded by F<sub>3</sub> (Fig. 1.3h; Lamothe *et al.*, 1998). In the fault zone, these conglomerates show kinematic indicators and the lineations weakly plunges to the N-NE (see appendix I, Figs. Ib & Ie). A late deformation event is mainly expressed by a mylonite corridor along the thrust zone that marks the contact between the units of the Superior Province with those of the Grenville.

The Archean structures are locally preserved within the deformation corridor (Lamothe *et al.*, 1998).

## 1.6 LITHOLOGIES AND MINERAL ASSEMBLAGES

The western extremity of the Opinaca dominantly consists of a granulitized sedimentary and plutonic assemblage, known as the basal Complex (Hocq, 1985), that is subdivided into Groups and Formations by Lamothe *et al.* (1998, 2000). The rocks described in this study belong to the Hublet Group (Lamothe *et al.*, 1998; Leclair *et al.*, 1998). This group is dominated by the Mercator Formation, which consists of a thick unit of metasediments and relatively continuous horizons of intermediate to mafic gneiss (Fig. 1.2). At the regional scale, the Hublet Group is the lateral equivalent to the Rossignol-Laguiche Group defined by Franconi (1978) and Gauthier *et al.* (1997).

In the study area, the Mercator Formation extends over 240 km in an E-W direction, and 30 km in a N-S direction (Fig. 1.2). It represents more than 70% of the Hublet Group. In the field, this metasedimentary unit consists of transposed centimetric to decimetric beds of migmatitic lithic metawacke that contain a relict quartzofeldspathic paleosome with variable psammitic to pelitic composition. The presence or absence of garnet in the paleosome was used to divide the metasediments into two subunits. The compositional difference between them is explained as a lateral facies change in the original sedimentary sequence that was likely associated with deposition of turbidite sediments. The grey-brown to rusty brown paleosome is rich in biotite and orthopyroxene, and also contains injections

of white to pale grey granitic to tonalitic leucosome that account for 5 to 50 % of the outcrop. The paleosome is fine- to medium-grained ( $\leq 1$  cm) with an equigranular granoblastic texture that displays a  $S_1$  mineral alignment related to  $D_1$  (Fig. 1.5a and see appendix I, Fig. If). The typical assemblage is biotite + orthopyroxene  $\pm$  garnet + plagioclase + quartz, but cordierite is locally present. The distribution of minerals gives the rock a “pepper and salt” appearance. The leucosomes contain the assemblage orthopyroxene + garnet  $\pm$  biotite + plagioclase + quartz, and two generations can be distinguished: a medium-grained ( $\leq 1$  cm) phase displaying a  $S_1$  mineral alignment, and a coarse-grained ( $\geq 1$  cm) phase concentrated along  $F_3$  axial planes, with minerals aligned parallel to  $S_3$  and therefore at an angle to the earlier generation (Figs. 1.5b and see appendix I, Fig. If). The leucosome minerals appear porphyroblastic compared to those of the paleosome, and may attain several centimetres in size (0.5 to 4 cm; Fig. 1.5a). Garnets locally display sub-euhedral textures (Fig. 1.5a).

## 1.7 PETROGRAPHY AND MINERAL CHEMISTRY

Samples were collected in 1997 and 1998 during the course of a 1:250.000 mapping program that was financed by the Ministry of Natural Resources of Quebec as part of the larger “Moyen-Nord” project (SNRC map sheets 23C, 23E, 23F, 23G). Of the 250 rocks collected from the study area, 120 thin sections and 30 polished sections were made from Opinaca metasedimentary samples. Only 20 thin sections were selected for petrographic

study and electron microprobe analyses of orthopyroxene, plagioclase, garnet, biotite, cordierite and oxides (Fig. 1.2; see appendix II: Fig. II and Table II for samples localisation and isogrades).

### 1.7.1 Petrography and microstructures

The biotite + orthopyroxene  $\pm$  garnet + plagioclase + quartz mineral assemblage that defines D<sub>2</sub> microfabrics is found only in the metasedimentary xenoliths in the Ashuanipi diatexites and the reader is referred to Cadéron *et al.* (2002b, see chapter II) for further details.

#### 1.7.1.1 S<sub>1</sub> mineral fabric

An early mineral assemblage (orthopyroxene + biotite + plagioclase  $\pm$  garnet  $\pm$  cordierite + quartz) defines S<sub>1</sub> microfabrics and is therefore assigned a M<sub>1</sub> metamorphic age. The minerals are stretched along the S<sub>1</sub> foliation plane (Fig. 1.5a)<sup>(3)</sup>, and the first generation orthopyroxenes (referred to herein as M1-Opx) are folded by F<sub>3</sub> (Fig. 1.5b)<sup>(3)</sup>.

Orthopyroxene occurs as millimetric grains enclosed in a feldspar matrix and contains biotite inclusions, as well as quartz and less commonly, plagioclase (Fig. 1.6a). Biotite also occurs as flakes in contact with orthopyroxene and in the matrix along with plagioclase. Garnets form small millimetric ( $\leq 0.5$  cm) porphyroblastic grains with inclusions of quartz, plagioclase and biotite (Fig. 1.6b). Garnet grains are oriented along S<sub>1</sub> foliation planes,

separated by plagioclase, but can also occur in contact with cordierite (Fig. 1.6b) and rarely with orthopyroxene. Cordierite is porphyroblastic with biotite inclusions (Fig. 1.6c) or display symplectic textures composed of biotite and quartz (Fig. 1.6d). Cordierite is in contact with plagioclase, perthite, biotite and quartz (Figs. 1.6c & 1.6e), and the grains are concentrated along S1 fabrics with orthopyroxene. Cordierite becomes more common towards the east in the Opinaca.

#### ***1.7.1.2 S<sub>3</sub> mineral fabric***

An assemblage of orthopyroxene + garnet + biotite + plagioclase + quartz defines the S<sub>3</sub> foliation and is assigned a M<sub>3</sub> age. This M<sub>3</sub>-Opx generation is aligned along S<sub>3</sub> foliation planes, at an angle to the M<sub>1</sub> orthopyroxenes (Figs. 1.5a & 1.5b and see appendix I, Fig. If). In outcrops, the M<sub>3</sub> assemblage is displayed in leucosomes ≥2 cm wide that lie along the F<sub>3</sub> axial plane and crosscut the M<sub>1</sub> metamorphic assemblage (Fig. 1.5b and see appendix I, Fig. If).

The M<sub>3</sub>-Opx grains can attain 3 cm in size and commonly contain inclusions of biotite, quartz and locally garnet (Figs. 1.6f & 1.6g). In addition, M<sub>3</sub>-Opx are found as rare inclusions in the latter (Fig. 1.6h). In thin section, orthopyroxene is commonly fractured and locally displays greenish alteration products. Plagioclase and alkali feldspars are found between the orthopyroxene and garnet crystals (Fig. 1.6i). Garnet is porphyroblastic and contains inclusions of quartz, biotite and plagioclase (Fig. 1.6j). Garnet is also observed in contact with orthopyroxene (Fig. 1.6j). Coarse-grained biotite with interstitial quartz occurs



in spatial association with garnet and orthopyroxene (Fig. 1.6k). This texture contrasts with the typically finer-grained tabular  $M_1$ -biotite that defines the  $S_1$ -foliation in the restitic paleosome. This type of biotite is interpreted as a late feature, probably produced during partial rehydration of the peak garnet + orthopyroxene assemblage and may be related to crystallization of a  $M_3$ -leucosome (Bégin and Pattison, 1994). Biotite locally displays destabilization symplectic textures (biotite + quartz) that indicate partial melting (Fig. 1.6l).

### **1.7.2 Textural interpretation**

The observed regional scale structures, microstructures and geochronological data define three episodes of granulite facies metamorphism ( $M_1$ ,  $M_2$ ,  $M_3$ ) although the Opinaca has only experienced the  $M_1$  and  $M_3$  events. The La Grande and Opatika subprovinces were subjected to the same events, but conditions did not exceed amphibolite facies. The  $D_2$  deformation and  $M_2$  metamorphic events are related to the formation of the Ashuanipi and are described in more detail in chapter II, which focuses on the co-existence of  $M_1$ - $M_2$  assemblages and  $D_1$ - $D_2$  fabrics in metasedimentary enclaves within the Ashuanipi diatexites.

#### **1.7.2.1 $M_1$ metamorphism**

The earlier episode of granulite facies metamorphism ( $M_1$ ) reached conditions in equilibrium with the assemblage orthopyroxene + biotite + plagioclase + quartz  $\pm$  grenat  $\pm$

cordierite. According to the observed textures, several reactions could account for the formation of orthopyroxene (Spear, 1993; Bégin and Pattison, 1994; Vielzeuf and Montel, 1994; Berman and Bostock, 1997):



where mineral abbreviations are from Kretz (1983; See appendix III for minerals notation).

The presence of garnet (Grt) is dependent on reaction (1), which can also be written as (Bégin and Pattison, 1994):



The presence or absence of cordierite (Crd) in the mineral assemblages is a function of Mg/(Mg+Fe) bulk composition wherein more Fe-rich rocks will crystallize a cordierite-absent Grt-Opx assemblage consistent with reaction (3), and Mg-rich compositions result in a cordierite-bearing Grt-Opx assemblage consistent with the following reaction (Bégin and Pattison, 1994):



According to the observed assemblages, cordierite is dominantly in contact with orthopyroxene, and symplectitic textures consist of biotite + quartz  $\pm$  plagioclase. Cordierite formation may therefore be more simply expressed by the reaction (Vielzeuf and Montel, 1994):



### **1.7.2.2 $M_3$ metamorphism**

In contrast to  $M_1$ , garnet is always present in  $M_3$  assemblages whereas cordierite is consistently absent. The crystallization of garnet is explained by reaction (3). Garnets are observed in contact with orthopyroxene, or more commonly as inclusions in orthopyroxene and vice versa. These textures can be explained by the cooling reaction of Berman and Bostock (1997):



### **1.7.3 Mineral chemistry**

Analyses were performed at McGill University (Earth and Planetary Sciences Department) using a JEOL 8900 microprobe equipped with five WDS spectrometers and a Si(Li) EDS detector for rapid element identification and semi-quantitative analyses. Integration of the WDS and EDS spectrometers allow for simultaneous WDS/EDS analyses, secondary and backscatter imaging with magnification from 40 to 300.000x at 70 nm resolution, and high-resolution digital X-Ray mapping with image processing software for image analysis. Minerals were routinely analysed for Na, Mg, Al, Si, K, Ca, Ti, Mn, Cr, Zn and Fe; biotite was also analyzed for F and Cl. Over 2000 mineral analyses have been complemented (see appendices IV to VII and X) by backscattered electron imagery to define the spatial and textural compositional relationships described below.

### 1.7.3.1 Orthopyroxene

In the study area, compositional differences between orthopyroxenes from mineral assemblages are weak but not inconsiderable (Table 1.2). First generation orthopyroxenes ( $M_1$ -Opx) have an average composition of  $En_{56.4}Fs_{43.6}$ , and a  $Fe/(Fe + Mg)$  ratio that ranges from 0.36 to 0.48. The  $Al_2O_3$  contents vary between 3.9 and 7.9 wt%, with an average of 5.9 wt%. The  $M_3$ -Opx generation has an average composition of  $En_{59.3}Fs_{40.7}$  and a  $Fe/(Fe + Mg)$  ratio similar to that for  $M_1$ -Opx (0.36-0.46). The  $Al_2O_3$  contents are slightly higher, however, ranging from 4.2 to 8.5 wt%, with an average of 6.4 wt%. When all analyses are compiled ( $M_1$ -Opx:  $n=212$ ;  $M_3$ -Opx:  $n=224$ ), the  $M_1$ -Opx are 3% more enriched in iron, and are weakly richer in calcium ( $M_1$ -Opx:  $Ca/(Fe+Mg+Ca)=0.18$ ;  $M_3$ -Opx= 0.13) (microprobe approximation < 1%).

At the thin section scale, the compositional differences are even more evident. Analyses from only one sample (#4134) are compiled in Figure 1.7 in order to compare orthopyroxenes coming from an homogeneous sample with identical chemical composition. The  $M_1$ -Opx are slightly enriched in FeO relative to  $M_3$ -Opx ( $M_1$ -Opx:  $FeO_{ave.}=25.7$  wt%;  $FeO/(FeO + MgO)=0.57-0.61$ , ( $n=53$ );  $M_3$ -Opx:  $FeO_{ave.}=24.3$  wt%;  $FeO/(FeO + MgO)=0.50-0.56$ , ( $n=36$ ), Figs. 1.7a, 1.7 b & 1.7c). The  $Al_2O_3$  and CaO contents are similar in both orthopyroxenes ( $M_1$ -Opx:  $Al_2O_3_{ave.}=6.6$  wt%;  $M_3$ -Opx:  $Al_2O_3_{ave.}=7.1$  wt%, Fig. 1.7b -  $M_1$ -Opx:  $CaO=0.02-0.09$  wt%;  $M_3$ -Opx:  $CaO=0.02-0.08$  wt%; Fig. 1.7c). Orthopyroxenes along the  $M_3$  leucosome borders have an intermediate composition compared to  $M_1$ - and  $M_3$ -Opx samples ( $FeO_{ave.}=25.2$  wt%;  $FeO/(FeO + MgO)=0.56$ ; Fig.

1.7d). This composition suggests that these grains represent orthopyroxene crystallization during the transitional phase between  $M_1$  and  $M_3$  (" $M_1/M_3$ -Opx").

The results of microprobe traverses across orthopyroxene grains is presented in Figure 1.8. The selected  $M_1$ -Opx and  $M_3$ -Opx grains were surrounded by garnet and plagioclase. These orthopyroxene grains show minor variations in  $Fe/(Fe + Mg)$  ratios from core to rim where in contact with non-ferromagnesian minerals like plagioclase ( $\Delta = 0.01$ ; Figs. 1.8a & 1.8b). This contrasts with the generally concentric zonation of Al, which is a function of adjacent mineral type (Figs. 1.8c & 1.8d). However, where in contact with a mineral that has a potential for Fe-Mg exchange, like garnet, local  $Fe/(Fe + Mg)$  gradients are more significant ( $\Delta = 0.02$ ) and independent of Al variation. This suggests that Fe and Mg diffused later than, and independently from, Al. Preservation of core-rim Al gradients in grains of uniform  $Fe/(Fe + Mg)$  ratios suggests that Al quenched-in at temperatures at which intracrystalline Fe-Mg exchange was rapid enough to promote homogenization of Fe-Mg throughout the grain (Pattison and Bégin, 1994). This could explain the homogenization and the unzoned garnets (see below).

### **1.7.3.2 Garnet**

Eighty percent of the garnets were found in the centre of  $M_3$  leucosomes, whereas the paleosome contained very little. All  $M_1$  and  $M_3$ -garnets are almandine-dominated (Table 1.2), and average garnet composition was  $Alm_{60.9}$   $Prp_{34.8}$   $Grs_{2.5}$   $Sps_{1.8}$  ( $n=233$ ). Both the grossular and spessartine components were below 5% in all grains. Several traverses were

conducted across garnets, and most M1- and M3-Grt grains showed very flat Fe, Mg, Ca, Mn and Fe/(Fe+Mg) zonation profiles, typically appearing completely unzoned. This lack of zonation at the granulite facies is interpreted to be the result of homogenization by volume diffusion at high temperatures (c.f., Tracy, 1982; Percival, 1991; Spear, 1993). Absent or minor zoning is observed at the grain scale, suggesting that most garnet and biotite grains preserved near-peak metamorphic conditions (c.f., Markl *et al.*, 2000).

### 1.7.3.3 Biotite

Biotite is similar to orthopyroxene in that both M<sub>1</sub> and M<sub>3</sub> samples are slightly different in composition (Table 1.2). The M<sub>1</sub>-biotites are poorly enriched in iron (M<sub>1</sub>-Bt: Fe/(Fe + Mg)= 0.37, n= 100; M<sub>3</sub>-Bt: Fe/(Fe + Mg)= 0.32, n= 54). Biotite in symplectic textures around syn-M<sub>1</sub> cordierite grains reveal intermediate compositions (Fe/(Fe+Mg) = 0.35; n= 40). The M<sub>1</sub>-Bt grains contain an average of 6 wt% TiO<sub>2</sub>, whereas M<sub>3</sub>-Bt contain only 5 wt%. Biotite inclusions and grains along garnet and orthopyroxene rims have a lower Fe/(Fe+Mg) ratio than matrix porphyroblasts, probably due to Fe-Mg exchange with garnet and orthopyroxene during post-peak metamorphic re-equilibration. At the thin section scale, this compositional difference is more noticeable. Figure 1.9 compares the composition of M<sub>1</sub> and M<sub>3</sub> biotites from sample 4134, which was used for orthopyroxene analyses as well (see above). The M<sub>1</sub>-Bt samples have FeO contents that vary between 12.6-14.8 wt% (FeO<sub>ave.</sub>= 13.6 wt%; n= 40), whereas the M<sub>3</sub>-Bt contents are slightly lower, ranging from 10.7-12.5 wt% (FeO<sub>ave.</sub>= 11.8 wt%, n= 11). The FeO/(FeO+MgO) ratios for M<sub>1</sub>-Bt are

higher (ave.= 0.48) than those for M<sub>3</sub>-Bt (ave.= 0.43).

#### ***1.7.3.4 Cordierite***

Cordierite is uncommon but where present is magnesian with a Fe/(Fe+Mg) ratio of 0.25 (n= 43). Microprobe analyses total 95 - 98%, suggesting the presence of minor H<sub>2</sub>O and/or CO<sub>2</sub> (Table 1.2). Cordierite composition in symplectic textures does not show any compositional difference compared to other cordierite samples.

#### ***1.7.3.5 Plagioclase***

The M<sub>1</sub> and M<sub>3</sub> plagioclase grains have similar compositions (Table 1.2): M<sub>1</sub>-Pl: Ab<sub>70.1</sub>An<sub>27.7</sub>Or<sub>2.2</sub> (n= 150); M<sub>3</sub>-Pl: Ab<sub>71.7</sub>An<sub>26.6</sub>Or<sub>1.7</sub> (n = 94). The M<sub>3</sub>-Pl samples are slightly more sodic.

#### ***1.7.3.6 Oxides***

Ilmenite is the only oxide present. Table 1.2 presents the composition of ilmenites that occur between garnet grains or that are enclosed by quartz and plagioclase. The Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> mole fraction in ilmenite varies between 0.07 and 0.19.

## 1.8 TIMING, GEOTHERMOBAROMETRY AND P-T-t PATHS

A combination of regional geochronology, lithotectonic relationships and geothermobarometric techniques was used to define the timing and conditions for M<sub>1</sub> and M<sub>3</sub> episodes of granulite facies metamorphism. As mentioned above, the second metamorphic episode affected the Ashuanipi rocks only. The age of the diatexites, and therefore of M<sub>2</sub>, is inferred to be ~2680-2650 Ma (see *Discussion* for more details; Cadéron *et al.*, 2002b).

### 1.8.1 Thermobarometric techniques

Thermobarometric calculations were made using version 2.02 of the TWEEQU program (Thermobarometry With Estimation of EQUilibration state; Berman, 1991) and the internally consistent thermodynamic data of Berman (1988), Berman *et al.* (1995) and Berman and Aranovitch (1996) for end-member phases, with solution models from 1996 (BA96a.SLN). Activity-composition relationships for garnet, biotite, orthopyroxene, cordierite and plagioclase were computed using the models of Berman (1988, 1990, 1991), Fuhrman and Lindsley (1988), Berman and Aranovitch (1996), Aranovitch and Berman (1996) and Berman *et al.* (1995). Quartz was assumed to be pure. A maximum 'aggregate uncertainty' of  $\pm 1$  kbar and  $\pm 50$  °C was adopted for the calculations based on the suggestions of Essene (1989) for conventional thermobarometry. The TWEEQU program calculates pressures and temperatures from the intersection of three or more end-member



reactions in P-T space. The equilibration state of a sample can be evaluated by comparing the position of intersecting points: good convergence infers that equilibrium was attained, whereas divergence implies that equilibrium was not attained or that one or more phases were erroneously included in the assemblage. In order to constrain the higher pressures and temperatures of the  $M_1$  calculations, garnet, biotite, orthopyroxene and cordierite core compositions were used for the garnet + orthopyroxene + biotite + cordierite + plagioclase + quartz assemblage, and garnet, orthopyroxene and biotite core compositions were used for the garnet + orthopyroxene + biotite + plagioclase + quartz assemblage. The latter assumption was also made for the  $M_3$  metamorphic garnet + orthopyroxene + biotite + plagioclase + quartz assemblage. Peak temperatures were calculated using the compositions of isolated biotite grains in the quartz-feldspar matrix because this form of biotite is the least likely to be affected by Fe-Mg exchange with other minerals during cooling (Spear, 1993). In order to avoid the influence of late-stage Fe-Mg exchange with biotite, only the borders of garnets and orthopyroxene grains surrounded by quartz and plagioclase were used. Minimum P-T conditions for peak metamorphism were calculated using garnets of intermediate composition (pressure only) and biotite inclusions in garnet and/or orthopyroxene (pressure and temperature).

Several geothermometers based on Fe-Mg exchange were used for the garnet + orthopyroxene + biotite + plagioclase + quartz assemblage (Sen and Bhattacharya, 1984; Berman, 1990):





where mineral abbreviations are from Kretz (1983; See appendix III for minerals notation).

In cordierite-bearing assemblages, the iron-rich cordierite phase was not observed (cordierite was dominantly magnesian:  $\text{Mg}/(\text{Fe} + \text{Mg}) = 0.75$ ). TWEEQU therefore proposed the following geothermometers:



Several geobarometers were used to calculate pressure. Conditions for the garnet-orthopyroxene-biotite-plagioclase-quartz assemblage were calculated using Fe (Perkins and Chipera, 1985) and Mg (Eckert *et al.*, 1991) end-member equilibria:



For cordierite-bearing assemblages, the use of the garnet-orthopyroxene-Mg-cordierite-quartz geobarometer was used as a second, complementary technique.

## 1.8.2 Thermobarometric results

### 1.8.2.1 $M_1$ metamorphic episode

The first episode of granulite facies metamorphism ( $M_1$ ) pre-dates the age of the Ashuanipi diatexites (~2680 Ma) because enclaves of older Opinaca metasediments contain

an assemblage that defines the  $S_1$  foliation (see above), yet the surrounding diatexites do not. Monazites containing  $M_1$ -Opx grains were extracted from similar paragneiss units in the Opinaca and revealed ages of 2680-2670 Ma (Woodicka, 2000). Percival *et al* (2002) estimated that the metatonalites of the Desliens Suite were emplaced at 2725 Ma, and were subsequently metamorphosed to granulite facies between 2700 and 2691 Ma. The  $M_1$  metamorphic episode can therefore be constrained between 2705 and 2680 Ma by geological and geochronological data.

The TWEEQU reactions of Figure 1.10a demonstrate that the *garnet + orthopyroxene + biotite + plagioclase + quartz* assemblage was in equilibrium. Some reaction curves suggest that garnet was not always in equilibrium with orthopyroxene and biotite. More likely, garnet may have exchanged Fe-Mg with biotite and orthopyroxene below the peak temperature, causing the Grt-Opx and Grt-Bt thermometers to diverge.

The P-T results for this assemblage is presented in Figure 1.11a. Peak- $M_1$  conditions obtained from mineral cores ranged from 8.2 - 6.1 kbar for temperatures of 900 - 790 °C, with a calculated average of 7.1 kbar and 840 °C ( $n = 36$ ; errors of  $\pm 1$  kbar,  $\pm 50$  °C).

Minimum peak- $M_1$  conditions of 7.1 - 5.1 kbar and 830 - 720 °C were obtained from minerals with intermediate compositions and from mineral rims, with average values of 6.3 kbar and 790 °C ( $n = 39$ ; errors of  $\pm 1$  kbar,  $\pm 50$  °C). These values are in the range of the minimum temperatures required for orthopyroxene stability (750 - 780 °C; Bégin and Pattison, 1994).

Figure 1.10b demonstrates that the phases selected according to mineral compositions

of the *garnet + orthopyroxene + biotite + cordierite + plagioclase + quartz* assemblage are in equilibrium. Biotite is absent from the diagram. In fact, results obtained with biotite show that cordierite may have exchanged Fe and Mg with biotite below the temperature at which the net transfer equilibria closed, causing the cordierite-biotite bearing equilibria to diverge. The biotite-quartz symplectic textures observed around cordierite are further evidence that late-stage Fe-Mg exchange occurred during cooling and decompression (see Fig. 1.6d).

Figure 1.11a presents the P-T results calculated for this assemblage. The maximum temperatures obtained were 60 - 100 °C above those calculated for the *garnet + orthopyroxene + biotite + plagioclase + quartz* assemblage. Peak P-T conditions obtained from mineral cores were 7.4 - 6.6 kbar and 960 - 930 °C, with an average of 7 kbar and 940 °C (n= 17; errors of  $\pm 1$  kbar,  $\pm 50$  °C). Minimum P-T conditions for peak-M<sub>1</sub> using minerals of intermediate compositions and mineral rims were calculated to be 7 - 6.2 kbar and 900 - 830 °C, with an average of 6.6 kbar and 880 °C (n= 29; errors of  $\pm 1$  kbar,  $\pm 50$  °C).

Minimum values for peak metamorphic conditions, obtained from biotite inclusions in garnet and cordierite, were 7.5 - 7.2  $\pm 1$  kbar and 910 - 850  $\pm 50$  °C. These values are higher than those obtained for the *garnet + orthopyroxene + biotite + plagioclase + quartz* assemblage, suggesting that the cordierite-absent assemblage did not conserve peak P-T conditions during M<sub>1</sub> metamorphism. Cordierite is only found near the Ashuanipi Subprovince and could illustrate a geographic P-T variation.

### 1.8.2.2 $M_3$ metamorphic episode

Metamorphic zircons from an orthopyroxene-bearing  $F_3$  axial planar leucosome gave an age of  $2645 \pm 5/-4$  Ma (Woodicka, 2000). This age is confirmed by metamorphic zircons from the Desliens Suite (2643 Ma) that were dated by Percival *et al.* (2002).

The TWEEQU diagram of Figure 1.10c demonstrates that the *garnet + orthopyroxene + biotite + plagioclase + quartz* assemblage of the  $M_3$  metamorphic episode is generally in equilibrium, with only a few exceptions. Intense migmatization associated with  $D_3$  deformation and  $M_3$  metamorphism involved a significant fluid component. Consequently,  $M_3$ -Opx are much more altered compared to  $M_1$ -Opx, and are locally retrograded. Equilibrium conditions are therefore more difficult to determine. The effect of cooling, mineral re-equilibration, and partial melting are all negative factors in the determination of peak metamorphic conditions.

Figure 1.11b presents the P-T results obtained for this assemblage. The temperatures are similar for those calculated for the same assemblage during  $M_1$ . Maximum P-T conditions using mineral cores are 8.3 - 6.8 kbar for a temperature range of 890 - 820 °C, with an average of 7.5 kbar and 840 °C ( $n=24$ ; errors of  $\pm 1$  kbar,  $\pm 50$  °C). Minimum P-T conditions obtained from mineral rims and minerals of intermediate composition were 7.2-5.8 kbar and 810 - 720 °C. The average for these minimum peak- $M_1$  P-T conditions is 6.5 kbar and 770 °C ( $n=21$ ; errors of  $\pm 1$  kbar,  $\pm 50$  °C).

## 1.9 DISCUSSION

### 1.9.1 Diachronous metamorphic events or continuous tectono-thermal evolution?

It is difficult to determine whether the two generations of orthopyroxenes and the slight differences in P-T estimates for the  $M_1$  and  $M_3$  metamorphic episodes belong to a single P-T-t path or to separate, temporally distinct, metamorphic periods. Figure 1.5 clearly demonstrate the existence of two generations of orthopyroxenes that mark the  $S_1$  and  $S_3$  foliations. The following lines of evidence support the idea that these granulitic episodes represent two stages of a continuous tectonothermal event for the Archean Opinaca sedimentary basin:

1- The compositions of  $M_1$ - and  $M_3$ -orthopyroxenes display chemical continuity (see Figs. 1.7a, 1.7b & 1.7c). The  $M_3$ -Opx are slightly depleted in Fe relative to  $M_1$ -Opx (Fig. 1.7a), suggesting Fe loss with the weak increase in temperature (Fe-Mg exchange). Figure 1.7d shows that orthopyroxenes from leucosome borders have a composition intermediate between  $M_1$ - and  $M_3$ -Opx. This compositional change also coincides with continuous thermal evolution;

2- P-T conditions for the garnet + orthopyroxene + biotite + plagioclase + quartz assemblage are similar for both  $M_1$  and  $M_3$  events. The pressure range obtained for the cordierite-bearing  $M_1$  assemblage was also similar, although temperatures were higher.

The clockwise P-T-t paths for  $M_1$  and  $M_3$  (Fig. 1.12) display a large decrease in temperature ( $M_1$ : 180 - 130 °C;  $M_3$ : 170 °C) yet only a moderate drop in pressure ( $M_1$ : 3 -

1.2 kbar;  $M_3$ : 2.5 kbar). They are therefore best described as near-isobaric cooling paths (c.f., Bégin and Pattison, 1994). For most samples, the  $dP/dT$  gradients ( $M_1$ : 0.4 - 1.6 kbar/100 °C;  $M_3$ : 1 - 1.4 kbar/100 °C) are within the range of other granulite terranes showing isobaric cooling (e.g., 0.5 - 2 kbar/100 °C; Harley, 1989). According to the definition by Martignole (1992), the Opinaca metasediments represent “intermediate granulites”.

## **1.9.2 Tectono-metamorphic model**

### ***1.9.2.1 Extension and deposition of Opinaca sediments.***

The tectono-metamorphic evolution of the Opinaca began with the development of a sedimentary basin sometime prior to 2700 Ma, the possible minimum age of the Opinaca sediments (Figs. 1.13a & 1.13b; Davis *et al.*, 1990; Percival and Sullivan, 1988). Magmatic activity at ~2725 Ma resulted in the emplacement of the Desliens Suite tonalites and the layered ultramafic sills of the Opinaca.

An hypothesis model is proposed based in which high heat flow over a possible north-northwest dipping oceanic plate initiated an extensional period by 2725 Ma, separating the Archean crust of the Opinaca and La Grande subprovinces (gneissic basement: 2811 and 2825-2820 Ma, respectively; See geological setting) along normal faults (Fig. 1.13a). These structures are not observed on the field. However, different factors could explain this lack of evidences: (1) the high metamorphic grade at amphibolite

to granulite facies affected these structures and this metamorphic period went on 65 Ma, (2) these faults were reactivated as thrust faults during D<sub>1</sub>, (3) these thrusts are folded during D<sub>3</sub>. It seems difficult to find primary structures like kinematic indicators representing normal faults in this metamorphic grade related to a polyphased tectonic regime. Presence of previous normal faults could explain that the younger Opinaca metasediments thrust the older lithologies of La Grande and Opatica subprovinces. Percival *et al.* (2003) defined the Desliens Suite as adakitic and suggested that it formed from plumed of partially melted slab and mantle material (« hot slab subduction ») prior to ridge-trench collision, although the position and geometry of the tectonic features at 2725 Ma remain speculative.

The La Grande and Opatica metavolcanic units could reflect synchronous volcanic activity related to this initial extensional phase. Felsic volcanic rocks from the La Grande Volcano-Sedimentary Belt to the north (LGVSB) record an early episode of volcanic activity at 2732 Ma (Goutier *et al.*, 1998) and contain inherited zircons (~2800 Ma) that suggest partial melting of older tonalitic basement (David, 1996). The lithologies south of the Lac Vallard Fault were mapped as part of the Opatica by Lamothe *et al.* (1998). This has been defined as volcano-plutonic by several previous researchers (Card, 1990; Benn *et al.*, 1992; Davis *et al.*, 1995), yet the lithological units in the present study area are dominantly volcano-sedimentary and include polymictic conglomerates in contact with basalts and felsic volcanics (Goulet, 2000). These units could represent a lateral equivalent of the Middle Eastmain Volcano-sedimentary Belt to the south (MEVSB), as defined by Boily (1999, 2000). Compared to the LGVSB, felsic volcanic rocks from this belt reveal a similar, but slightly older age of 2739 Ma for volcanic activity (Gauthier and Larocque,



1998; Fig. 1.13a).

The Opinaca metasediments represent the products of erosion from the La Grande and Opatoca subprovinces. Initial sedimentation was dominated by polymictic conglomerates that are now observed along the Dalmas Fault that traces the Opinaca/La Grande contact (Fig. 1.13b). Fragments include various recognizable lithologies of the La Grande, including tonalite, volcanic rocks and iron formation. The conglomerates along the Lac Vallard Fault at the Opinaca/Opatoca contact contain fragments of tonalite, granodiorite, volcanites and iron formation, all of which are lithologies observed in the Opatoca sequences. Approximate maximum age of deposition is 2720-2730 Ma (Paquette and Gauthier, 1997). The fragments are flattened along  $S_1$  and folded by  $F_3$  (Figs. 1.3a & 1.3h), suggesting that these conglomerates were pre- $D_1$ . Determining the ages of Opinaca metasedimentary rocks is problematic. Several authors have proposed that this represents the lateral equivalent of the metasedimentary Quetico Subprovince (Ontario) in the western Superior Province (see Fig. 1.1; e.g., Card, 1990; Lamothe *et al.*, 1998; Cadéron *et al.*, 1999, 2000). Detrital zircons from metasedimentary rocks in the Quetico gave ages that ranged from >3000 Ma to 2698 Ma (Davis *et al.*, 1990; Percival and Sullivan, 1988). The Desliens Suite, dated to 2725 Ma by Percival *et al.* (2003), is intrusive in the Opinaca metasediments giving them a maximum age of deposition of 2730 Ma.

### ***1.9.2.2 Compression and initial closure of the Opinaca basin: $M_1$ - $D_1$ tectono-metamorphic episode***

The first stage of compressional tectonics began at ~2705 Ma and continued until 2680 Ma (Fig. 1.13c), the age of the Ashuanipi diatexites emplacement. The diatexites, produced by partial melting of the La Grande, Opinaca and Opatica subprovinces, do not record this event, although the metasedimentary enclaves in the diatexites contain  $M_1$ -Opx oriented along  $S_1$  foliation planes. The Opinaca metasediments and the Desliens Suite were also affected by  $D_1$  during initial closure of the basin. The Desliens metatonalites contain metamorphic zircons that were dated at  $2698 \pm 9$  Ma by Percival *et al.* (2003). This closing phase is related to continued subduction of the oceanic slab described above (Fig. 1.13a).

At this time, the Opinaca metasediments are extremely thickened, related to polyphased foldings, thrusts, and imbrications (Fig. 1.13c). Perturbation of the geotherm related to the delamination of the oceanic plate heated the base of the metasediments. Minimum peak- $M_1$  metamorphic conditions were high, attaining  $8.2 \pm 1$  kbar and  $960 \pm 50$  °C. Temperatures increased to the east, towards the Ashuanipi contact. This progressive increase is explained by the presence of the Ashuanipi diatexites, a potential heat source during late- $M_1$  (see below). Progressive syn- $D_1$  exhumation of Opinaca sediments resulted in decompression-related symplectic cordierite textures (see Fig. 1.6d). The minimum P-T conditions calculated for  $M_1$  ( $5.1 \pm 1$  kbar and  $720 \pm 50$  °C) reflect a cooling phase.

During closure of the basin, Opinaca rocks were thrust onto the La Grande and Opatica subprovinces (Fig. 1.13c). The Dalmas and Lac Vallard faults, interpreted as old

extensional normal faults (see above), display  $D_1$  fabrics related to reactivation as thrust faults, and the reverse splay along these fault zones led to double-vergence thrusting to the north and south creating a “double-vergence structure” (Fig. 1.13c). Metasedimentary rocks, ultramafic sills and Desliens intrusives were folded by  $F_1$ , and syn-tectonic tonalites were emplaced by 2704 Ma in the La Grande and Opinaca subprovinces (Joubert Suite; Parent, 1998; Lamothe *et al.* 2000) and by 2702 Ma in the Opatika (Woodicka, 2000).

Volcanic activity persisted throughout the  $M_1$ - $D_1$  episode as supported by dates from  $D_1$  deformed rocks in the LGVSB (up to 2708 Ma; David, 1996; Goutier *et al.*, 1998), and in the MEVSB (up to 2705 Ma; Gauthier and Larocque, 1998). Evidence of volcanic activity at 2711 Ma was obtained from felsic volcanic rocks now located in large volcanosedimentary enclaves of the central Ashuanipi (David and Parent, 1997).

### ***1.9.2.3 Ashuanipi event: $M_2$ (late- $M_1$ )- $D_2$ tectono-metamorphic episode***

The prolonged and intense  $M_1$  metamorphic episode culminated in diatexite formation as a significant volume of melt products accumulated at the base of the metasedimentary sequences (Fig. 1.13c). The chemical composition of the Opiscoteo diatexites suggest that they were derived from the melting of a dominantly detrital source in a subduction setting (Saunders *et al.*, 1980; Sawyer, 1998). The diatexites are therefore interpreted to have formed from partial melting of the La Grande, Opinaca and Opatika subprovinces between 2680 and 2650 Ma (Percival, 1987, 1991, 1993; Chevé and Brouillette, 1995; James, 1997; Leclair *et al.*, 1998; Parent, 1998; Lamothe *et al.*, 1998; Cadéron *et al.*, 2002b). The  $D_2$

deformation phase was recorded by the diatexites as the still-hot material was forced upwards along zones of weakness, such as the Dalmas Fault (La Grande/Opinaca contact) and Lac Vallard Fault (Opinaca/Opatica contact; Fig. 1.13d). The La Grande/East-Ashuanipi contact is overprinted by the monzogranite of the Gamart Suite, suggesting that this was also the site of a faulted zone that may have been used during diatexite emplacement. Intrusion of the Ashuanipi diatexites was accompanied by a period of granulite facies metamorphism that is absent in the Opinaca metasediments to the west. This metamorphic episode, named  $M_2$  to reflect its association with  $D_2$  structures, actually represents the prolongation of granulitic P-T conditions and thus corresponds to a late- $M_1$  phase (Cadéron *et al.*, 2002b). Orthopyroxenes from this stage are flattened along  $S_2$  and are most likely pre- to syn- $D_2$  in age. The formation of the Ashuanipi marks a hiatus in the closure of the basin.

#### ***1.9.2.4 Terminal closing phase: $M_3$ - $D_3$ tectono-metamorphic episode***

The end of the Ashuanipi stage was characterized by the emplacement of the Gamart Suite fractionated granites (Lamothe *et al.*, 2000; Fig. 1.13e). The younger age, presence of small pockets within the Ashuanipi, and similar chemical composition to that of the diatexites collectively suggest that the Gamart granites formed by partial melting of the diatexites or that both had a common source (Lamothe *et al.*, 2000). Granite emplacement signified a new tectonic pulse accompanied by  $D_3$  deformation and final basin closure. The onset of the  $M_1$  cooling phase coincided with the beginning of  $M_3$  metamorphism and  $D_3$

deformation. Monazites from a  $M_3$  leucosome containing  $M_3$ -Opx gave an age of  $2645 \pm 5/-4$  Ma (Woodicka, 2000). Percival *et al.* (2003) were able to date a 2643 Ma metamorphic episode in the metatonalites of the Desliens Suite. These ages link the  $M_3$  metamorphic stage with the emplacement of the Gamart Suite at  $2647 \pm 2$  Ma.

Minimum peak P-T conditions for  $M_3$  attained  $8.3 \pm 1$  kbar and  $890 \pm 50$  °C, and minimum cooling conditions were  $5.8 \pm 1$  kbar and  $720 \pm 50$  °C. The  $D_3$  event reoriented  $S_1$  and  $S_2$  foliations into an E-W direction in response to N-S compression ( $D_1$  tectonic compression was E-W to NW-SE). This regional-scale deformation, visible on aeromagnetic maps, folded  $D_1$  and  $D_2$  structures. The Opinaca basin was also folded into a large antiform overturned to the south (see Fig. 1.2). The La Grande/Opinaca and Opinaca/Opatika contacts (Dalmas and Lac Vallard faults) were also refolded by  $F_3$  (Fig. 1.2). During this tectono-metamorphic phase, a sliver of Opinaca rocks was transported northward or southward forming a large-scale syn- $D_3$  synform structure localized between the Dalmas and the Nichicun faults (see Fig. 1.2). The E-W-oriented Nichicun Fault marks the contact between the Opinaca and West-Ashuanipi subprovinces. Rocks along this fault displays two orthopyroxenes, the first of which is related to  $M_2$  Ashuanipi metamorphism, and the other oriented along  $S_3$ .

The Lataignant Suite, consisting of large megaporphyritic alkaline granite plutons and batholiths, crosscuts the lithologies of the Opinaca . It includes the Dusterlo and Delmothe batholiths, dated at  $2642 \pm 9/-5$  Ma and  $2638 \pm 2$  Ma, respectively (David and Parent, 1997). The Lignerion Suite, consisting of plutonic tonalitic and granodioritic rocks, also crosscuts the Opinaca lithologies and was dated at  $2636 \pm 2$  Ma (Parent, 1998). Reflecting reduced but

ongoing thermal and tectonic activities, these two Suites display a weak foliation and are therefore interpreted as late-D<sub>3</sub>. This last metamorphic period probably stabilized at amphibolite facies between 2635 to 2633 Ma, as suggested by several U/Pb ages obtained from titanite and monazite grains in the diatexites of the Ashuanipi (Parent, 1998) and by zircon overgrowths in the Desliens metatonalites (Percival *et al.*, in progress).

The ages of the overgrowths on zircon and some titanite grains revealed the possibility that hydrothermal metamorphic events occurred at 2620 Ma (Parent, 1998) and 2605 Ma (Percival *et al.*, in progress). A fourth generation of deformation, D<sub>4</sub>, is characterized by large amplitude folds with N-S axial traces. D<sub>4</sub> weakly affects the late-tectonic fluorite-bearing granite intrusions of the Ashuanipi (Viau Suite) that have been dated at 2571±2 Ma (David and Parent, 1997; Cadéron *et al.*, 1999, 2000; see Fig. 1.2). This intrusive Suite bears a geochemical signature similar to that of the post-collisional alkaline granite plutons of the Lachlan belt in Australia (Lamothe *et al.*, 2000).

During Paleoproterozoic time, deformation was defined by the development of a mylonite corridor along the contact between the Grenville and Superior provinces, and by the emplacement of mafic dyke swarms. The Archean structures are locally preserved within the deformation corridor (Lamothe *et al.*, 1998).

## 1.10 COMPARISON WITH PREVIOUS STUDIES AND CONCLUSIONS

The polygranulitic metasediments of the Opinaca recorded minimum peak metamorphic conditions similar to those of typical granulitic terranes (700 - 1000 °C and 4 -

12 kbar, Bohlen, 1991). Regional isogrades, delimited by major faults, are folded (see appendix II, Fig. II).

A tectonic model based on a study of the Ashuanipi and its metasedimentary enclaves was presented by Percival (1990, 1991, 1994) and Percival *et al.* (1992) (see Fig. 3 in the introduction chapter). These authors proposed that the Ashuanipi and Opinaca terranes represent an accretionary prism formed between 2700 and 2690 Ma as a result of northward subduction (see Fig. 4 in the introduction chapter). Accretion resulted in the accumulation and deformation of greywacke sequences in a fore-arc basin. In this scenario, Opinaca metasedimentary rocks represent basin sediments subjected to high grade metamorphism. Percival (1991) proposed pressure conditions of 4.7-6.6 kbar and temperatures of 715-815 °C for paragneiss units located in the Ashuanipi.

This tectonic model does not correspond to our mineralogical and structural observations in the study area to the southwest, nor to our thermobarometric results. The analysis of contact zones between the subprovinces delineate a marginal basin, which cannot be incorporated into the model proposed by the other authors (see the previous models and the new field observations in the introduction and the chapter II, part 2.7.5 ‘Comparaison avec les modèles antérieurs’). For all these reasons, the structural and metamorphic observations of this study support a new model of tectonothermal evolution for the Opinaca basin.

To the west of the region described by Hocq (1985), Gauthier *et al.* (1997) described granulite facies paragneiss. These metasediments can be traced into the Lac Lichteneger region (Simard and Gosselin, 1998). All researchers in the region emphasize the importance

of migmatization of the metasediments. This phenomenon marks a period of high temperature metamorphism and partial melting. The absence of an intrusive phase like that of the Gamart Suite in the Ashuanipi could mean that this metamorphic period was synchronous with the  $M_1$  episode described in the present study. The  $D_1$  deformation stage therefore represents a major deformation event that caused the development of regional scale  $S_1$  foliation. Hocq (1985) also mentioned the presence of granitoid massifs at the heart of a large antiformal structure. These massifs are stretched E-W and display the same petrographic characteristics as the Delmothe and Dusterlo granitoids from the study area (Lataignant Suite; see Fig. 1.2), and may therefore be intrusive equivalents. According to our model, the massifs described by Hocq (1985) are late- $D_3$  and possibly related to the  $M_3$  event.

Several interpretations have been proposed for the nature of the contact between the La Grande and Opinaca subprovinces. According to Gauthier and Larocque (1998), the contact corresponds to a reverse fault that thrust the La Grande gneisses over the Opinaca metasedimentary rocks. Other authors consider this contact to represent an unconformity marked by the presence of polymictic conglomerates (Chartrand and Gauthier, 1995; Gauthier *et al.*, 1997). In the Lac Lichteneger area, Simard and Gosselin (1998) located the contact using geophysical survey data without being able to verify its location or characteristics in the field. In the present study area, this contact is delineated by a thrust zone (Opinaca over La Grande) as well as the presence of polymictic conglomerates. It is also marked by an abrupt change in the orientation of foliation along a folded mylonitic shear zone (Figs. 1.2, 1.3e & 1.3f). This contact predates  $D_1$  and could represent an ancient



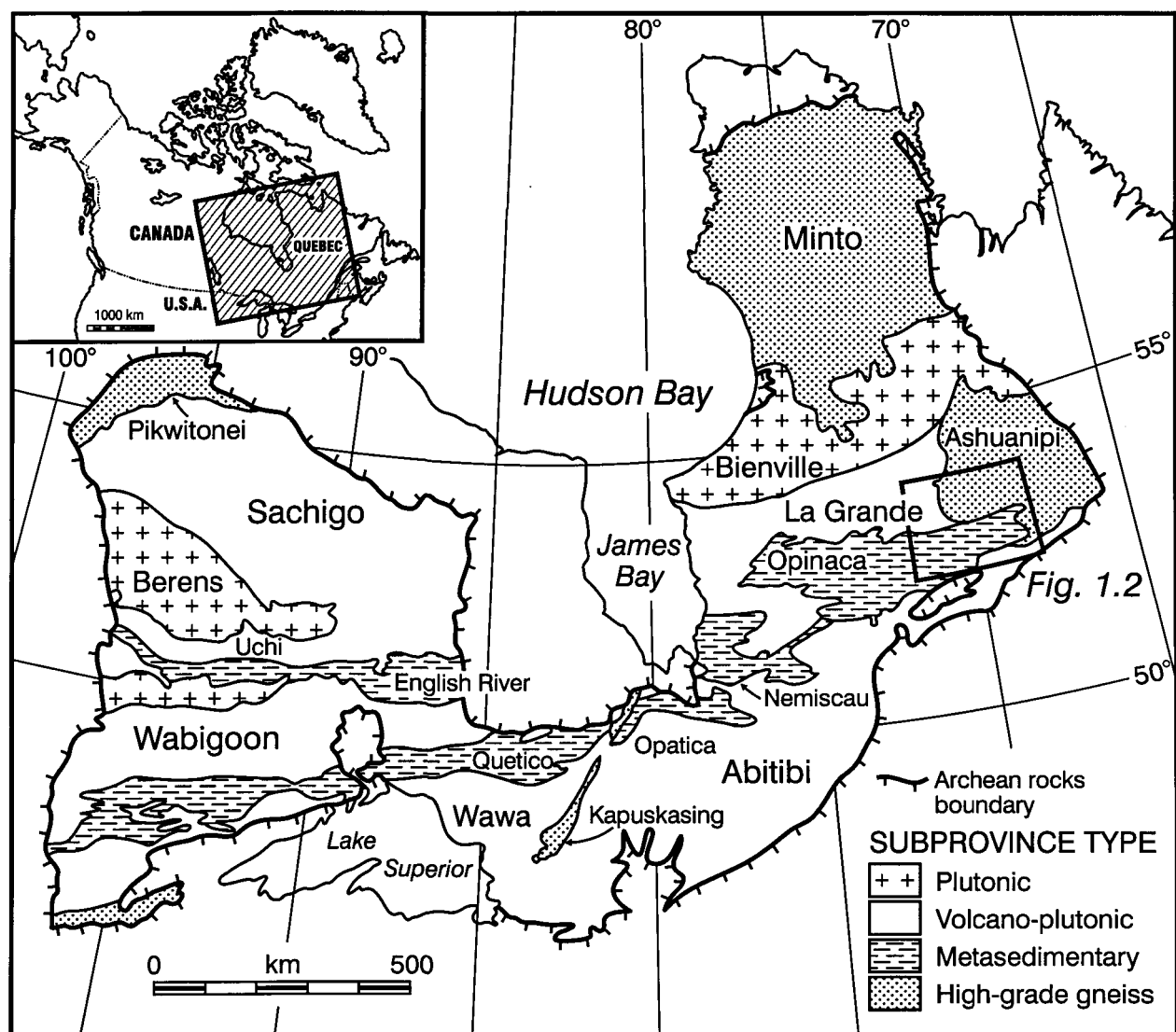
normal fault that was reactivated as a reverse fault during D<sub>1</sub>, thrusting the Opinaca metasedimentary units over the La Grande volcanosediments. The contact was refolded during D<sub>3</sub> and polymictic conglomerate units in this zone record the polyphased tectonic history (see Fig. 1.3a). Previous authors did not mention the polyphased deformation along this important suture zone, yet the effect is strongly evident in our study area, in particular the D<sub>3</sub> reorientation of S<sub>1</sub> foliation planes according to the local and regional changes in thrust directions.

The polymictic conglomerates along the La Grande-Opinaca contact could possibly represent the eastern continuation of the Thor Formation of Labbé and Bélanger (1998). These authors interpret the conglomerate units to be similar in nature to Timiskaming sediments located along the fault zones of the Abitibi Subprovince in the southern Superior Province (see Fig. 1.1; Dimroth and al., 1982; Mueller and Donaldson, 1992). Labbé and Bélanger (1998) also discovered that the Thor Formation is in contact with iron formations that locally contain traces of gold. The conglomerates in the present study area are also in contact with locally auriferous iron formations (Lamothe *et al.*, 2000). This area may therefore represent an important new target for mineral exploration.

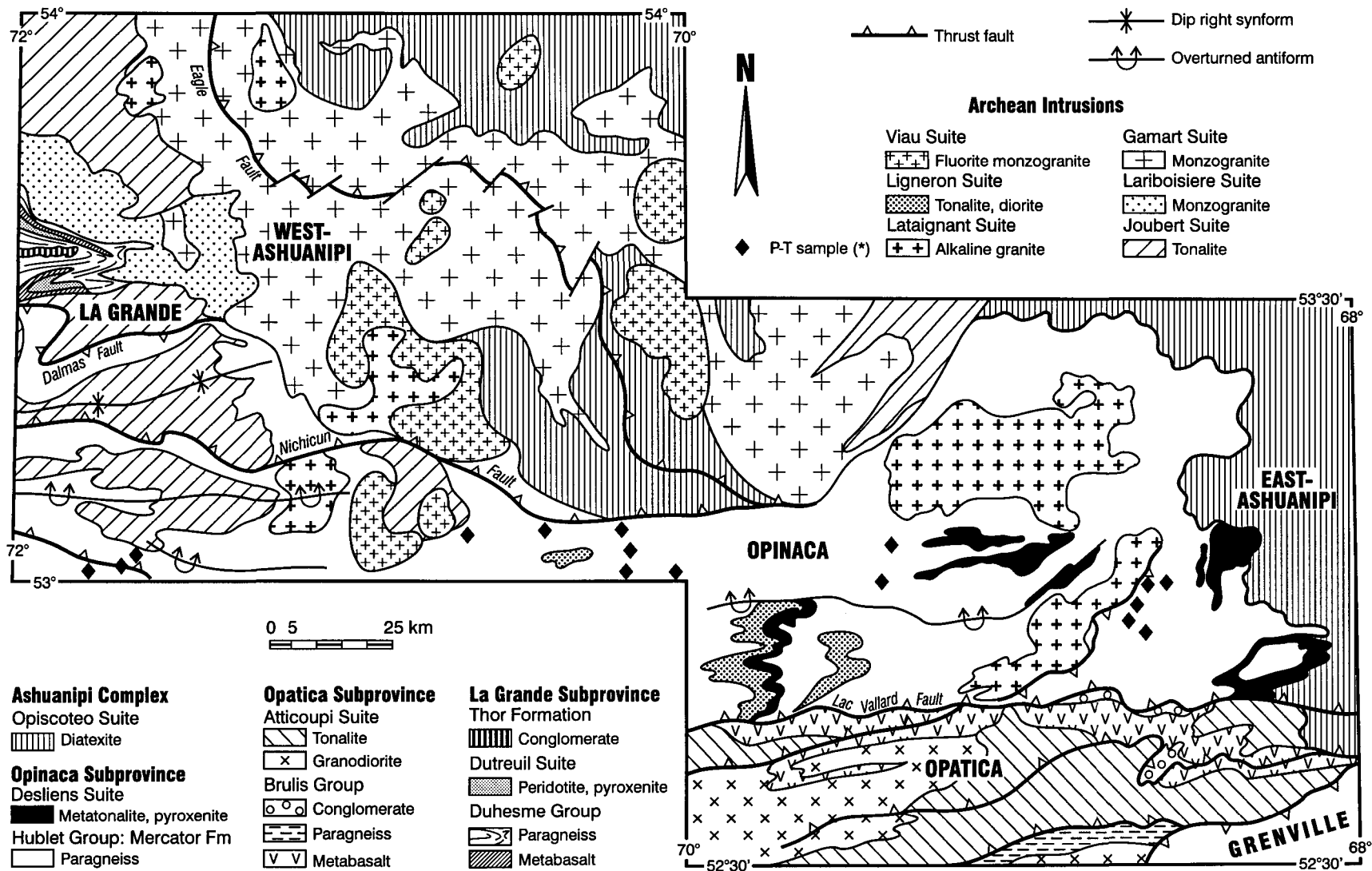
The Opinaca represents a double-vergence structure similar to tectonic « flower structures ». These structures have been recognized in more recent sedimentary basins, although other examples from the Archean have not been documented to our knowledge. The more recent examples occurred during Paleoproterozoic (McDonough *et al.*, 2000), Paleozoic (Nemes and al., 1997), Hercynian (Le Corre and Bouloton, 1987) and Cenozoic time (Cunningham *et al.*, 1997). They have also been described in the Canadian Rockies

and the French Alps. These structures are commonly associated with pull-apart basins and transpressional zones (McClay and Dooley, 1995).

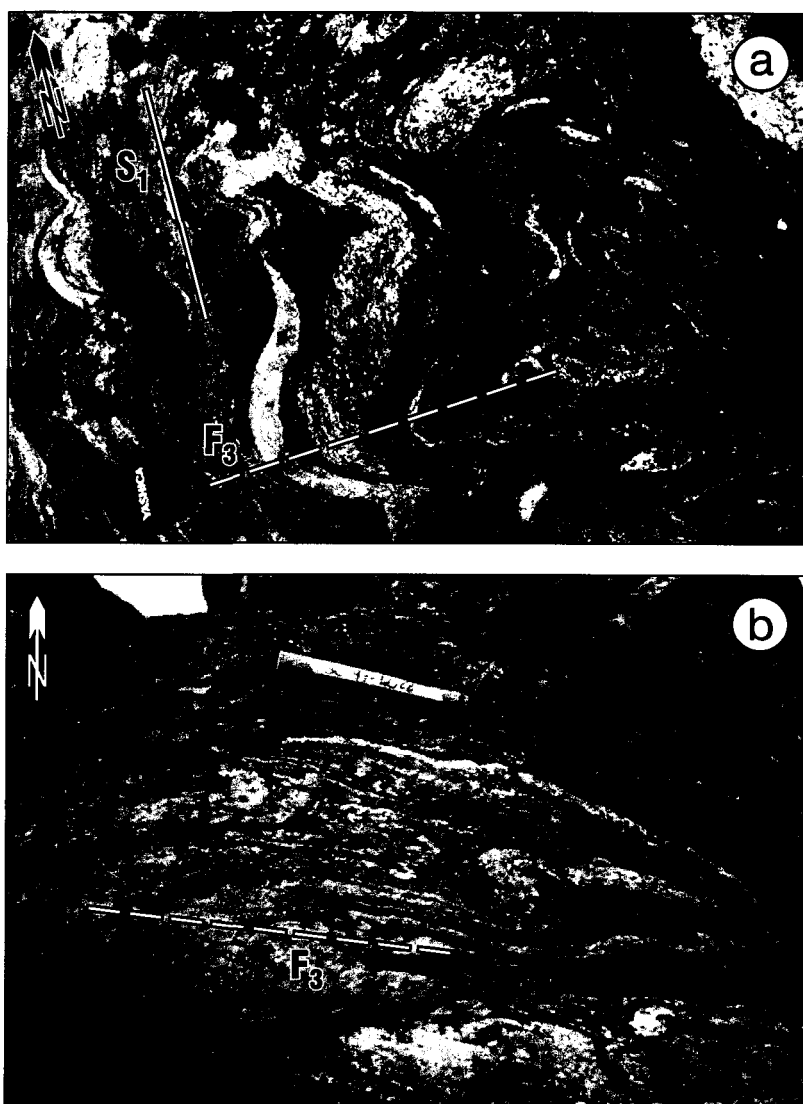
The Opinaca displays the same lithological characteristics as Nemiscau to the west (see Fig.1.1; Ciesielski, 1978) and Quetico in the western Superior Province (Percival, 1989a, 1990), leading some researchers to propose that the Opinaca represents the lateral equivalent to these domains (Card and Ciesielski, 1986; Card, 1990). However, the Quetico is interpreted as an accretionary prism between the Wabigoon and Wawa subprovinces to the north and south (Card and Ciesielski, 1986; Percival, 1989a; Percival and Williams, 1989; Card, 1990; Fig. 1.1), whereas this study proposes that the Opinaca represents a marginal basin deposited on a thinned continental crust. Our model for the Opinaca also includes granulite polymetamorphism and polyphased tectonism reflecting a complex tectono-metamorphic development that began prior to 2700 Ma, and continued until 2635 Ma. D<sub>1</sub> to D<sub>3</sub> is interpreted as a long-lasting and protracted metamorphic event that spans over 65 Ma defining a clockwise P-T-t path. This Archean basin is now interpreted as a marginal basin that formed during the Kenorean Orogeny.



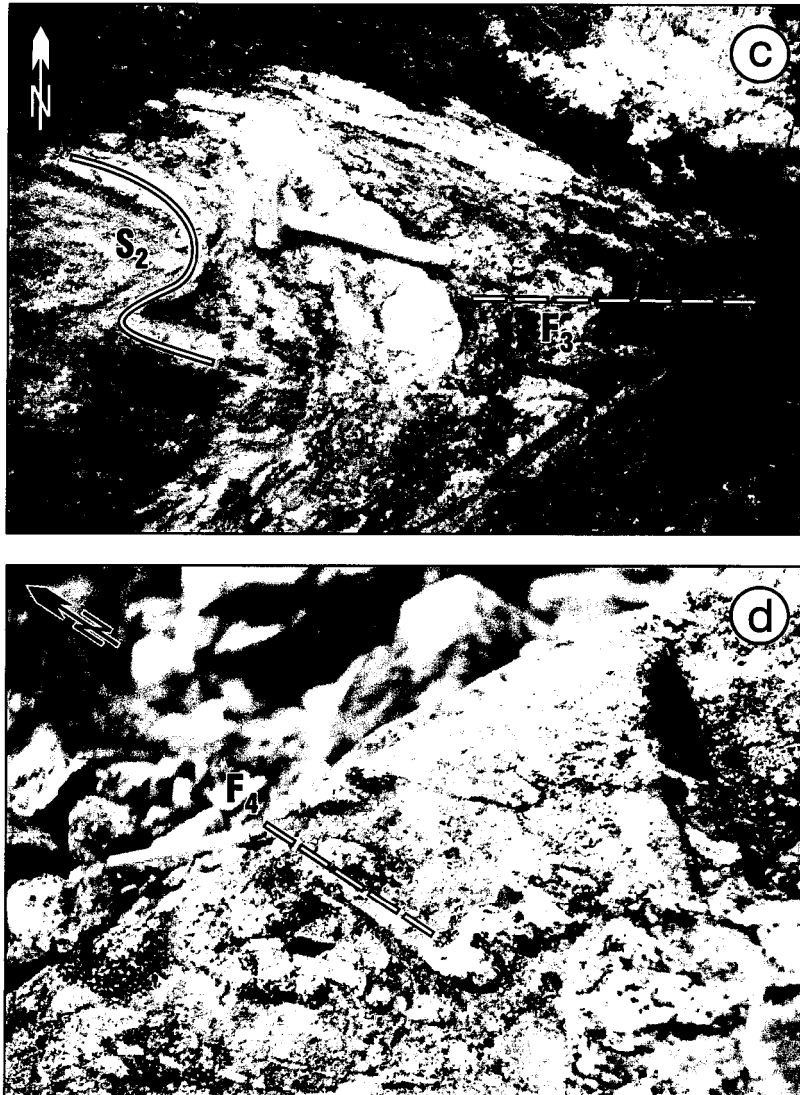
**Figure 1.1:** Localisation of the study area (modified from Percival *et al.*, 1992).



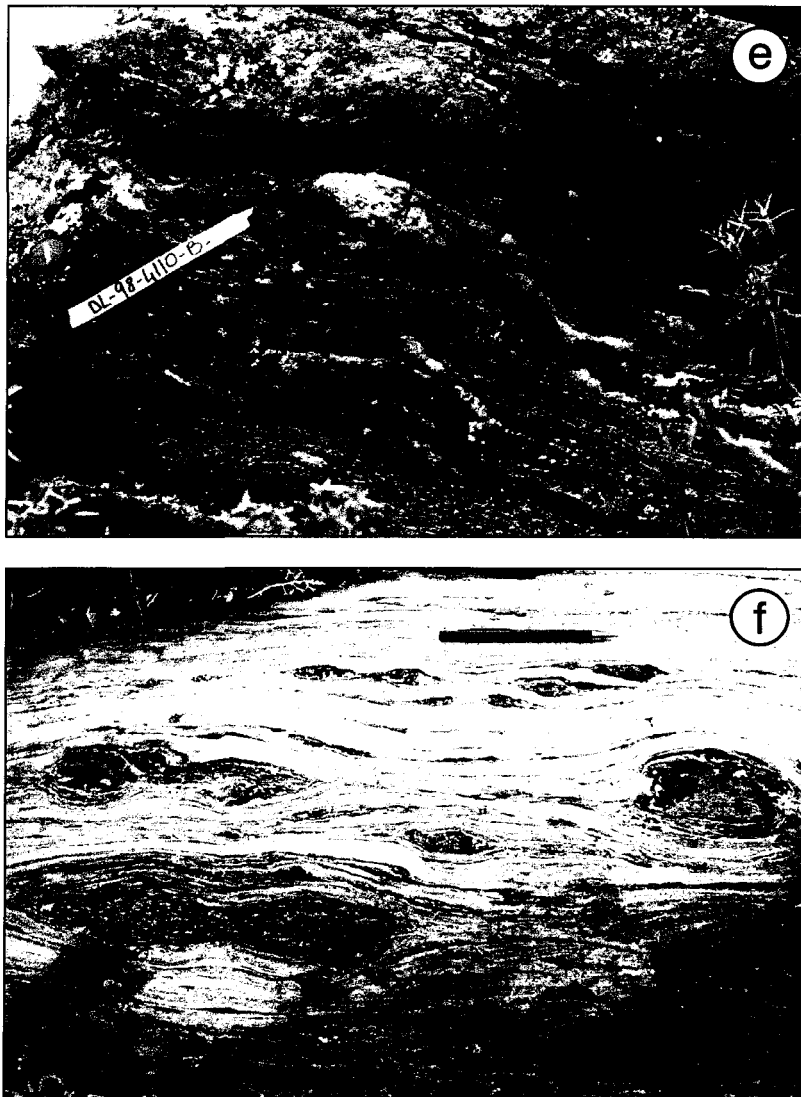
**Figure 1.2:** Geological map of the study area (Fm: Formation; modified from Lamothe *et al.*, 1998, 2000). (\*) See appendix II.



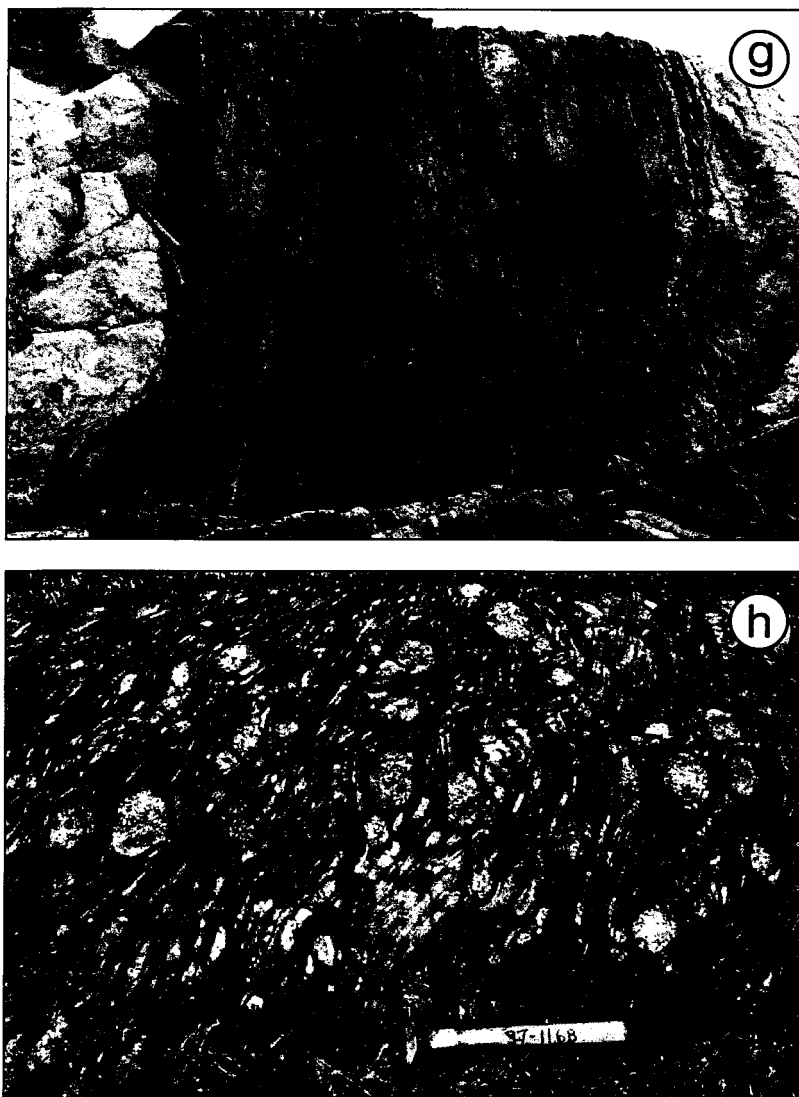
**Figure 1.3 :** (a) Polymictic conglomerates (Thor Formation) at the contact of the La Grande/Opinaca subprovinces. Fragments are flattened parallel to the  $S_1$  foliation and folded by  $F_3$ ; (b)  $F_3$  folds in granulitic metasediments in the Opinaca Subprovince.



**Figure 1.3:** (c)  $S_2$  foliation folded by  $F_3$  fold in the Ashuanipi diatexites; (d)  $F_4$  fold in Opinaca metasediments.

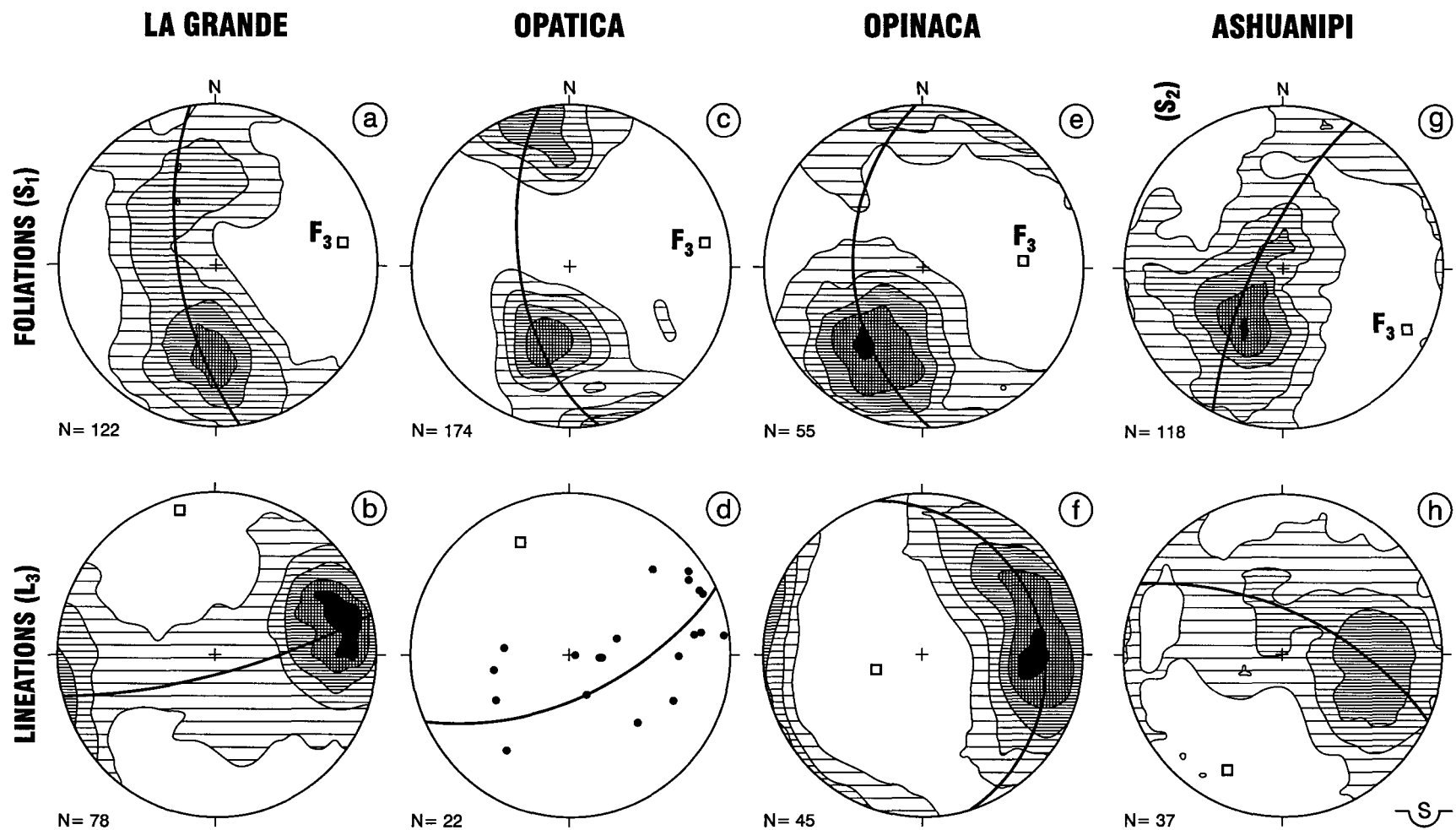


**Figure 1.3:** (e) Mylonitized metasediments along the Dalmas Fault; (f) Mylonitized metabasalts along the Dalmas Fault.

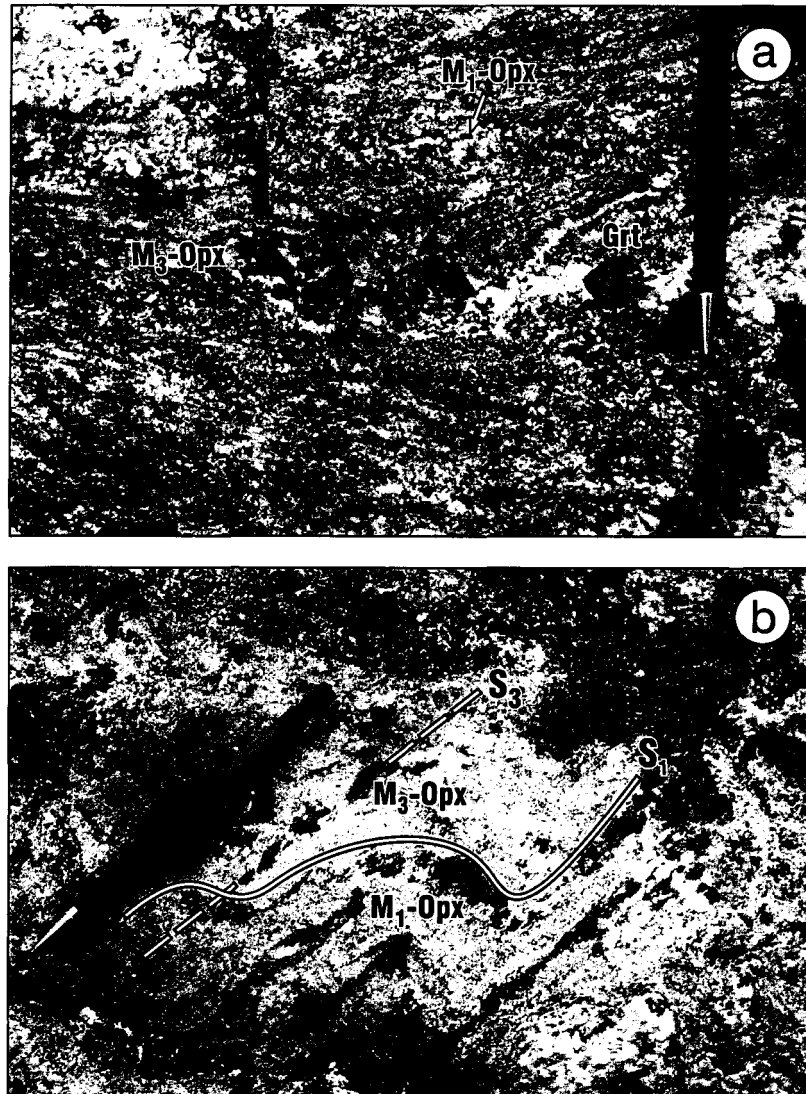


**Figure 1.3:** (g) Mylonitized metasediments along the Nichicun Fault; (h) Polymictic conglomerates along the Lac Vallard Fault.

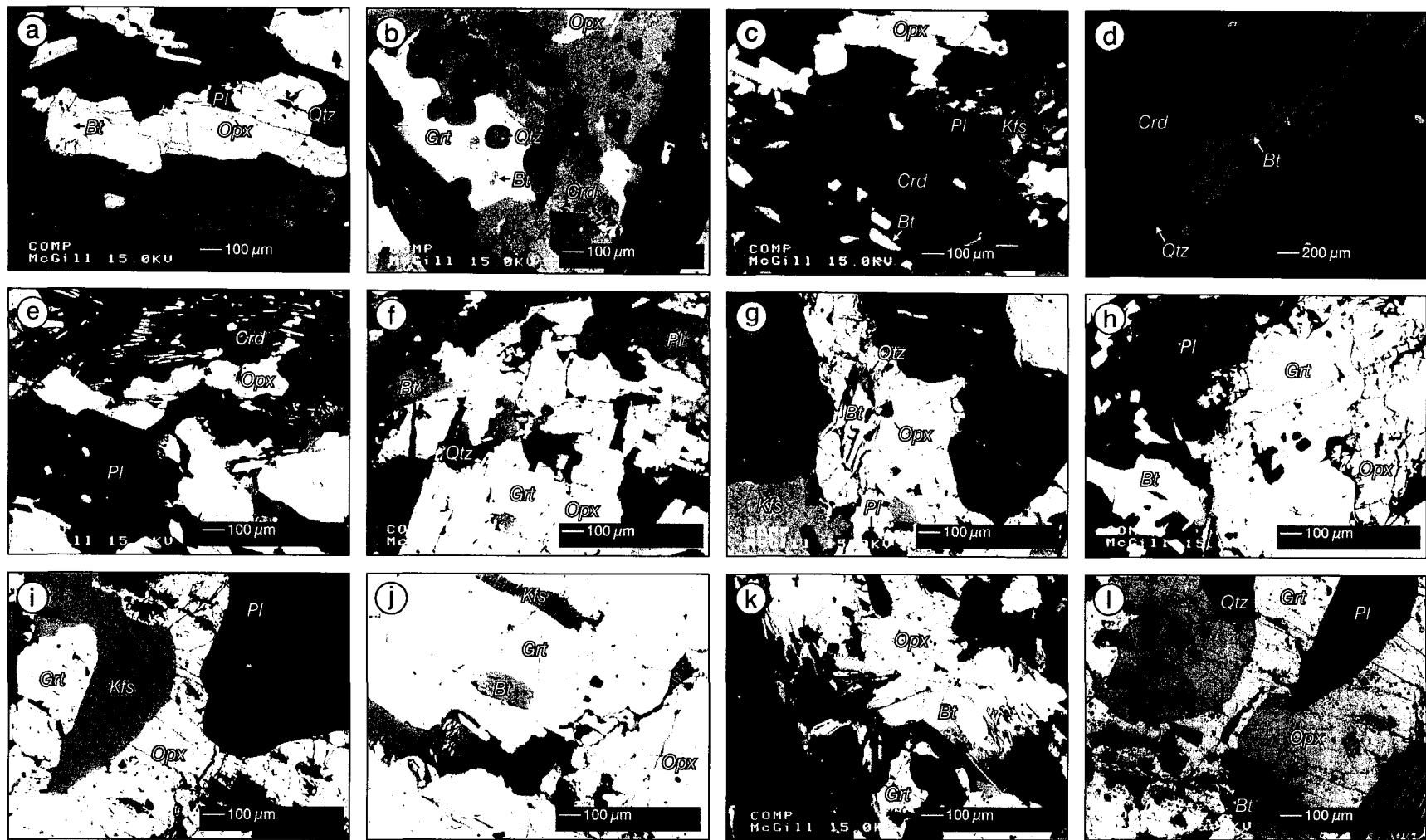




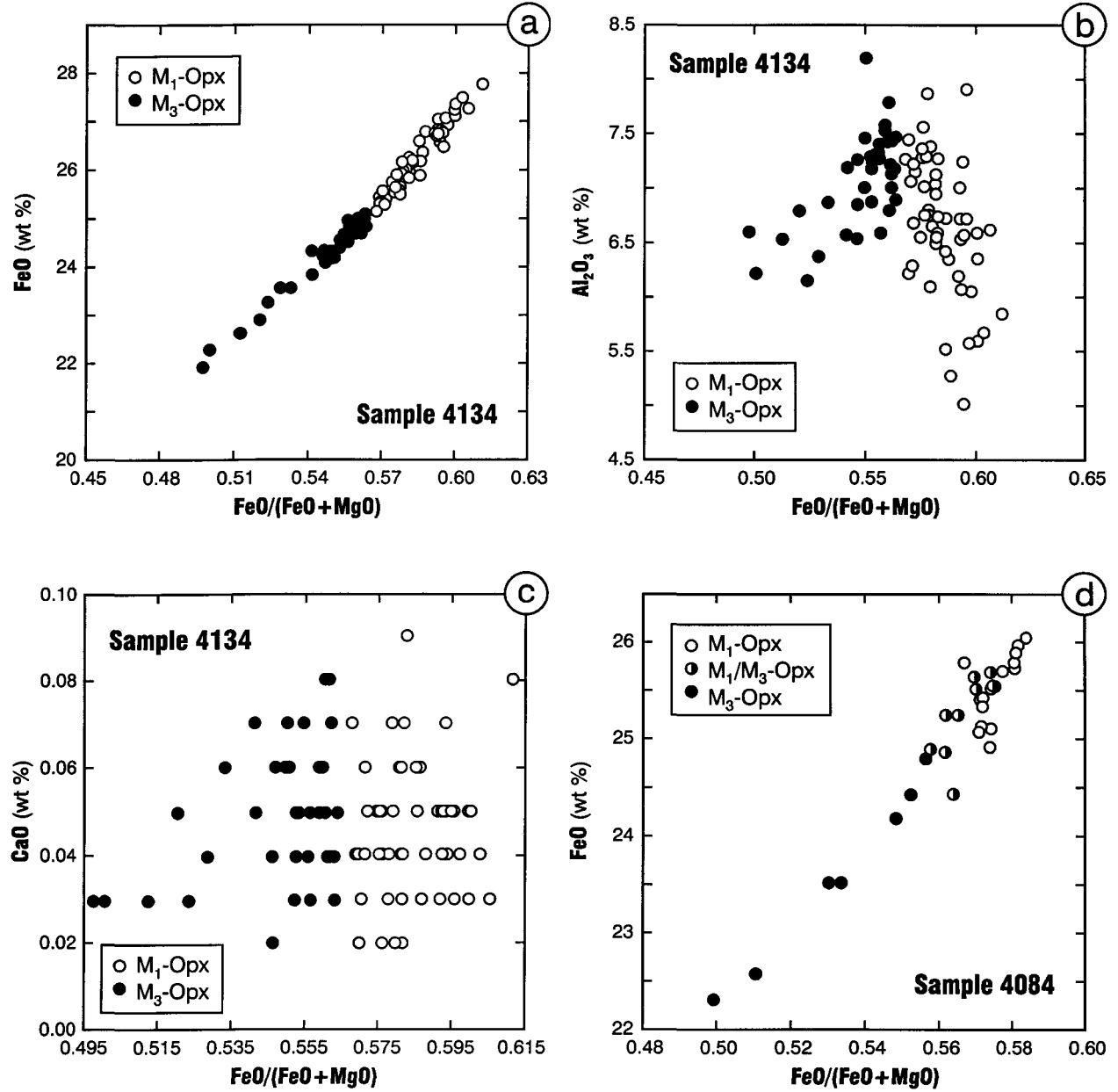
**Figure 1.4:** Stereograms representing the different deformation fabrics in each subprovince. See text for explanations about the distribution of  $L_3$  lineations. (Contour Intervals =  $2\sigma$ ).



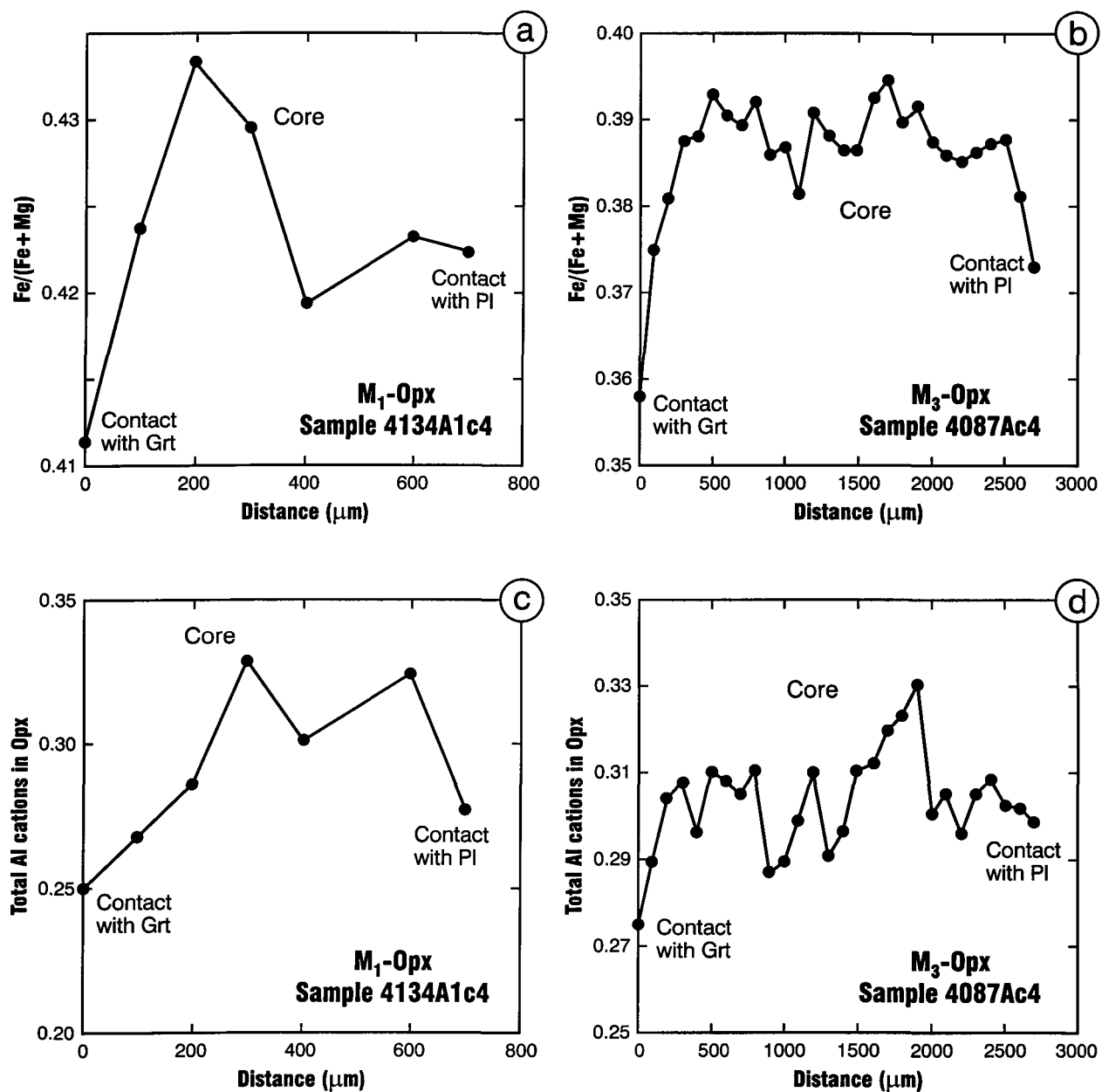
**Figure 1.5:** Polymetamorphic metasediments of the Hublet Group (minerals notation from Kretz, 1983; see appendix III). (a) M<sub>1</sub>-Opx flattened in the S<sub>1</sub> foliation and porphyroblastic M<sub>3</sub>-Opx related to the D<sub>3</sub> deformation event; (b) M<sub>1</sub>-Opx folded by D<sub>3</sub> deformation (note the M<sub>3</sub>-Opx grains in the F<sub>3</sub> axial plane). M<sub>1</sub>-Opx and M<sub>3</sub>-Opx are related to the M<sub>1</sub> and M<sub>3</sub> metamorphic episodes, respectively.



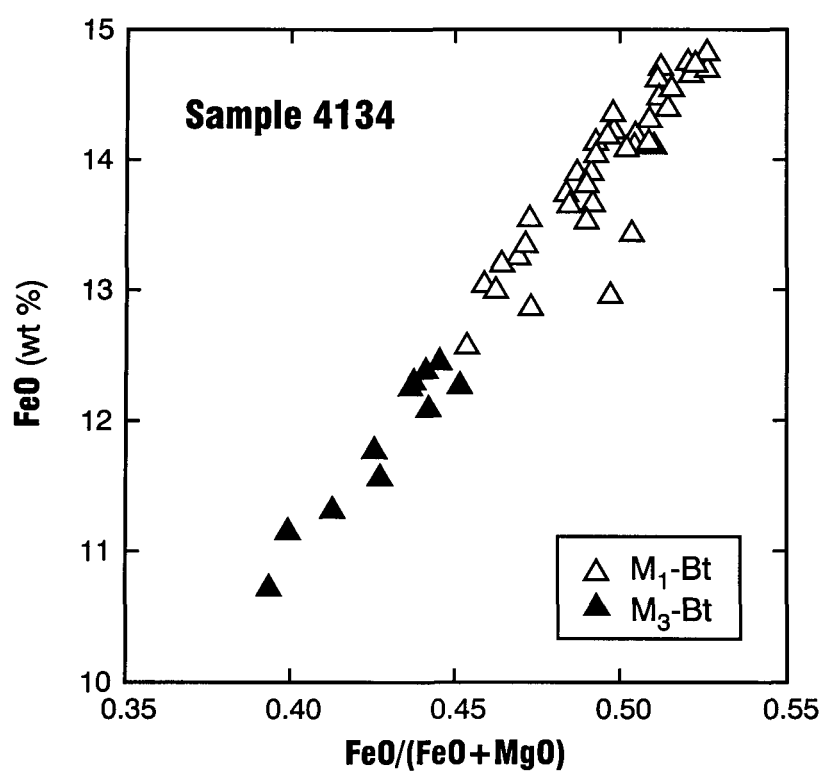
**Figure 1.6:** Electron microprobe photomicrographs (minerals notation from Kretz, 1983; see appendix III). (a to e) Textures related to the  $M_1$  metamorphic episode; (d, e) Symplectitic texture in cordierite; (f to l) Textures related to the  $M_3$  metamorphic episode.



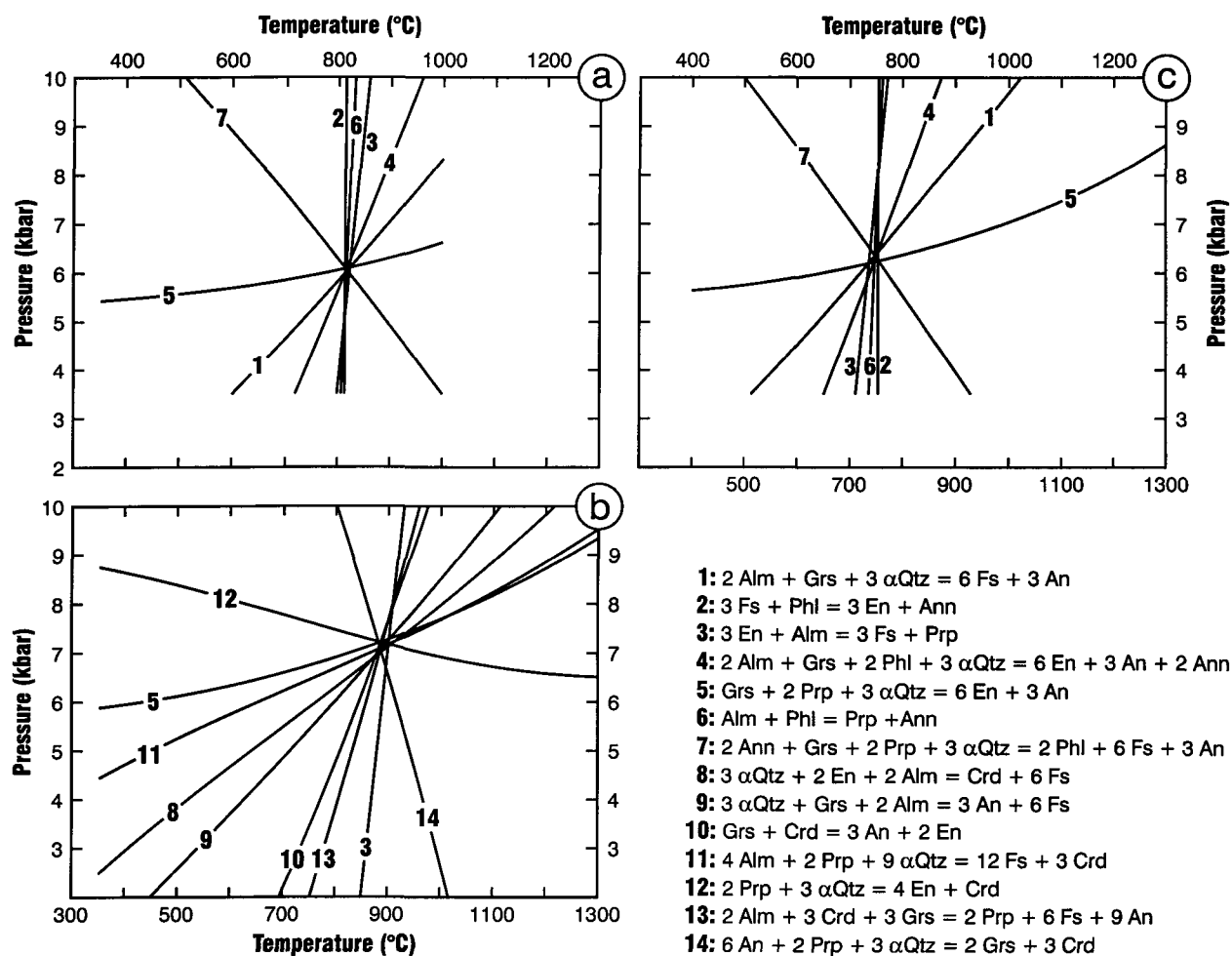
**Figure 1.7:** (a to c) Major element diagrams comparing FeO/(FeO+MgO) to the FeO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and CaO contents of orthopyroxenes from the M<sub>1</sub> (M<sub>1</sub>-Opx) and M<sub>3</sub> (M<sub>3</sub>-Opx) metamorphic episodes; (d) Comparison between M<sub>1</sub>, M<sub>1</sub>/M<sub>3</sub> and M<sub>3</sub> orthopyroxenes.



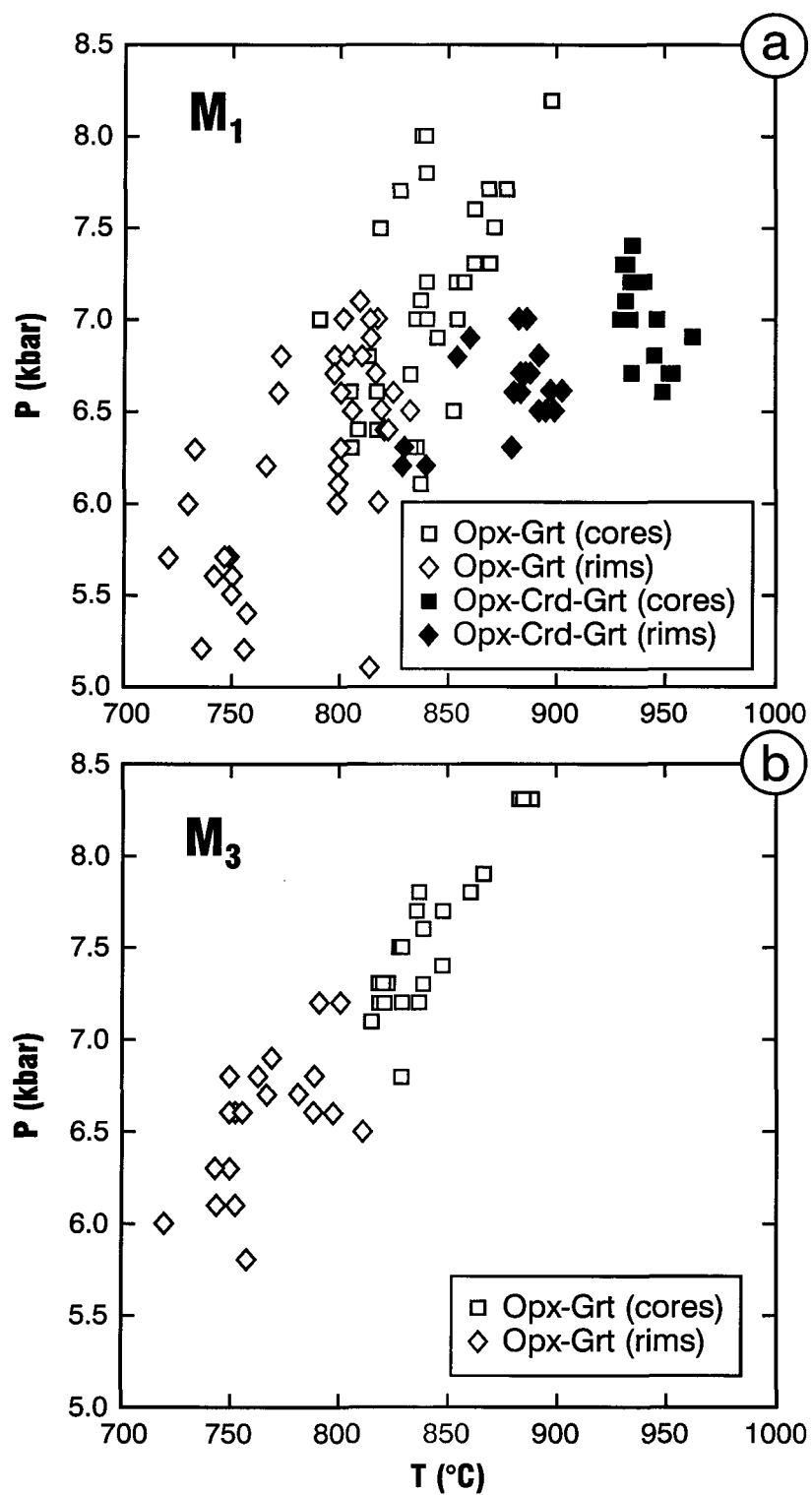
**Figure 1.8:** Zoning profiles across  $\text{M}_1\text{-Opx}$  and  $\text{M}_3\text{-Opx}$  grains in contact with garnet (Grt) and plagioclase (Pl): (a,b)  $\text{Fe}/(\text{Fe} + \text{Mg})$ ; (c,d) Total Al cations.



**Figure 1.9:** Major element diagram comparing the FeO/(FeO+MgO) ratio to FeO content of the (M<sub>1</sub>-Bt) and (M<sub>3</sub>-Bt) biotites related to the M<sub>1</sub> and M<sub>3</sub> metamorphic episodes, respectively.

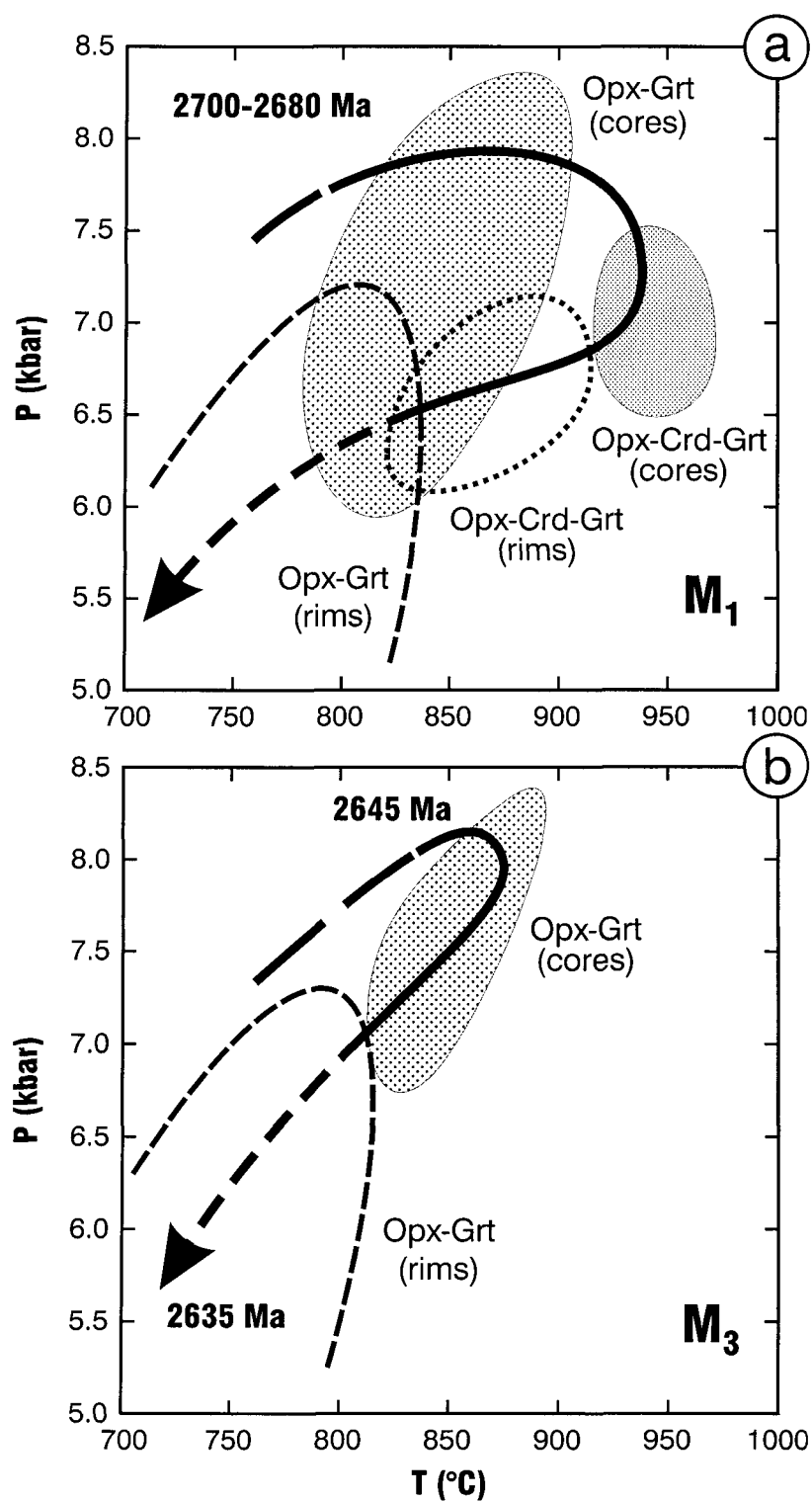


**Figure 1.10:** TWEEQU thermobarometric diagrams: (a, c) Grt-Opx-Bt-Pl-Qtz assemblage of the M<sub>1</sub> and M<sub>3</sub> metamorphic episodes, respectively; (b) Grt-Opx-Crd-Pl-Qtz assemblage of the M<sub>1</sub> metamorphic episode (minerals notation from Kretz, 1983; see appendix III).

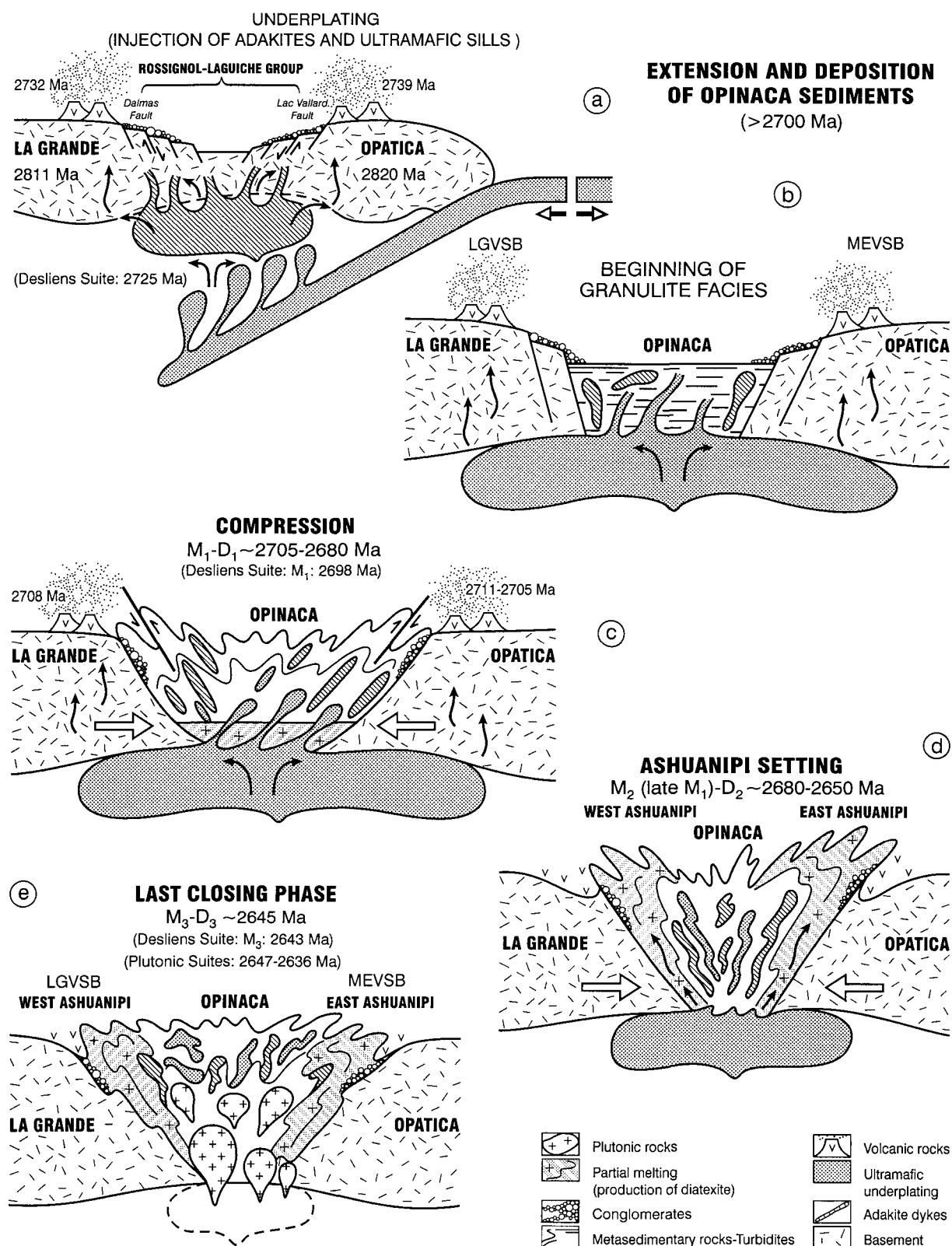


**Figure 1.11:** P-T results: (a) M<sub>1</sub> metamorphic episode and (b) M<sub>3</sub> metamorphic episode.





**Figure 1.12:** P-T-t paths of (a) the M<sub>1</sub> and (b) the M<sub>3</sub> metamorphic episodes. Delineated areas were defined using data from Figure 1.11.



**Figure 1.13:** Tectono-metamorphic model (see text for explanations).

LA GRANDE	OPINACA	OPATICA	ASHUANIPI
D4 (2571-?)	Viau Suite ( <i>fluorine granite</i> ) <sup>*</sup> 2571+/-2		Viau Suite ( <i>fluorine granite</i> ) <sup>*</sup> 2571+/-2
D3 (≈2647-2638)	Lataignant Suite ( <i>alkaline granite</i> ) <sup>*</sup> 2642+9/-5-2638+/-2		Gamart Suite ( <i>monzogranite</i> ) <sup>*</sup> 2647+/-2
D2 (≈2680-2650)	Metavolcanics <sup>*</sup> 2659+4/-3		Opiscoteo Suite ( <i>diatexites</i> ) <sup>*</sup> 2680-2650
D1 (≈2700-2680)		Granite 2690+/-2-2678+/-2	
Joubert Suite ( <i>tonalite</i> ) 2704+/-2	Joubert Suite ( <i>tonalite</i> ) 2704+/-2	Tonalite 2702+/-3-2695	
Tonalite 2716-2709 Duhesme Group ( <i>conglomerates</i> ) 2730-2720		Granodiorite 2710+6/-5	Metavolcanic enclave <sup>*</sup> 2711+7/-5
	Desliens Suite <sup>*</sup> 2725		Desliens Suite <sup>*</sup> 2725
Metavolcanics 2708-2732+8/-6	Mercator Formation ( <i>paragneiss</i> ) >2730		Metasedimentary enclave >2730
Tonalitic gneiss 2811+/-2		Lignerion Suite ( <i>tonalite</i> ) 2825+/-3	

Table 1.1. Summary of isotopic ages for rock units of the La Grande, Opatica, Opinaca and Ashuanipi subprovinces and their relationship to the inferred ages for the D<sub>1</sub> to D<sub>4</sub> deformation events affecting the study area.

(<sup>\*</sup>): Dates for these lithologies were obtained from rocks located in the present study area.

Orthopyroxene											Garnet							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	2	3	4	5	6	7	8
	M <sub>I</sub>	M <sub>I</sub>	M <sub>I</sub>	M <sub>I</sub>	M <sub>I</sub> /M <sub>3</sub>	M <sub>I</sub> /M <sub>3</sub>	M <sub>3</sub>	M <sub>3</sub>	M <sub>3</sub>	M <sub>3</sub>	M <sub>Ic</sub>	M <sub>Ic</sub>	M <sub>Ir</sub>	M <sub>Ir</sub>	M <sub>3c</sub>	M <sub>3c</sub>	M <sub>3r</sub>	M <sub>3r</sub>
SiO <sub>2</sub>	49.87	47.95	47.11	48.60	48.61	47.55	50.81	49.07	48.95	49.63	38.29	37.81	38.60	37.29	37.55	38.08	38.45	37.86
TiO <sub>2</sub>	0.06	0.12	0.12	0.09	0.05	0.07	0.04	0.06	0.15	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.03	0.02
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.89	6.46	6.61	5.52	6.14	6.10	4.21	5.82	6.59	6.15	21.30	21.73	21.52	21.72	22.00	21.94	21.96	21.91
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.07	0.05	0.16	0.10	0.04	0.09	0.05	0.11	0.08	0.13	0.06	0.08	0.09	0.07	0.03	0.05	0.06	0.06
FeO	25.79	25.96	27.28	26.60	24.89	25.25	22.29	23.52	21.91	23.26	28.45	30.83	27.91	31.44	27.72	28.17	28.14	29.07
MnO	0.38	0.37	0.20	0.25	0.35	0.34	0.23	0.29	0.16	0.18	0.85	0.55	0.85	0.57	0.65	0.73	0.74	0.73
MgO	19.68	18.64	17.74	18.82	19.74	19.43	22.37	20.56	22.11	21.16	9.21	8.08	9.68	7.83	10.44	10.43	10.00	9.77
CaO	0.05	0.06	0.03	0.06	0.03	0.08	0.06	0.08	0.03	0.03	1.03	1.27	1.06	1.07	0.71	0.65	0.67	0.65
Na <sub>2</sub> O	0.02	0.00	0.01	0.00	0.02	0.02	0.00	0.00	0.01	0.02								
K <sub>2</sub> O	0.01	0.03	0.02	0.01	0.01	0.02	0.03	0.03	0.02	0.01								
Total	99.82	99.64	99.28	100.05	99.88	98.95	100.09	99.54	100.01	100.64	99.19	100.35	99.71	99.99	99.14	100.05	100.05	100.07

Structural formulae normalized to 6 oxygens											24 oxygens							
Si	1.90	1.83	1.81	1.85	1.84	1.82	1.89	1.85	1.82	1.84	6.00	5.92	5.96	5.88	5.84	5.88	5.92	5.88
Ti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Al	0.17	0.29	0.30	0.25	0.27	0.27	0.18	0.26	0.29	0.27	3.92	4.00	3.92	4.04	4.04	4.00	4.00	4.00
Cr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe	0.82	0.83	0.89	0.85	0.79	0.81	0.69	0.74	0.68	0.72	3.72	4.04	3.60	4.12	3.60	3.64	3.64	3.76
Mn	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.12	0.08	0.12	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
Mg	1.11	1.06	1.02	1.07	1.11	1.11	1.24	1.15	1.22	1.17	2.16	1.88	2.24	1.84	2.44	2.40	2.28	2.28
Ca	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.16	0.20	0.16	0.20	0.12	0.12	0.12	0.12
Na	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00								
K	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00								
Fs	42.49	43.91	46.60	44.27	41.58	42.19	35.75	39.15	35.79	38.09								
En	57.51	56.09	53.40	55.73	58.42	57.81	64.25	60.85	64.21	61.91								
Alm											60.39	65.16	58.82	66.02	57.69	58.33	59.48	60.26
Prp											35.06	30.32	36.60	29.49	39.10	38.46	37.25	36.54
Grs											2.60	3.22	2.61	3.20	1.92	1.92	1.96	1.92
Sps											1.95	1.30	1.97	1.29	1.29	1.29	1.31	1.28

Table 1.2. Representative analyses of mineral samples.

	Plagioclase				Ilmenite		Biotite				Cordierite			
	1	2	3	4	1	2	1	2	3	4	1	2	3	4
	M <sub>1</sub>	M <sub>1</sub>	M <sub>3</sub>	M <sub>3</sub>			M <sub>1</sub>	M <sub>1</sub>	M <sub>3</sub>	M <sub>3</sub>	M <sub>1</sub>	M <sub>1</sub>	M <sub>1sym</sub>	M <sub>1sym</sub>
SiO <sub>2</sub>	61.60	63.07	63.15	62.63	0.06	0.02	36.41	36.57	37.01	36.98	48.27	47.97	47.72	46.26
TiO <sub>2</sub>					50.16	50.94	5.79	6.26	5.83	5.38	0.00	0.00	0.00	0.00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	24.10	23.14	23.36	23.44	0.05	0.03	14.51	14.66	14.68	14.71	33.56	33.26	33.53	32.37
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>											0.00	0.00	0.00	0.01
V <sub>2</sub> O <sub>3</sub>					0.32	0.59								
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>					3.08	1.93								
FeO	0.13	0.23	0.19	0.33	44.11	44.86	13.67	14.74	11.32	12.46	5.91	5.94	5.63	6.06
MnO					0.85	0.50	0.02	0.05	0.00	0.00	0.05	0.04	0.03	0.05
MgO					0.11	0.26	14.13	13.46	16.10	15.50	10.08	9.89	9.79	10.04
CaO	5.61	4.48	4.57	4.78	0.00	0.00	0.02	0.00	0.01	0.02	0.01	0.01	0.03	0.01
Na <sub>2</sub> O	8.35	8.73	8.84	8.77			0.11	0.10	0.08	0.15	0.07	0.09	0.32	0.53
K <sub>2</sub> O	0.30	0.27	0.22	0.20			10.59	10.72	10.85	10.51	0.03	0.02	0.02	0.04
Total	100.09	99.92	100.33	100.15	98.74	99.13	95.25	96.56	95.88	95.71	97.98	97.22	97.07	95.37
Fe#							0.35	0.38	0.28	0.31	0.25	0.25	0.24	0.23
	32 oxygens				6 oxygens		22 oxygens, ignoring H <sub>2</sub> O				18 oxygens, ignoring H <sub>2</sub> O			
Si	10.93	11.15	11.15	11.09	0.00	0.00	5.28	5.28	5.28	5.28	4.92	4.95	4.92	4.95
Ti					1.93	1.95	0.62	0.66	0.62	0.59	0.00	0.00	0.00	0.00
Al	5.01	4.80	4.85	4.91	0.00	0.00	2.46	2.49	2.46	2.49	4.05	4.05	4.08	4.11
Cr											0.00	0.00	0.00	0.00
V					0.01	0.02								
Fe <sup>3+</sup>					0.12	0.07								
Fe <sup>2+</sup>	0.00	0.05	0.00	0.05	1.89	1.91	1.65	1.76	1.36	1.50	0.51	0.51	0.48	0.42
Mn					0.04	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mg					0.01	0.02	3.04	2.90	3.41	3.30	1.53	1.53	1.50	1.38
Ca	1.07	0.85	0.85	0.91	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na	2.88	2.99	3.04	2.99			0.04	0.04	0.04	0.04	0.00	0.00	0.06	0.27
K	0.05	0.05	0.05	0.05			1.98	1.98	1.98	1.91	0.00	0.00	0.00	0.00
Ab	72.00	76.86	77.16	75.70										
An	26.75	21.85	21.57	23.04										
Or	1.25	1.29	1.27	1.26										

Table 1.2 (Continued) . Representative analyses of mineral samples.

Minerals notation from Kretz (1983) (see appendix III)

M1, M1/M3 and M3: metamorphic episodes

c:core; r:rim; sym:symplectic texture Fe#: Fe/(Fe+Mg).

## **CHAPITRE II**

# **LE COMPLEXE D'ASHUANIPI ET LA SOUS-PROVINCE D'OPINACA: UNE ÉVOLUTION POLYMÉTAMORPHIQUE SUR 65 MA DANS LE SUD-EST DE LA PROVINCE DU SUPÉRIEUR, QUÉBEC, CANADA.**

Cadéron <sup>(1)</sup>, S., Goulet <sup>(1)</sup>, N., Trzcienski <sup>(2)</sup>, W. E. Jr., Lamothe <sup>(3)</sup>, D.

<sup>(1)</sup> Université du Québec à Montréal, Département des Sciences de la Terre et de l'Atmosphère.

<sup>(2)</sup> Université de Montréal, École Polytechnique.

<sup>(3)</sup> Ministère des Ressources Naturelles du Québec.

Cet article est en cours de traduction en anglais afin d'être soumis au Journal Canadien des Sciences de la Terre.

## 2.1 RESUME

Des travaux de cartographie antérieurs du Complexe d'Ashuanipi ont permis d'établir un modèle tectonique à partir d'observations locales. Ce complexe se compose essentiellement d'intrusions granitoïdes. Notre étude propose un modèle d'évolution tectonique novateur pour ce complexe à travers la compréhension tectonothermale des enclaves métasédimentaires se retrouvant dans les diatexites de l'Ashuanipi. Déjà reconnus comme les protholites originels de l'Ashuanipi, nos travaux montrent que:- ces xénolithes possèdent en plus une affinité microstructurale et géothermobarométrique avec les métasédiments de la Sous-province d'Opinaca, - et illustrent un épisode métamorphique de l'évolution tectonique de cette sous-province. Dans notre secteur, le Complexe d'Ashuanipi est limité par les sous-provinces de l'Opatica au sud et de l'Opinaca à l'ouest. La Sous-province de l'Opatica se compose d'intrusions tonalitiques datées à  $2825 \pm 3$  Ma et de massifs granitiques datés à  $2690-2678 \pm 2$  Ma. Une nouvelle subdivision géologique pour la Province du Supérieur a été reconnue: le Domaine du Caniapiscau qui se compose essentiellement de ceintures volcaniques bimodales datées à  $2707 \pm 5$  Ma et d'intrusions composées de tonalites et de monzogranites datées à  $2704 \pm 2$  Ma et à  $2647 \pm 2$  Ma respectivement. La Sous-province d'Opinaca contient essentiellement des métasédiments datés antérieurement par des zircons détritiques plus vieux que 2700 Ma. Des travaux récents ont montré que ces paragneiss sont caractérisés par deux épisodes métamorphiques continus:  $M_1$  débute vers 2705 Ma et culmine à 2645 Ma avec  $M_3$ . Des conditions P-T maximales de  $8.2 \pm 1$  kbar -  $960 \pm 50$  °C ( $M_1$ ) et de  $8.3 \pm 1$  kbar et de  $890 \pm 50$  °C

(M<sub>3</sub>) se maintiennent à travers un « clockwise P-T-t path ». Les diatexites de l'Ashuanipi montrent des âges de cristallisation de 2680 à 2650 Ma. Une tectonique polyphasée complexe affecte toute la région. Une première déformation majeure D<sub>1</sub> développe une foliation S<sub>1</sub> orientée N-S. Les plis F<sub>1</sub> isoclinaux plongent vers le NE et sont déversés vers l'W-NW. Une déformation D<sub>2</sub> caractéristique de l'Ashuanipi développe des plis isoclinaux F<sub>2</sub> déversés vers l'ouest et plongeant vers le NE. Une déformation régionale D<sub>3</sub> replisse toutes ces structures selon des plis E-W déversés vers le sud et plongeant vers l'E-NE. Comme dans la Sous-province d'Opinaca, les enclaves métasédimentaires de l'Ashuanipi montrent deux épisodes métamorphiques au faciès des granulites (M<sub>1</sub> et M<sub>2</sub> respectivement). Ces deux épisodes granulitiques sont continus et montrent des conditions P-T maximales de 8.8 +/- 1 kbar - 955 +/- 50 °C et de 9.8 +/- 1 kbar - 940 +/- 50°C respectivement. Le métamorphisme M<sub>1</sub> observé dans ces xénolithes métasédimentaires est synchrone à celui des paragneiss de l'Opinaca. M<sub>2</sub>, daté à 2680 - 2670 Ma, est relié à la mise en place syn-D<sub>2</sub> des diatexites de l'Ashuanipi et illustre une période tectonométamorphique intermédiaire entre les épisodes M<sub>1</sub> et M<sub>3</sub> reconnus dans la Sous-province d'Opinaca. Ces nouveaux résultats confirment que le sud-est de la Province du Supérieur montre une évolution tectonothermale cyclique qui se maintient sur plus de 65 Ma à travers une activité orogénique pulsative.



## 2.2 INTRODUCTION

La Province du Supérieur rassemble l'ensemble des terrains archéens au Canada. Cette province a fait l'objet de nombreux travaux et synthèses géologiques ayant mené à sa subdivision en sous-provinces (Card et Ciesielski, 1986; Card, 1990; Card et King, 1992). Les limites géologiques proposées par Card (1990) sont basées sur la nature prédominante des lithologies constituant chaque sous-province. On retrouve des sous-provinces plutoniques (Berens, Bienville), volcano-plutoniques (Sachigo, Wabigoon, Wawa, Opatica, La Grande), métasédimentaires (English River, Némiscau, Opinaca, Quético), et des terrains de hauts grades (Pikwitonei, Kapuskasing, Ashuanipi, Minto) (Fig. 2.1). Depuis 1996, le Ministère des Ressources Naturelles du Québec (MRNQ) a entrepris un vaste programme de cartographie à l'échelle 1:250.000 du Moyen-nord québécois de la Province du Supérieur (Fig. 2.1). Ces travaux complètent la reconnaissance de la partie sud-est de la Province du Supérieur constituée des sous-provinces de La Grande, de l'Opatica, de l'Opinaca et du Complexe d'Ashuanipi (Fig. 2.1).

Au sud-est de la Province du Supérieur, le Complexe d'Ashuanipi s'étend sur 250000 km<sup>2</sup> et est caractéristique d'un terrain de haut grade métamorphique résultant de la fusion importante de protholites variés (Cadéron *et al.*, 1998, 1999, 2000, 2002a; Lamothe *et al.*, 1998, 2000; Leclair *et al.*, 1998). Deux facteurs essentiels prédominent à la formation des terrains granulitiques: des conditions métamorphiques extrêmes et des processus magmatiques (Percival, 1991b, 1992; Clemens, 1990; Thompson, 1990; Vielzeuf *et al.*, 1990). Beaucoup d'incertitudes demeurent quand à la source de chaleur, l'influence des

fluides et les environnements tectoniques pouvant engendrer de telles conditions crustales extrêmes. Des études expérimentales basées sur des roches de ce type (Conrad *et al.*, 1988; Vielzeuf et Holloway, 1988; Ashwal *et al.*, 1992; Vielzeuf et Montel, 1994; Sawyer, 1998) ont examiné les réactions métamorphiques et anatectiques responsables de la formation des phases minérales caractéristiques du faciès granulite et des magmas granitiques. Les terrains de hauts grades métamorphiques, comme le Complexe d'Ashuanipi, sont composés à plus de 75% de roches ignées granitiques (Fig. 2.2). Ces corps granitiques sont rassemblés sous le terme 'diatexite' défini comme une roche produite par diatexie dans laquelle il n'existe pas de bande migmatitique continue (Brown, 1983). Les diatexites observées par Brown (1983) sont décrites comme des roches migmatitiques hétérogènes avec plus de 50% de produit de fusion. Selon cet auteur, la diatexie est une anatexie de haut grade dans laquelle la fusion peut être complète. Dans la partie ouest de la Province du Supérieur (Fig. 2.1), on retrouve ce type de roches en proportions moindres dans les sous-provinces d'English River (Breaks *et al.*, 1979) et du Quético (Sawyer et Barnes, 1988). Elles sont beaucoup plus répandues dans la partie est du craton du Supérieur comme dans le Complexe d'Ashuanipi et dans le Bloc de Minto (Lamothe *et al.* 1998, 2000; Leclair *et al.*, 1998; Berclaz *et al.*, 2001; Madore *et al.*, 1999, 2001, Fig. 2.1). Les diatexites du Complexe d'Ashuanipi peuvent provenir des produits de fusion dérivés de protholites anciens et/ou elles peuvent représenter des magmas d'origine mantellique ayant partiellement assimilé des contaminants crustaux (Percival, 1991b). Ces diatexites contiennent deux types d'orthopyroxène: soit magmatique et métamorphique. À l'échelle régionale, l'Ashuanipi résulte de la fusion des sous-provinces de La Grande, d'Opinaca et

d'Opatica (Cadéron *et al.*, 1999, 2000, 2002a; Lamothe *et al.*, 1998, 2000; Leclair *et al.*, 1998; Fig. 2.1). Les diatexites de l'Ashuanipi semblent provenir essentiellement de la fusion de ces protholites originels représentés par les enclaves gneissiques d'origine mafique et/ou métasédimentaire se retrouvant à l'intérieur de ces masses granitoïdes (Lamothe *et al.*, 1998, 2000; Leclair *et al.*, 1998; Sawyer, 1998). Dans notre région d'étude, les diatexites constituent la Suite d'Opiscotéo (Leclair *et al.*, 1998; Lamothe *et al.*, 2000; Fig. 2.2). L'Ashuanipi a donc été défini sur une base métamorphique, selon son degré de fusion élevé, et sur une base géochronologique car elle est plus jeune que les sous-provinces avoisinantes. Ces diatexites, issues de conditions métamorphiques élevées, ont subi une longue période de refroidissement accompagnée de processus rétro-morphiques. Cette sous-province reflète l'existence de deux épisodes métamorphiques au faciès granulite reliés à deux déformations. Il devient donc complexe de définir les conditions P-T exactes du pic métamorphique (Percival, 1991b, 1992). Dans les diatexites situées au nord-est de notre région, Percival (1991b) obtient des conditions P-T trop basses (610-790°C et 3.5-5.6 kbar) pour expliquer le haut degré de fusion nécessaire à la genèse des diatexites de l'Ashuanipi (> 1000°C, Peterson et Newton, 1989, 1990; Sawyer, 1998). La présence d'orthopyroxènes autour des xénolithes mafiques et/ou sédimentaires, et la préservation des orthopyroxènes peu altérés, témoignent de conditions anhydres. Percival (1991b) propose alors que l'influence de la composition des fluides métamorphiques (CO<sub>2</sub> et/ou H<sub>2</sub>O) engendrés par les réactions minéralogiques prédomine.

Nos travaux proposent d'aborder l'étude du Complexe d'Ashuanipi à travers les enclaves de paragneiss présentes dans les corps granitiques. Pour notre étude, les

échantillons ont été récoltés lors de deux campagnes de cartographie au 1:250.000 financées par le MRNQ au sein du projet Moyen-Nord à l'été 1996 et 1997 (feuilles SNRC 23F, 23G; Lamothe *et al.*, 1998; Leclair *et al.*, 1998). Ces échantillons s'orientent selon une traverse qui débute dans l'Ashuanipi-nord et se termine dans l'Ashuanipi-sud, et proviennent tous des lambeaux de ceintures métasédimentaires se retrouvant dans les diatexites (Fig. 2.2). À partir de l'étude structurale, ainsi que de la géothermobarométrie des métasédiments du Complexe d'Ashuanipi, l'objectif de notre étude est de montrer que le Complexe d'Ashuanipi a subi un polymétamorphisme granulitique à travers une mise en place tectonique complexe. À partir de: *i*) des relations structurales entre les paragneiss et les diatexites et *ii*) de l'estimation des conditions P-T extrêmes par l'analyse des assemblages minéralogiques des métasédiments représentant le protholite des diatexites, notre étude vient compléter les travaux entrepris par Cadéron *et al.* (2002a) sur la Sous-province d'Opinaca. Après avoir proposé un modèle de mise en place de l'Opinaca, ces nouveaux résultats démontrent que les épisodes métamorphiques  $M_1$  et  $M_2$  visibles dans les lambeaux de ceintures métasédimentaires du Complexe d'Ashuanipi s'intègrent dans l'évolution tectono-thermale de la Sous-province d'Opinaca d'où elles proviennent.

## 2.3 GÉOLOGIE RÉGIONALE

Le Complexe d'Ashuanipi a été reconnue originellement par Eade (1966). Différents travaux de cartographie à l'échelle régionale ont ensuite permis une meilleure compréhension géologique de sa partie est (Farhig, 1967; Sharma et Dubé, 1980; Lapointe,

1985; Percival, 1987, 1989a, 1989b, 1991a, 1991b, 1992, 1993; Chevé et Brouillette, 1985; Lapointe, 1989; James, 1993, 1997). Enfin, les travaux au 1:250 000 du MRNQ dans les régions du Lac Bermen, du Lac Vallard et du Lac Nitchequon (Fig. 2.1; Lamothe *et al.*, 1998; Leclair *et al.*, 1998; Lamothe *et al.*, 2000), sont venus compléter la reconnaissance géologique de cette sous-province. Dans la région étudiée, le Complexe d'Ashuanipi est limitée à l'ouest par le Domaine de Caniapiscau, et au sud-ouest par la Sous-province d'Opinaca. Une faille de chevauchement majeur (faille du Lac Vallard) détermine sa limite sud avec la Sous-province de l'Opatica (Fig. 2.2).

La Sous-province d'Opinaca n'a fait l'objet que de quelques travaux et reste la moins connue (Franconi, 1978; Fouques et Schumaker, 1979; Hocq, 1985; Gauthier *et al.* 1996b; Simard et Gosselin, 1998). Les travaux effectués par le MRNQ dans le secteur oriental a permis d'élargir sa reconnaissance géologique en définissant ses contacts avec les sous-provinces d'Ashuanipi au nord et de l'Opatica au sud. La Figure 2.1 montre la nouvelle limite est de la Sous-province d'Opinaca (Lamothe *et al.*, 1998; Leclair *et al.*, 1998; Cadéron *et al.*, 1998, 1999, 2000, 2002a; Lamothe *et al.*, 2000). Elle se compose essentiellement de roches psammitiques métamorphisées aux faciès amphibolite et granulite. Gauthier *et al.* (1997) introduisent le terme de Groupe de Rossignol-Laguiche pour rassembler l'ensemble des roches métasédimentaires de la partie nord de la Sous-province d'Opinaca. Plusieurs auteurs ont proposé que la Sous-province d'Opinaca représente l'équivalent latéral de la Sous-province métasédimentaire du Quético située en Ontario, dans la partie ouest de la Province du Supérieur (Fig. 2.1). Des zircons détritiques provenant des métasédiments de la Sous-province du Quético ont donné des âges variant de

>3000 Ma à 2698 Ma (Davis *et al.*, 1990; Percival et Sullivan, 1988). Dans notre région, le Groupe de Hublet (Fig. 2.2) rassemble l'ensemble des roches métasédimentaires et les lambeaux de ceintures volcaniques felsiques et mafiques à ultramafiques. Régionalement, le Groupe de Hublet est l'équivalent latéral du Groupe de Rossignol-Laguiche constitué principalement d'un assemblage de flyschs représentant un équivalent distal du Groupe de Duhesme présent dans la Sous-province de La Grande (Lamothe *et al.*, 2000). La Formation de Mercator (Fig. 2.2), dont l'âge maximal de déposition est estimé à 2730 Ma, regroupe ces métasédiments détritiques et montre un polymétamorphisme granulitique (Cadéron *et al.*, 2002a). Un premier épisode métamorphique ( $M_1$ ) anté à syn-D1, avec des conditions P-T maximales de 8.2 +/- 1 kbar pour 960 +/- 50°C, débute il y a 2705 Ma et se poursuit jusqu'à 2680 Ma (Cadéron *et al.*, 2002a). Un second épisode métamorphique  $M_2$  est visible uniquement dans le Complexe d'Ashuanipi. Un métamorphisme  $M_3$ , relié à une déformation  $D_3$ , affecte les métasédiments de l'Opinaca. Cet événement métamorphique montre des conditions P-T maximales de 8.3 +/- 1 kbar pour 890 +/- 50°C. Des monazites d'un leucosome  $M_3$ , contenant des orthopyroxènes  $M_3$ , ont livré un âge de 2645 +/- 4 Ma (Wodicka, 2000). Ces âges rattachent l'épisode métamorphique  $M_3$  à la mise en place de la Suite de Gamart, composée de monzogranites et datée à 2647 +/- 2 Ma (Parent, 1998; Leclair *et al.*, 1998). De nombreuses intrusions syn à post-tectoniques recoupent les différentes lithologies. Des intrusions précoces de métatonalite, redéfinies comme adakites par Percival *et al.* (2003), montrent des âges de cristallisation de 2723 - 2725 Ma. Ces métatonalites constituent la Suite de Desliens aussi composée de sills de pyroxénite (Mortensen et Percival, 1987; Percival, 1991a; Percival *et al.*, 2003) et contiennent des

zircons zonés témoignant de deux épisodes de métamorphisme au faciès granulite datés à 2691 - 2700 Ma et 2643 Ma respectivement (Parent, 1998; Percival *et al.*, 2003). La Suite tonalitique de Joubert est datée à 2704  $\pm$  2 Ma contient des enclaves du Groupe de Hublet. Des intrusions granitiques porphyriques syn- à tardi-tectoniques montrent des âges qui s'étalent de 2647  $\pm$  2 Ma à 2638  $\pm$  2 Ma (Suite de Lataignant; Fig. 2.2) (David et Parent, 1997; Leclair *et al.*, 1998; Parent, 1998). À l'ouest de notre région (Cadéron *et al.*, 2002a), la Suite de Viau, datée à 2571  $\pm$  2 Ma (David et Parent, 1997) et composée de monzogranite à fluorine et de syénite tardi-tectoniques, représente l'événement intrusif le plus jeune dans la Sous-province d'Opinaca et dans la Province du Supérieur.

Dans notre secteur, Leclair *et al.* (1998) ont cartographié et délimité un nouveau domaine géologique pour la Province du Supérieur: le Domaine de Caniapiscou (Fig. 2.2). Il est caractérisé par des intrusions de granitoïdes à hornblende-biotite qui coupent des assemblages volcanosédimentaires. La zone de déformation de Guichen sépare le Domaine de Caniapiscou du Complexe d'Ashuanipi (Fig. 2.2). Les séries volcanosédimentaires se composent de séquences métavolcaniques bimodales et de paragneiss. La partie est du Domaine de Caniapiscou est caractérisée par la présence d'une ceinture de roches métavolcaniques bimodales appartenant à la Suite de Raynouard (Fig. 2.2). Un échantillon de rhyolite, prélevé dans cette ceinture composée essentiellement de basaltes coussinés, donne un âge de 2707  $\pm$  5 Ma (Leclair *et al.*, 1998). Les roches mafiques contiennent des assemblages métamorphiques caractéristiques du faciès des amphibolites (Leclair *et al.*, 1998). La Suite de Joubert également décrite dans les sous-provinces de La Grande et d'Opinaca, rassemble l'ensemble des roches intrusives tonalitiques (Fig. 2.2) datée à 2704

+/-2 Ma. La Suite de Gamart composée de monzogranite syn à tardi-tectoniques (Fig. 2.2) datée à 2647 +/-2 Ma (Parent, 1998; Leclair *et al.*, 1998) représente la lithologie la plus jeune du Domaine de Caniapiscau.

Dans notre secteur d'étude, le Complexe d'Ashuanipi se subdivise en quatre ensembles lithologiques principaux (Fig. 2.2): 1) Le Groupe de Hublet, 2) la Suite de Desliens, 3) la Suite d'Opiscotéo et 4) des intrusions syn- à tardi-tectoniques.

1)- Le Groupe de Hublet comprend un ensemble de gneiss précoces composés principalement de paragneiss (Formation de Mercator), de formation de fer et de gneiss mafique et intermédiaire. Le paragneiss migmatitique représente l'unité lithologique la plus ancienne dans le complexe. Des zircons détritiques provenant de ces métasédiments ont donné des âges qui s'étalent de 3350 à 2700 Ma (Mortensen et Percival, 1987; Percival, 1991b), définissant un âge minimal de déposition de 2700 Ma. Un échantillon de lave felsique prélevé dans une méga-enclave volcanosédimentaire au sein de l'Ashuanipi, a donné un âge de 2711 +/-5 Ma et est interprété comme étant celui du volcanisme felsique (David et Parent, 1997; Leclair *et al.*, 1998). Des âges fortement discordants de 2708 Ma à 2906 +/-8 Ma, et Ma obtenus à partir de zircons hérités provenant du même gneiss felsique, impliquent la participation d'un segment crustal plus ancien lors de l'activité volcanique (Leclair *et al.*, 1998; Parent, 1998). Les lambeaux de ceintures volcanosédimentaires sont métamorphisés au faciès granulite. Au nord-est de notre région, Percival (1991b) a déterminé des conditions P-T de 715-815°C et 4.7-6.6 kbar dans ces paragneiss.



2)- Des intrusions précoces de métatonalite, redéfinies comme adakites par Percival *et al.* (2003), montrent des âges de cristallisation de 2723-2725 Ma. Ces métatonalites ainsi que des sills de pyroxénite constituent la Suite de Desliens (Mortensen et Percival, 1987; Percival, 1991a; Lamothe *et al.*, 1998; Leclair *et al.*, 1998; Percival *et al.*, 2003). Ces métatonalites montrent deux épisodes de métamorphisme au faciès granulite datés à 2691-2700 Ma et 2643 Ma respectivement (Parent, 1998; Percival *et al.*, 2003).

3)- Une masse importante de granodiorite à orthopyroxène-biotite+/-grenat appelée diatexites selon la terminologie de Brown (1983) (voir plus loin) et subdivisées selon le pourcentage d'enclaves présentes (< 25%: diatexites homogènes - 25 à 50%: diatexites hétérogènes, Leclair *et al.*, 1998; Fig. 2.2) compose la Suite d'Opiscotéo. Une autre subdivision classe les diatexites selon la présence ou l'absence de grenat (Percival, 1991b, 1993; James, 1993). Les diatexites de l'Ashuanipi-nord contiennent du grenat et sont datées à 2662 +/-3 Ma, tandis que celles de l'Ashuanipi-sud, datées à 2682-2668 +/-3 Ma, en sont dépourvues (Percival, 1991b). Les deux domaines sont séparés par la faille de Chambeaux (Leclair *et al.*, 1998; Fig. 2.2). Cadéron *et al.* (1999, 2000, 2002a) proposent une nouvelle division des diatexites du Complexe d'Ashuanipi en deux domaines: l'Ashuanipi-ouest résulte de la fusion de la Sous-province de La Grande, tandis que l'Ashuanipi-est résulte de la fusion de la Sous-province d'Opinaca. Près de la faille du lac Vallard (Fig. 2.2), les diatexites contiennent des enclaves provenant de la Sous-province d'Opatika. L'âge de mise en place des diatexites s'étale de 2680 Ma à 2650 Ma (Percival, 1987, 1991b, 1993; Percival *et al.*, 1992; Chevé et Brouillette, 1995; James, 1997; Leclair *et al.*, 1998; Parent, 1998). Des âges s'étalant de 2670 Ma à 2640 Ma, obtenus sur des monazites, montrent que

le déclin thermique se poursuit sur 30 Ma (Mortensen et Percival, 1987; Percival, 1990; Chevé et Brouillette, 1995; David et Parent, 1997; Leclair *et al.*, 1998). Percival (1991b) estime les conditions P-T des diatexites à 610-790°C et 3.5-5.6 kbar.

4)- Les diatexites de l'Ashuanipi sont injectées par un cortège d'intrusions syn- à tardi-tectoniques. Des monzogranites syntectoniques appartenant à la Suite de Gamart (Fig. 2.2) sont datés à 2647+/-2 Ma (Parent, 1998; Leclair *et al.*, 1998). À l'ouest de notre région (Lamothe *et al.*, 2000; Cadéron *et al.*, 2002a), la Suite de Viau composée de monzogranite à fluorine et de syénite, visible également dans la Sous-province d'Opinaca et datée à 2571+/-2 Ma (David et Parent, 1997) représente la dernière phase intrusive dans l'Ashuanipi.

## 2.4 ÉTUDE STRUCTURALE

La région étudiée a été affectée par une tectonique archéenne polyphasée reliée à l'orogène kénoréenne qui présente des patrons d'interférences complexes de style dômes et bassins. (Leclair *et al.* 1998; Cadéron *et al.*, 1998, 1999, 2000, 2002a; Lamothe *et al.* 1998, 2000). Dans la région étudiée, on observe quatre périodes de déformations ductiles. Au Protérozoïque, une déformation cassante marque la fin de l'activité tectonique de la région. Un réseau de fractures tardives pourrait être relié au rift du craton du Supérieur au Paléoprotérozoïque.

En général, les structures primaires ( $S_0$ ) sont rares car elles sont largement oblitérées par la déformation polyphasée et par le polymétamorphisme. Les structures  $S_0$  les mieux

préservées se retrouvent dans les laves en coussins présentes dans les métavolcanites du Complexe d'Ashuanipi et dans le Domaine de Caniapiscau. Le litage compositionnel des paragneiss et de certaines formations de fer est interprété comme un litage sédimentaire primaire. Localement, ce type de litage dans les gneiss mafiques, la métatonalite et la métapyroxénite pourrait représenter une foliation ignée primaire (Leclair *et al.*, 1998).

Le Complexe d'Ashuanipi a servi de référence pour caractériser chaque période de déformation et pour les replacer dans le temps les uns par rapport aux autres. En effet, l'Ashuanipi représente la sous-province dont la mise en place est la plus récente. Dans la région étudiée, les sous-provinces d'Opatica, d'Opinaca, et le Domaine de Caniapiscau sont affectés par les déformations  $D_1$  et  $D_3$  (Lamothe *et al.*, 1998; Leclair *et al.*, 1998). La déformation  $D_1$  affecte les ceintures volcano-sédimentaires ainsi que les intrusions tonalitiques. Le Complexe d'Ashuanipi est marquée par les déformations  $D_2$  et  $D_3$  (Lamothe *et al.*, 1998, 2000; Cadéron *et al.*, 1999, 2000, 2002a). Les enclaves présentes dans les diatexites sont affectées par une foliation pénétrative  $S_1$  et s'orientent selon la foliation  $S_2$  typique des diatexites (Lamothe *et al.*, 1998; Leclair *et al.*, 1998).

Cadéron *et al.* (2002a; voir le chapitre I) ont étudié en détail les structures reliées à la déformation  $D_1$  majeure qui s'étale de 2700 Ma à 2680 Ma, date de mise en place de l'Ashuanipi. À l'échelle de la carte, la foliation  $S_1$  a une réorientation surtout est-ouest avec un pendage faible à modéré vers le nord (Lamothe *et al.*, 1998). La déformation  $D_1$  est soulignée par des plis  $F_1$  isoclinaux plongeant vers l'est (voir le chapitre I, partie 1.5.1 'Detailed structures'). Dans l'Ashuanipi, la déformation  $D_2$  est caractérisée par des plis isoclinaux  $F_2$  et des axes plongeant faiblement vers le nord-est avec un déversement vers le

sud. La déformation  $D_2$  correspond à la mise en place syn-tectonique des diatexites de l'Ashuanipi et se poursuit de 2680 à 2650 Ma (Cadéron *et al.*, 2002a). L'étude détaillée des structures montre que les foliations  $S_2$  ont une réorientation préférentielle NO-SE (voir l'appendice I, Fig. 1a pour les stéréogrammes des linéations  $L_2$ ). Ces foliations sont replissées par les plis  $F_3$  selon un axe de plongement moyen orienté  $14 \rightarrow N116$  (Figs. 3a & 4a). Les linéations  $L_3$  reliées aux plis  $F_3$  plongent vers l'E-NE ( $48 \rightarrow N91$ ). Ces linéations montrent une distribution aléatoire possiblement reliée à la présence de plis  $F_4$  plongeant vers  $21 \rightarrow N206$  (Fig. 2.3b). Une foliation  $S_4$  est localement observable dans l'Ashuanipi (Fig. 2.4a; voir le chapitre I pour les explications proposées concernant la distribution des linéations  $L_3$  dans la partie 1.5.1 'Detailed structures').

Une déformation  $D_3$  affecte toutes les lithologies des sous-provinces (Cadéron *et al.*, 1998, 1999, 2000, 2002a). Les plis  $F_3$  replissent  $S_1$  et/ou  $S_2$  et plongent vers l'E-NE. Ils sont déversés vers le sud avec des traces axiales subméridionales (Fig. 2.4a). La phase de déformation  $D_3$  correspond à la mise en place syn-tectonique d'intrusions de granite et de monzogranite entre  $2647 \pm 3/-1$  Ma et  $2638 \pm 2$  Ma (Cadéron *et al.*, 2002a). Une déformation cassante tardive semble être reliée à l'orogène Grenvillienne et entraîne de grands accidents cassants d'orientation NW-SE à NE-SW. La série de failles orientées NE-SW a imposé un contrôle structural sur la mise en place de plusieurs dykes de diabase (Leclair *et al.*, 1998).

### 2.3.1 Les contacts entre les sous-provinces

Des explications structurales détaillées concernant ces zones de failles majeures peuvent être retrouvées au chapitre I, dans la partie 1.5.2 'Structural boundaries'. Afin d'éviter des répétitions, le lecteur est donc invité à consulter le chapitre I et à consulter l'appendice I à la fin de cette thèse pour visualiser les fabriques linéaires et les indicateurs cinématiques retrouvés au sein de ces failles.

Le contact entre les sous-provinces de l'Opinaca et de l'Ashuanipi se poursuit d'ouest en est. À l'est, la séquence de roches métasédimentaires de la Sous-province d'Opinaca semble se poursuivre à l'intérieur de l'Ashuanipi de façon graduelle. Vers l'ouest, ce contact devient faillé (voir Fig. 1.2 dans le chapitre I) et est représenté par la faille Nichicun syn- $D_3$  (voir l'appendice I, Figs. Ib & Id).

Au sud-est de notre région, le contact Opatica/Ashuanipi-est est représenté par la faille du lac Vallard qui montre un chevauchement du Complexe d'Ashuanipi-est sur la Sous-province de l'Opatica (Fig. 2.2) (Lamothe *et al.*, 1998). Ce contact est marqué localement par un conglomérat polymictique contenant des fragments aplatis selon  $S_1$  et replissés par  $D_3$  et montrent des indicateurs cinématiques témoignant d'un chevauchement vers le sud des unités de l'Opinaca (voir l'appendice I, Figs. Ib & Ie). Des métasédiments se trouvant au sein de la faille du lac Vallard montrent une foliation  $S_1$  replissée par la déformation  $D_3$  (Fig. 2.4b).

La zone de déformation de Guichen, de direction NE-SW, s'étend sur 100 km et marque le contact entre le Domaine de Caniapiscaw et le Complexe d'Ashuanipi-est (Fig.

2.2). Une déformation ductile associée à la faille de Guichen a causé une réorientation progressive de la foliation  $S_1$  vers le nord-est ce qui suggère un âge post  $-D_1$  pour cette structure majeure. Des failles cassantes tardives orientées NE-SO se superposent à la déformation mylonitique et semblent faire partie de la zone de Guichen.

La zone de déformation de Chambeaux sépare l'Ashuanipi-nord de l'Ashuanipi-sud (Fig. 2.2). Elle est caractérisée par des failles orientées est-ouest, parallèles à une série de plis  $F_2$  isoclinaux à serrés et déversés vers le sud (Fig. 2.2). Ces structures résultent du chevauchement vers le sud du Complexe d'Ashuanipi sur les sous-provinces de l'Opatika et de l'Opinaca (Cadéron *et al.*, 2002a).

## **2.4 DESCRIPTION DES LITHOLOGIES ET DES ASSEMBLAGES MINÉRALOGIQUES**

Les échantillons étudiés proviennent des enclaves métasédimentaires décimétriques à métriques qui se retrouvent en pourcentages variables dans la Suite d'Opiscotéo du Complexe d'Ashuanipi (Fig. 2.2). Les diatexites peuvent contenir jusqu'à 50% d'inclusions de roches gneissiques provenant du Groupe de Hublet et de la Suite de Desliens de la Sous-province d'Opinaca. Le paragneiss forme alors des zones hybrides avec la diatexite encaissante. À quelques endroits, on peut observer une transition entre la diatexite et le paragneiss car la proportion du mobilisat augmente graduellement. De plus, la minéralogie et la composition de la diatexite sont comparables à celles du paragneiss (Percival, 1991b). La fusion partielle d'un protholite d'origine sédimentaire semblable à celui du paragneiss

semble être à l'origine de la diatexite. Toutefois, la majorité des contacts entre la diatexite et les roches plus vieilles sont abrupts et communément marqués par des zones où la diatexite contient de nombreuses inclusions de roches encaissantes. Ceci suggère que les contacts sont intrusifs et non représentatifs de zones de transition marquant une migmatisation in situ progressive de la roche encaissante (Leclair *et al.*, 1998). Cependant, dans leur étude géochimique, Lamothe *et al.* (2000) notent que la Suite d'Opiscotéo montre un appauvrissement en Nb, Nd, Ti et U reflétant probablement la composition d'une source détritique accumulée dans un environnement de subduction (Sawyer, 1998; Saunders *et al.*, 1980).

#### **2.4.1 Pétrographie des xénolithes métasédimentaires**

Les enclaves étudiées représentent des radeaux à l'intérieur d'une mer diatexitique. Ces lambeaux proviennent d'une très épaisse unité de métasédiments détritiques, la Formation de Mercator qui représente plus de 70% de la Sous-province d'Opinaca (Fig. 2.2). Cette Formation a fait l'objet d'une étude pétrographique régionale détaillée par Cadéron *et al.* (2002a). Cette unité métasédimentaire se compose de lits centimétriques à décimétriques de métawacke lithique migmatitique et contient un paléosome résiduel quartzofeldspathique dont la composition peut varier de psammitique à pélitique. Sur le terrain, ces métasédiments ont été divisés en deux unités caractérisées par un paléosome avec ou sans grenat. Les deux unités sont de proportions à peu près égales et elles sont intercalées par endroits. Leur différence de composition est interprétée comme un

changement latéral de faciès dans la séquence sédimentaire d'origine (Lamothe *et al.*, 2000). Cette composition définit un ancien litage d'origine primaire associé à la déposition de sédiments turbiditiques. De couleur gris-brun ou brun-rouille, riche en biotite et en orthopyroxène, le paléosome est injecté de 5 à 50% de leucosomes blanc à gris pâle de composition granitique à tonalitique témoignant d'une fusion partielle omniprésente. Les enclaves présentes dans la diatexite montrent les mêmes caractéristiques minéralogiques que la Formation de Mercator qui représente l'ensemble des métasédiments de la Sous-province d'Opinaca. Le paléosome a une granulométrie fine à moyenne et possède une texture équi-granulaire granoblastique. Il contient des assemblages de biotite + orthopyroxène +/- grenat + plagioclase + quartz. À l'instar de la Formation de Mercator, les enclaves étudiée ne contiennent pas de cordiérite. Ces minéraux sont de taille millimétrique ( $\leq 1$  cm) et s'orientent selon une foliation minérale  $M_1$  reliée à la déformation  $D_1$  (Fig. 2.5a). Cette structure gneissique  $S_1$  est discordante par rapport à la foliation  $S_2$  observée dans la diatexite. Cette relation indique que le métamorphisme régional  $M_1$  a précédé la mise en place de la diatexite. Ces enclaves montrent donc deux générations de leucosomes: ceux de taille millimétrique ( $\leq 1$ cm) sont sub-parallèles à la foliation majeure  $S_1$  et les leucosomes centimétriques ( $\geq 1$  cm) à angle avec la première génération sont syn- $D_2$  et se retrouvent à l'intérieur ou en bordure des enclaves (Figs. 2.5a & 2.5b). Ces leucosomes, de grains moyens à grossiers, contiennent le même assemblage à orthopyroxène + grenat +/- biotite+ plagioclase + quartz. Comparés au paléosome, les minéraux des leucosomes  $M_2$  sont porphyroblastiques et peuvent atteindre une taille pluricentimétrique (de 0.5 cm à 4 cm) (Fig. 2.5b). Localement, les cristaux de grenat



montrent alors une forme sub-automorphe. Afin d'avoir de bons minéraux repères, l'assemblage à grenat-orthopyroxène-biotite-plagioclase-quartz a été retenu pour notre étude.

#### 2.4.2 Pétrographie des diatexites

Généralement, les diatexites sont de couleur gris-brun à blanc jaunâtre et d'apparence homogène à l'échelle de l'échantillon. Seules les diatexites situées dans le nord de l'ashuanipi-est contiennent l'assemblage à orthopyroxène + grenat + biotite + feldspath (Figs. 2.5c & 2.5d). Percival (1991b) observe le même phénomène au nord-est de notre secteur d'étude. Cet auteur a étudié la géochimie des diatexites de l'Ashuanipi et il conclut que celles contenant du grenat ont des compositions identiques aux lambeaux et enclaves de métasédiments, tandis que celles dépourvues de grenat sont caractérisées par un appauvrissement en HREE. Il relie alors la présence ou l'absence de grenat au degré de fusion des paragneiss, source des diatexites. Dans notre région, le grenat est porphyroblastiques, localement sub-automorphes (Fig. 2.5c). De plus, les enclaves de gneiss mafique sont dispersées et elles semblent se limiter à l'Ashuanipi-sud ce qui pourrait également avoir influencé la présence ou l'absence de grenat dans la diatexite. La granulométrie des diatexites varie de grossière à moyenne sur une distance de quelques centimètres, produisant une texture hétérogranulaire distincte. La présence de phénocristaux de feldspath potassique (1 à 3 cm, Fig. 2.5c) à plusieurs endroits fait que la roche a une apparence porphyritique. L'orthopyroxène est soit subidiomorphe, soit

xénomorphe poeciloblastique témoignant respectivement d'une origine ignée ou métamorphique (Fig. 2.5c). Le clinopyroxène est idiomorphe ou subidiomorphe suggérant une origine magmatique (Fig. 2.5d). La diatexite à clinopyroxène est plus métalumineuse que les autres suites de l'Opiscotéo et se retrouve surtout dans l'Ashuanipi-sud (Lamothe *et al.*, 2000). Sawyer (1997) suggère que les diatexites à clinopyroxène pourraient dériver de la fusion d'une tonalite ou encore de la contamination d'un magma provenant de la fusion d'une source pélitique. La diatexite peut être massive (Fig. 2.5c) ou foliée (Fig. 2.5d). La foliation est définie par l'alignement de la biotite et la présence de schlieren de biotite (Leclair *et al.*, 1998; Fig. 2.5d). Ces schlierens définissent communément un vague rubanement, résultat de l'écoulement magmatique (Lamothe *et al.*, 2000). La foliation  $S_2$  est également définie par l'alignement des enclaves métasédimentaires et/ou mafiques et est replissée selon  $D_3$  (Fig. 2.5d).

## **2.5 TEXTURES ET CHIMIE DES MINÉRAUX DES XÉNOLITHES MÉTASÉDIMENTAIRES**

Les échantillons récoltés au cours des étés 1996 et 1997 le long d'une traverse de direction N-S dans le Complexe d'Ashuanipi (Fig. 2.2) ont permis d'effectuer 20 lames minces uniquement dans les enclaves de métasédiments. Afin de permettre des corrélations logiques à travers les métasédiments étudiés, 8 lames minces polies ont été confectionnées. Des analyses-microsonde d'orthopyroxène, grenat, feldspath, et biotite ont été effectuées.

## 2.5.1 Pétrographie et microstructures

### 2.5.1.1 Foliation $S_1$

Un premier assemblage à orthopyroxène +/- grenat + biotite + plagioclase + quartz se retrouve dans la foliation  $S_1$  (Fig. 2.5a). Ce premier épisode métamorphique régional  $M_1$  au faciès granulite est antérieur à 2680 Ma, date de mise en place du Complexe d'Ashuanipi issu de la fusion partielle de la Sous-province d'Opinaca. Dans l'Opinaca, des monazites provenant des paragneiss contenant des orthopyroxènes  $M_1$  ont livré des âges de 2680 à 2670 Ma (Wodicka, 2000). Percival *et al.* (2003) estiment la mise en place de la suite de Desliens, composée de métatonalites, et présente dans les sous-provinces de l'Opinaca et dans le Complexe d'Ashuanipi, à 2725 Ma. Ces métatonalites montrent un premier épisode de métamorphisme au faciès granulite entre 2700-2691 Ma (Percival *et al.*, 2003). Le métamorphisme  $M_1$  relié à  $D_1$  se produit donc entre 2705 et 2680 Ma (Cadéron *et al.*, 2002a).

L'orthopyroxène, en grains millimétriques, contient surtout de inclusions de biotite, de quartz et parfois de plagioclase (Fig. 2.6a). Ces pyroxènes sont communément entourés de plagioclase. La biotite se retrouve en feuillets en contact avec l'orthopyroxène et les plagioclases. Le grenat forme des petits grains millimétriques ( $\leq 0.5$  cm) orientés dans la foliation  $S_1$  et contenant des inclusions de quartz, de plagioclase et de biotite. Ils forment de petits grains porphyroblastiques (Figs. 2.6b & 2.6c). Le grenat est rarement en contact avec

l'orthopyroxène. Les grains sont séparés par du plagioclase, du quartz et de la biotite (Fig. 2.6b). L'ilménite représente le principal oxyde.

### **2.5.1.2 Foliation $S_2$**

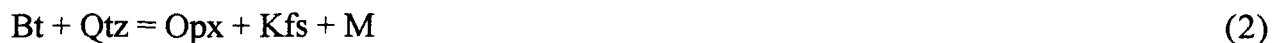
L'assemblage métamorphique  $M_2$  qui caractérise la foliation  $S_2$  est identique à celui de l'épisode métamorphique  $M_1$  (orthopyroxène + grenat + biotite + plagioclase + quartz) mais se retrouve un habitus structural différent. Ces minéraux sont étirés dans la foliation  $S_2$ . Les orthopyroxènes  $M_2$  se retrouvent dans les leucosomes syn- $M_2$  et/ou autour des enclaves (Fig. 2.5b). Des zircons métamorphiques provenant de la diatexite contenant des orthopyroxènes  $M_2$  livrent des âges de mise en place qui s'étalent de 2680 Ma à 2650 Ma (Percival, 1987, 1991b, 1993; Percival *et al.*, 1992; Chevé et Brouillette, 1995; James, 1997; Leclair *et al.*, 1998; Parent, 1998). Des âges s'étalant de 2670 Ma à 2640 Ma montrent que le déclin thermique se poursuit sur 30 Ma (Mortensen et Percival, 1987; Percival, 1990; Chevé et Brouillette, 1995; David et Parent, 1997; Leclair *et al.*, 1998). Cet épisode granulitique débute donc vers 2680 Ma (Cadéron *et al.*, 2002a).

L'orthopyroxène, parfois pluricentimétrique ( $\leq 3$  cm), contient des inclusions de biotite, de quartz, de plagioclase et localement de grenat (Fig. 2.6d). Dans certaines lames, il est très altéré en produits verdâtres (Fig. 2.6e). On retrouve des textures progrades et/ou rétrogrades autour des orthopyroxènes avec des symplectites de biotite + quartz illustrant la déstabilisation de l'orthopyroxène due à la fusion partielle (Figs. 2.6f & 2.6g respectivement). L'orthopyroxène est souvent fracturé. Le grenat est porphyroblastique et

contient des inclusions de quartz, de biotite et de plagioclase (Fig. 2.6h). Le grenat et l'orthopyroxène se retrouvent aussi en contact (Fig. 2.6i). Communément répandue en petits feuillets tabulaires ( $\leq 0.3$  cm) dans le métamorphisme  $M_1$ , la biotite  $M_2$  forme des plages ( $\leq 1.5$  cm) en association avec le grenat et l'orthopyroxène (Fig. 2.6j). Cette biotite tardive est probablement reliée à la réhydratation partielle de l'assemblage à grenat-orthopyroxène lors de la cristallisation du leucosome  $M_2$  (Bégin et Pattison, 1994). Comme pour  $M_1$ , l'ilménite constitue le principal oxyde présent.

### 2.5.2 Interprétation des textures

Les microstructures observées, la structure régionale ainsi que la géochronologie semblent témoigner de deux épisodes au faciès des granulites. Ces deux épisodes métamorphiques montrent le même assemblage minéralogiques et des textures semblables. Selon ces textures et les minéraux présents, plusieurs réactions peuvent être proposées pour la formation de l'orthopyroxène (Spear, 1993; Bégin et Pattison, 1994; Vielzeuf et Montel, 1994; Berman et Bostock, 1997):



(Abréviations selon Kretz, 1983; voir l'appendice III pour l'abréviation des minéraux).

Le grenat peut aussi se former à partir de la réaction (Bégin et Pattison, 1994):



Dans le métamorphisme  $M_2$ , les grenats se retrouvent parfois en inclusions dans l'orthopyroxène et inversement. Ces textures peuvent s'expliquer selon la réaction liée au refroidissement (Berman et Bostock, 1997):



### 2.5.3 Chimie des minéraux

La microsonde électronique de l'université McGill (département des Sciences de la Terre et des Planètes) a été utilisée pour les analyses chimiques des minéraux. Le laboratoire est équipé d'une microsonde JEOL 8900. Les caractéristiques importantes de la microsonde sont: 5 spectromètres WDS, un détecteur Si(Li) EDS pour une identification rapide et des analyses semi-quantitatives, intégration complète des spectromètres WDS et EDS pour permettre des analyses WDS/EDS simultanées, résolution d'images de 40 à 300.000x et 70 nm, haute résolution digitale pour la zonation X-Ray avec les spectromètres EDS et WDS et traitement d'images par informatique. Les minéraux ont été analysés pour les éléments: Na, Mg, Al, Si, K, Ca, Ti Mn, Cr, Zn et Fe; F et Cl ont également été analysés pour les biotites. Plus de 470 analyses chimiques des minéraux ont été effectuées sur huit lames minces polies (voir les appendices IV, V, VII et X).

## 2.5.4 Résultats

### 2.5.4.1 Orthopyroxène

Les orthopyroxènes reliés à  $M_1$  montrent une composition moyenne de  $En_{55.4}Fs_{44.6}$  (Tableau 2.1). Les rapports  $Fe/(Fe + Mg)$  s'étalent entre 0.39 et 0.48. Les teneurs en  $Al_2O_3$  sont comprises entre 3 et 8 wt%, pour une moyenne de 5 wt%. En se basant sur les analyses effectuées sur tous les échantillons, les orthopyroxènes reliés à  $M_2$  montrent une composition moyenne de  $En_{58.1}Fs_{41.9}$  (Tableau 2.1). Les rapports  $Fe/(Fe + Mg)$  s'étalent entre 0.34 et 0.54. Les teneurs en  $Al_2O_3$  sont comprises entre 3.2 et 8.3 wt%, pour une moyenne de 5.7 wt%. À l'échelle de toutes les analyses, les orthopyroxènes  $M_1$  sont légèrement enrichis de 2.7% en FeO (wt%) par rapport à  $M_2$  (erreur reliée à la microsonde < à 1%). Les orthopyroxènes  $M_1$  et  $M_2$  montrent des teneurs équivalentes en Ca ( $M_1$ -Opx:  $Ca/(Fe + Mg + Ca) = 0.17$  vs  $M_2$ -Opx:  $Ca = 0.18$ ).

Ces différences de composition restent faibles à l'échelle d'une lame mince. Les analyses provenant de l'échantillon 4154 sont compilées sur la Figure 2.7. Les teneurs en FeO,  $Al_2O_3$  et CaO sont compilées par rapport à  $FeO/(FeO + MgO)$ . Les orthopyroxènes  $M_1$  et  $M_2$  montrent alors des compositions presque semblables en:- FeO ( $M_1$ -Opx:  $FeO_{moy.} = 28.9$  wt%;  $FeO/(FeO + MgO)_{moy.} = 0.62$ ;  $M_2$ -Opx:  $FeO_{moy.} = 28.2$  wt%;  $FeO/(FeO + MgO)_{moy.} = 0.60$ ). Les  $M_1$ -Opx sont très légèrement plus riches en FeO que les  $M_2$ -Opx (Fig. 2.7a);-  $Al_2O_3$  ( $M_1$ -Opx:  $Al_2O_{3\ moy.} = 3.6$  wt%;  $M_2$ -Opx:  $Al_2O_{3\ moy.} = 3.7$  wt%, Fig. 2.7b);- CaO ( $M_1$ -Opx:  $CaO_{moy.} = 0.10$  wt%;  $M_2$ -Opx:  $CaO = 0.11$  wt%, Fig. 2.7c). La teneur en Al

des orthopyroxènes est une variable importante pour la détermination de la température (Pattison et Bégin, 1994; Aranovitch et Berman, 1996, 1997).

#### 2.5.4.2 Grenat

60% des grenats se retrouvent au sein des leucosomes. La composition chimique de tous les grenats ( $M_1$  et  $M_2$ -Grt) montrent un pôle almandin (Tableau 1). La composition moyenne des grenats syn- $M_1$  est de  $Alm_{63.2}$   $Prp_{31.4}$   $Grs_{3.2}$   $Sps_{2.2}$  tandis que celle des grenats syn- $M_2$  est de  $Alm_{61.6}$   $Prp_{33.4}$   $Grs_3$   $Sps_2$ . Le grossulaire et la spessartine représentent moins que 5% de la composition globale de tous les grenats. Plusieurs traverses ont été effectuées à travers ces grenats. La plupart des cristaux ( $M_1$  et  $M_2$ -Grt) montrent des profils plats pour Fe, Mg, Ca, Mn et Fe/(Fe+Mg) ce qui traduit une absence totale de zonation pour ces éléments. Au NE de notre région, Percival (1991b) observe la même phénomène dans les grenats des ceintures métasédimentaires de l'Ashuanipi. Cette absence de zonation dans les grenats du faciès granulite résulte de leur homogénéisation par diffusion à haute température (Tracy, 1982; Percival, 1991b; Spear, 1993). Cette composition homogène à l'échelle du cristal suggère que les grenats ont préservé les conditions P-T minimales approximatives du pic métamorphique (Markl *et al.*, 2000).



### 2.5.4.3 Biotite

Comme pour les orthopyroxènes, les biotites reliées au métamorphisme  $M_1$  et  $M_2$  montrent des compositions différentes (Tableau 2.1). Les biotites  $M_1$  sont enrichies en fer ( $M_1$ -Bt:  $\text{Fe}/(\text{Fe} + \text{Mg}) = 0.41$ ;  $M_2$ -Bt:  $\text{Fe}/(\text{Fe} + \text{Mg}) = 0.35$ ). Les biotites  $M_1$  contiennent en moyenne 5.3 wt% de  $\text{TiO}_2$ , tandis que les biotites  $M_2$  en contiennent 4.8 wt%. Les biotites en inclusions et en couronnes autour des grenats et des orthopyroxènes montrent un rapport Fe/Mg plus bas que les porphyroblastes de biotite présents dans la matrice. Cela est probablement relié à l'échange Fe-Mg entre la biotite et le grenat et/ou l'orthopyroxène pendant la rééquilibration tardi pic-métamorphique. À l'échelle d'une lame mince, cette différence de composition subsiste mais est moins marquée. La Figure 2.8 montre la composition des biotites de l'échantillon 4154 associées aux orthopyroxènes décrits plus haut. Les biotites  $M_1$  montrent des teneurs en FeO comprises entre 15.7 et 17.7 wt% ( $\text{FeO}_{\text{moy.}} = 16.7$  wt%), tandis que les biotites  $M_2$  ont des valeurs entre 13.5 et 15.3 wt% ( $\text{FeO}_{\text{moy.}} = 14.5$  wt%). Les rapports  $\text{FeO}/(\text{FeO} + \text{MgO})$  pour les biotites  $M_1$  sont également supérieurs à ceux des biotites  $M_2$  ( $M_1$ -Bt:  $\text{FeO}/(\text{FeO} + \text{MgO})_{\text{moy.}} = 0.57$ ;  $M_2$ -Bt:  $\text{FeO}/(\text{FeO} + \text{MgO})_{\text{moy.}} = 0.51$ ).

### 2.5.4.4 Plagioclase

les plagioclases  $M_1$  et  $M_2$  montrent des compositions moyennes similaires:  $M_1$ -Pl:  $\text{Ab}_{67.8} \text{An}_{29.8} \text{Or}_{2.4}$  -  $M_2$ -Pl:  $\text{Ab}_{68} \text{An}_{29} \text{Or}_3$  (Tableau 2.1).

## 2.6 GÉOTHERMOBAROMÉTRIE ET CHEMINS P-T-t

### 2.6.1 Méthodes de calcul

Le programme TWEEQU (Thermobarometry With Estimation of EQUilibration state; Berman, 1988, 1991) a été utilisé pour les calculs thermobarométriques (2.02 version, solutions solides de 1996: BA96a.SLN). Ce programme calcule les pressions et les températures à partir des intersections d'au moins trois réactions en utilisant tous les équilibres possibles. Ces réactions sont basées sur la composition des membres purs fixée dans la base thermodynamique de Berman (1991). Selon Essene (1989), une approximation de  $\pm 1$  kbar et de  $\pm 50^\circ\text{C}$  est adoptée dans les résultats. L'un des avantages de la méthode de calcul par TWEEQU est que l'état d'équilibre d'une roche peut-être déterminé en comparant les points d'intersection de tous les équilibres en présence pour un même assemblage. Une bonne convergence des réactions obtenues traduit un état d'équilibre tandis qu'une divergence de ces réactions suggère qu'une ou plusieurs phases utilisées ne correspondent pas au système étudié et/ou que les phases présentes ne sont pas à l'équilibre. La moyenne des calculs P-T suit la méthode de Berman (1991) en utilisant la version 2.02 et les données thermodynamiques de Berman (1988), Berman *et al.* (1995) et Berman et Aranovitch (1996) pour les phases pures. Les relations activité-composition pour le grenat, la biotite, l'orthopyroxène et le plagioclase ont été étudiées en utilisant les modèles de Berman (1988, 1990, 1991), Fuhrman et Lindsley (1988), Berman *et al.* (1995),

Aranovitch et Berman (1996), et Berman et Aranovitch (1996). Le quartz est considéré comme pur.

Pour les calculs, les compositions des coeurs des grenats, des orthopyroxènes et des biotites ont été utilisées pour estimer les pressions et les températures les plus hautes pour les épisodes métamorphiques  $M_1$  et  $M_2$ . Les plus hautes températures ont été obtenues en utilisant les compositions des biotites dans la matrice à quartz + feldspath. On considère que ces biotites ont été très faiblement affectées par les échanges Fe-Mg avec les autres minéraux mafiques pendant le refroidissement. Les températures ainsi calculées à partir de ces biotites isolées sont considérées comme les plus représentatives des conditions P-T minimales du pic métamorphique (Spear, 1993).

Afin d'éviter l'influence des échanges Fe-Mg tardifs avec la biotite, les bordures du grenat et de l'orthopyroxène entourés de quartz + plagioclase ont été utilisées pour déterminer les pressions les plus basses. Les conditions P-T minimales du pic métamorphique ont également été déterminées avec les inclusions de biotite dans les grenats et/ou dans les orthopyroxènes.

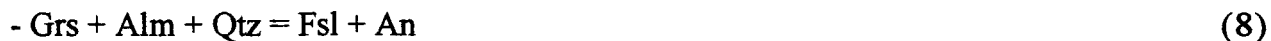
Plusieurs thermomètres basés sur l'échange Fe-Mg ont été utilisés pour les assemblages à grenat-orthopyroxène-biotite-plagioclase-quartz (Sen et Bhattacharya, 1984; Berman, 1990):

$$- \text{Alm} + \text{Phl} = \text{Py} + \text{Ann} \text{ (Grt/Bio)} \quad (5)$$

$$- \text{Ens} + \text{Alm} = \text{Fsl} + \text{Py} \text{ (Grt/Opx)} \quad (6)$$

$$- \text{Ens} + \text{Ann} = \text{Fsl} + \text{Phl} \text{ (Opx/Bio)} \quad (7)$$

Plusieurs baromètres ont été retenus pour le calcul des pressions. Les pressions pour l'assemblage grenat-orthopyroxène-biotite-plagioclase-quartz ont été calculées en utilisant les réactions d'échange Fe-Mg de Perkins et Chipera (1985) et Eckert *et al.* (1991):



## 2.6.2 Résultats des calculs P-T

### 2.6.2.1 *Épisodes métamorphiques $M_1$ , et $M_2$ : assemblage à grenat - orthopyroxène - biotite - plagioclase - quartz*

#### *Épisode métamorphique $M_1$*

La Figure 2.9a montre que l'assemblage grenat-orthopyroxène-biotite-plagioclase-quartz est en équilibre. Quelques diagrammes obtenus sur TWEEQU ont montré que le grenat n'était pas toujours en équilibre avec l'orthopyroxène et la biotite. Les échanges Fe-Mg tardifs entre ces trois minéraux lors du refroidissement entraînent localement la divergence des thermomètres Grt-Opx et Grt-Bt.

Les résultats apparaissent dans la Figure 2.10a. Les conditions P-T minimales obtenues à partir des coeurs des minéraux s'étalent de 8.8 à 6.3 +/- 1 kbar pour des températures comprises entre 955 et 800 +/- 50°C. La moyenne de ces conditions minimales est de 7.3 +/- 1 kbar pour 860 +/- 50°C. Les conditions P-T obtenues à partir des

compositions intermédiaires et des bordures des minéraux s'étalent de 7 à 5 +/- 1 kbar pour des températures comprises entre 860 et 720 +/- 50°C. La moyenne de ces conditions est de 6.1 +/- 1 kbar et de 790 +/- 50°C. Ces valeurs sont en accord avec les températures minimales requises pour la stabilité de l'orthopyroxène (750 - 780°C; Bégin et Pattison, 1994).

### ***Épisode métamorphique $M_2$***

La Figure 2.9b montre que les minéraux sont en équilibre. Comme pour l'épisode métamorphique  $M_1$ , certains diagrammes ont montré que ces minéraux ne sont pas toujours en équilibre. La migmatisation entraîne une phase fluide importante. Les orthopyroxènes  $M_2$  sont beaucoup plus altérés que ceux reliés à  $M_1$ . Ils sont localement rétrotransformés. Les conditions d'équilibre sont donc plus difficiles à déterminer. L'impact du refroidissement, la ré-équilibration des minéraux, et la fusion partielle sont des facteurs nuisibles à l'estimation des conditions du pic métamorphique.

La Figure 2.10b montre les P-T obtenues pour cet assemblage. Les températures sont semblables à celles calculées pour le même assemblage relié à  $M_1$ . Les conditions P-T maximales obtenues à partir des coeurs des minéraux s'étalent de 9.8 à 6.6 +/- 1 kbar pour des températures comprises entre 940 et 780 +/- 50°C. La moyenne de ces conditions maximales est de 7.6 +/- 1 kbar pour 850 +/- 50°C. Les P-T minimales obtenues à partir des compositions intermédiaires et des bordures des minéraux s'étalent de 7 à 5.2 +/- 1 kbar

pour des températures comprises entre 810 et 710  $\pm$  50°C. La moyenne de ces conditions minimales est de 6.1  $\pm$  1 kbar pour 770  $\pm$  50°C.

Les chemins P-T-t des épisodes métamorphiques  $M_1$  et  $M_2$  (Fig. 2.11) montre une nette diminution de la température ( $M_1$ : 235°C;  $M_2$ : 230°C) et de la pression ( $M_1$ : 3.8 kbar;  $M_2$ : 4.6 kbar). Les conditions P-T obtenues décrivent des P-T-t (voir la partie 2.5.1 Pétrographie et microstructures pour les explications sur la définition de la composante de temps « t ») de sens horaire pour ces deux épisodes granulitiques.

(Figs. 2.11a & 2.11b). La grande majorité des gradients dP/dT calculés pour ces chemins horaires ( $M_1$ : 1.1-1.9 kbar/100°C;  $M_2$ : 2 kbar/100°C) sont en accord avec d'autres terrains granulitiques montrant des refroidissements isobares (0.5-2 kbar/100°C, Harley, 1989).

## 2.7 DISCUSSION

### 2.7.1 $M_1$ vs $M_2$ : des événements métamorphiques diachroniques ou continus?

Plusieurs évidences démontrent que ces deux épisodes métamorphiques appartiennent à un même chemin P-T:

1- les compositions chimiques des orthopyroxènes  $M_1$  et  $M_2$  sont presque similaires (Fig. 2.7). Les orthopyroxènes  $M_2$  sont légèrement appauvris en Fe par rapport à  $M_1$  (Fig. 2.7a). Cela semble traduire une perte en Fe de l'orthopyroxène reliée aux échanges Fe-Mg

continuels dans la roche dus au maintien de la température au faciès granulite. Les échanges Fe-Mg sont à l'origine de cet appauvrissement,

2- pour le même assemblage (grenat-orthopyroxène-biotite-plagioclase-quartz), les conditions P-T obtenues pour les épisodes métamorphiques  $M_1$  et  $M_2$  sont semblables (Figs. 2.10 & 2.11). Les conditions P-T maximales pour  $M_1$  et  $M_2$  sont de  $955 \pm 50^\circ\text{C}$  -  $8.8 \pm 1$  kbar et de  $940 \pm 50^\circ\text{C}$  -  $9.8 \pm 1$  kbar respectivement (Tableau 2.2). Ces conditions P-T ne montrent donc pas de différences minéralogiques et géothermobarométriques marquées pouvant dissocier nettement ces deux événements métamorphiques,

3- Percival *et al.* (2003) propose que la mise en place des diatexites de l'Ashuanipi découle des conditions P-T extrêmes reliées à événement métamorphique antérieur ( $M_1$ : Cadéron *et al.*, 2002a) dû à un sous-placage mafique (Suite de Desliens). De plus, Percival (1991b) explique que la présence et la préservation des orthopyroxènes en bordure des xénolithes témoignent d'un mélange relativement anhydre composé essentiellement de  $\text{CO}_2$ . Ces conditions de températures extrêmes, nécessaires à la formation des diatexites, ont demandé un apport de chaleur intense dans un court laps de temps et impliquent un sous-placage mafique (Percival, 1991b). Cadéron *et al.* (2002a) complètent ce modèle et proposent alors que le métamorphisme  $M_2$  est en fait tardi- $M_1$  et marque une étape dans l'histoire tectono-thermale continue de la région (voir plus loin). La préservation des orthopyroxènes peut également être reliée au maintien des conditions P-T au faciès des granulites,

4- les Figures 2.5a et 2.5b montrent l'existence incontestables de deux orthopyroxènes dans deux foliations distinctes ( $S_1$  et  $S_2$ ). Sur l'affleurement, ces deux foliations sont à angle. On peut donc dissocier ces deux épisodes métamorphiques uniquement à partir de l'orientation des minéraux métamorphiques qui subsistent à travers deux déformations. Cependant, le changement de l'orientation des contraintes tectoniques principales reliées à  $D_1$  et  $D_2$  entraîne une réorientation des foliations métamorphiques ( $S_1$  vs  $S_2$ ).

Ces deux événements métamorphiques illustrent donc une seule période métamorphique continue ( $M_{1-2}$ ) à travers une évolution tectonique polyphasée témoignant de l'évolution tectono-thermale cyclique des métasédiments du Complexe d'Ashuanipi.

### **2.7.2 Comparaison des résultats P-T entre les parties nord et sud du Complexe d'Ashuanipi**

Les conditions P-T obtenues pour les épisodes métamorphiques  $M_1$  et  $M_2$  dans les enclaves de l'Ashuanipi-nord sont semblables à celles de l'Ashuanipi-sud. Pour les échantillons prélevés dans l'Ashuanipi-nord (Fig. 2.2), la moyenne des conditions P-T maximales et minimales de l'épisode métamorphique  $M_1$  est de  $905 \pm 50^\circ\text{C}$  -  $8.1 \pm 1$  kbar et de  $765 \pm 50^\circ\text{C}$  -  $5.6 \pm 1$  kbar respectivement. Dans l'Ashuanipi-sud (échantillons Fig. 2.2), la moyenne des conditions P-T maximales et minimales pour ce même épisode est de  $860 \pm 50^\circ\text{C}$  -  $7.3 \pm 1$  kbar et de  $785 \pm 50^\circ\text{C}$  -  $6.1 \pm 1$  kbar respectivement. Pour  $M_2$ , l'Ashuanipi nord montre des conditions P-T maximales et minimales de  $880 \pm 50^\circ\text{C}$  -



8.4 $\pm$ 1 kbar et de 735  $\pm$ 50°C - 5.7 $\pm$ 1 kbar respectivement, tandis que l'Ashuanipi-sud montre des conditions P-T moyennes de 890  $\pm$ 50°C - 8.2 $\pm$ 1 kbar et de 730  $\pm$ 50°C - 5.8 $\pm$ 1 kbar respectivement. Au nord, les gradients dP/dT sont de 1.8 kbar/100°C pour M<sub>1</sub> et de 1.9 kbar/100°C pour M<sub>2</sub>. Au sud, ces gradients s'étalent de 1.9 kbar/100°C pour M<sub>1</sub> et de 1.5 kbar/100°C pour M<sub>2</sub>.

Il n'existe donc pas de différences majeures de part et d'autre de la zone de failles de Chambeaux (Fig. 2.2). La présence ou l'absence du grenat dans les diatexites de l'Ashuanipi ne semble donc pas dépendre de la pression subie par ces roches. Cela peut être relié à la difficulté d'estimer les conditions P-T maximales du pic métamorphique dans les enclaves. L'homogénéisation par diffusion des grenats non-zonés compliquent l'estimation des conditions de pression maximale du pic métamorphique (Tracy, 1982; Percival, 1991b; Spear, 1993). En plus des diatexites, les nombreuses intrusions syn- à post-tectoniques ont influencé la composition des minéraux métamorphiques. La longue période de cooling reconnue dans l'Ashuanipi s'étale sur 30 Ma (Mortensen et Percival, 1987; Percival, 1990; Chevé et Brouillette, 1995; David et Parent, 1997; Leclair *et al.*, 1998). Bien que préservés, les minéraux ont subi des échanges tardifs affectant leur composition chimique.

Le fait que les diatexites de l'Ashuanipi-nord contiennent du grenat alors celles de l'Ashuanipi-sud en sont dépourvues ne semble donc pas relié aux conditions P-T auxquelles ces diatexites ont été soumises. L'explication de Percival (1991b) basée sur la composition géochimique des diatexites vs les enclaves métasédimentaires représentant leur protholithe et sur le degré de fusion de la source sédimentaire semble donc la

meilleure. Le pourcentage d'enclaves métasédimentaires étant plus important dans l'Ashuanipi-nord que dans l'Ashuanipi-sud, l'influence de la composition géochimique originelle et des processus d'anatexie engendrant des agents tel que le CO<sub>2</sub> semblent plus importante que les conditions P-T.

### **2.7.3 Relations entre les épisodes métamorphiques M<sub>1</sub>, & M<sub>3</sub> dans la Sous-province d'Opinaca et M<sub>1</sub> & M<sub>2</sub> dans le Complexe d'Ashuanipi**

Lors d'une récente étude, Cadéron *et al.* (2002a; voir le chapitre I de cette thèse) montrent que la Sous-province d'Opinaca représente un bassin archéen ayant subi un polymétamorphisme granulitique à travers une tectonique polyphasée complexe. Ces auteurs concluent qu'une période métamorphique M<sub>1</sub> se poursuit sur 65 Ma dans l'ensemble de la partie sud-est de la Province du Supérieur. Ce faciès granulitique, anté- à syn-D<sub>1</sub>, culmine par un métamorphisme M<sub>3</sub> relié à une déformation D<sub>3</sub>. L'assemblage métamorphique M<sub>1</sub> montre des conditions P-T semblables à celles de M<sub>3</sub> avec des conditions P-T de 960 +/-50°C - 8.2 +/-1 kbar à 720 +/-50°C - 5.1 +/-1 kbar pour M<sub>1</sub> et de 890 +/-50°C - 8.3 +/- 1 kbar à 720 +/-50°C - 5.8 +/-1 kbar pour M<sub>3</sub> (Tableau 2; Cadéron *et al.*, 2002a).

Dans les paragneiss de la Sous-province d'Opinaca, l'épisode métamorphique M<sub>1</sub> montre deux types d'assemblages. Un assemblage à grenat - orthopyroxène - biotite - plagioclase - quartz montre des conditions P-T de 8.2 à 5.1 +/- 1 kbar et de 900 à 720 +/- 50°C (Tableau 2.2; Cadéron *et al.*, 2002a; voir le chapitre I). Un autre assemblage à grenat

- orthopyroxène - biotite - cordiérite - plagioclase - quartz montre des pressions et des températures de 7.4 à 6.2 +/- 1 kbar et de 960 à 830 +/- 50°C (Tableau 2.2). La cordiérite n'a pas été observée dans les échantillons récoltés dans les xénolithes métasédimentaires de le Complexe d'Ashuanipi. La présence ou l'absence de la cordiérite dans un assemblage minéralogique dépend essentiellement des teneurs en Fe-Mg du milieu de cristallisation (rapport  $Mg/(Mg + Fe)$ ). Les milieux riches en Fe entraînent la cristallisation d'un assemblage à Grt-Opx dépourvu de cordiérite (en accord avec la réaction (3)), tandis qu'une composition plus magnésienne favorise l'apparition d'un assemblage à Grt - Opx - Crd selon la réaction (Bégin et Pattison, 1994):



Dans la Sous-province d'Opinaca, les orthopyroxènes reliés à  $M_1$  sont appauvris en Fe par rapport aux orthopyroxènes  $M_1$  présents dans les enclaves de l'Ashuanipi. À l'échelle des lames minces, les orthopyroxènes  $M_1$  des paragneiss de l'Opinaca contiennent en moyenne 25.7 wt% de FeO ( $FeO/(FeO+MgO) = 0.57$  à  $0.61$ ; Cadéron *et al.*, 2002a) tandis que les orthopyroxènes  $M_1$  des enclaves en contiennent 28.5 wt% ( $FeO/(FeO+MgO) = 0.61$ ; Fig. 2.12; erreur reliée à la microsonde < 1%). Cette différence de composition peut expliquer l'absence de cordiérite dans les enclaves de l'Ashuanipi comme mentionné par Bégin et Pattison (1994).

Pour le même assemblage (grenat - orthopyroxène - biotite - plagioclase - quartz), l'épisode métamorphique  $M_1$  montre des conditions P-T semblables dans les paragneiss de la Sous-province d'Opinaca et dans les enclaves de l'Ashuanipi (Figs. 2.10 & 2.11). Dans la présente étude, l'épisode métamorphique  $M_1$  montre des P-T de 8.8 à 5 +/- 1 kbar et de

955 à 720 +/- 50°C respectivement. Le métamorphisme  $M_1$  observé dans la Sous-province d'Opinaca à l'échelle régionale correspond au métamorphisme  $M_1$  visible dans les enclaves métasédimentaires du Complexe d'Ashuanipi. Sur le terrain, la foliation métamorphique  $S_1$  visible dans les enclaves de l'Ashuanipi est antérieure à la mise en place des diatexites et correspond à la déformation  $D_1$  régionale responsable de la foliation pénétrative  $S_1$  caractéristique des paragneiss de l'Opinaca (Lamothe *et al.*, 1998, 2000; Leclair *et al.*, 1998; Cadéron *et al.*, 1998, 1999, 2000, 2002a).

Cette étude démontre que les épisodes métamorphiques  $M_1$  et  $M_2$  visibles dans les xénolithes métasédimentaires de l'Ashuanipi illustrent une même période granulitique.  $M_1$  est anté- à syn- $D_1$  ( $\leq 2705$  Ma) tandis que  $M_2$  est interprété comme tardi- $M_1$  et débute avec la mise en place des diatexites il y a 2680 Ma (Cadéron *et al.*, 2002a). Cadéron *et al.* (2002a) observent le même phénomène de continuité dans la Sous-province d'Opinaca où ils concluent qu'un dernier épisode métamorphique  $M_3$  relié à une déformation régionale  $D_3$  et datée à 2645 Ma, représente la continuité de  $M_1$ . Cette étude vient compléter ces travaux et démontre que  $M_1$  se poursuit réellement pendant 65 Ma à travers trois périodes de déformations.  $D_1$ ,  $D_2$  et  $D_3$  développent une foliation métamorphique caractéristique à chaque déformation. L'évolution spatiale des contraintes tectoniques majeures entraîne une réorientation des minéraux métamorphiques dans ces trois foliations distinctes. Le maintien des conditions P-T au faciès des granulites favorise la continuité des échanges Fe-Mg entre les minéraux. La composition chimique des orthopyroxènes  $M_1$ ,  $M_2$  et  $M_3$  témoigne de ces échanges à travers la déformation polyphasée. Les épisodes métamorphiques  $M_1$ ,  $M_2$  et  $M_3$  sont donc continus. Par l'utilisation du terme

‘polygranulitique’ utilisé par Cadéron *et al.* (2002a), les auteurs souhaitent uniquement distinguer et souligner l’occurrence d’assemblages de minéraux métamorphiques distincts aux niveaux microstructural et chimique (orthopyroxènes).

#### 2.7.4 Modèle tectonique

L’évolution tectono-métamorphique de la région débute avant 2700 Ma, date maximale de dépôt des sédiments dans le bassin de l’Opinaca (Percival et Sullivan, 1988) et dans le Complexe d’Ashuanipi, où des zircons détritiques provenant des lambeaux de ceintures métasédimentaires ont donné des âges qui s’étalent de 3350 à 2700 Ma (Mortensen et Percival, 1987; Percival, 1991b).

Une plaque océanique plongeant vers le NW entraîne un amincissement crustal et provoque une extension et la formation d’un graben le long de failles normales qui séparent une croûte continentale archéenne représentée par les sous-provinces de La Grande et de l’Opatica (voir la partie 1.9.2.1 ‘Extension and deposition of Opinaca sediments’ et les figures 1.13a & b dans le chapitre I pour les explications détaillées concernant la période d’extension anté- $D_1/M_1$ ). Les indicateurs structuraux d’anciennes failles normales ne sont plus visibles sur le terrain (voir la partie 1.9.2.1 ‘Extension and deposition of Opinaca sediments’ dans le chapitre I pour les explications concernant les failles normales). Les métasédiments de l’Opinaca (Formation de Mercator, Fig. 2.2) représentent les produits d’érosion des sous-provinces de La Grande et d’Opatica.

Dans la Sous-province de La Grande, des volcanites felsiques témoignent d'une activité volcanique précoce datée à 2732 Ma (Goutier *et al.*, 1998). Dans la Sous-province d'Opatika, une ceinture volcano-sédimentaire semble représenter un équivalent latéral possible de la Bande Volcano-Sédimentaire de la Rivière Eastmain Moyenne (BVSREM) telle que définie par Boily (1999, 2000). Des volcanites felsiques de la BVSREM donnent un âge de 2739 Ma (Gauthier et Larocque, 1998). Ces volcanites montrent une signature géochimique tholéïthique à calco-alkaline (Labbé et Bélanger, 1998; Gouthier *et al.*, 1998). L'activité volcanique dans le La Grande et dans la BVSREM perdure jusqu'à 2708 Ma (David, 1996; Goutier *et al.*, 1998), et jusqu'à 2705 Ma (Gauthier et Larocque, 1998) respectivement. Des roches volcaniques felsiques provenant d'une méga-enclave dans les diatexites de l'Ashuanipi montre un âge de 2711 Ma (David et Parent, 1997). Le Domaine de Caniapiscau contient également des volcanites felsiques datées à 2707  $\pm$  5 Ma (Leclair *et al.*, 1998). Ces âges permettent de conclure que le volcanisme bimodal du Domaine de Caniapiscau et du Complexe d'Ashuanipi pourrait être corrélé dans le temps avec des événements similaires dans la Sous-province de La Grande et dans la BVSREM.

Cette phase culmine avec l'intrusion de la Suite de Desliens reliée à la délamination de la croûte subductante. Percival *et al.* (2003) date cette Suite à 2725 Ma et montre que le Desliens représente un magmatisme d'affinité adakitique. Ce sous-placage mafique entraîne une perturbation du géotherme sous-jacent.

#### 2.7.4.1 Début de la phase de compression: épisode tectonothermal $M_1/D_1$ (Fig. 2.14a)

Une période de compression débute vers 2705 Ma et se poursuit jusqu'à 2680 Ma, date de mise en place des diatexites du Complexe d'Ashuanipi. Les diatexites ne sont pas affectées par la déformation  $D_1$ .  $S_1$  affecte les métasédiments et la Suite de Desliens et est reliée au début de la fermeture du bassin de l'Opinaca. Cette Suite contient des zircons métamorphiques datés à 2698  $\pm$  9 Ma (Percival *et al.*, 2003). Cette phase de fermeture pourrait être reliée à la collision de l'Abitibi et l'Opatika qui se produit entre 2708 et 2694 Ma (Calvert *et al.*, 1995).

L'accumulation de fortes épaisseurs de sédiments quartzofeldspathiques représentés par le Groupe de Rossignol-Laguiche (Gauthier *et al.*, 1997), aussi nommé Groupe de Hublet par Lamothe *et al.* (1998), couplée à un apport de chaleur substantiel résultant de l'accumulation sous-jacente de magma mafique provenant de la zone de subduction, favorise le maintien des conditions P-T et l'apparition continue de l'orthopyroxène  $M_1$  parallèle à la foliation  $S_1$ . La mise en place des intrusions de la Suite de Desliens jusqu'à 2687 Ma (Percival *et al.*, 2003), et l'épaississement tectonique (plissement, chevauchements, imbrications) important des unités supracrustales relié à la déformation  $D_1$  lors de la fermeture du bassin, favorisent l'apparition du faciès granulitique. Dans les paragneiss de la Sous-province d'Opinaca, le métamorphisme  $M_1$  montre des conditions P-T minimales de 8.2  $\pm$  1 kbar pour 960  $\pm$  50°C représentant le pic métamorphique (Fig. 2.14a; Cadéron *et al.*, 2002a). Plus on se déplace vers l'est, à proximité du Complexe d'Ashuanipi, plus les températures sont élevées. Dans les diatexites de l'Ashuanipi, les

xénolithes métasédimentaires enregistrent également le métamorphisme  $M_1$  anté à syn- $D_1$  avec des conditions P-T de  $8.8 \pm 1$  kbar et de  $955 \pm 50^\circ\text{C}$  (Fig. 2.14a).

Lors de la fermeture du bassin, l'Opinaca chevauche les sous-provinces de La Grande au nord et de l'Opatoca au sud-ouest (Fig. 2.14a; Cadéron *et al.*, 2002a). Au sud-est, les métasédiments de l'Opinaca chevauchent les formations équivalentes à la BVSREM. La faille Dalmas (limite nord de l'Opinaca) et la faille du lac Vallard (limite sud de l'Opinaca) montrent des structures  $D_1$ . L'aplatissement selon  $S_1$  des fragments des conglomérats polymictes se retrouvant dans ces structures majeures montrent qu'ils sont anté- $D_1$ . Ces structures pourraient représenter d'anciennes failles normales possiblement formées lors de la phase d'extension (voir les explications plus haut concernant ces failles majeures). Ces structures ont joué en failles inverses entraînant le chevauchement de l'Opinaca sur la Sous-province de La Grande au nord et sur la Sous-province de l'Opatoca au sud (Fig. 2.14a). L'Opinaca représente donc une structure à double-vergence (Cadéron *et al.*, 2002a).

#### ***2.7.4.2 Mise en place des diatexites et des xénolithes du Complexe d'Ashuanipi: Épisode tectonothermal $M_2/D_2$ en continuité avec $M_1/D_1$ (Fig. 2.14b).***

Les diatexites de l'Ashuanipi possèdent leur propre assemblage métamorphique au faciès des granulites ( $M_2$ ) qui est absent dans l'Opinaca. Le sous-placage mafique relié à la mise en place de la Suite de Desliens (voir les figures 1.13a & b dans le chapitre I), ainsi que la durée prolongée et l'intensité du métamorphisme  $M_1$  ont vraisemblablement causé une diatexie poussée des unités fertiles et une volumineuse accumulation du produit de



fusion à la base des unités métasédimentaires (Fig. 2.14a). Les diatexites de l'Ashuanipi montrent des âges qui s'étalent entre 2680 et 2650 Ma (Percival, 1987, 1991b, 1993; Chevé et Brouillette, 1995; James, 1997; Leclair *et al.*, 1998; Parent, 1998; Lamothe *et al.*, 1998). La Suite d'Opiscotéo est composée de diatexites (Fig. 2.2) qui reflètent la composition d'une source à dominante détritique accumulée dans un environnement de subduction (Saunders *et al.*, 1980; Sawyer, 1998). La diatexite à clinopyroxène, plus métalumineuse que les autres suites de l'Opiscotéo, se retrouve surtout dans l'Ashuanipi-sud (Lamothe *et al.*, 2000). Sawyer (1997) suggère que cette unité pourrait dériver de la fusion d'une tonalite ou encore de la contamination d'un magma provenant de la fusion d'une source pélitique (Sous-province d'Opinaca). La métatonalite de la Suite de Desliens, dont l'âge de cristallisation est estimé à 2725 Ma, contient des zircons métamorphiques datés à 2698 $\pm$ 9 Ma (Percival *et al.*, 2003) et est omniprésente dans l'Ashuanipi-sud (Fig. 2.2). L'intensité du métamorphisme  $M_1$  et le maintien des conditions au faciès des granulitiques a pu entraîner la fusion des unités tonalitiques de cette Suite. L'alternance de leucosomes dans les métasédiments de l'Opinaca ainsi que les diatexites témoignent d'un degré de fusion régional élevé. Ces produits d'anatexie ont pu interagir avec le sous-placage magmatique entraînant localement la formation des diatexites à clinopyroxène.

La phase de déformation  $D_2$ , typique de l'Ashuanipi, a forcé la migration des diatexites et leur injection à un niveau supérieur (Fig. 2.14b). Ces produits de fusion empruntent des zones de faiblesse perméables représentées par l'interface La Grande/Opinaca (faille de Dalmas) et Opinaca/Opatika (faille du Lac Vallard; Fig. 2.14b). Cette nouvelle étude démontre que cet épisode métamorphique, appelé antérieurement  $M_2$

pour faciliter son rattachement à la déformation  $D_2$  (Cadéron *et al.*, 2002a), résulte du maintien des conditions P-T au faciès granulite et correspond en fait à une phase granulitique tardi- $M_1$ . L'orthopyroxène  $M_2$  (tardi- $M_1$ ) est étiré dans la foliation  $S_2$  et semble donc anté- à syn- $D_2$ . Les conditions P-T maximales de cette phase granulitique sont de 9.8 +/- 1 kbar et de 940 +/- 50°C (Fig. 2.14b). La mise en place de l'Ashuanipi marque une légère réorientation des contraintes tectoniques E-W pendant  $D_1$  à NE-SW pour  $D_2$ .

La faille Guichen, de direction nord-est, marque le contact entre le Domaine de Caniapiscau et le Complexe d'Ashuanipi (Fig. 2.2). Une déformation ductile associée à la faille de Guichen a causé une réorientation progressive de la foliation  $S_1$  vers le nord-est suggérant un âge syn- $D_2$  pour ce contact (Fig. 2.2). En plus de montrer des âges volcaniques similaires (voir  $M_1/D_1$  épisode), le Domaine de Caniapiscau se caractérise par des conditions métamorphiques au faciès des amphibolites à amphibolite supérieur (Leclair *et al.*, 1998) comme les sous-provinces de La Grande et la BVSREM. On peut donc proposer que le Domaine de Caniapiscau représente un équivalent latéral de la BVSRLG et/ou de la BVSREM séparé de sa région-source lors de l'intrusion syn- $D_2$  des diatexites de l'Ashuanipi. La zone de failles de Chambeaux sépare l'Ashuanipi-nord de l'Ashuanipi-sud (Fig. 2.2). Elle est caractérisée par des failles orientées est-ouest, parallèles à une série de plis  $F_2$  isoclinaux à serrés et déversés vers le sud (Fig. 2.4c). Comme pour la faille Nichicun, la zone de Chambeaux résulte du chevauchement vers le sud syn- $D_2$  du Complexe d'Ashuanipi sur les sous-provinces de l'Opatoca et de l'Opinaca (Cadéron *et al.*, 2002a).

### **2.7.4.3 Fin de la phase de compression: épisode tectonothermal $M_3/D_3$ ; Dernière pulsion orogénique en continuité avec $M_1$ (Fig. 2.14c)**

La fin de la mise en place de l'Ashuanipi est caractérisée par l'intrusion de granite: la Suite de Gamart datée à 2647  $\pm$  2 Ma (Lamothe *et al.*, 2000; Figs. 2.2 & 2.14c). Son âge plus jeune, sa présence en poches diffuses dans l'Ashuanipi, et sa composition chimique similaire à celle des diatexites de l'Ashuanipi, suggèrent soit une source commune, soit que la genèse du Gamart résulte de la fusion partielle de l'Ashuanipi (Lamothe *et al.*, 2000). Leur mise en place marque une nouvelle pulsion tectonique avec la phase de déformation  $D_3$  et la fermeture finale du bassin. Les monazites d'un leucosome  $M_3$ , contenant des orthopyroxènes  $M_3$ , ont livré un âge de 2645  $\pm$  5/-4 Ma (Wodicka, 2000). Percival *et al.* (2003) ont daté un épisode métamorphique dans les métatonalites de la Suite de Desliens à 2643 Ma.

Les conditions P-T minimales du pic métamorphique  $M_3$  s'élèvent à 8.3  $\pm$  1 kbar pour 890  $\pm$  50°C, pour des conditions de refroidissement de 5.8  $\pm$  1 kbar pour 720  $\pm$  50°C (Fig. 2.14c). Cet épisode granulitique représente en fait la continuité et la fin du métamorphisme  $M_1$  (Cadéron *et al.*, 2002a). La déformation  $D_3$  produit des foliations  $S_3$ , de direction E-W marquant une réorientation N-S des contraintes (anciennement E-W à NW-SE lors de  $D_1$ ). Cette déformation régionale replisse les foliations  $S_1$  et  $S_2$ . L'Opinaca est replissé et forme alors une vaste structure antiforme déversée vers le sud (Fig. 2.2). La faille Dalmas (contact La Grande/Opinaca) et la faille du Lac Vallard (contact Opinaca/Opatica et Opatica/Ashuanipi-sud) sont replissées selon  $D_3$  (Fig. 2.2).

Un contact intrusif syn-D<sub>2</sub> sépare les sous-provinces de l'Opinaca et de l'Ashuanipi-sud (Fig. 2.2). À l'ouest de notre région, Lamothe *et al.* (1998) observent que le contact entre les sous-provinces d'Opinaca et de l'Ashuanipi-ouest est souligné par la faille Nichicun, d'orientation est-ouest. Cette faille montre un chevauchement vers le sud des unités de l'Ashuanipi-ouest sur la Sous-province d'Opinaca (Lamothe *et al.*, 2000; Cadéron *et al.*, 1999, 2000, 2002a) et contient deux orthopyroxènes (Fig. 2.5e). Le premier est étiré dans la foliation métamorphique M<sub>1</sub>, tandis que l'autre s'oriente selon S<sub>3</sub>, ce qui suggère un âge syn-D<sub>3</sub> pour cette structure majeure.

La Suite de Lataignant est composée de larges plutons et batholites de granite alcalin mégaporphyrique qui recoupent les lithologies de la Sous-province d'Opinaca. Elle incorpore les batholites de Dusterlo et de Delmothe, datés à 2642 +9/-5 Ma et 2638 +/-2 Ma respectivement (David et Parent, 1997). La Suite de Lignerou, composée de roches plutoniques tonalitiques et granodioritiques, recoupe également les lithologies de la Sous-province d'Opinaca et est datée à 2636 +/-2 Ma (Parent, 1998). Indiquant une activité thermique réduite mais encore présente, ces deux suites sont faiblement foliées et se mettent donc en place dans un contexte tectonique tardi-D<sub>3</sub>. Lamothe *et al.* (2000) mentionnent la nature calco-alcaline et peralumineuse des Suites d'Opiscotéo, de Gamart et de Lignerou, reflétant une mise en place syn-collision.

Le dernier épisode métamorphique M<sub>3</sub> illustre les dernières pulsions d'une longue période métamorphique et s'est probablement stabilisé au faciès des amphibolites entre 2635 et 2633 Ma, tel que suggéré par plusieurs âges de titanite et monazite dans les

diatexites du Complexe d'Ashuanipi (Parent, 1998) et par des excroissances de zircon dans les métatonalites de la Suite de Desliens (Percival *et al.*, 2003).

Des âges livrés par des excroissances de zircon et par certains cristaux de titanite laissent entrevoir la possibilité d'un métamorphisme hydrothermal à 2620 Ma (Parent, 1998) et à 2605 Ma (Percival *et al.*, 2003). Une déformation D<sub>4</sub>, observée dans la partie ouest de notre région (Cadéron *et al.*, 2002a), est caractérisée par des plis de grandes amplitudes de traces axiales N-S. Elle affecte faiblement les intrusions tardi-tectoniques de granite à fluorine (Suite de Viau) de l'Ashuanipi-ouest datées à 2571 $\pm$ 2 Ma (David et Parent, 1997; Cadéron *et al.*, 1999, 2000, 2002a; Fig. 2.14c). Cette suite montre une signature géochimique semblable à celle des plutons de granite alcalin postcollision de la ceinture de Lachlan en Australie (Lamothe *et al.*, 2000). Lamothe *et al.* (2000) mentionne la nature alcaline des Suites de Lataignant et de Viau qui se mettent en place dans un contexte tardi- à post-collision.

Au Paléoprotérozoïque, une déformation s'exprime surtout par le développement de couloirs de mylonites le long du front du marquant le contact entre les unités de la Province du Supérieur et celles de la Province du Grenville et par la mise en place d'essaims de dykes mafiques. Les structures archéennes sont préservées de part et d'autre du couloir de déformation (Lamothe *et al.*, 1998).

**La figure 2.15** résume l'ensemble de l'évolution tectono-thermale de la partie sud-est de la Province du Supérieur. Cette région est interprétée comme un bassin marginal ayant évolué à travers un P-T-t d'ampleur régionale traduisant un faciès granulitique persistant sur 65 Ma (Fig. 2.15; voir le chapitre I pour plus de détails sur les conclusions).

### 2.7.5 Comparaison avec les modèles antérieurs

Un premier modèle tectonique basé sur l'étude des ceintures métasédimentaires démembrées dans les diatexites du Complexe d'Ashuanipi a été proposé par Percival (1990, 1991b, 1994) et Percival *et al.* (1992) au NE de notre région (voir Fig. 3 dans l'introduction). Ces auteurs proposent que l'Ashuanipi représente un prisme d'accrétion formé entre 2700 et 2690 Ma suite à une subduction à simple vergence selon un mouvement du sud vers le nord (voir la Fig. 4 dans l'introduction de cette thèse et la partie intitulée: Nouvelles évidences de terrain et lacunes des modèles antérieurs). Cette accrétion aurait entraîné le dépôt et la déformation de grauweekes dans un prisme à l'avant d'un arc. Ces auteurs ne font jamais référence au bassin de l'Opinaca et ne semblent donc pas associer les enclaves métasédimentaires de l'Ashuanipi aux métasédiments de l'Opinaca. Pourtant, cette étude montre que ces xénolithes métasédimentaires représentent le bassin de l'Opinaca soumis à un métamorphisme de haut grade source de fusion élevée. Percival (1991b) propose des pressions de 6.6 à 4.7 kbar pour des températures de 815-715°C pour les paragneiss situés dans l'Ashuanipi. Percival (1991b, 1992) estime les conditions P-T des diatexites à 610-790°C et 5.6-3.5 kbar. Cet auteur ne mentionne qu'un seul épisode métamorphique relié à la mise en place des diatexites qui pourrait correspondre à l'épisode M<sub>2</sub> décrit dans cette étude. Il n'observe donc pas les autres assemblages métamorphiques (M<sub>1</sub> et M<sub>3</sub>) dans les ceintures métasédimentaires de l'Ashuanipi et ces résultats semblent se rapporter à une seule foliation métamorphique. Les conditions P-T maximales obtenues dans l'étude de Percival (1991b) sont plus basses que celles calculées dans notre étude

(8.8+/- 1 kbar et 955+/- 50°C) et ne peuvent expliquer la fusion importante des métasédiments de l'Opinaca et donc la genèse des diatexites. Ces auteurs ne mentionnent pas la présence de cordiérite dans leurs assemblages métamorphiques et cela pourrait expliquer la différence de température entre la présente étude et les travaux antérieurs. Les nouvelles conditions P-T obtenues par les nouveaux calculs de la présente étude peuvent expliquer la fusion élevée observée dans toute la région. De plus, Percival (1991b) ne mentionne pas la présence de la Suite de Gamart responsable de l'épisode métamorphique M<sub>3</sub> dans les métasédiments de l'Opinaca. Ces travaux antérieurs montrent donc des lacunes au niveau métamorphique car ils n'identifient pas le polymétamorphisme mis en évidence dans l'Opinaca et l'Ashuanipi.

De plus, les déformations reconnues dans la région étudiée par Percival (1990, 1991b, 1994) et Percival *et al.* (1992) ne semblent pas correspondre à celles observées sur notre région d'étude (voir l'introduction de cette thèse intitulée: Nouvelles évidences de terrain et lacunes des modèles antérieurs). Le modèle tectonique proposé par Percival (1990, 1991b, 1994) et Percival *et al.* (1992) peut peut-être s'appliquer dans les terrains cartographiés par ces auteurs. Cependant, il devient très difficile d'expliquer la déformation polyphasée et le polymétamorphisme observés dans notre région d'étude. La ré-orientation des contraintes majeures entraînant des foliations métamorphiques où se retrouvent des assemblages granulitiques (M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub> et M<sub>3</sub>) distincts, semble difficile à appliquer dans un modèle de prisme d'accrétion comme proposé antérieurement.

Les travaux antérieurs ne montrent pas l'existence de failles majeures aux contacts entre les grands ensembles géologiques. Pourtant, des contacts devraient exister dans le

modèle de prisme proposé. On ne mentionne pas le nom des sous-provinces ou de complexes se retrouvant de par et d'autre du prisme accréionnaire. De quel ensemble géologique est-il constitué? De grandes failles délimitant des contacts majeurs ont été identifiées dans la région de la présente étude. Il semble difficile d'insérer ces failles dans le modèle antérieur. De plus, les chevauchements à double-vergence délimitant la Sous-province de l'Opinaca sont difficilement explicables dans cet ancien modèle.

Enfin, les travaux de cartographie antérieurs ne mentionnent pas l'existence de croûte océanique dans l'Ashuanipi. Pourtant, un modèle basé sur un prisme d'accrétion devrait référer à ce genre de lithologie. Bien qu'il existe des ultramafiques dans le bassin de l'Opinaca, ces roches sont, pour le moment, interprétées en tant que sills et non comme croûte océanique.

De nouvelles analyses géochimiques et géochronologiques de la Suite de Desliens (Fig. 2.2) amènent Percival *et al.* (2003) à une nouvelle interprétation tectono-métamorphique de la région (voir Fig. 5 dans l'introduction). Ces auteurs concluent que la Suite de Desliens montre une signature géochimique de magmatisme adakitique. Dès lors, ils proposent un modèle tectonique basé sur une subduction d'une croûte océanique vers le NO, sous la partie sud-est de la Province du Supérieur. Le magma adakitique est alors relié à l'évolution de l'angle de la subduction qui passe de normale à faible. Ces auteurs relient alors la genèse des diatexites de l'Ashuanipi à un métamorphisme de haut grade de 2700 à 2670 Ma, soit sur 30 Ma. Bien que général, le modèle proposé par ces auteurs correspond beaucoup mieux aux observations tectono-thermales de notre étude. Les épisodes métamorphiques  $M_1$ ,  $M_2$  &  $M_3$  (pouvant se résumer à une même période M continue)



s'insèrent bien dans le nouveau modèle de Percival *et al* (2003). Cependant, notre étude montre que le métamorphisme granulitique des sous-provinces de l'Opinaca et de l'Ashuanipi se maintient sur une période plus longue, soit sur 65 Ma. Percival *et al.* (2003) proposent donc un nouveau modèle basé uniquement sur des datations de la Suite de Desliens. Ces auteurs font à nouveau référence à l'Ashuanipi et non à l'Opinaca. Pourtant, les diatexites de l'Ashuanipi sont déjà reconnues comme intimement reliées à l'histoire tectono-thermale de l'Opinaca. L'Ashuanipi devient alors un bassin marginal d'arrière-arc dont le métamorphisme est relié à une plaque subductante entraînant un sous-placage mafique (voir Fig. 5 dans l'introduction). Ces auteurs ne font aucune étude métamorphique ni structurale et se basent uniquement sur des datations au SHRIMP.

Le modèle proposé au sein de la présente étude reprend l'hypothèse d'une plaque subductante afin d'expliquer la mise en place de la Suite de Desliens. De plus, ce modèle identifie les ensembles géologiques qui entourent l'Opinaca. Cela permet de resituer géographiquement et géologiquement le bassin de l'Opinaca entre deux continents montrant des évidences de socle. Dès lors, un modèle basé sur un bassin marginal semble davantage répondre aux observations structurales et métamorphiques de la Sous-province d'Opinaca. La mise en évidence du polymétamorphisme relié à une ré-orientation des contraintes majeures demande une interprétation tectonique différente de celle proposée antérieurement. Le modèle proposé, bien qu'hypothétique, pourrait expliquer les évidences de terrain, le recoupement des datations ainsi que les données métamorphiques.

Tel que proposé par Lamothe *et al.* (1998), l'accroissement de température dans les sous-provinces de l'Opinaca et dans le Complexe d'Ashuanipi ne résulte pas seulement

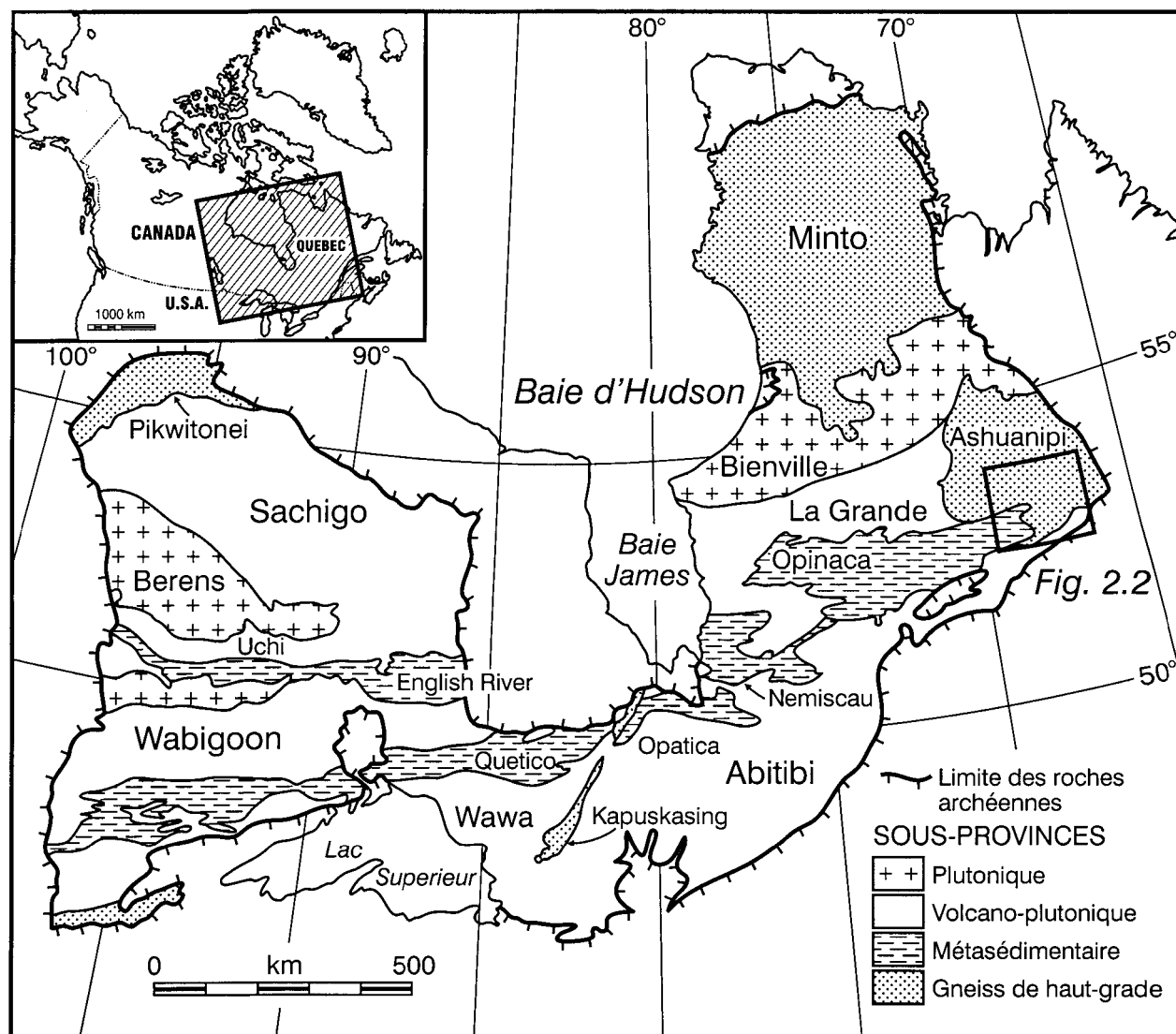
d'un épaississement tectonique d'un prisme détritique supracrustal que représente la Sous-province d'Opinaca. Ces auteurs proposent déjà que la brusque élévation thermique soit associée à l'accumulation d'importantes quantités de magma par sous-placage provenant de la fusion du manteau sous la croûte inférieure. Le modèle proposé confirme que le métamorphisme au faciès des granulites naît et subsiste sur 65 Ma en partie grâce à l'apport de chaleur continu par du sous-placage mafique qui débute par la mise en place de la Suite de Desliens.

À l'échelle de la partie est du craton nord-américain, les auteurs proposent que le Complexe d'Ashuanipi représente une méga-charnière régionale. En effet, les diatexites du Complexe d'Ashuanipi semblent se localiser dans une charnière antiforme qui plonge vers l'est (Fig. 2.2). La Sous-province d'Opinaca se situe alors dans le plan axial est-ouest de cette méga-charnière. La migration des produits de fusion dérivés de l'anatexie des lithologies encaissantes à la manière d'un 'saddle-reef' aurait entraîné le bourrage de cette méga-charnière antiforme. Percival *et al.* (2003) rattache les diatexites du Complexe d'Ashuanipi aux multiples intrusions granitoïdes du Block du Minto situé dans la partie nord du Québec. Ces intrusions semblent également s'insérer dans un environnement de subduction (Stern *et al.*, 1994; Percival *et al.*, 2001; Percival et Mortensen, 2002). Dans le Grand-Nord du Québec, le grain structural majeur est orienté N-S à NW-SE, tandis qu'il s'oriente NE-SW dans le l'Ashuanipi-nord pour devenir E-W dans le sud de notre région. La continuité structurale des diatexites et des intrusions granitoïdes anatectiques ainsi que leur affinité géochimique pourrait s'insérer dans un modèle de méga-plissement régional.

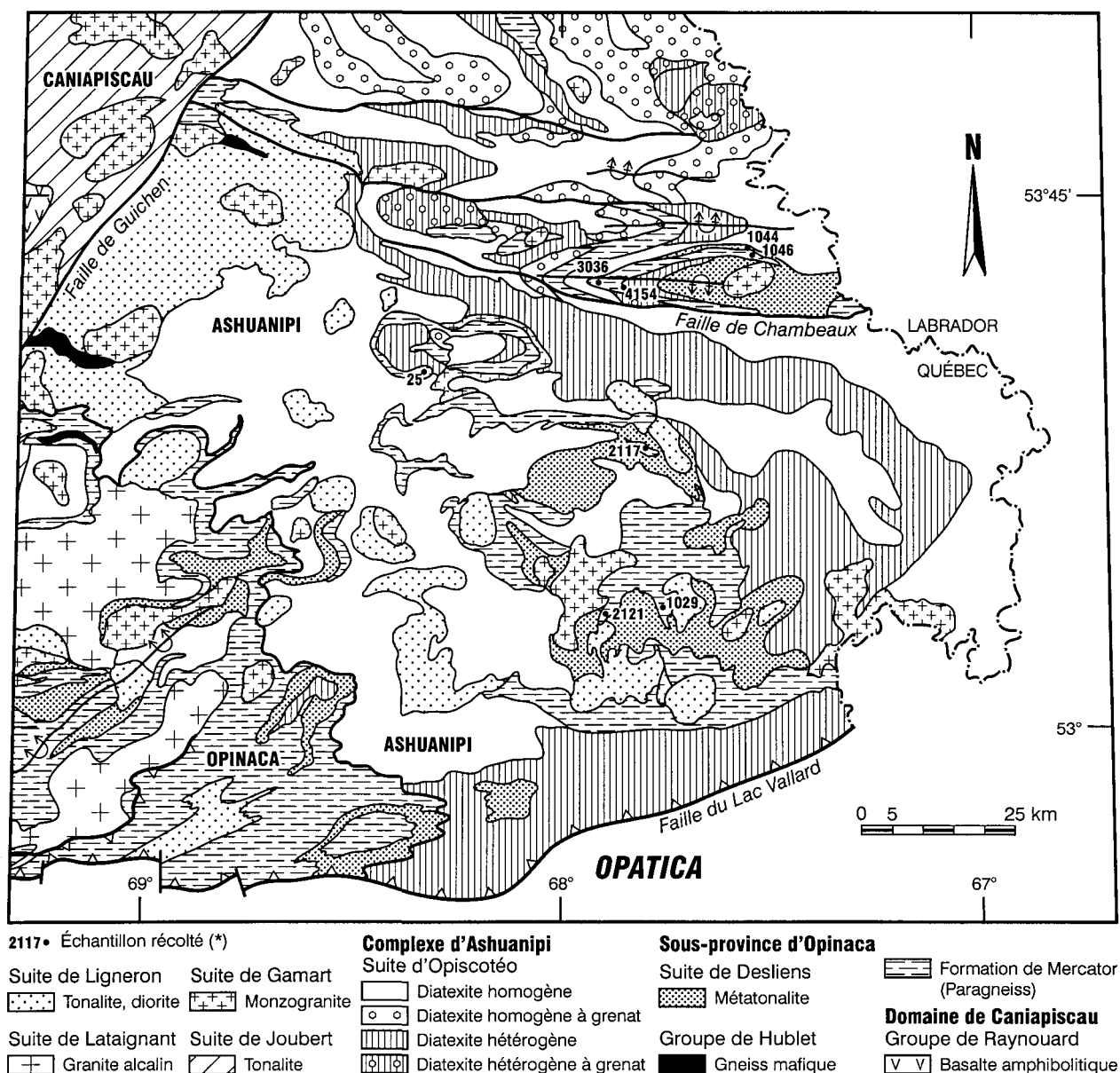
Cette étude montre que la Sous-province d'Opinaca couvrait une plus grande surface avant sa fusion partielle et la genèse des diatexites du Complexe d'Ashuanipi. La même observation peut être faite pour la Sous-province de La Grande. Le Complexe d'Ashuanipi représente donc essentiellement des sous-provinces géologiques plus anciennes soumises à un haut degré de fusion partielle. L'Ashuanipi se réfère donc à un événement métamorphique de haut grade plutôt qu'à une sous-province lithologique à part entière. Les auteurs proposent donc que cette entité géologique soit définitivement caractérisée en tant que 'Complexe d'Ashuanipi' et non comme 'Sous-province d'Ashuanipi'.

Dans les terrains montrant la surimposition de plusieurs faciès granulitiques caractéristiques d'un métamorphisme polygranulitique, tels que le Napier Complex en Antarctique (Harley et Hensen, 1990), le Aldan Shield en Sibérie (Rosen *et al.*, 1994), le Narryer Gneiss Complex en Australie (Muhling, 1990; Myers, 1993), et le Wind River Range dans le Wyoming (Koesterer *et al.*, 1987), chaque épisode métamorphique est séparé de 300 à 700 Ma (Percival, 1994). De plus, les conditions P-T et/ou les assemblages métamorphiques de chacune de ces épisodes montrent des différences importantes. Comme dans beaucoup d'autres terrains granulitiques archéens (Percival, 1994), le métamorphisme de haut grade du bassin de l'Opinaca est relié à un sous-placage mafique ayant entraîné un taux de fusion crustale élevé. Les épisodes granulitiques  $M_2$  et  $M_3$  ne viennent pas se surimposer sur  $M_1$  mais ils constituent plutôt la continuité de cet épisode métamorphique majeur régional qui évolue à travers des déformations et des phases magmatiques intrusives. L'évolution tectono-thermale des enclaves métasédimentaires du Complexe d'Ashuanipi s'insère dans l'évolution tectono-métamorphique de la Sous-province

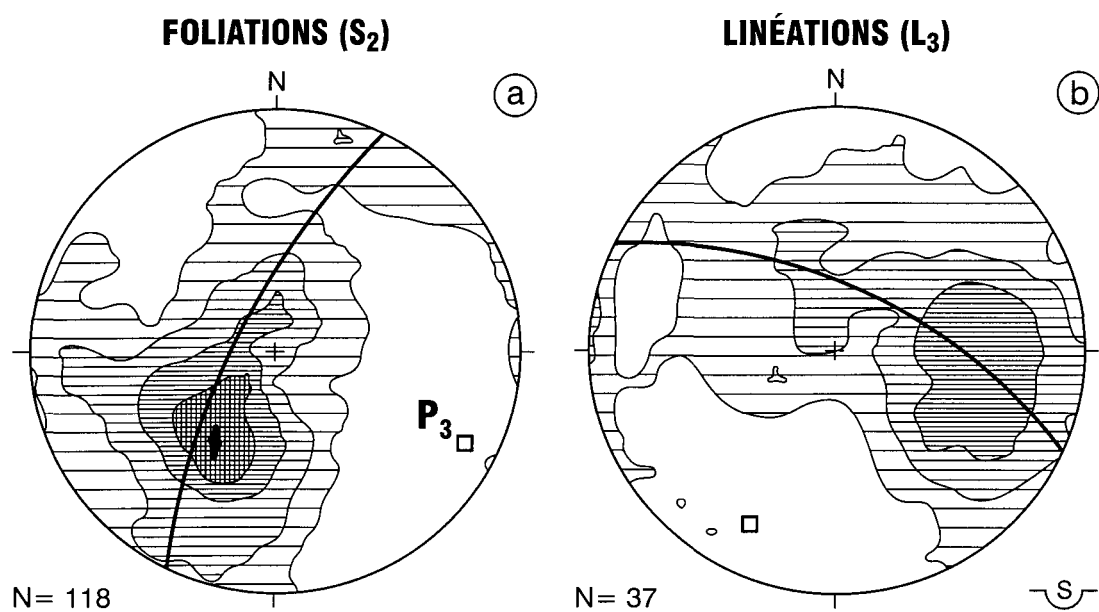
d'Opinaca. Le métamorphisme granulitique de la Sous-province d'Opinaca est donc relié à une activité orogénique continue accompagnée par la mise en place de roches granitoïdes (Stüwe *et al.*, 1993) reliés à des pulsions tectoniques générant plusieurs foliations métamorphiques. Cette région est restée tectoniquement active depuis plus de 2700 Ma à 2571 Ma, date de la dernière phase intrusive dans l'Ashuanipi (Fig. 2.14c). Les granulites se développant dans les zones en extension reliées à un amincissement crustal sont rares (Percival, 1994). Cette étude démontre cependant que les granulites de la partie sud-est de la Province du Supérieur évoluent au sein d'un modèle tectonique de bassin marginal formé dans un contexte d'amincissement puis de contraction d'une croûte plus ancienne (Fig. 2.15).



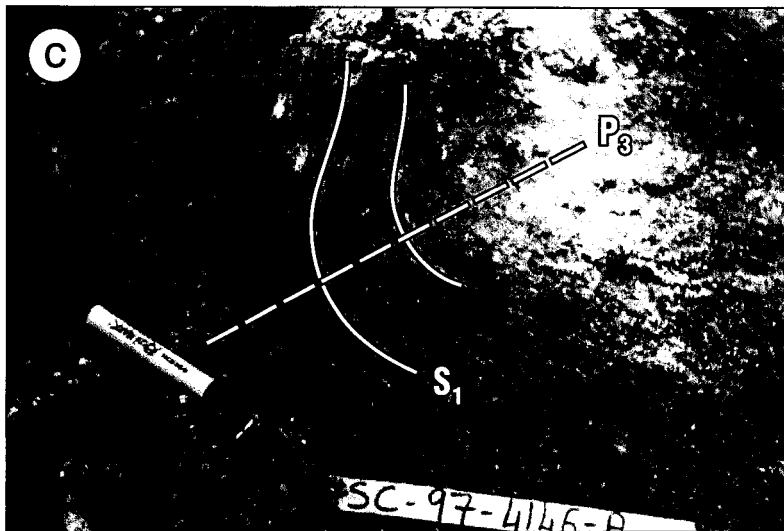
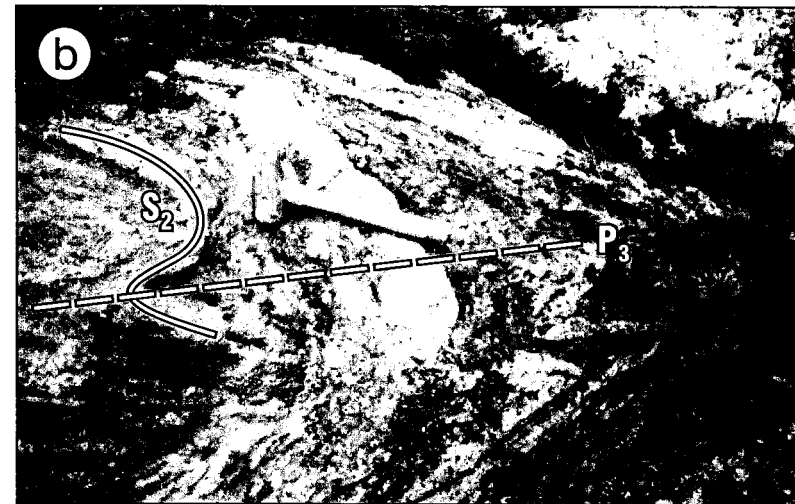
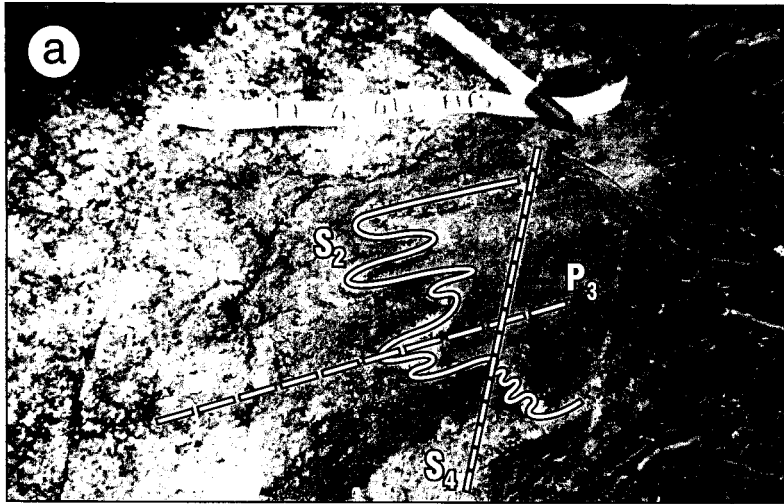
**Figure 2.1:** Localisation de la région étudiée dans la Province du Supérieur (modifiée de Percival *et al.*, 1992).



**Figure 2.2:** Carte géologique simplifiée de la région étudiée (Fm: Formation; échantillon récolté: lames minces utilisées pour le traitement des données par TWEEQU; modifiée de Lamothe *et al.*, 1998 et Leclair *et al.*, 1998). (\*) Voir appendice II pour détails.

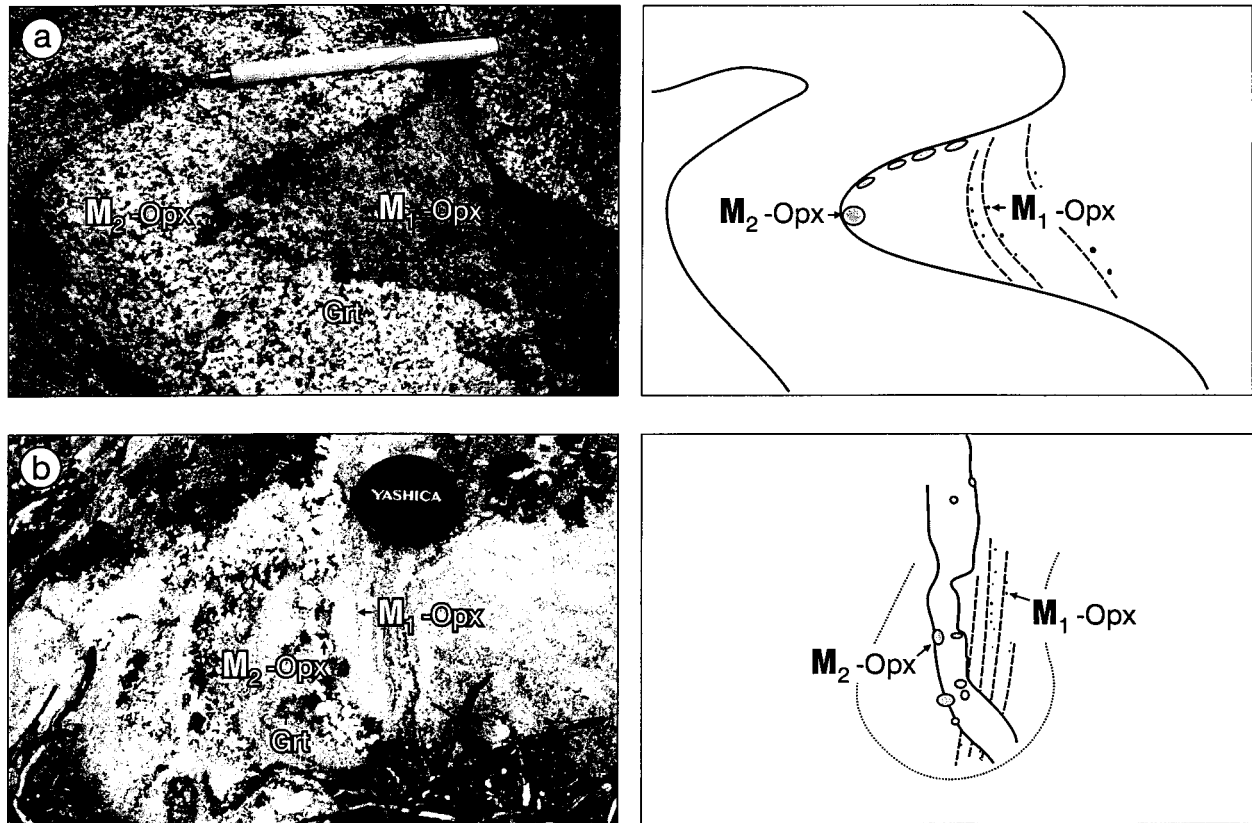


**Figure 2.3:** Stéréogrammes des éléments structuraux mesurés dans le Complexe d'Ashuanipi (de Cadéron *et al.*, 2002a). Voir explications dans le chapitre I pour la distribution aléatoire des linéations  $L_3$ . (Intervalle entre les contours =  $2\sigma$ ).

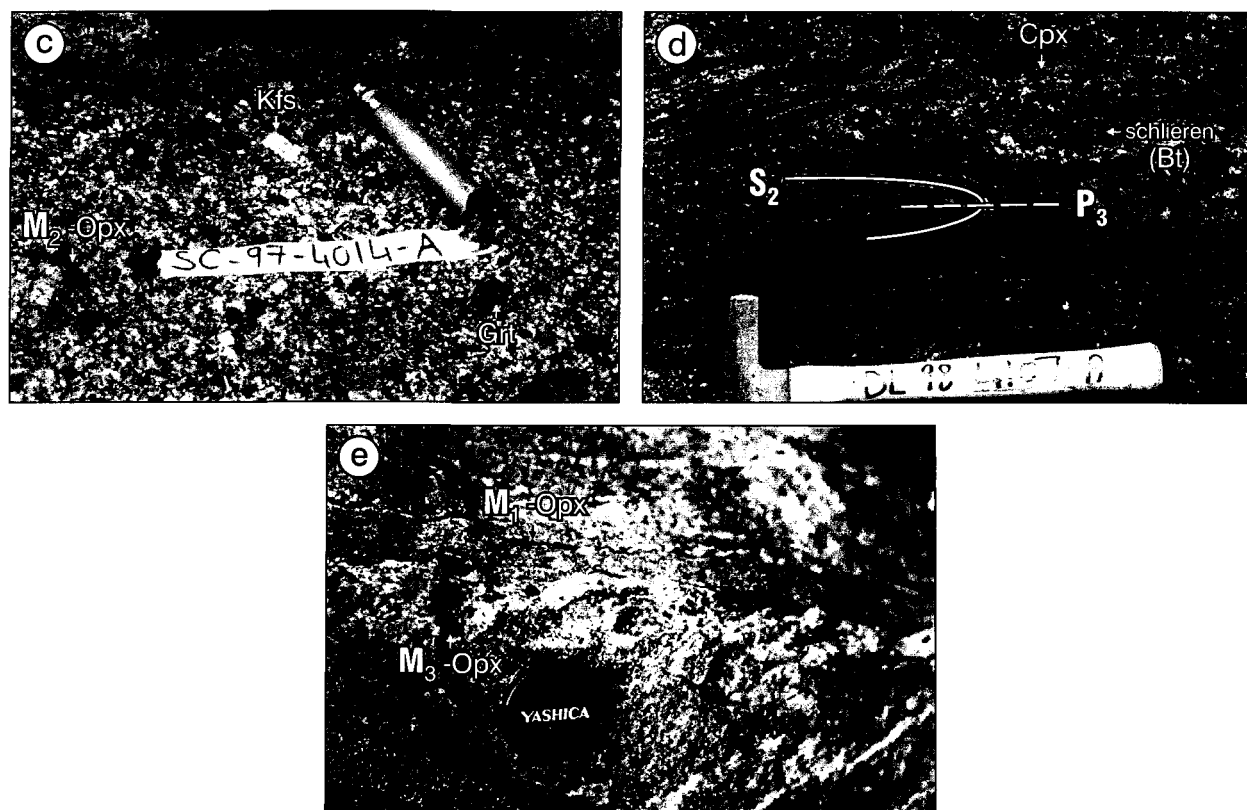


**Figure 2.4:** (a) Foliation S<sub>2</sub> plissée par les plis P<sub>3</sub> et affectée par la foliation S<sub>4</sub> dans les diatexites d'Ashuanipi; (b) Foliation S<sub>2</sub> plissée par les plis P<sub>3</sub> dans le Complexe d'Ashuanipi; (c) Métasédiments mylonitisés dans la faille du lac Vallard. La foliation S<sub>1</sub> est plissée par les plis P<sub>3</sub>.

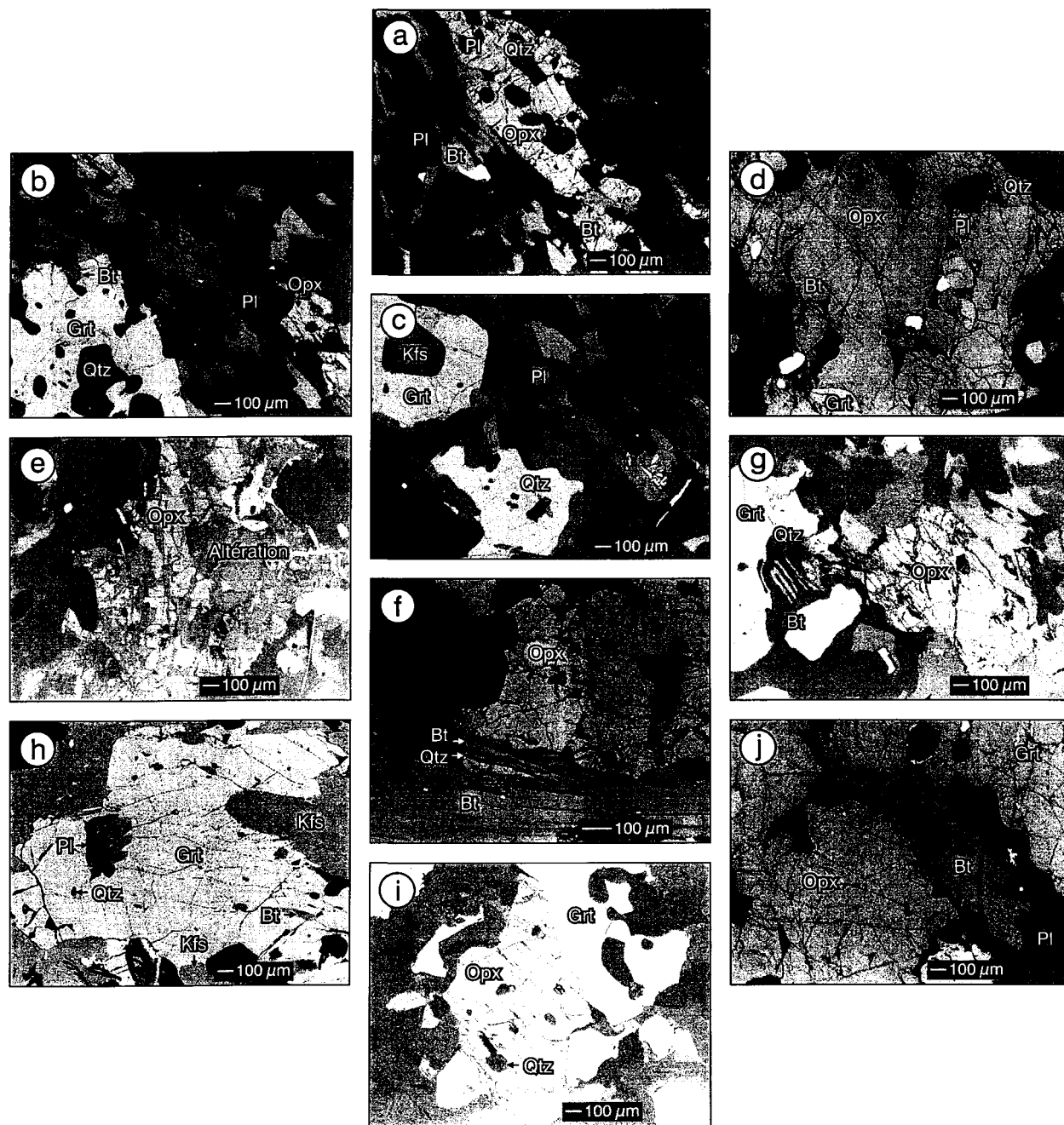




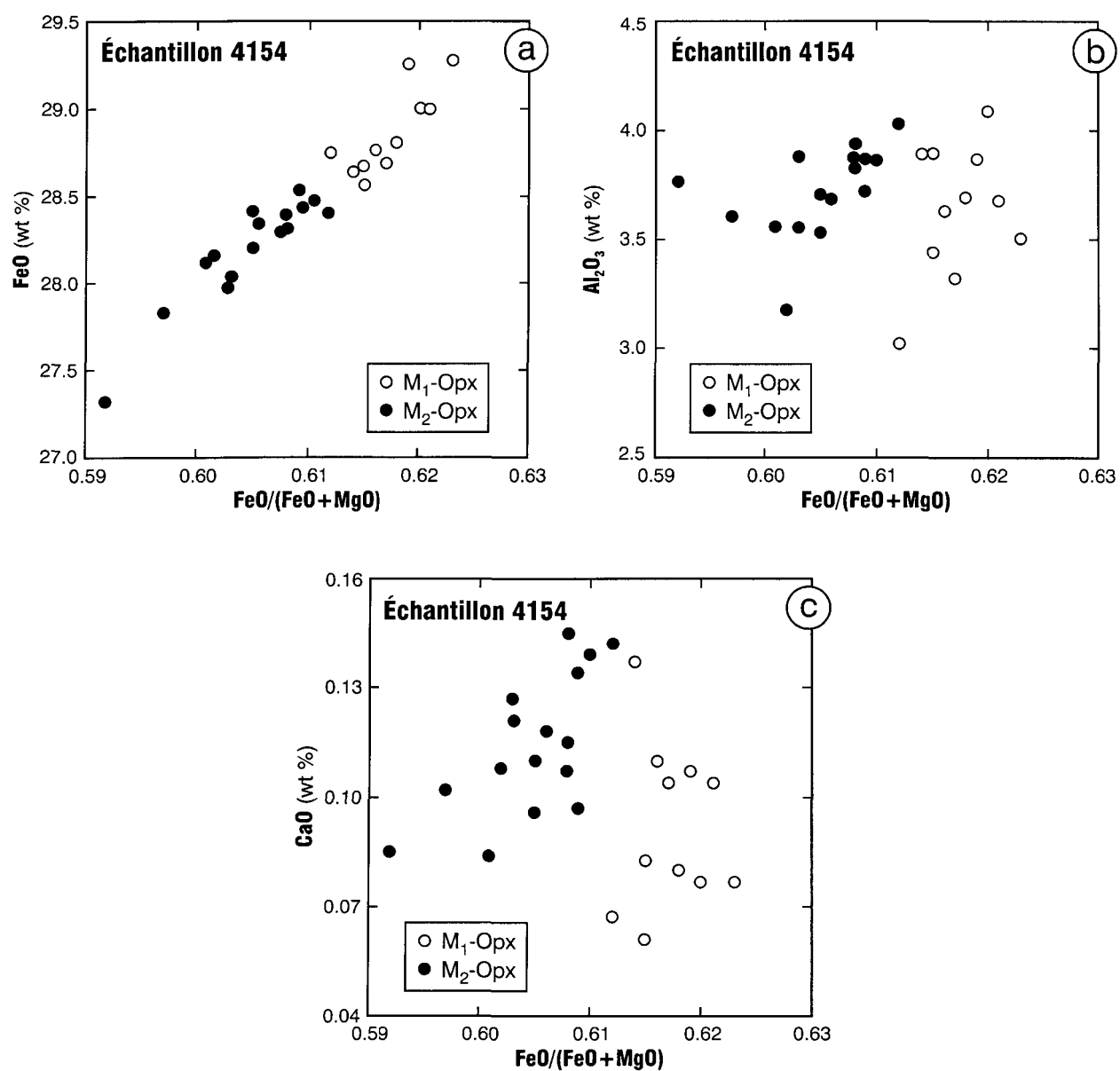
**Figure 2.5:** Abréviations des minéraux selon Kretz (1983) (voir appendice III). (a, b) Xénolithes sédimentaires polymétamorphiques dans le Complexe d'Ashuanipi. Les M<sub>1</sub>-Opx, reliés à l'épisode métamorphique M<sub>1</sub>, sont aplatis selon la foliation S<sub>1</sub>. Les M<sub>2</sub>-Opx porphyroblastiques, reliés à l'épisode métamorphique M<sub>2</sub>, se retrouvent en bordure et / ou à l'intérieur des enclaves.



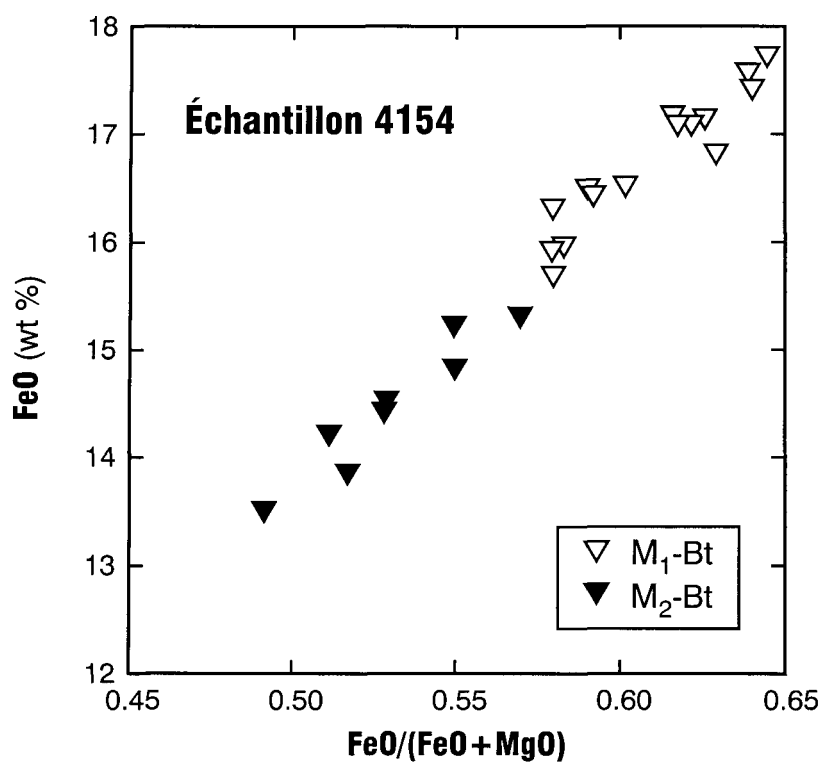
**Figure 2.5:** (c) Feldspath (Kfs), grenat (Grt) et orthopyroxène syn-M<sub>2</sub> (M<sub>2</sub>-Opx) dans les diatexites à grenat localisées dans la partie nord de la région étudiée (cf. Fig.2.2); (d) Clinopyroxène (Cpx) dans les diatexites dépourvues de grenat localisées dans la partie sud de la région étudiée (cf. Fig. 2.2). Schlierens de biotite (Bt) dans la foliation S<sub>2</sub> plissée par les plis P<sub>3</sub>; (e) M<sub>1</sub>-Opx aplati dans la foliation S<sub>1</sub> et M<sub>3</sub>-Opx orienté dans la foliation S<sub>3</sub>. Cette mylonite marque le contact entre la sous-province d'Opinaca et le Complexe d'Ashuanipi-ouest.



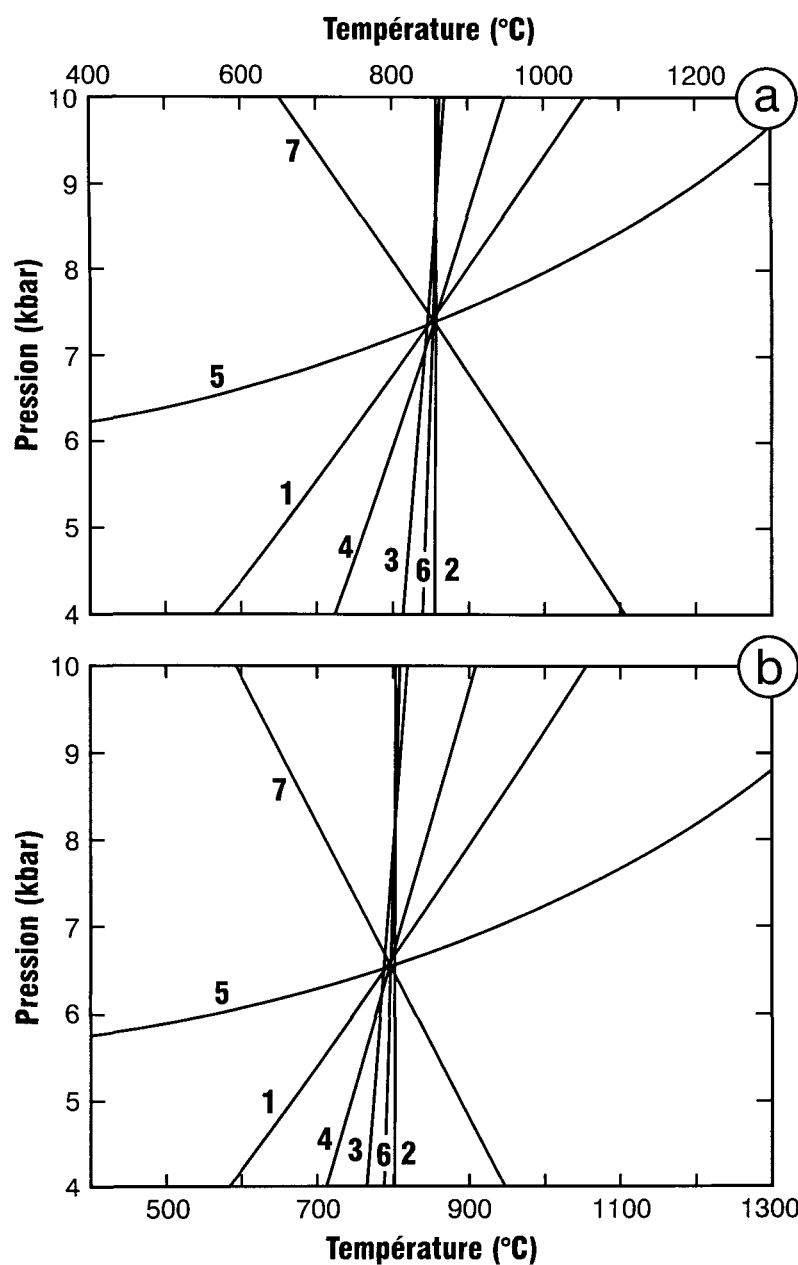
**Figure 2.6:** Photos prises à la microsonde électronique (abréviations des minéraux selon Kretz, 1983; voir appendice III). (a à c) Textures représentatives de l'épisode granulitique M<sub>1</sub>; (d à i) Textures représentatives de l'épisode granulitique M<sub>2</sub>.



**Figure 2.7:** (a à c) Diagrammes comparatifs des teneurs en FeO,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  et CaO (wt %) vs  $\text{FeO}/(\text{FeO} + \text{MgO})$  pour les orthopyroxènes des épisodes métamorphiques  $\text{M}_1$  ( $\text{M}_1$ -Opx) et  $\text{M}_2$  ( $\text{M}_2$ -Opx).

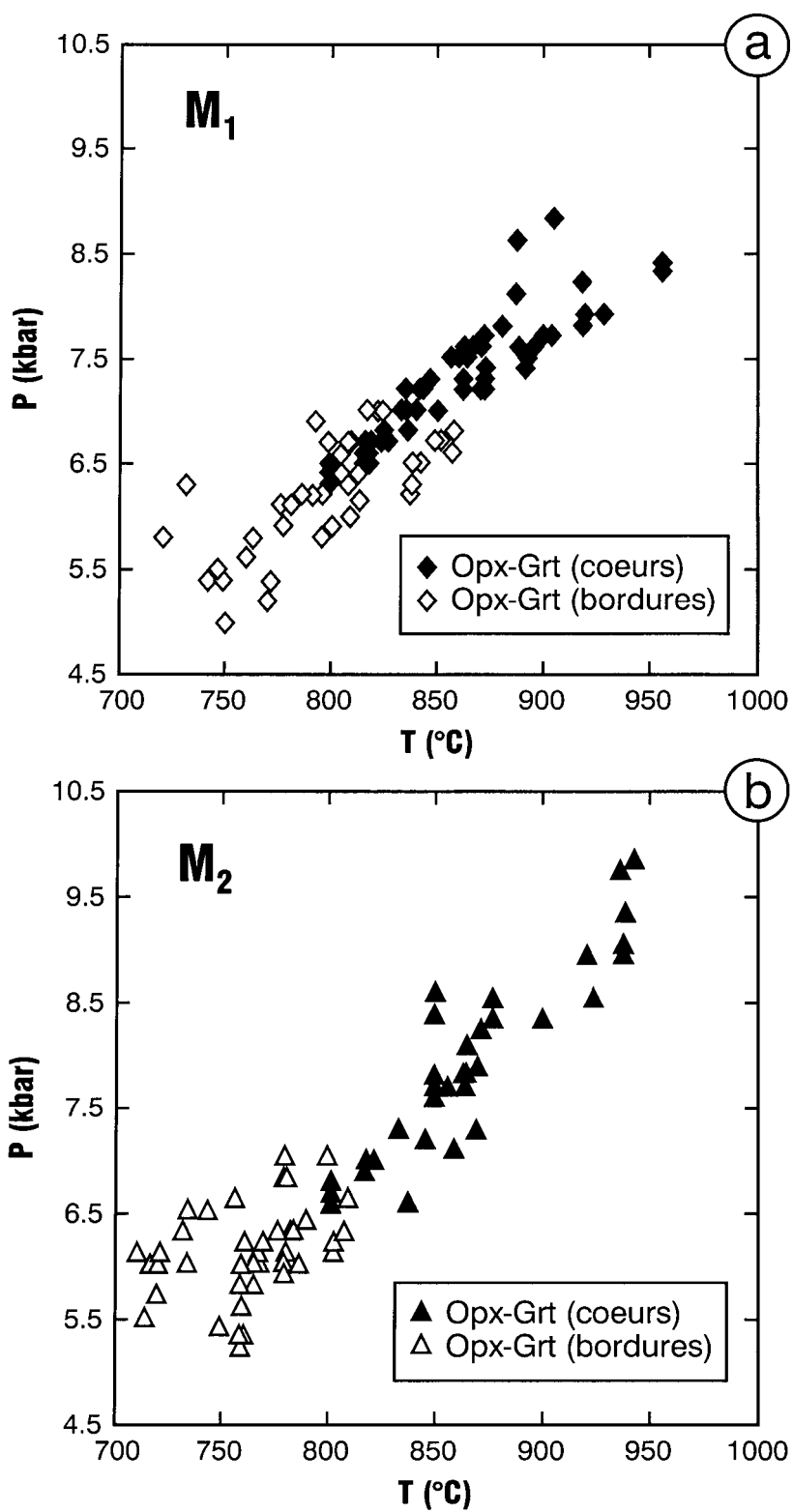


**Figure 2.8:** Diagramme comparatif des teneurs en FeO (wt%) vs FeO/(FeO+MgO) pour les biotites des épisodes métamorphiques M<sub>1</sub> (M<sub>1</sub>-Bt) et M<sub>2</sub> (M<sub>2</sub>-Bt).

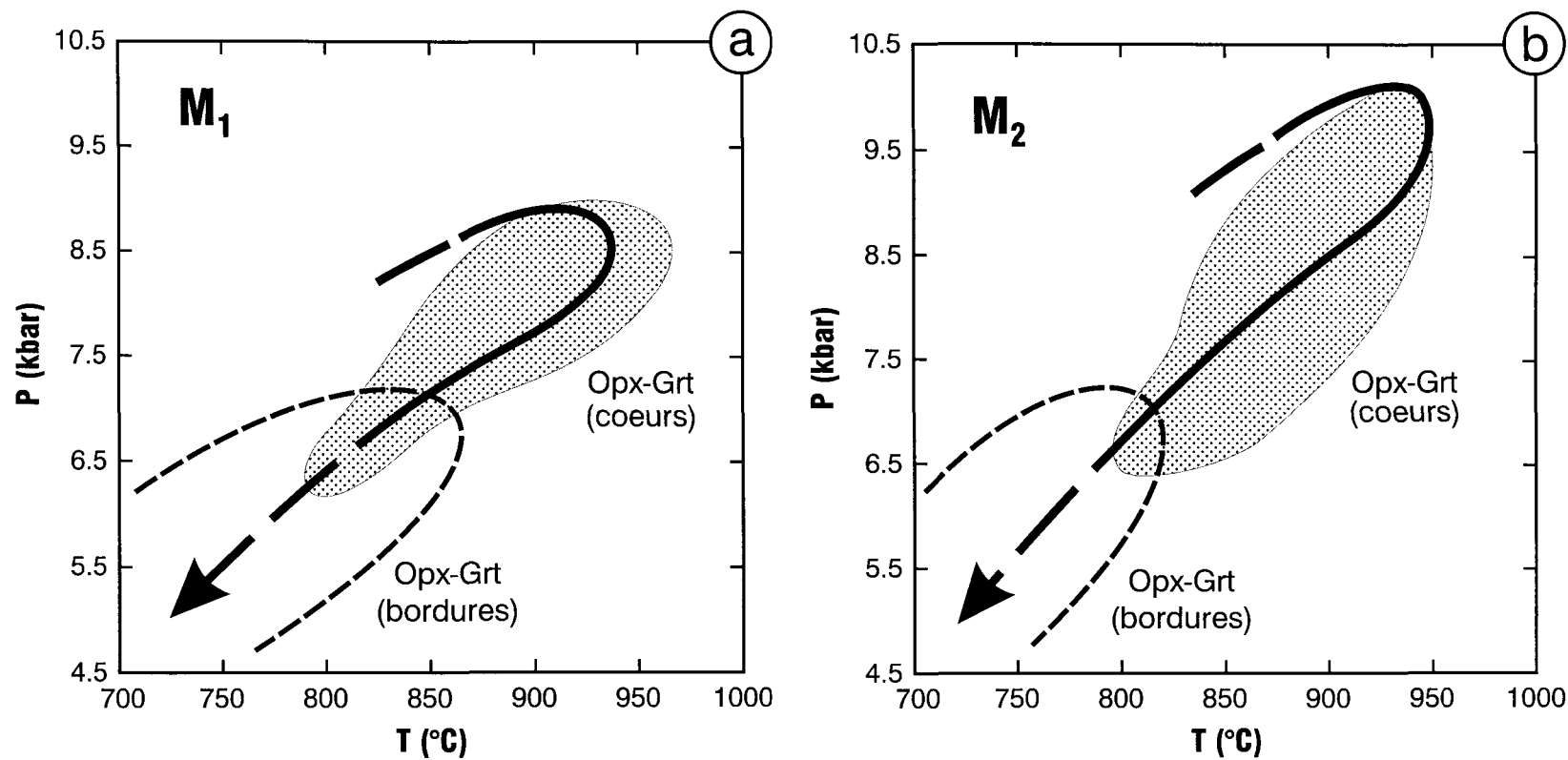


- 1:**  $2 \text{ Alm} + \text{Grs} + 3 \alpha\text{Qtz} = 6 \text{ Fs} + 3 \text{ An}$
- 2:**  $3 \text{ Fs} + \text{Phl} = 3 \text{ En} + \text{Ann}$
- 3:**  $3 \text{ En} + \text{Alm} = 3 \text{ Fs} + \text{Prp}$
- 4:**  $2 \text{ Alm} + \text{Grs} + 2 \text{ Phl} + 3 \alpha\text{Qtz} = 6 \text{ En} + 3 \text{ An} + 2 \text{ Ann}$
- 5:**  $\text{Grs} + 2 \text{ Prp} + 3 \alpha\text{Qtz} = 6 \text{ En} + 3 \text{ An}$
- 6:**  $\text{Alm} + \text{Phl} = \text{Prp} + \text{Ann}$
- 7:**  $2 \text{ Ann} + \text{Grs} + 2 \text{ Prp} + 3 \alpha\text{Qtz} = 2 \text{ Phl} + 6 \text{ Fs} + 3 \text{ An}$

**Figure 2.9:** Diagrammes P-T obtenus dans TWEEQU. Assemblage à Grt-Opx-Bt-Pl-Qtz pour les épisodes métamorphiques M<sub>1</sub> (a) et M<sub>2</sub> (b) (abréviations des minéraux selon Kretz, 1983; voir appendice III).

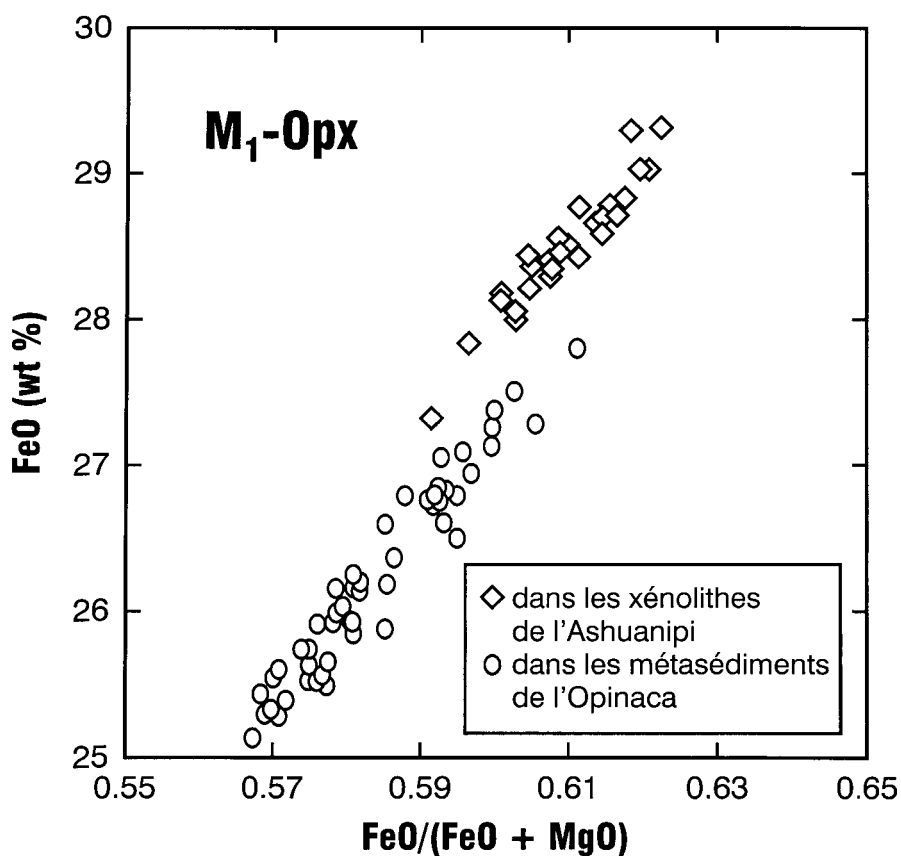


**Figure 2.10:** Résultats P-T pour les épisodes métamorphiques M<sub>1</sub> (a) et M<sub>2</sub> (b).

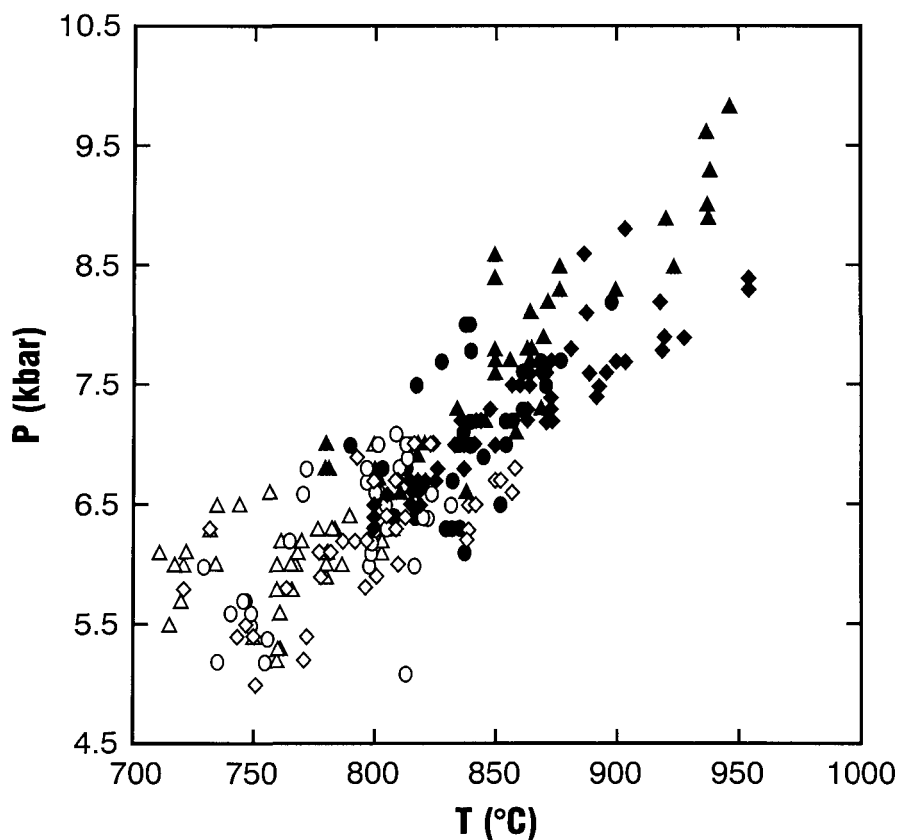


**Figure 2.11:** Chemins P-T-t pour les épisodes métamorphiques M<sub>1</sub> (a) et M<sub>2</sub> (b). Limites des zones représentées (coeurs vs bordures) définies selon les résultats obtenus à la Figure 2.10.



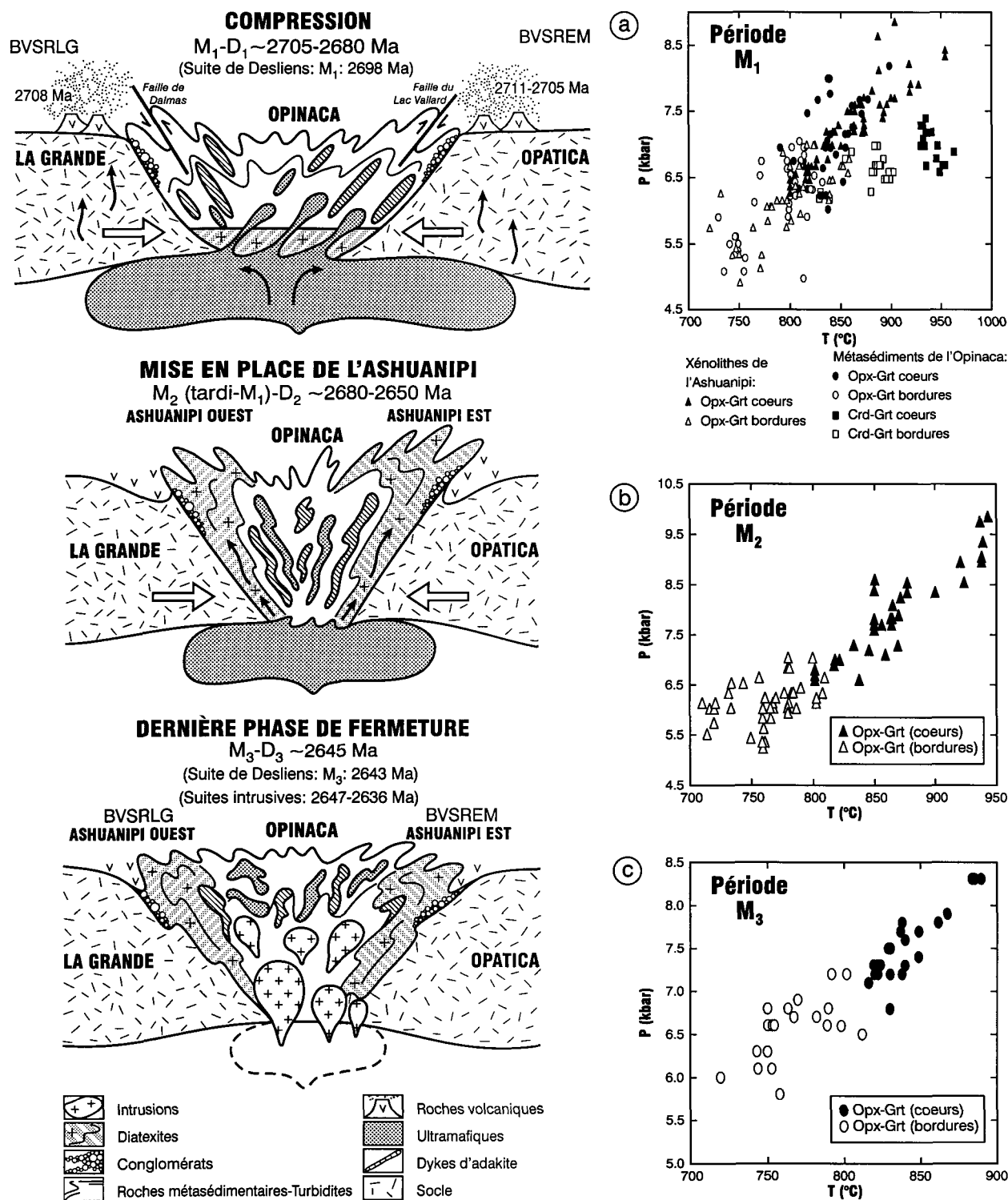


**Figure 2.12:** Diagramme comparatif des teneurs en FeO (wt %) vs FeO/(FeO+MgO) pour les orthopyroxènes reliés à l'épisode métamorphique M<sub>1</sub> (M<sub>1</sub>-Opx) dans le Complexe d'Ashuanipi et dans la Sous-province d'Opinaca. Les analyses des orthopyroxènes de l'Opinaca proviennent des travaux de Cadéron *et al.* (2002a; voir chapitre I).

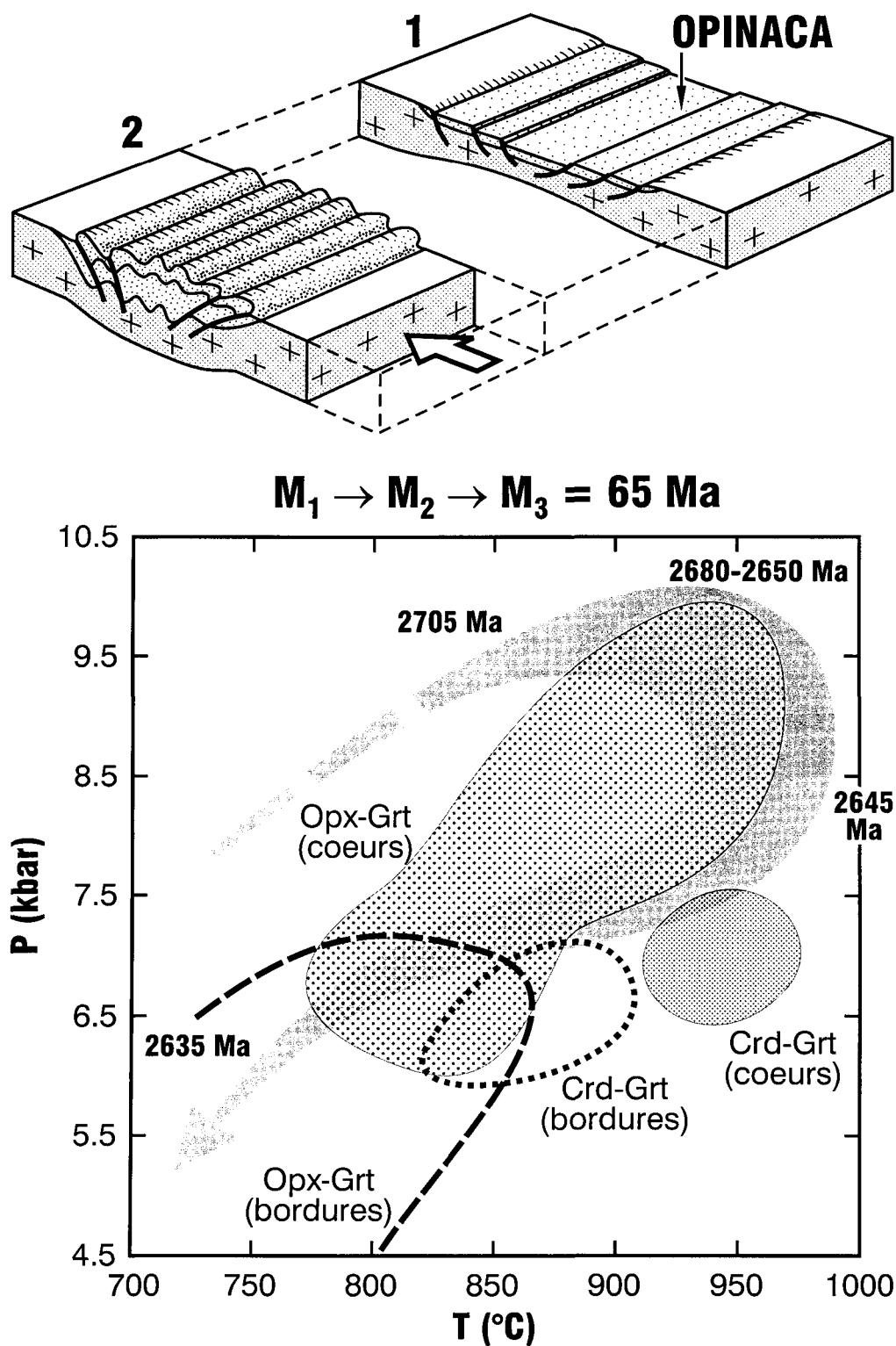


- $M_1$  {  $\blacklozenge$  Opx-Grt coeurs dans les xénolithes de l'Ashuanipi  
 $\lozenge$  Opx-Grt bordures dans les xénolithes de l'Ashuanipi  
 $\bullet$  Opx-Grt coeurs dans les métasédiments de l'Opinaca  
 $\circ$  Opx-Grt bordures dans les métasédiments de l'Opinaca
- $M_2$  {  $\blacktriangle$  Opx-Grt coeurs dans les xénolithes de l'Ashuanipi  
 $\triangle$  Opx-Grt bordures dans les xénolithes de l'Ashuanipi

**Figure 2.13:** Diagramme comparatif des conditions P-T obtenues pour les épisodes métamorphiques  $M_1$  (dans la Sous-province d'Opinaca et dans le Complexe d'Ashuanipi) et  $M_2$  (dans le Complexe d'Ashuanipi) selon les résultats de Cadéron *et al.* (2002a; voir chapitre I) et la Figure 2.10 de la présente étude.



**Figure 2.14:** Modèle tectonometamorphique proposé pour la région étudiée (voir texte et figures dans le chapitre I pour explications détaillées pour la période tectonique anté- $M_1$ ; selon Cadéron *et al.*, 2002a). Les résultats P-T proviennent de: (a et c) Cadéron *et al.* (2002a; voir chapitre I) et (a et b) la présente étude.



**Figure 2.15:** Modèle simplifié de l'évolution tectonometamorphique de la région étudiée à travers un P-T-t récapitulatif des résultats obtenus par Cadéron *et al.* (2002a; voir chapitre I) et dans la présente étude pour les épisodes métamorphiques M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub> et M<sub>3</sub>.

Orthopyroxènes					Grenats							
Échantillon	691	698	704	715	579	591	547	551	576	574	546	550
Épisode <sup>a</sup>	M <sub>1</sub>	M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>1</sub>	M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>1</sub>	M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>2</sub>
Texture					coeur	coeur	coeur	coeur	bordure	bordure	bordure	bordure
SiO <sub>2</sub>	49.82	49.72	49.78	49.51	37.36	37.95	38.31	38.39	37.36	37.00	38.36	38.58
TiO <sub>2</sub>	0.01	0.06	0.05	0.05	0.00	0.03	0.02	0.01	0.05	0.01	0.06	0.00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.32	3.69	3.77	3.56	21.52	21.66	21.87	21.96	21.53	21.26	21.89	21.95
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.04	0.07	0.08	0.04	0.05	0.07	0.07	0.10	0.05	0.05	0.09	0.10
FeO	28.69	29.00	27.32	28.03	30.62	28.72	26.93	26.52	30.31	32.81	27.17	26.62
MnO	0.38	0.40	0.32	0.31	1.05	0.98	0.83	0.77	1.05	1.14	0.83	0.82
MgO	17.84	17.72	18.83	18.43	7.63	9.06	10.62	10.77	7.80	5.89	10.61	11.00
CaO	0.10	0.10	0.08	0.13	1.25	1.15	0.93	0.94	1.25	1.39	0.93	0.91
Na <sub>2</sub> O	0.00	0.01	0.02	0.02								
K <sub>2</sub> O	0.01	0.02	0.00	0.01								
<b>Total</b>	100.21	100.79	100.25	100.09	99.48	99.62	99.58	99.46	99.40	99.55	99.94	99.98
<i>Cations normalisés à 6 oxygènes</i>					<i>Cations normalisés à 24 oxygènes</i>							
Si	1.91	1.90	1.89	1.89	5.89	5.92	5.91	5.92	5.89	5.91	5.91	5.92
Ti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00
Al	0.15	0.16	0.17	0.16	4.00	3.98	3.98	3.99	4.00	4.00	3.97	3.97
Cr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Fe	0.92	0.92	0.87	0.90	4.04	3.75	3.48	3.42	4.00	4.38	3.50	3.41
Mn	0.01	0.01	0.01	0.01	0.14	0.13	0.11	0.10	0.14	0.15	0.11	0.11
Mg	1.02	1.01	1.07	1.05	1.79	2.10	2.44	2.48	1.83	1.40	2.43	2.52
Ca	0.00	0.00	0.00	0.00	0.21	0.19	0.15	0.16	0.21	0.24	0.15	0.15
Na	0.00	0.00	0.00	0.00								
K	0.00	0.00	0.00	0.00								
<i>Fs<sup>b</sup></i>	47.42	47.67	44.84	46.15								
<i>En<sup>b</sup></i>	52.58	52.33	55.16	53.85								
				<i>Alm<sup>b</sup></i>	65.37	60.78	56.31	55.52	64.72	70.99	56.54	55.09
				<i>Prp<sup>b</sup></i>	28.96	34.03	39.48	40.26	29.61	22.69	39.26	40.71
				<i>Grs<sup>b</sup></i>	3.40	3.08	2.43	2.60	3.40	3.89	2.42	2.42
				<i>Sps<sup>b</sup></i>	2.27	2.11	1.78	1.62	2.27	2.43	1.78	1.78

Tableau 2.1. Analyses représentatives d'orthopyroxènes et de grenats.

	Biotites				Plagioclases			
Échantillon	563	565	574	516	665	684	673	779
Épisode <sup>a</sup>	M <sub>1</sub>	M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>1</sub>	M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>2</sub>
SiO <sub>2</sub>	35.65	35.95	36.06	36.11	62.55	61.94	60.12	60.82
TiO <sub>2</sub>	3.99	3.70	4.86	5.06	0.00	0.00	0.02	0.02
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16.45	17.07	16.71	16.32	23.58	24.03	24.80	24.82
FeO	17.71	16.42	13.82	15.12	0.06	0.01	0.07	0.05
MnO	0.05	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
MgO	12.00	13.06	13.79	13.33	0.01	0.00	0.00	0.01
CaO	0.07	0.02	0.00	0.00	5.23	5.67	6.92	6.26
Na <sub>2</sub> O	0.09	0.13	0.06	0.19	8.27	7.92	7.18	7.47
K <sub>2</sub> O	10.25	10.21	10.67	10.49	0.39	0.51	0.52	0.57
<b>Total</b>	<b>96.26</b>	<b>96.60</b>	<b>95.98</b>	<b>96.63</b>	<b>100.09</b>	<b>100.08</b>	<b>99.63</b>	<b>100.02</b>
<i>Cations normalisés à 22 oxygènes en ignorant H<sub>2</sub>O.</i>					<i>Cations normalisés à 32 oxygènes.</i>			
Si	5.33	5.30	5.30	5.30	11.07	10.98	10.75	10.82
Ti	0.45	0.41	0.54	0.56	0.00	0.00	0.00	0.00
Al	2.90	2.96	2.89	2.83	4.92	5.02	5.23	5.20
Fe	2.22	2.02	1.70	1.86	0.01	0.00	0.01	0.01
Mn	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mg	2.68	2.87	3.02	2.92	0.00	0.00	0.00	0.00
Ca	0.01	0.00	0.00	0.00	1.00	1.08	1.33	1.19
Na	0.02	0.03	0.02	0.05	2.84	2.72	2.49	2.58
K	1.96	1.92	2.00	1.97	0.09	0.11	0.12	0.13
<i>Fe/(Fe+Mg)</i>	0.45	0.41	0.36	0.39				
					<i>Ab<sup>b</sup></i>	72.26	69.56	63.20
					<i>An<sup>b</sup></i>	25.44	27.62	33.76
					<i>Or<sup>b</sup></i>	2.30	2.82	3.04

Tableau 2.1 (Suite). Analyses représentatives de biotites et de plagioclases.

<sup>a, b</sup> Notes: M<sub>1</sub> et M<sub>2</sub>: épisodes métamorphiques; Abréviations des minéraux selon Kretz (1983; voir appendice III).

sous-province	Épisode	P - T <sub>Max.</sub> <sup>a</sup> (+/-1 kbar -+ /-50°C)	P - T <sub>Min.</sub> <sup>a</sup>
Ashuanipi (xénolithes)	M1 <sup>b</sup>	8.8 - 955	5 - 720
Ashuanipi (xénolithes)	M2 <sup>b</sup>	9.8 - 940	5.2 - 710
Opinaca <sup>d</sup>	M1 <sup>b</sup>	8.2 - 900	5.1 - 720
	M1 <sup>c</sup>	7.4 - 960	6.2 - 830
Opinaca <sup>d</sup>	M3 <sup>b</sup>	8.3 - 890	5.8 - 720

Tableau 2.2. conditions P-T obtenues pour les épisodes métamorphiques M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub> et M<sub>3</sub>.

<sup>a, b, c, d</sup> Notes: coeurs et bordures; assemblage à Opx-Grt-Bt-Pl-Qtz; assemblage à Opx-Crd-Grt-Bt-Pl-Qtz (Abréviations des minéraux selon Kretz (1983; voir appendice III); Résultats obtenus selon Cadéron *et al.*, (2002a; voir chapitre I).

## **CHAPITRE III**

# **A SAPPHIRINE-QUARTZ ASSEMBLAGE IN THE MINTO BLOCK, DOUGLAS HARBOUR DOMAIN, NORTHEASTERN SUPERIOR PROVINCE, QUEBEC, CANADA.**

Cadéron <sup>(1)</sup>, S., Trzcienski <sup>(2)</sup>, W. E. Jr., Bédard <sup>(3)</sup>, J.H, Goulet <sup>(1)</sup>, N.

<sup>(1)</sup> Université du Québec à Montréal, Département des Sciences de la Terre et de l'Atmosphère.

<sup>(2)</sup> Université de Montréal, École Polytechnique.

<sup>(3)</sup> Commission Géologique du Canada.

Article soumis au Canadian Mineralogist en juin 2002.



### 3.1 ABSTRACT

The Minto sub-province occupies the northeastern corner of the Archean Superior Province in Quebec and is subdivided into numerous litho-tectonic domains. It is dominated by deformed felsic plutonic rocks that host volcano-sedimentary slivers. The Douglas-Harbour Domain is composed of a tonalite-trondhjemite complex (Faribault-Thury), that was intruded by two 2740 - 2726 Ma enderbitic complexes (Troie and Qimussinguat). Slivers and enclaves of volcano-sedimentary rocks in the Troie Complex are metamorphosed to granulite grade and record a complex tectonic history. An igneous breccia situated in the core of the Troie Complex contains heterogeneous xenoliths population. One metasedimentary clast contains the assemblage sapphirine - sillimanite - feldspar - spinel - cordierite - quartz - corundum. Sapphirine occurs as symplectitic rims with plagioclase (and/or with K-feldspar) around sillimanite and cordierite. Sapphirine also forms coronas around green spinel, with K-feldspar rimming sapphirine. Reactants and products contain the same phases. They represent an isochemic metamorphism. The lack of garnet and especially of orthopyroxene in the assemblage could be explained by the aluminous bulk rock composition. The spinel - cordierite thermometer yields the temperatures of 890 - 1160 °C. The sapphirine - spinel yields temperatures of 755 - 920 ±100 °C. Biotite - sillimanite - cordierite - spinel - corundum - quartz geothermobarometers using TWEEQU thermodynamic database gives temperatures of 810 - 1260 ±50 °C and pressures between 7.5 and 14 ±1 kbar. Textures are difficult to interpret in terms of

prograde or retrograde metamorphism. High temperature during a short lapse of time or minimum granulite P-T conditions are required to produce and preserve these textures.

### 3.2 RÉSUMÉ

La Sous-province de Minto limite le coin NE de la Province archéenne du Supérieur au Québec et est subdivisée en plusieurs domaines litho-tectoniques. Elle se compose essentiellement de plutons felsiques déformés dans lesquels on retrouve des lambeaux de ceintures volcano-sédimentaires. Le Domaine du Douglas-Harbour est constitué d'un complexe de tonalite-trondhjémite (Faribault Thury) au sein duquel des intrusions d'enderbites (complexes de Troie et de Qimussinguat) se sont mise en place entre 2740 et 2726 Ma. Les lambeaux et enclaves volcano-sédimentaires retrouvées dans le Complexe de Troie sont métamorphisées au faciès des granulites et montrent une histoire tectonique complexe. Une brèche ignée située dans le coeur du Complexe de Troie contient une population de clastes hétérogènes. Un fragment métasédimentaire contient un assemblage à saphirine - sillimanite - feldspath - spinelle - cordiérite - quartz - corindon. La saphirine forme des textures symplectitiques avec le plagioclase et/ou le feldspath autour des grains de sillimanite et de cordiérite. Des textures en couronnes sub-circulaires se composent d'un coeur de spinelle entouré de saphirine elle-même entourée de feldspath. Les réactants et les produits issus des réactions métamorphiques contiennent les mêmes phases et témoignent d'un métamorphisme isochimique. L'absence de grenat et d'orthopyroxène dans les assemblages semble être reliée à la composition alumineuse de la roche. Le thermomètre à spinelle - cordiérite montre des températures de 890 - 1160°C tandis que celui à saphirine - spinelle donne des températures de 755 - 920 ±100°C. Les géothermobaromètres à biotite - sillimanite - cordiérite - spinelle - corindon - quartz calculés par le logiciel TWEEQU

montrent des températures de  $810 - 1260 \pm 50^\circ\text{C}$  et des pressions comprises entre 7.5 et  $14 \pm 1$  kbar. Les textures sont difficiles à interpréter en terme de métamorphisme prograde ou rétrograde. Deux hypothèses peuvent être avancées pour expliquer leur préservation: i) une haute température sur un cours laps de temps ou ii) des conditions P-T minimales au faciès des granulites ont affecté le milieu.

### 3.3 INTRODUCTION

Reconstructing the metamorphic evolution of granulitic terrains is often difficult because there are inherent uncertainties regarding pressure and temperature determinations for geothermobarometers where reequilibration occurs during cooling. The problem is exacerbated by the presence of unusual mineral phases such as sapphirine. Archean occurrences of sapphirine are known from: Enderby Land in Antarctica (Harley & Christy 1995, Harley 1998, Harley & Motoyoshi 2000), the Limpopo Belt of Africa (Droop 1989), southern India (Mohan & Windley 1993), the Pikwitonei terrain of Manitoba (Arima & Barnett 1984), the Kapuskasing zone (Herd 1991), the Keewatin district (Schau 1982), and the northern Superior of Quebec (Percival *et al.* 1990). Sapphirine has also been reported from Grenvillean terrains (Herd 1991, Thomas *et al.* 1994). In all these studies, sapphirine is often associated with garnet and orthopyroxene, assemblages that are good geothermobarometers for the P-T conditions estimations.

Elsewhere, experimental studies (Bertrand *et al.* 1991, Nichols *et al.* 1992) have established the pressure and temperature stability conditions of sapphirine + quartz-bearing assemblages (Hensen 1987, Powell & Sandiford 1988, Hensen & Harley 1990, Harley 1998), and this assemblage has become an indicator for Ultrahigh Temperature (UHT) granulite metamorphism. In addition, the association with spinel and cordierite have led to the development of new thermometers (Vielzeuf 1983, Owen & Greenough 1991). The discovery of a sapphirine-bearing metasedimentary rock from the Minto Block of the northern Superior Province, Quebec, provides new constraints for the pressure-temperature

history, and hence for the tectono-metamorphic evolution of this part of the Archean craton. In this new occurrence, sapphirine is part of the assemblage sapphirine + spinel + sillimanite + cordierite + feldspar. Our objectives in this paper are to: 1) document the occurrence, petrology, and mineral chemistry of a sillimanite-sapphirine-cordierite-spinel metasedimentary xenolith in an enderbite (pyroxene-tonalite) plutonic complex; 2) reconstruct the textural evolution of this and 2) estimate the pressure and temperature conditions linked to the mineralogical and textural evolution of this rock.

### 3.4 GEOLOGICAL SETTING

The Minto Block, northeastern Superior Province (Quebec, Fig. 3.1), is principally composed of Archean felsic plutonic rocks in which are embedded numerous supracrustal slivers or belts (Percival *et al.* 1997a). The supracrustal rocks are generally metamorphosed to the amphibolite or granulite grade, with rare preservation of greenschist assemblages in the cores of the largest belts (Percival & Skulski 2000). Amphibolite-grade belts are typically associated with hornblende-biotite tonalites, trondhjemites, granodiorites and granites, while granulite-grade belts are generally surrounded by enderbite plutons. The Minto has a well defined, NNW trending tectonic grain, and was subdivided into a number of litho-tectonic domains by Percival *et al.* (1991, 1992, 1997b), each domain having a characteristic lithological assemblage and aeromagnetic signature. The sample discussed in this paper was discovered in rocks of the Douglas Harbour Domain during a 1:250,000

scale mapping project (Fig. 3.1; Madore *et al.* 1999) undertaken by the Ministère des Ressources Naturelles du Québec.

### 3.4.1 The Douglas-Harbour Domain

The Douglas Harbour Domain is bounded to the south and west by granodiorites and granites of the Utsalik Domain (Madore *et al.* 1999), and is structurally overlain by klippe of Proterozoic rocks to the east and north (Figs. 3.1 & 3.2). New mapping, together with geochronological, mineralogical and whole-rock major, trace-elements, and isotopic data (Madore *et al.* 1999, Bédard 2002, Bédard *et al.* 2002), allow definition of three principal Archean lithotectonic complexes within the Douglas Harbour Domain (Madore *et al.* 1999; Fig. 3.2): the Troie and Qimussinguat Complexes (TC and QC, respectively), and the Faribault-Thury Complex (FTC); and have also uncovered the existence of numerous, rafts of supracrustal belts. The TC and QC are ovoid massifs with bird's-eye aeromagnetic signatures dominated by massive to foliated pyroxene + magnetite + biotite-enderbites (hypersthene-tonalites/trondhjemitites). An enderbite from the TC yielded an U-Pb zircon age of  $2740 \pm 11/-8$  Ma, with possible inherited cores at 2800 - 2830 Ma, and a monazite U-Pb metamorphic age of  $2707 \pm 3$  Ga (Madore *et al.* 1999). Percival *et al.* (2001) obtained a  $2726 \pm 8$  Ma U-Pb crystallization age with the Geological Survey of Canada SHRIMP on a Troie enderbite. A tonalite from the QC yielded U-Pb zircon ages between 2729 and 2733 Ma. Thus, to a first approximation, the TC and QC are age-correlative.

The Faribault-Thury Complex (FTC) has generally low aeromagnetic signatures, and is dominated by massive to foliated biotite  $\pm$  hornblende-tonalite and trondhjemite, with subordinate granodiorite and granite (Fig 3.2). Percival *et al.* (2001) obtained a  $2869 \pm 6$  Ma U-Pb crystallization age with the SHRIMP for the Western FTC. The eastern part of the FTC is strongly overprinted by Proterozoic orogenesis. Zircons from an Eastern FTC tonalite yielded a complex age population between 2610 and 2810 Ma (Madore *et al.* 1999). Geochemical data suggest that the Eastern and Western FTC may be distinct.

The contacts between the TC and FTC are poorly exposed, but are locally marked by zones of intense ductile deformation, and by concentrations of granite and granodiorite. A prominent east south-east trending deformation zone (the Thury Deformation Zone) reorients the dominant north-trending Archean fabrics at the boundary between the QC and TC (Fig. 3.2). A tonalite from the transition between the Thury Deformation Zone and the QC yielded a crystallization age of  $2734 \pm 5$  Ma, with discordant inherited cores yielding ages between 3013 and 2762 Ma (Percival *et al.* 2001). The tonalites and trondhjemites of the Thury Deformation Zone are geochemically identical to those of the Eastern FTC (Madore *et al.* 1999), and so this is considered to also represent the age of the Eastern FTC. Multiply-deformed supracrustal belts of various size occur in each of the three complexes (TC, QC and FTC). The association of metabasalts with metakomatiites, marbles, meta-sandstones, Fe-formation, felsic tuffs, pelites and rare conglomerates, suggest a platformal association (Ayres & Thurston 1985). Geochemical comparisons suggest that the metabasalts in the TC and QC have the same affinity as those of the FTC (Madore *et al.* 1999). A feldspar-porphyritic dyke from the Curotte belt, embedded in the Thury



Deformation Zone, yielded Pb-Pb zircon ages averaging 2780 Ma (Madore *et al.* 1999). A marble from the northern part of the TC contains detrital zircons, most of which yielded Pb-Pb ages between 2700 and 2750 Ma with secondary age concentration at 2960 Ma.

Large, north-trending sheets of late to post kinematic porphyric monzonite cut the TC. One of these monzonites yielded an average Pb-Pb zircon age between 2680 and 2720 Ma (Madore *et al.* 1999). Granite with blue quartz, and swarms of oxide-rich shoshonitic gabbro-noritic intrusions and agmatites are associated with the monzonites. A deformed hornblende gabbro-norite from the TC yielded an average Pb-Pb age of 2750 Ma.

#### 3.4.1.2 *The Troie Complex*

*Enderbitic plutonic rocks.* The sapphirine-sillimanite-spinel metasedimentary xenolith comes from the core of the Troie Complex (TC) (Fig. 3.2). The TC is dominated by orthopyroxene + clinopyroxene + biotite + magnetite + apatite + magnetite  $\pm$  hornblende, with rare pyroxene-bearing granodiorite (opdalite?), granite (charnockite), and garnet-enderbite. Interspersed with the dominant enderbites, there are domains of hornblende + biotite-tonalite and trondhjemite that are essentially indistinguishable from those of the adjacent FTC, numerous mafic enclaves, and disrupted supracrustal rocks (Fig. 3.2).

The enderbitic suite occurs as (1) massive, rather homogeneous intrusive bodies that show little or no modal or textural variation over many kilometers, and (2) mela- and leuco-enderbites interlayered on every scale, either as interlayered foliated complexes, or as

swarms of mela-enderbite enclaves in leuco-enderbite matrices. Enderbitic rocks generally have north-striking foliations and sub-vertical lineations. Charnockite and opdalite are not common and no large bodies were mapped.

Enderbites of the TC typically contain antiperthitic plagioclase, which generally has high-energy, serrated grain boundaries. In the least-deformed facies, feldspar is euhedral and quartz is interstitial, indicating an igneous origin for these rocks. Orthopyroxene generally forms euhedral prisms. Pale green, unzoned clinopyroxene is commonly euhedral and prismatic, but may also be interstitial to orthopyroxene. Minor green hornblende rims clinopyroxene. Bright red biotite, and large granular magnetite grains are ubiquitous and abundant. Minor apatite and zircon are common. Rocks affected by greenschist facies retrometamorphism may contain fine-grained secondary chlorite + sericite + epidote + calcite. Hornblende + biotite tonalites and trondhjemites in the TC are essentially identical to those found in the adjoining FTC and probably represent screens or tectonic slivers. The voluminous granites occurring in the eastern and northern part of the TC are attributed to the quartz monzonite suite.

*Supracrustal Belts.* Supracrustal belts in the TC are disrupted, forming disconnected slivers and xenoliths (Fig. 3.2). They contain a diverse association of metasediments and lavas, but the two principle constituents are migmatized metapelites and tholeiitic metabasalts.

*Metabasalts.* Metabasalts typically occur as lenses of medium-grained mafic gneiss (gabbro to gabbro-norite) with the mineral foliation parallel to laminae showing variable feldspar/pyroxene ratios. These rocks are metamorphosed to the granulite facies, and have

a well-equilibrated granoblastic texture. These observations remain preliminary, since there has yet to be a detailed investigation of metamorphic processes in these rocks.

*Metasedimentary rocks.* Metasedimentary rocks are poorly preserved in the TC (Fig. 3.2). They contain silicate and magnetite-facies iron formation. Rare marbles occurs as thick grey/brown weathering layers with negative relief. Metapelites are typically reduced to hackly-weathering migmatitic domains containing abundant garnet + quartz + biotite + sillimanite + hercynite.

### **3.5 PETROGRAPHY**

#### **3.5.1 Sample selection**

Sapphirine was discovered in a chaotic heterolithic igneous breccia in the core of the Troie Complex (Fig. 3.2). The breccia contains angular xenoliths of variable size (1-5 m), and includes fragments of hornblende gabbro-norite (60%), enderbitic augen gneiss (15%), and metapelite (10%). The matrix is a leuco-enderbite (biotite + magnetite + orthopyroxene), locally pegmatitic, with individual 'veins' ranging from 20 cm to 50 m in size. The area is dominated by enderbitic rocks, with numerous intrusions of shoshonitic gabbro-norite.

The sapphirine occurs as centimeter-sized, dark blue prisms in a dark grey-green matrix. The cordierite + sapphirine + spinel + biotite + feldspar + quartz assemblage is observed in several thin sections. Compositional layering is defined by bands rich in

cordierite + feldspar + quartz with locally rich patches of biotite intercalated with mineralogically similar bands but dominated by sapphirine. The sapphirine occurs as an interleaved symplectite with feldspar as well as a corona around spinel (Figs. 3.3d, 3.3e, 3.3h, 3.3i & 3.3r).

### 3.5.2 Petrographic study

Quartz is present and occurs as anhedral microcrystalline grains ( $< 200\ \mu\text{m}$  in size; Figs. 3.3a, 3.3b, 3.3c & 3.3l). It is in contact with altered biotite (Figs. 3.3b & 3.3c) and K-feldspar (Figs. 3.3a, 3.3b & 3.3c). Sillimanite is restricted in occurrence and rarely in contact with spinel (Figs. 3.3c & 3.3l).

Pale-blue sapphirine (30%) occurs in two different textural habits. It can form rounded coronas surrounding spinel (Figs. 3.3d & 3.3e) that is then rimmed by potassium feldspar. Sapphirine grains exhibiting this texture occur as inclusions in a porphyroblastic cordierite matrix (Fig. 3.3e), and/or in sapphirine + K-feldspar symplectites in the vicinity of cordierite grains (Figs. 3.3d, 3.3g & 3.3i). Sapphirine also occurs as symplectites intergrown with K-feldspar and/or plagioclase (Figs. 3.3d, 3.3f, 3.3g, 3.3i & 3.3r). In this case it forms fine lamellae, or occurs as radiating sheaves or rosettes without any preferred orientation. The sapphirine + plagioclase symplectites seem to replace sillimanite porphyroblasts (Fig. 3.3h). The sapphirine + K-feldspar symplectites occur near the biotite rich layers and seem to replace cordierite porphyroblasts (Figs. 3.3d, g & 3.3i). These

sapphirine + K-feldspar contain biotite relicts (Figs. 3.3g, 3.3j & 3.3r) giving the K component for the K-feldspar formation.

Biotite represents 25% of the thin sections. It occurs as tiny (10  $\mu\text{m}$ ) platy inclusions in cordierite porphyroblasts, in symplectitic sapphirine, and in plagioclase (Figs. 3.3e, 3.3f, & 3.3g). Locally, biotite occurs as anhedral platy grains ( $\leq 0.5$  cm) in biotite rich layers.

Plagioclase (20%) and K-feldspar (5%) have three habits: 1)- both can form subhedral porphyroblastic grains ( $\leq 0.5$  cm) containing inclusions of biotite and cordierite (Figs. 3.3b & 3.3f), with typical polysynthetic or microcline twins. The K-feldspar may contain exsolved blebs of plagioclase, forming a micro-perthitic texture (Figs. 3.3l & 3.3s). The platy plagioclase porphyroblasts are commonly partly replaced by white mica (sericite); 2)- plagioclase and K-feldspar occur as inclusions in spinel (Figs. 3.3p & 3.3q) and in sapphirine (Figs. 3.3d & 3.3r); 3)- plagioclase or K-feldspar may occur as symplectitic intergrowths with sapphirine (Figs. 3.3d, 3.3f, 3.3g, 3.3h, 3.3i, 3.3j & 3.3r), either as platy lamellae or as small polygonal crystals. K-feldspar also occurs as coronas around sapphirine (Fig. 3.3e).

Cordierite (15%) occurs as anhedral porphyroblasts (0.5 cm), some with typical twins, others containing zircon inclusions with strongly yellow pleochroic haloes (Figs. 3.3e, 3.3f, 3.3g & 3.3p). Small biotite inclusions are common. Cordierite also occurs as inclusions in porphyroblastic plagioclase (Fig. 3.3f), or as tiny grains between sapphirine lamellae associated with plagioclase.

Sillimanite (7%) has two habits. It forms large (1cm), birefringent, anhedral grains (Sil-1) corroded by sapphirine + plagioclase symplectites (Fig. 3.3h). This sillimanite

contains plagioclase inclusions (Fig. 3.3k). A second generation of sillimanite (Sil-2) occurs as needles (0.2 cm) at the edges of the sillimanite porphyroblasts (Fig. 3.3k). The late sillimanite needles appear to cross-cut the Sil-1 grains. This Sil-2 occurs in association with biotite, cordierite and plagioclase (Figs. 3.3c & 3.3k) and in sapphirine + K-feldspar symplectitic textures (Fig. 3.3r).

Spinel (3%) is dark green (Fe-rich) and is surrounded by sapphirine or feldspar coronas (Figs. 3.3e, 3.3p & 3.3q), or by sapphirine + K-feldspar symplectites (Fig. 3.3d). Spinel in contact with cordierite porphyroblasts is surrounded by a sapphirine corona (Fig. 3.3g). Spinel in contact with biotite show a cordierite corona (Fig. 3.3o).

Corundum is present. On the micron scale, spinel is partly replaced by corundum + hematite (Figs. 3.3l, m & 3.3s). In this case, spinel is surrounded by a sapphirine corona (Figs. 3.3l & 3.3s). If quartz is present, spinel is surrounded by a cordierite and /or by a sapphirine corona (Fig. 3.3l). Locally, corundum forms small grains ( $\leq 200$   $\mu\text{m}$ ) replacing spinel (Fig. 3.3n).

## **3.6 MINERAL CHEMISTRY**

### **3.6.1 Analytical method**

Representative analyses of sapphirine, biotite, cordierite, K-feldspar, plagioclase and spinel are presented in Tables 3.1 to 3.5. Electron microprobe analyses were obtained at McGill University (Earth and Planetary Sciences). The laboratory is equipped with a JEOL

8900 microprobe. The important features of the instrument are: 5 WDS spectrometers, a Si(Li) EDS detector used for rapid elements identification and semiquantitative analyses, secondary and backscatter imaging with magnification from 40 to 300.000x and 70 nm resolution, and high resolution digital X-Ray mapping by both EDS and WDS spectrometers and image processing software for image analysis. Minerals were routinely analysed for Na, Mg, Al, Si, K, Ca, Ti, Mn, Cr, Zn and Fe; biotite was also analysed for F and Cl. Over 225 mineral analyses have been complemented (see appendices VI to X) by backscatter electron imagery to define the spatial and textural compositional relationships described below.

### 3.6.2 Mineral chemistry

***Sapphirine (Table 3.1).*** Troie Complex sapphirine varies in  $X_{Mg}$  from 75.3 to 77.7. Symplectitic sapphirine is generally slightly more magnesian ( $X_{Mg} = 76.1 - 77.7$ , average 76.8) than the sapphirine rimming spinel ( $X_{Mg} = 75.3 - 76.7$ , average 75.8). This range of  $X_{Mg}$  values is similar to those reported previously from metapelites in Enderby Land and in the Rauer Group (Harley, 1986, 1998), but is higher than those reported in sapphirine bearing xenoliths from the Popes Harbour dyke in Canada (Owen & Greenough 1991). Sapphirine from the Troie Complex is peraluminous, iron rich ( $X_{Fe} = 0.63 - 0.72$ ), has variable  $X_{Fe^{3+}}$  (0.15 - 0.23), and only traces of  $Cr_2O_3$  (<0.04 wt%). In most respects it closely resembles sapphirine from the Bushveld Complex, which is also peraluminous, with  $X_{Fe^{3+}} = 0.22$  and  $Cr_2O_3 = 0.89$  wt% (Cameron, 1976). Cameron (1976) attributed the

pale blue colour of Bushveld sapphirine to its high  $X_{\text{Fe}^{3+}}$ . The lower Cr-content of Troie sapphirine probably reflects the extremely low Cr-content of most Troie Complex rocks (granitoids), in contrast to the Bushveld Complex, which comprises ultramafic and mafic rocks.

***Biotite (Table 3.2).*** Biotite is usually close to phlogopite end-member ( $X_{\text{Mg}} = 73.3 - 76.9$ ). Fluorine contents are relatively high ( $F \leq 1.35$  wt). Biotite inclusions in cordierite porphyroblasts have lower  $\text{TiO}_2$  (2 - 2.8 wt%) and higher  $X_{\text{Mg}}$  (74 - 76.9) than biotite inclusions in porphyroblastic plagioclase ( $\text{TiO}_2 = 3.35 - 3.65$  wt%;  $X_{\text{Mg}} = 73.3 - 74.7$ ).

***Feldspar and plagioclase (Table 3.3).*** K-feldspar and plagioclase vary in Na-content according to their textural occurrences (Figs. 3.4a & 3.4b). Plagioclase as inclusions in sapphirine is more albitic ( $\text{Ab}_{74} \text{An}_{26}$ ) than plagioclase in spinel or plagioclase in sapphirine symplectite ( $\text{Ab}_{64} \text{An}_{36}$ ). Individual plagioclase porphyroblasts are the least albitic ( $\text{Ab}_{60} \text{An}_{40}$ ). K-feldspar is most sodic ( $\text{Ab}_{27} \text{Or}_{73}$ ) in spinel inclusions, whereas grains found as sapphirine inclusions or in symplectitic intergrowth are more potassic ( $\text{Ab}_{13-15} \text{Or}_{87-85}$ ).

***Cordierite (Table 3.4).*** Cordierite is magnesian ( $X_{\text{Mg}} (\text{moy.}) \leq 85.5$ ) and has a rather uniform composition. Microprobe analyses total 97.5% to 98.5% and suggest the presence of minor  $\text{H}_2\text{O}$  or  $\text{CO}_2$ . The Troie Complex cordierites have lower  $X_{\text{Mg}}$  than those in Enderby Land ( $X_{\text{Mg}} = 87 - 90.5$ , Harley 1986) and in the Rauer Group ( $X_{\text{Mg}} = 89.3 \pm 0.6$ ; Harley 1998).

***Sillimanite.*** The two generations of sillimanite show similar compositions and contain less than 0.5 wt%  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  as their only impurity.



**Spinel (Table 3.5).** Spinel is composed principally of spinel-hercynite solid solution (99%) with only minor contents of Cr, Zn and  $\text{Fe}^{3+}$ . Gahnite ( $\text{ZnAl}_2\text{O}_4$ ) and galaxite ( $\text{MnAl}_2\text{O}_4$ ) components constitute  $\cong 1\%$ . The presence of minor Zn and Cr in the spinel may extend its stability field. Contents of  $\text{Fe}^{3+}$  calculated from stoichiometry yield  $X_{\text{Fe}^{3+}} = 0.03 - 0.17$ , representing  $\cong 5\%$  magnetite component (similar to spinels associated with sapphirine analysed by Owen & Greenough (1991). Values of  $X_{\text{Mg}}$  are in range 0.49 - 0.54, similar to the spinels from Enderby Land (Harley 1986) and the Rauer Group (Harley 1998). Spinel enclosed by circular sapphirine + K-feldspar coronas in porphyroblastic cordierite are slightly more magnesian ( $X_{\text{Mg}} = 0.49 - 0.54$ ) than spinels enclosed by sapphirine + K-feldspar symplectites ( $X_{\text{Mg}} \leq 0.49$ ) (Table 3.5).

### 3.7 INTERPRETATION OF TEXTURES

A wide variety of reaction textures are developed in thin section, suggesting a multi-stage evolution. The assemblages and textures we have observed are similar to those described by Harley (1986, 1998) in Enderby Land, Antarctica and in the Rauer Group and by Nijland *et al.* (1998) in the South Norway. Many of the sapphirine occurrences documented in the literature indicate the presence of garnet and orthopyroxene in the assemblages. In the sample studied here, garnet and orthopyroxene are absent.

### 3.7.1 Early mineral assemblages

Many sapphirine grains contain relict spinel inclusions (Figs. 3.3d, 3.3e & 3.3g). Spinel contains relicts of feldspar (Figs. 3.3p & 3.3q). This suggests an early spinel-bearing assemblage, in which spinel coexisted with sillimanite, biotite, feldspar and quartz. These minerals represent the reactants producing the latest minerals.

### 3.7.2 Appearance of cordierite and sapphirine

This step is essential, because it generates most of the minerals that characterize the rock and represents peak temperature conditions and decompression. We tentatively attribute this metamorphic event to the generation and ascent of enderbitic magma of the Troie Complex (see below). Cordierite, sapphirine and a second generation of feldspar and sillimanite represent the products of this metamorphic period.

Several combinations and permutations of the minerals described above lead to a number of spatially restricted textures (Fig. 3.3) representing different local equilibria (Table 3.6; see appendix III for minerals notation). These various local equilibria at the thin section scale indicate a global disequilibrium for the entire rock. As a result certain minerals, sillimanite and feldspar for example, occur as both a reactant and a product depending upon the local reaction space. Given the magnesian nature of many of the minerals, their graphical analysis can be approximated in the system  $\text{SiO}_2$  -  $\text{Al}_2\text{O}_3$  -  $\text{MgO}$  -  $\text{FeO}$  (+ $\text{H}_2\text{O}$ ) (Fig. 3.5).

### **3.7.3 Cordierite formation (reactions (1) to (9), Table 3.6)**

In thin section, quartz is commonly observed in contact with biotite and feldspar (Figs. 3.3a & 3.3b). Locally present are sillimanite and cordierite (Fig. 3.3c). Noted as well are biotite inclusions in cordierite and feldspar (Figs. 3.3c, 3.3f & 3.3g) along with sillimanite and quartz (Figs. 3.3c & 3.3e) suggesting biotite reaction to cordierite by reactions (1) and (2) (Table 3.6). Spinel in contact with cordierite, biotite and feldspar (Fig. 3.3n), cordierite coronas around spinel (Figs. 3.3n & 3.3o), and quartz in contact with cordierite around spinel (Fig. 3.3l) suggest cordierite formation from spinel via reactions (3), (4) and (5) (Table 3.6). Variable feldspar chemistry and habit - both as inclusions in spinel and corona around spinel (Figs. 3.3e, 3.3p & 3.3q) - suggest that it may serve as both a reactant and a product of spinel breakdown (reaction (6), Table 3.6). Corundum found intimately associated with spinel (Figs. 3.3l & 3.3n) may have been a residual breakdown product of spinel (reaction (7), Table 3.6). Corundum is currently observed in contact with cordierite and feldspar. Spinel and biotite are altered (Figs. 3.3n & 3.3s). Cordierite forms by the breakdown of spinel and sillimanite via reactions (8) and (9) (Table 3.6) where corundum is a residual product.

### **3.7.4 Sapphirine formation (reactions (10) to (19), Table 3.6)**

Quartz, an essential reactant, is progressively consumed in reactions (1), (2) and (5) as well as in reaction 10 (Table 3.6) where it is observed locally in contact to sapphirine

surrounding spinel (Fig. 3.3l). In areas deficient in quartz, spinel and biotite along with cordierite give rise to sapphirine-K-feldspar symplectites (Figs. 3.3g, 3.3i & 3.3l) via reactions (11) and (12) (Table 3.6).

Sillimanite porphyroblasts contain plagioclase inclusions and are surrounded by symplectites of Spr + Pl (Figs. 3.3h & 3.3k). Plagioclase and cordierite can be regarded as interchangeable in terms of their Al : Si ratios and reaction roles (Harley 1998) which may explain the presence of plagioclase rather than cordierite in the sapphirine + plagioclase symplectites that replace (reaction (13), Table 3.6).

Sapphirine surrounding spinel (Figs. 3.3e & 3.3q) also may come about via reactions (14) and (15) (Table 3.6). Given that remnant spinel contains appreciable hercynite component as well as corundum and hematite inclusions supports Podlesskii & Kurdyukov (1992) who suggested that sapphirine may sometimes develop by a retrograde reaction at the expense of the magnesian component of spinel. Fibrous and small sillimanite neograins (Figs. 3.3k & 3.3r) along with inclusions of altered biotite and xenomorphs of quartz in the sapphirine + K-feldspar symplectites suggest reactions (16) and (17) (Table 3.6) as possible reaction mechanisms. Finally, corundum formation by reaction (8) implies two further sapphirine-forming reactions. From spinel surrounded by sapphirine and/or cordierite (Figs. 3.3l, 3.3n & 3.3s) corundum may have been produced by reactions (18) and (19) (Table 3.6).

The localized occurrence of these textures indicates a mosaic equilibrium. That is a function of arrested equilibrium due to limited element migration. Two hypothesis can be proposed to explain the preservation of local equilibria: i) an elevated temperature (UHT)

occurring over a very short period of time; ii) the attained temperature was at the lower limit necessary to produce the observed granulite assemblages. The presence of sapphirine + K-feldspar and/or plagioclase symplectites are considered typical of decompressional textures (Spear 1993, Harley 1998). The absence of garnet and/or orthopyroxene, more representative of this facies, is due to the highly aluminous bulk composition of the rock and its relatively reduced Fe-content.

### **3.8 THERMOBAROMETRY**

Because of a lack of thermochemical data for Fe-rich sapphirine, and differences in composition between natural and synthetic Mg-sapphirine (Owen & Greenough 1991), the P-T conditions for formation of sapphirine are commonly based on the associated solid solutions (garnet-orthopyroxene, garnet-cordierite, two pyroxenes, two feldspars). In this study, temperatures were calculated using thermometers based on Fe-Mg exchanges between sapphirine and spinel (Owen & Greenough 1991), spinel and cordierite (Vielzeuf 1983), and TWEEQU software (Berman 1991). Pressure estimates are handicapped by the absence of garnet. However, the presence of quartz, spinel, cordierite, sillimanite and corundum allows us to use the assemblages Spl - Crd - Qtz and Sil - Spl - Crn - Crd as geothermobarometers with the database of Berman (1991).

### 3.8.1 Sapphirine-spinel geothermometer (Table 3.7)

Owen & Greenough (1991) proposed an empirical geothermometer based on Fe-Mg exchange between spinel and sapphirines with  $X_{\text{Mg}} < 0.9$  and  $X_{\text{Fe}^{3+}} < 0.4$ . Use of this thermometer is probably appropriate for the sample studied here since: the spinel is poor in the gahnite component; and sapphirine has  $X_{\text{Mg}} = 0.71 - 0.85$ , and  $X_{\text{Fe}^{3+}} = 0.15 - 0.23$ . Circular coronas with a spinel core (Fig. 3.3e) yield temperatures of  $815 - 920 \pm 100^\circ\text{C}$ . Temperatures calculated using analyses of spinel cores are the highest ( $> 900 \pm 100^\circ\text{C}$ ). The ovoid coronas within the symplectites (Fig. 3.3d) yield temperatures of  $820 - 860 \pm 100^\circ\text{C}$ , with a maximum for spinel cores. In contrast, sapphirine + K-feldspar and sapphirine + plagioclase symplectites (Figs. 3.3d, 3.3g, 3.3h & 3.3i) yield lower temperatures ( $755 - 845$  and  $780 - 875 \pm 100^\circ\text{C}$ , respectively).

### 3.8.2 Cordierite-spinel geothermometer (Table 3. 8)

Vielzeuf (1983) proposed a geothermometer based on Fe-Mg exchanges between spinel and cordierite ( $\text{Fe-spinel} + \text{Mg-cordierite} = \text{Mg-spinel} + \text{Fe-cordierite}$ ). Porphyroblastic cordierites (Fig. 3.3g) yield high temperatures ( $960 - 1070^\circ\text{C}$ ), with no difference between results from grain cores and rims. Cordierite included in porphyroblastic plagioclase (Fig. 3.3f) yields similar temperatures ( $890 - 1160^\circ\text{C}$ ). These

temperatures are significantly higher than those from the spinel - sapphirine geothermometer.

### 3.8.3 Geothermobarometers calculated using TWEEQU

TWEEQU (Thermobarometry With Estimation of EQUilibration state) program, (Berman 1988, 1991) have been used (2.02 version, solutions models of 1996: BA96a.SLN). The program calculates pressures and temperatures, using all possible equilibria, from intersections of end-member reactions in P-T space using the internally consistent thermodynamic data of Berman (1991). Generally, a maximum 'aggregate uncertainty' of  $\pm 1$  kbar and  $\pm 50^\circ\text{C}$  is adopted in calculations, based on the suggestions of Essene (1989) for conventional thermobarometry. One of the advantage of the TWEEQU technique is that the equilibration state of a sample can be assessed by comparing the intersection positions of all independent equilibria for a given assemblage. A good convergence is consistent with the inference of equilibrium, whereas divergence suggests that one or more phases were not in equilibrium with others phases. The average P-T calculations followed the method of Berman (1991), using version 2.02 and the internally consistent thermodynamic datasets of Berman (1988), Berman *et al.* (1995) and Berman & Aranovitch (1996) for end-member phases. Activity-composition relations for biotite, cordierite, spinel and plagioclase were computed using the models of Berman (1988, 1991), Fuhrman & Lindsley (1988), Berman & Aranovitch (1996), Aranovitch & Berman (1996) and Berman *et al.* (1995). Sillimanite and quartz were assumed to be pure.

### 3.8.3.1 P-T estimations

From the textures described above, idealized reactions are suggested ((2), (5), (8) & (9); Table 3.6) that permit P-T estimates (curves 1, 2, 3, 4 & 6; Fig. 3.6) using microprobe analyses of coexisting minerals and TWEEQU. The somewhat dispersed intersections of the reaction curves outline an area of P-T space rather than a single P-T point as conditions of metamorphism. This is due possibly in part to the mosaic equilibria described above but more importantly to a reflection of reequilibration during cooling from high granulite facies conditions. The reactions (Fig. 3.6) do suggest an approximate maximum temperature of  $1260 \pm 50^\circ\text{C}$ . Minimum temperatures (Fig. 3.6) on the other hand occur at  $770 \pm 50^\circ\text{C}$  with an average temperature near  $810 \pm 50^\circ\text{C}$ .

Pressure constraints place a maximum P near  $14 \pm 1$  kbar and a minimum P near  $7.5 \pm 1$  kbar (Fig. 3.6) with average pressures (calculated with different P-T results obtained by TWEEQU with the same thermobarometers than in the Fig. 3.6) near  $13.3 \pm 1$  kbar and  $8 \pm 1$  kbar and respectively.

These pressures are at the high-end of the range published for similar assemblages (Bertrand *et al.* 1991, Nichols *et al.* 1992, Harley 1998). The presence or absence of quartz has a significant impact on the pressure estimate. Hensen (1987) located the FMAS [Qz] invariant point at  $920 - 950^\circ\text{C}$  and  $8 - 9$  kbar from topological and natural assemblage constraints; although there are as yet no experimental determinations of the invariant point and related quartz-absent univariant lines (Harley 1998). Previous calculations using the garnet - orthopyroxene - biotite - plagioclase - quartz geobarometer for other



metasedimentary relics in the Troie Complex have yielded P-T conditions between 9 and 11  $\pm$ 1 kbar and 800 - 950  $\pm$ 50°C (Goulet & Cadéron, 2000). These results are in agreement with the conditions calculated here.

It is difficult to interpret these observed textures in terms of prograde or retrograde metamorphism. Fine-grained symplectitic intergrowths that have been locally developed are generally interpreted to have formed during retrograde breakdown of high-grade phases (Droop & Bucher-Nurminen 1984, Ball  vre *et al.* 1997, Nijland *et al.* 1998). Estimations by the Owen & Greenough (1991) Spl - Spr thermometer indicates temperatures between 755 - 920  $\pm$ 50°C. The Vielzeuf (1983) Crd - Spl thermometer indicates temperatures between 890 - 1160  $\pm$ 50°C. We estimate the P-T conditions of the Sil - Spl - Crd - Spr - Qtz assemblage studied here between 900 - 950  $\pm$ 50°C and 9 - 10  $\pm$ 1 kbar. These conditions are in agreement with minimum granulite facies conditions. The preservation of these textures based on the local equilibria described earlier appear to favor hypothesis ii) proposed above.

### **3.9 DISCUSSION AND CONCLUSIONS**

#### **3.9.1 Comparisons with other sapphirine granulites**

Nearly identical sapphirine-bearing assemblages have been studied in several granulitic terrains. Harley (1986) obtained temperatures above 900°C from the Spl - Crd

geothermometer of Vielzeuf (1983) in the Napier Complex; which is characterized by mineral assemblages and textures very similar to those we have observed from the xenolith studied here. For the garnet + orthopyroxene + sapphirine assemblages of the Rauer Group gneisses, Harley (1998) proposed average temperatures of 980 - 1078 °C (Grt cores) from application of the Grt-Opx geothermometer for average pressures of 12 kbar. Temperatures of his Grt - Opx symplectites are lower (776 - 855 °C), for pressures between 5.5 and 6.8 kbar and is related to decompressional UHT  $P$ - $T$  path. Assemblages similar to those of our xenolith were produced experimentally by Bertrand *et al.* (1991) at temperatures between 1025 and 1075 °C, and pressures between 8 and 11 kbar; and by Nichols *et al.* (1992) at temperatures between 1050 and 1300 °C and pressures between 9 and 12 kbar. Owen & Greenough (1991) compiled data from many localities for their Spr - Spl geothermometer, and proposed temperatures between 723 and 989 °C at pressures between 7 and 11 kbar for sapphirine xenoliths from a lamprophyre dyke in Nova Scotia. For the same fine-grained symplectitic textures, Nijland *et al.* (1998) estimate a  $900 \pm 50^\circ\text{C}$  for the Spl - Spr thermometer.

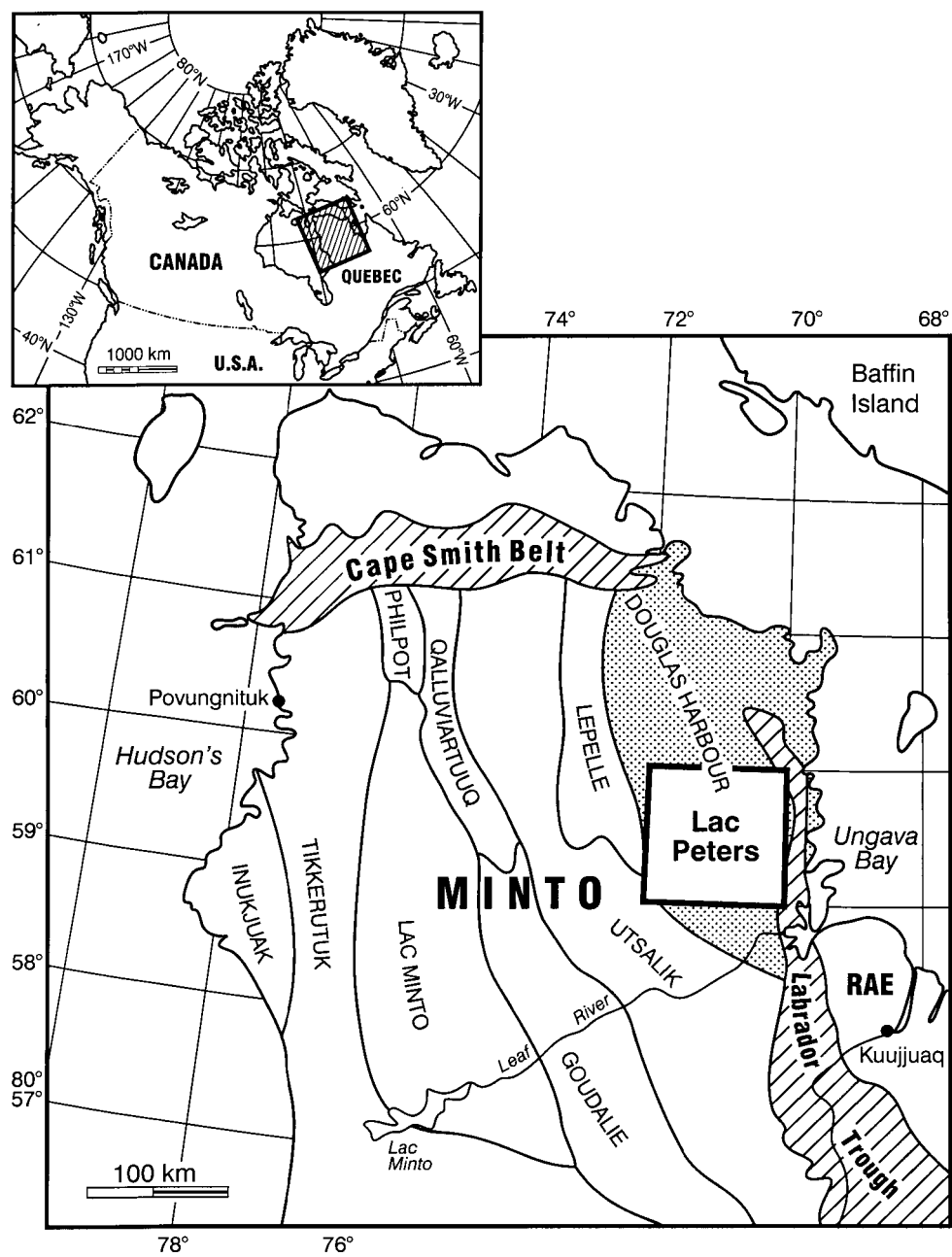
### 3.9.2 Tectonic model

Previous and ongoing research (Madore *et al.* 1999, Bédard 2002, Bédard *et al.* 2002) allow the structural interpretation of the Troie Complex. Firstly, the mineralogical assemblage recorded in the xenolith we have studied suggests burial of supracrustal belts to

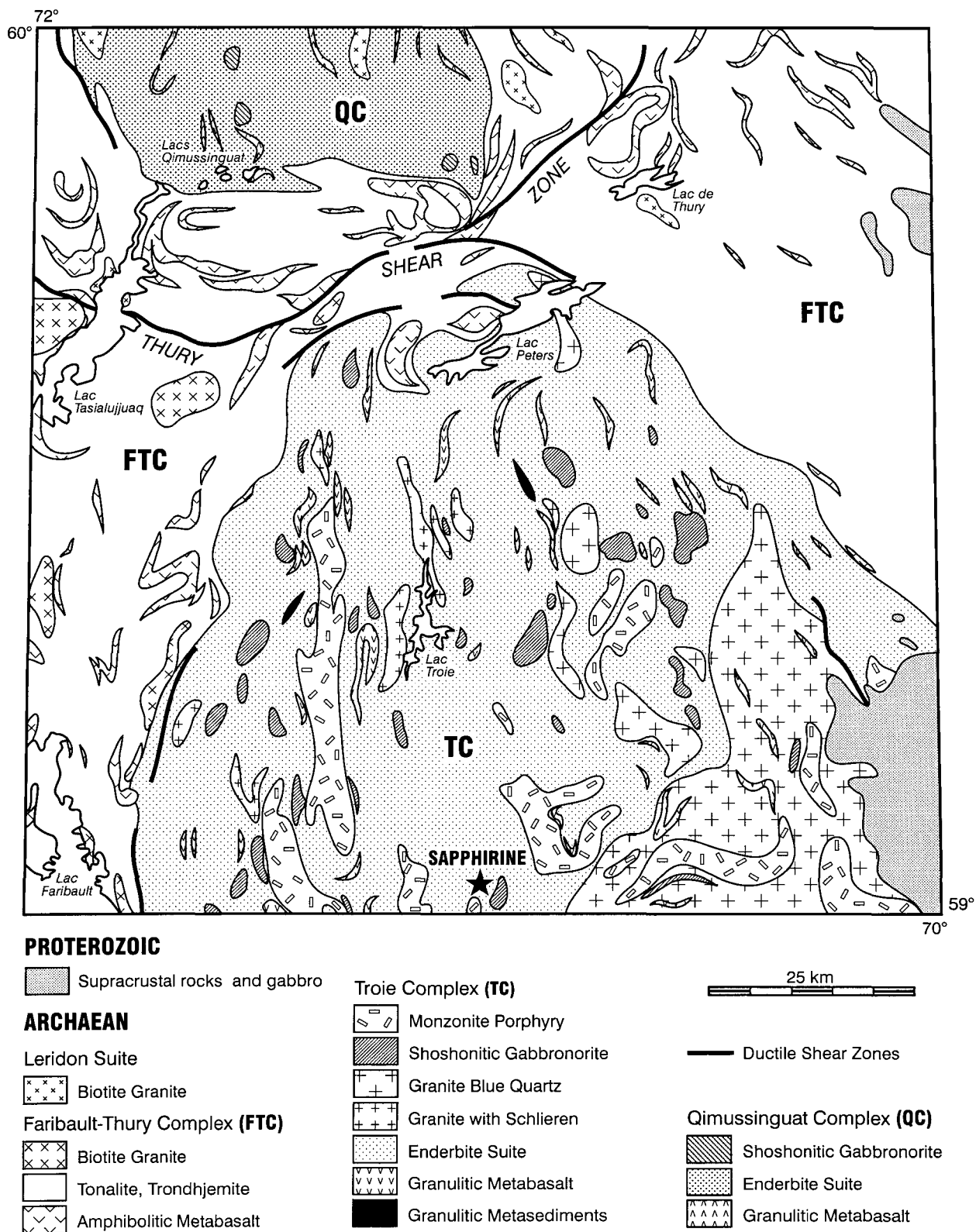
great depths (with a maximum pressure of 14 kbar), greatly extending the range of P-T-conditions for the Minto (maximum 8.4 kbar) obtained from other barometers (Percival & Skulski 2000, Bédard 2002). Either the early history of cratonization in the northern Superior Province is marked by significant crustal thickening, as advocated by Percival *et al.* (1992, 1994, 2001), or some mechanism existed to allow supracrustal fragments to founder to such depths, perhaps through partial convective overturn (referred to as 'sagduction' by others) as suggested by Collins *et al.* (1998) and Bédard *et al.* (2002).

The Troie Complex is well defined on the magnetic gradient map, forming a vast circular massif with contacts that correspond to a sharp lithological discontinuities (Fig. 3.2). The transition from the Troie to the Faribault-Thury Complex corresponds to a change from an enderbite-dominated terrain to a tonalite-dominated terrain. In terms of supracrustal rocks, the transition reflects a change in conditions from granulite to amphibolite facies. Bédard (2002) suggests that metamorphism of the supracrustal belts is not due to an overprinting orogenic event as proposed previously (Percival *et al.* 1992, 1994, Percival & Skulski 2000), but rather reflects the transport of heat by the dominant felsic plutonic component of the crust with amphibolite assemblages being produced by wet, relatively cool intrusions, and granulitic assemblages during emplacement of hot dry intrusions. In this context, the peak conditions recorded in the xenolith we have studied could plausibly reflect the massive influx of heat required to generate the enderbitic magmas of the Troie Complex; with characteristic symplectitic textures forming during decompression. We speculate that this decompression reflects transport and ascent of the xenolith in an enderbite magma flowing upward advectively. Our results extend the known

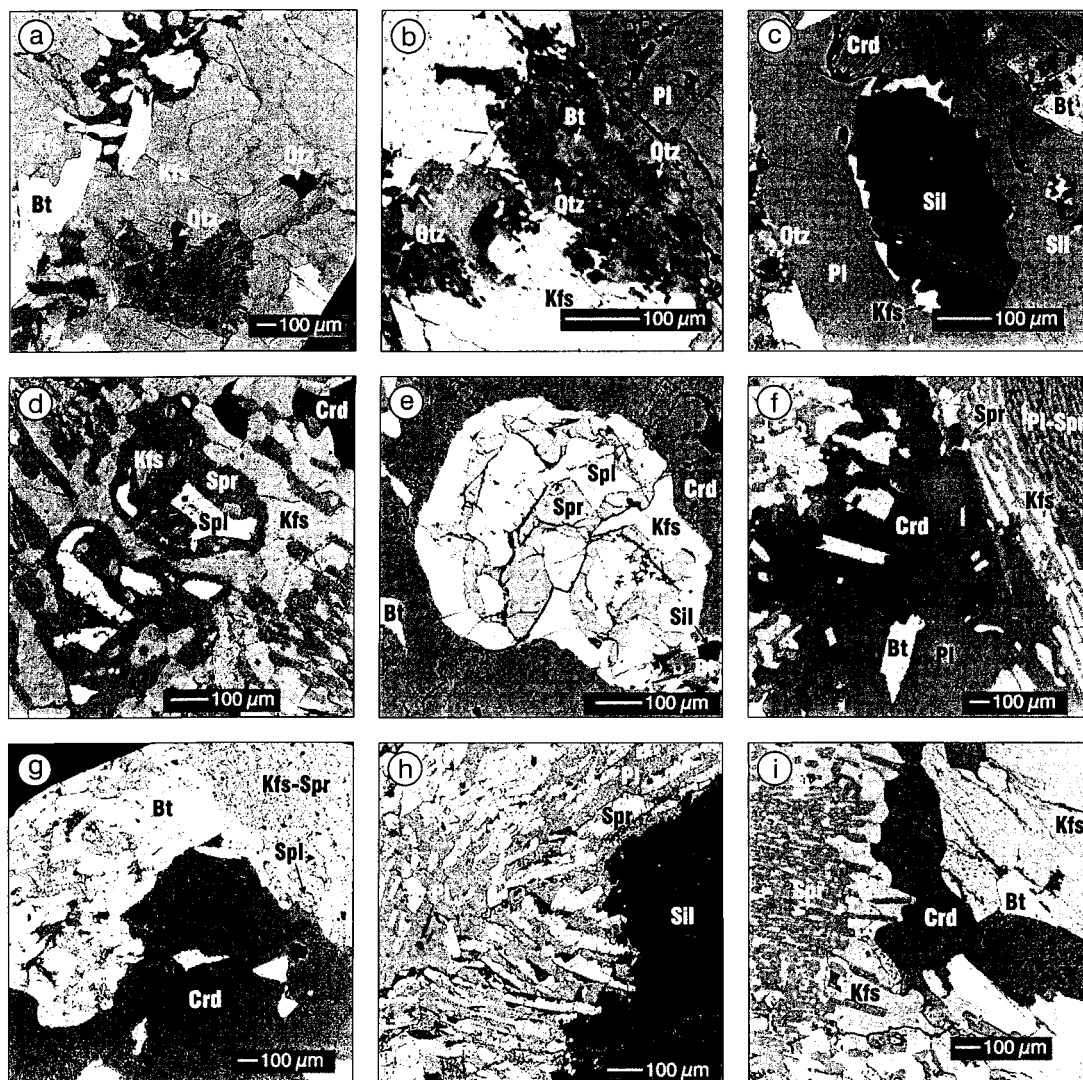
P-T conditions for Minto supracrustal rocks, and indicate burial to great depths although the mechanisms by which this occurred remains uncertain.



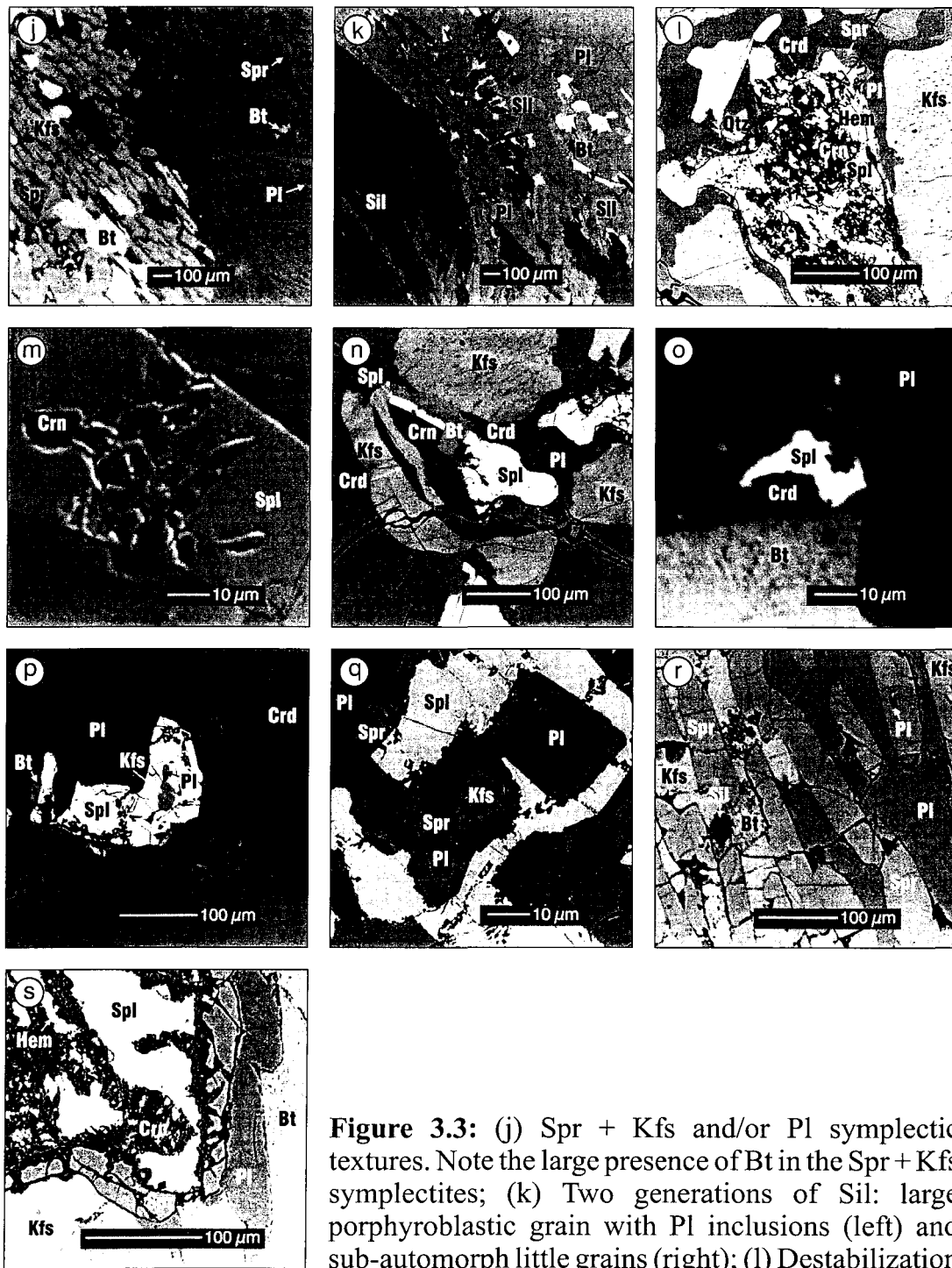
**Figure 3.1:** Localisation of the lac Peters study area.



**Figure 3.2:** Geological map of the Lac Peters area (modified from Madore *et al.*, 1999). See appendix II for the localization of the sapphirine sample.

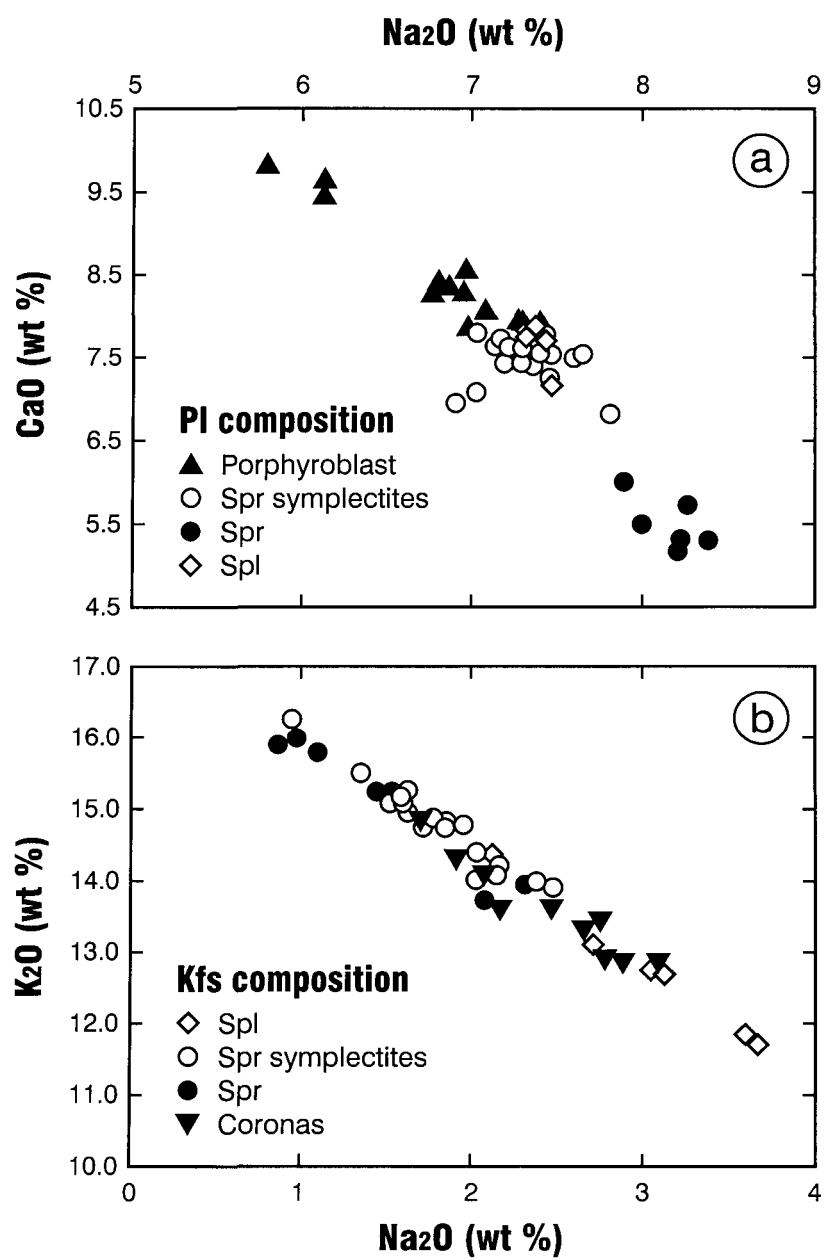


**Figure 3.3:** Micrographs of textures in the sapphirine-bearing xenolith from the Troie Complex. Minerals notation according to Kretz (1983)(see appendix III). (a to c) Anhedra microcritalline Qtz. Bt, Kfs & Sil are present; (d) Sub-circular corona of Spr around Spl + Kfs. This texture is found within the Spr + Kfs symplectites; (e) Circular corona with Spr surrounding Spl, and itself rimmed by Kfs. These textures are found in Crd porphyroblastic matrix. Note the Sil and Bt (right bottom) in Crd porphyroblast; (f) Porphyroblastic Crd in Pl porphyroblast. Spr + Kfs and/or Pl symplectic textures are adjacent; (g) Porphyroblastic Crd enclosed in a Spr + Kfs symplectic texture with Bt inclusions; (h) Sil porphyroblast replaced by Spr + Pl symplectic texture; (i) Crd + Bt replaced by Spr + Kfs symplectic textures.

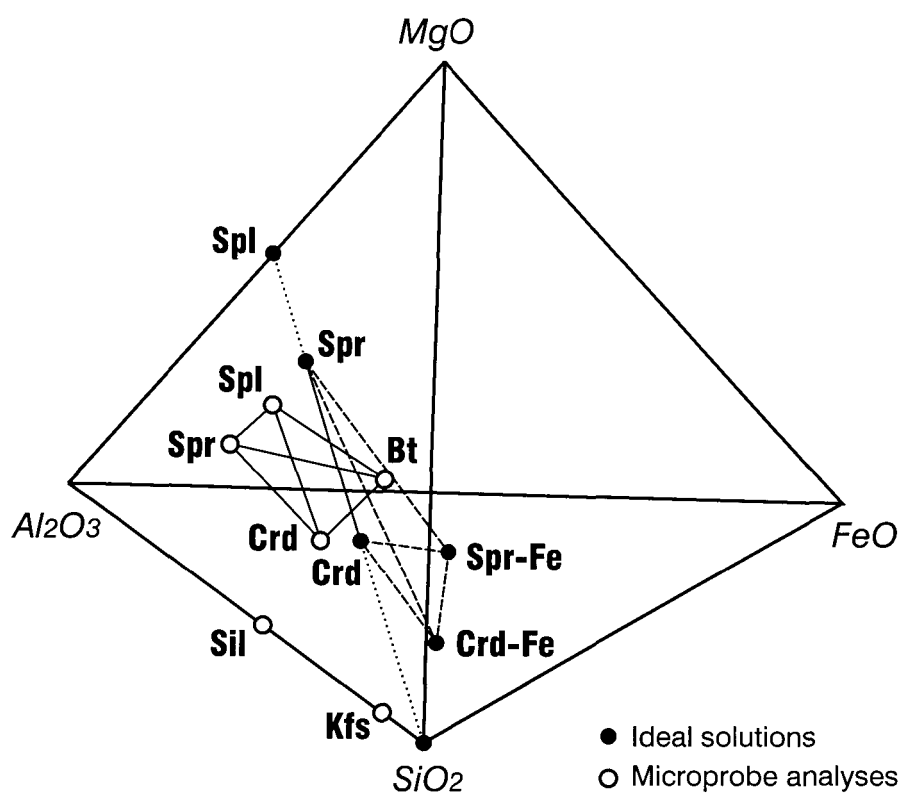


**Figure 3.3:** (j) Spr + Kfs and/or Pl symplectic textures. Note the large presence of Bt in the Spr + Kfs symplectites; (k) Two generations of Sil: large porphyroblastic grain with Pl inclusions (left) and sub-automorph little grains (right); (l) Destabilization of Spl = Crn + Hem; Qtz in contact with Spl rimmed by Crd and/or Spr; (m) Crn inclusions replacing Spl; (n) Crn grain replacing Spl. Crd, Kfs and Pl rimmed by the Spl; (o) Bt + Spl = Crd reaction; (p) Pl and Kfs inclusions in Spl rimmed by Pl; (q) Pl and Kfs inclusions in Spl rimmed by Spr; (r) Spr + Kfs and/or Pl symplectic textures; Pl and Kfs in inclusions in Spr. Bt relicts in Spr + Kfs symplectites; Sil is present; (s) Destabilization of Spl in Crn + Hem. Spl is rimmed by Spr.

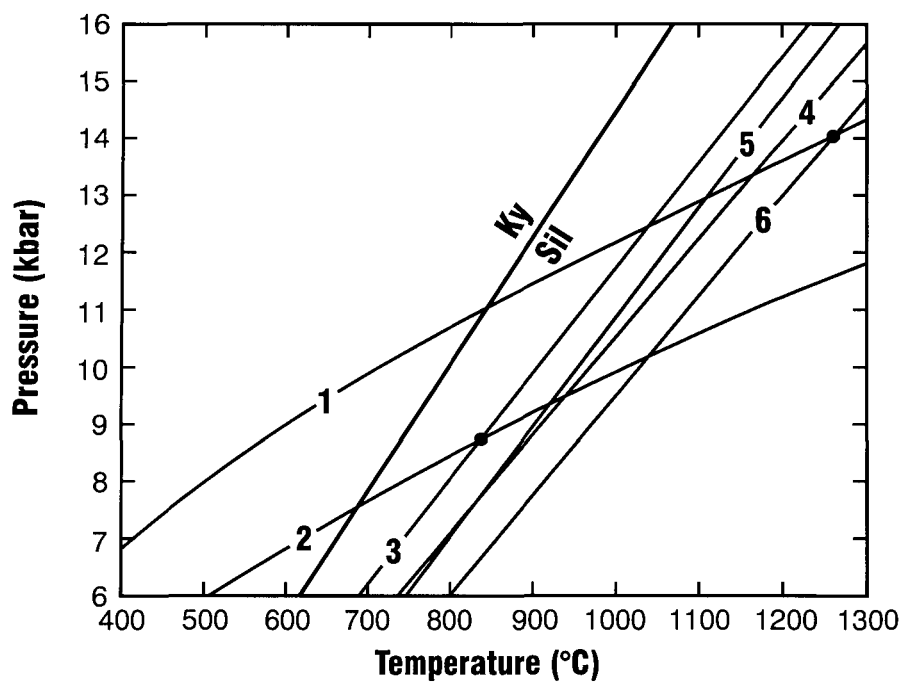




**Figure 3.4:** Compositions of calco-sodic plagioclases and K-feldspar depending of their textural associations.



**Figure 3.5:**  $\text{SiO}_2$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ - $\text{MgO}$ - $\text{FeO}$  3D projection triangle from water.



- 1:**  $2 \text{ Spl} + 5 \alpha\text{Qtz} = \text{Mg-Crd}$   
**2:**  $5 \text{ Sil} + 2 \text{ Spl} = 5 \text{ Crn} + \text{Mg-Crd}$   
**3:**  $2 \text{ Ann} + 9 \alpha\text{Qtz} + 6 \text{ Sil} = 2 \text{ Kfs} + 3 \text{ Fe-Crd} + 2 \text{ H}_2\text{O}$   
**4:**  $6 \text{ Sil} + 9 \alpha\text{Qtz} + 2 \text{ Phl} = 3 \text{ Mg-Crd} + 2 \text{ Kfs} + 2 \text{ H}_2\text{O}$   
**5:**  $15 \text{ Sil} + 2 \text{ Ann} = 3 \text{ Fe-Crd} + 9 \text{ Crn} + 2 \text{ Kfs} + 2 \text{ H}_2\text{O}$   
**6:**  $15 \text{ Sil} + 2 \text{ Phl} = 3 \text{ Mg-Crd} + 9 \text{ Crn} + 2 \text{ Kfs} + 2 \text{ H}_2\text{O}$

**Figure 3.6:** TWEEQU P-T diagram showing calculations of reactions (2), (5), (8) and (9) illustrated in Table 3.6. These reactions correspond to curves respectively noted (3 & 4), (1), (2) and (6) in the Figure.

Sample Note*	Spr1 3-c2a	Spr2 3-c3a	Spr3 8-c2	Spr4 13-c3a	Spr5 7-c1	Spr6 16-c1
SiO <sub>2</sub>	11.62	11.96	11.43	11.77	11.70	11.48
TiO <sub>2</sub>	0.05	0.03	0.01	0.03	0.01	0.01
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	64.32	63.70	64.72	64.49	64.51	65.07
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01
FeO	8.50	8.84	8.32	8.52	8.45	8.12
MnO	0.17	0.19	0.20	0.17	0.15	0.14
MgO	15.25	15.30	15.25	15.02	15.08	15.30
ZnO	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>Total</b>	<b>99.94</b>	<b>100.02</b>	<b>99.93</b>	<b>100.01</b>	<b>99.90</b>	<b>100.13</b>
<i>Structural formulae normalized to 20 oxygens.</i>						
Si	1.39	1.43	1.37	1.41	1.40	1.37
Ti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Al	9.08	8.99	9.13	9.09	9.10	9.14
Cr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe	0.85	0.88	0.83	0.85	0.84	0.81
Mn	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01
Mg	2.72	2.73	2.72	2.68	2.69	2.72
Zn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
X <sub>Mg</sub> <sup>**</sup>	76.20	75.62	76.62	75.92	76.20	77.05
Fe <sup>2+</sup> <sup>***</sup>	0.66	0.69	0.63	0.72	0.70	0.64
Fe <sup>3+</sup> <sup>***</sup>	0.18	0.19	0.19	0.13	0.14	0.17
X <sub>Mg</sub> <sup>***</sup>	0.80	0.80	0.81	0.79	0.79	0.81
X <sub>Fe<sup>3+</sup></sub> <sup>***</sup>	0.21	0.21	0.23	0.15	0.17	0.21

**Table 3.1. Representative analyses of sapphirine.**

(\*): 3-c2a: Spr in a circular corona in Crd matrix (Fig. 3.3e); 3-c3a: Spr in a sub-circular corona within a Spr + Kfs symplectite (Fig. 3.3d); 8-c2: Spr in a Spr + Pl symplectite replacing Sil (Fig. 3.3h); 13-c3a: Spr in a Spr + Kfs symplectite near a Crd porphyroblast (Fig. 3.3j); 7-c1: Spr in a Spr + Kfs symplectite (Figs. 3.3j & 3.3r); 16-c1: Spr in a Spr + Pl symplectite (Fig. 3.3f). (\*\*):  $X_{Mg} = Mg/(Mg+Fe)*100$ ; (\*\*\*):  $Fe^{2+}$ ,  $Fe^{3+}$ ,  $X_{Mg}$ ,  $X_{Fe^{3+}}$  recalculated from stoichiometry with  $X_{Mg} = Mg/(Mg+Fe^{2+})$  and  $X_{Fe^{3+}} = Fe^{3+}/(Fe^{3+}+Fe^{2+})$ . See appendix III for minerals notation.

Sample*	Bt5-c3	Bt8-c3	Bt5-c1
SiO <sub>2</sub>	36.75	36.16	35.76
TiO <sub>2</sub>	2.78	2.84	3.38
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18.86	18.69	18.85
FeO	10.10	9.56	9.62
MgO	16.87	16.25	15.94
CaO	0.02	0.07	0.04
K <sub>2</sub> O	10.56	10.34	10.47
Na <sub>2</sub> O	0.17	0.20	0.11
MnO	0.05	0.05	0.05
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.01	0.01	0.00
F	1.32	1.15	1.08
<b>Total</b>	<b>97.49</b>	<b>95.32</b>	<b>95.30</b>
<i>Structural formulae normalized to 22 oxygens, ignoring H<sub>2</sub>O.</i>			
Si	5.19	5.21	5.17
Ti	0.29	0.31	0.37
Al	3.14	3.18	3.21
Fe	1.19	1.15	1.16
Mg	3.55	3.49	3.44
Ca	0.00	0.01	0.00
K	1.90	1.90	1.93
Na	0.05	0.05	0.03
Mn	0.00	0.01	0.00
Cr	0.00	0.00	0.00
X <sub>Mg</sub> **	74.89	75.21	74.78

Table 3.2. Representative analyses of biotite.

(\*): Bt 5-c3: Bt in porphyroblastic Crd (Fig. 3.3g); Bt 8-c3: Bt in Spr + Kfs symplectite (Fig. 3.3j); Bt 5-c1: Bt in porphyroblastic Pl (Fig. 3.3f). (\*\*):  $X_{Mg} = Mg/(Mg+Fe)*100$ . See appendixIII for minerals notation.

Sample <sup>*</sup>	Pl P18S7	Pl8-c1	Pl P1S5	Pl1-c1	Kfs6-c2a	Kfs4-c2a	Kfs5-c1	Kfs P18S6
SiO <sub>2</sub>	60.00	58.98	59.40	56.67	65.28	64.99	64.55	63.81
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	25.31	26.08	25.78	27.67	19.13	18.98	18.70	18.77
FeO	0.37	0.03	0.50	0.03	0.09	0.16	0.06	0.51
CaO	5.17	7.79	7.17	9.63	0.29	0.13	0.14	0.15
Na <sub>2</sub> O	8.20	7.03	7.47	6.14	3.61	2.89	2.15	2.10
K <sub>2</sub> O	0.61	0.17	0.09	0.15	11.83	12.86	14.21	13.73
<b>Total</b>	<b>99.66</b>	<b>100.08</b>	<b>100.41</b>	<b>100.29</b>	<b>100.23</b>	<b>100.01</b>	<b>99.81</b>	<b>99.07</b>
<i>Structural formulae normalized to 32O.</i>								
Si	10.72	10.51	10.57	10.13	11.89	11.89	11.89	11.83
Al	5.33	5.49	5.40	5.81	4.11	4.11	4.05	4.11
Fe	0.05	0.00	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08
Ca	0.99	1.49	1.36	1.87	0.05	0.00	0.00	0.03
Na	2.84	2.45	2.57	2.19	1.28	1.01	0.75	0.75
K	0.13	0.00	0.01	0.05	2.72	2.99	3.36	3.24
Ab <sup>**</sup>	74.15	62.18	65.39	53.94	32.00	25.25	18.25	18.80
An <sup>**</sup>	25.85	37.82	34.60	46.06				
Or <sup>**</sup>					68.00	74.75	81.75	81.20

**Table 3.3. Representative analyses of feldspars.**

(\*): Kfs6-c2a : Kfs in spinel (Fig. 3.3q); Kfs4-c2a: Kfs in a sub-circular corona (Fig. 3.3e); Kfs5-c1: Kfs in a Spr + Kfs symplectite (Fig. 3.3j); Kfs P18S6: Kfs in Spr (Fig. 3.3r); Pl P18S7: Pl in Spr (Fig. 3.3r); Pl8-c1: in Spr + Pl symplectite (Fig. 3.3h); Pl1-c1: porphyroblastic Pl (Fig. 3.3f). (\*\*): Kfs: Ab = 100Na/(Na + K) & Or = 100K/(Na + K); Pl: Ab = 100Na/(Ca + Na) & An = 100Ca/(Ca + Na). See appendix III for minerals notation.

Sample <sup>*</sup> Note	Crd6-c3 core	Crd6-c3 rim	Crd5-c2a	Crd12-c1
SiO <sub>2</sub>	49.08	49.37	49.17	48.60
TiO <sub>2</sub>	0.00	0.02	0.00	0.01
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	34.07	34.32	34.24	34.28
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.01
FeO	3.52	3.46	3.46	3.52
MnO	0.09	0.13	0.11	0.11
MgO	11.26	11.37	11.36	11.38
Na <sub>2</sub> O	0.15	0.11	0.11	0.09
CaO	0.03	0.00	0.00	0.00
<b>Total</b>	<b>98.20</b>	<b>98.78</b>	<b>98.45</b>	<b>98.00</b>
<i>Structural formulae normalized to 18O.</i>				
Si	4.95	4.95	4.95	4.92
Ti	0.00	0.00	0.00	0.00
Al	4.05	4.05	4.06	4.09
Cr	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe	0.30	0.29	0.29	0.30
Mn	0.00	0.01	0.01	0.01
Mg	1.69	1.70	1.70	1.71
Na	0.03	0.02	0.02	0.02
Ca	0.00	0.00	0.00	0.00
X <sub>Mg</sub> <sup>**</sup>	84.92	85.00	85.00	84.65

**Table 3.4. Representative analyses of cordierite.**

(\*): Crd 6-c3: porphyroblastic Crd near Spr + Kfs symplectite (Fig. 3.3g); Crd 5-c2a: porphyroblastic Crd around the Spl+Spr+Kfs circular corona texture (Fig. 3.3e); Crd 12-c1: Crd in a porphyroblastic Pl (Fig. 3.3f).

(\*\*):  $X_{Mg} = Mg/(Mg+Fe) \cdot 100$ . See appendix III for minerals notation.

Sample <sup>*</sup>	Spl10-c2a	Spl4-c3a
SiO <sub>2</sub>	0.00	0.00
TiO <sub>2</sub>	0.00	0.01
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	63.07	62.99
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.05	0.00
FeO	24.70	25.53
MnO	0.30	0.24
MgO	12.71	12.34
ZnO	0.17	0.21
<b>Total</b>	<b>101.00</b>	<b>101.32</b>
<i>Structural formulae normalized to 32O.</i>		
Si	0.00	0.00
Ti	0.00	0.00
Al	15.70	15.68
Cr	0.00	0.00
Fe	4.36	4.51
Mn	0.05	0.04
Mg	4.00	3.88
Zn	0.03	0.03
Fe <sup>2+*</sup>	3.94	4.06
Fe <sup>3+*</sup>	0.39	0.41
X <sub>Mg</sub> <sup>**</sup>	0.50	0.49
X <sub>Fe<sup>3+</sup></sub> <sup>**</sup>	0.09	0.09

**Table 3.5. Representative analyses of spinel.**

(\*): Spl 10-c2a: Spl in sub-circular corona in Crd porphyroblastic matrix (Fig. 3.3e); Spl 4-c3a: Spl in sub-circular corona in a Spr + Kfs symplectite (Fig. 3.3d). (\*\*): Fe<sup>2+</sup>, Fe<sup>3+</sup>, X<sub>Mg</sub>, X<sub>Fe<sup>3+</sup></sub> recalculated from stoichiometry with X<sub>Mg</sub> = Mg/(Mg+Fe<sup>2+</sup>) and X<sub>Fe<sup>3+</sup></sub> = Fe<sup>3+</sup>/(Fe<sup>3+</sup>+Fe<sup>2+</sup>). See appendix III for minerals notation.



---

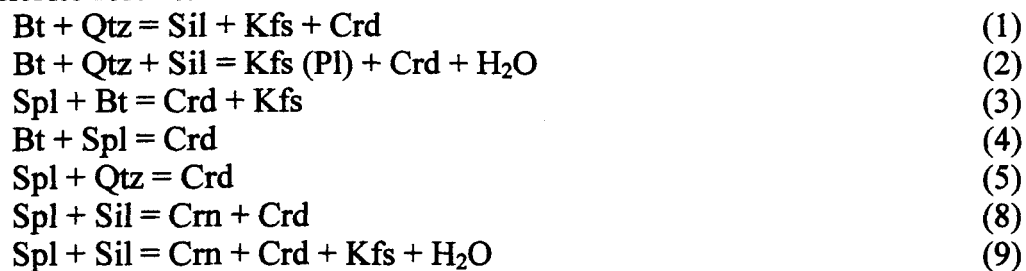
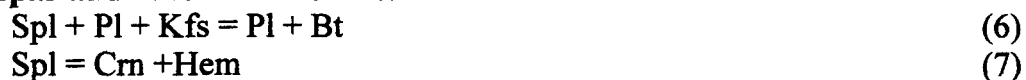
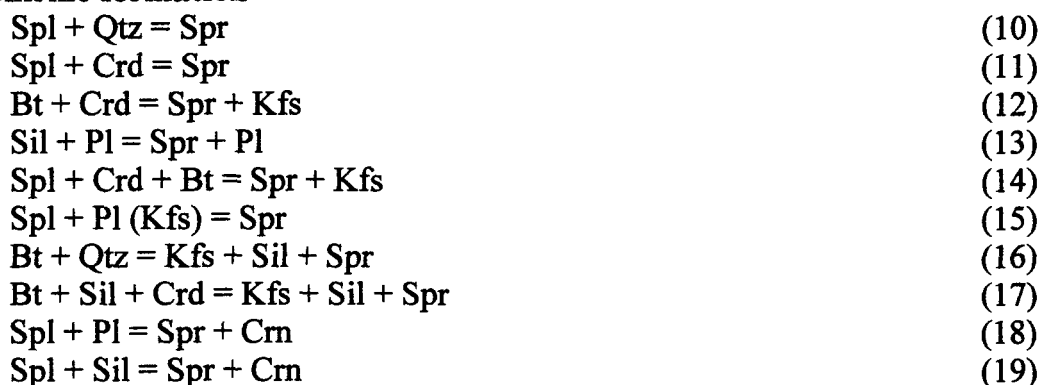
**Cordierite formation****Feldspar and corundum formation****Sapphirine formation**

Table 3.6. Local equilibria reactions related to the textures observed in Fig. 3.3.  
See appendix III for minerals notation..

	Spr	Spl	Ln Kd <sup>*</sup>	T(+/-100°C) <sup>*</sup>
Sample <sup>**</sup>	X <sub>Mg</sub> <sup>***</sup>	X <sub>Mg</sub> <sup>****</sup>		
<b>3251-c2a</b>	0.81	0.54	1.27	<b>816</b>
	0.80	0.50	1.38	<b>842</b>
	0.85	0.55	1.53	<b>876</b>
	0.85	0.50 (core)	1.73	<b>921</b>
<b>3251-c3a</b>	0.79	0.51	1.28	<b>819</b>
	0.79	0.50	1.32	<b>828</b>
	0.79	0.49	1.36	<b>837</b>
	0.80	0.48 (core)	1.46	<b>860</b>
<b>3251-c3ab</b>	0.77	0.55	1.01	<b>757</b>
	0.78	0.50	1.26	<b>814</b>
	0.77	0.48	1.29	<b>821</b>
	0.79	0.50	1.32	<b>828</b>
	0.79	0.48	1.40	<b>846</b>
<b>3251-c1/c2</b>	0.79	0.55	1.12	<b>782</b>
	0.80	0.54	1.22	<b>805</b>
	0.79	0.50	1.32	<b>828</b>
	0.81	0.50	1.45	<b>857</b>
	0.81	0.48	1.53	<b>876</b>

Table 3.7. Calculation of temperature conditions using sapphirine-spinel thermometer (Owen & greenough 1991).

(<sup>\*</sup>):  $Kd = (X_{SplFe}/X_{SplMg}) / (X_{SprFe}/X_{SprMg})$ , and  $T(^{\circ}C) = [800 + (228 * \ln Kd)] - 273$ ;  $X_{Mg} = Mg/(Mg + Fe^{2+})$ , recalculated from stoichiometry. (<sup>\*\*</sup>): 3251-c2a: Spr-Spl in circular corona texture (Fig. 3.3c); 3251-c3a: Spr-Spl sub-circular texture; 3251-c3ab: Spr-Spl with Spr in the Spr+Kfs symplectitic textures (Fig. 3.3b); 3251-c1/c2: Spr-Spl with Spr in the Spr+Pl symplectitic textures. (<sup>\*\*\*</sup>):  $X_{Mg}$  recalculated from stoichiometry with  $X_{Mg} = Mg/(Mg + Fe^{2+})$ . (<sup>\*\*\*\*</sup>):  $X_{Mg} = Mg/(Mg + Fe)$ . See appendix III for minerals notation.

	<b>Crd</b>	<b>Spl</b>	<b>Ln Kd<sup>*</sup></b>	<b>T(°C)<sup>*</sup></b>
<b>Sample<sup>**</sup></b>	<b>X<sub>Mg</sub><sup>***</sup></b>	<b>X<sub>Mg</sub><sup>****</sup></b>		
<b>3251-c3</b>	0.85	0.48	-1.81	<b>958</b>
	0.85	0.50	-1.73	<b>1031</b>
	0.85	0.51	-1.69	<b>1070</b>
<b>3251-c1</b>	0.86	0.48	-1.89	<b>893</b>
	0.86	0.49	-1.85	<b>925</b>
	0.86	0.51	-1.77	<b>993</b>
	0.86	0.54	-1.65	<b>1113</b>
	0.86	0.55	-1.61	<b>1158</b>

Table 3.8. Calculation of temperature conditions using cordierite-spinel thermometer (Vielzeuf, 1983).

(<sup>\*</sup>):  $Kd = (X_{SplMg} * X_{CrdFe}) / (X_{SplFe} * X_{CrdMg})$ , and  $T(^{\circ}C) = [-1763 / (\ln Kd + 0.378)] - 273$ . (<sup>\*\*</sup>): 3251-c3: porphyroblastic Crd (Fig. 3e); 3251-c1: Crd in porphyroblastic Pl (Fig. 3d). (<sup>\*\*\*</sup>):  $X_{Mg} = Mg / (Mg + Fe)$ ; (<sup>\*\*\*\*</sup>):  $X_{Mg}$  recalculated from stoichiometry with  $X_{Mg} = Mg / (Mg + Fe^{2+})$ . See appendix III for minerals notation.

## CONCLUSION

Cette étude vient éclaircir et enrichir les caractéristiques métamorphiques et structurales des terrains archéens de la partie nord de la Province du Supérieur et amène de nouvelles idées dans les domaines du métamorphisme et de la tectonique. De plus, cette recherche contribue au développement de l'exploration minière dans ces régions souvent abandonnées pour leur complexité géologique. Enfin, ce projet à grande échelle représente les premiers pas dans la compréhension du NE de la Province du Supérieur et ouvre de nouvelles perspectives de recherche dans ces terrains archéens.

### APPORT POUR LE DOMAINE DU MÉTAMORPHISME

Cette étude a permis de reconnaître deux périodes au faciès des granulites et d'établir de nouvelles conditions P-T pour les xénolithes métasédimentaires de la Sous-province d'Ashuanipi. Ces données distinguent des périodes métamorphiques  $M_1$  et  $M_2$  reliées à des déformations  $D_1$  et  $D_2$ , et caractérisées par des conditions P-T respectives de  $5 - 8.8 \pm 1$  kbar et de  $720 - 955 \pm 50^\circ\text{C}$  et de  $5.2 - 9.8 \pm 1$  kbar pour des températures de  $710 - 940 \pm 50^\circ\text{C}$ . Ces conditions sont supérieures à celles proposées antérieurement ( $4.7$  à  $6.6$  kbar pour des températures de  $715 - 815^\circ\text{C}$ ; Percival, 1991a) et permettent d'estimer des températures suffisantes pour expliquer le haut degré de fusion partielle qui caractérise l'Ashuanipi. De plus, la coupe géothermobarométrique, de direction nord-sud, effectuée

dans les enclaves, vient appuyer les idées proposées antérieurement (Percival, 1991b; Sawyer, 1997) pour expliquer la variation minéralogique observée dans les diatexites de l'Ashuanipi.

Cette recherche a également permis d'établir les premières données géothermobarométriques caractérisant les métasédiments de la Sous-province d'Opinaca. Bien que reconnue comme un terrain granulitique, la partie est de l'Opinaca n'avait jamais fait l'objet d'étude métamorphique détaillée. L'étendue de l'échantillonnage effectué permet une compréhension thermobarométrique à l'échelle de la sous-province. Comme pour l'Ashuanipi, cette recherche montre que les métasédiments de l'Opinaca sont affectés par deux périodes au faciès des granulites. Une première période  $M_1$ , équivalente à celle observée dans les xénolithes de l'Ashuanipi, donne des conditions P-T de  $5.1 - 8.2 \pm 1$  kbar et de  $720 - 900 \pm 50^\circ\text{C}$  (cordiérite absente). Les assemblages à cordiérite montrent des températures supérieures avec des conditions P-T de  $6.2 - 7.4 \pm 1$  kbar et de  $830 - 960^\circ\text{C} \pm 50^\circ\text{C}$ . Une dernière période tectono-métamorphique  $M_3 - D_3$  affecte les métasédiments de l'Opinaca et se caractérise par des conditions P-T de  $5.8 - 8.3 \pm 1$  kbar pour des températures de  $720 - 890 \pm 50^\circ\text{C}$ .

La similarité des assemblages, la comparaison de la chimie de certains minéraux métamorphiques (Opx, Bt), et la durée de temps limitée entre chaque événement granulitique permettent de conclure que ces trois périodes métamorphiques marquent l'évolution d'un seul événement granulitique qui s'étend sur plus de 65 Ma. Sur le terrain et en lame mince, les recoupements des foliations métamorphiques  $S_1$ ,  $S_2$ , et  $S_3$  ne

traduisent donc pas un métamorphisme « polygranulitique » mais plutôt un événement granulitique « polyphasé » ou « polymétamorphisme ».

Cette étude montre également que les isogrades métamorphiques sont plissés (voir Fig. II dans l'appendice II). De plus, l'analyse minéralogique des lames minces a permis la réinterprétation de la partie sud de la sous-province de La Grande. Une ceinture à dominante métasédimentaire se retrouve entre les paragneiss granulitique de la Sous-province d'Opinaca et la faille de Dalmas. Ces métasédiments forment un vaste synforme et sont métamorphisés au faciès des amphibolites. Cependant, l'étude pétrologique a montré que ce faciès métamorphique est rétrograde, l'assemblage à orthopyroxène + plagioclase étant rétrotransformé en hornblende + magnétite. On observe le même phénomène dans le réservoir du Caniapiscou où une « écaille » de métasédiments au faciès des granulites appartenant à la Sous-province d'Opinaca est localement rétrotransformée au faciès des amphibolites. Cette étude a donc permis de réinterpréter certains isogrades et de discerner les zones métamorphiques progrades des zones rétrogrades.

L'assemblage à sapphirine - quartz trouvé dans le Domaine du Douglas-Harbour (sous-province du Minto) représente une primeur pour la Province du Supérieur. La conservation des phases dans les réactions présentes témoigne d'un métamorphisme isochimique. Ce phénomène est original car il entraîne la préservation d'équilibres locaux responsables du déséquilibre à l'échelle de la lame mince. L'interprétation de ces textures devient alors complexe.

Les conditions P-T calculées à partir de différents thermomètres basés sur les échanges Fe-Mg (sapphirine-spinel: Owen et Greenough, 1991; spinel-cordiérite: Vielzeuf,

1983) et par le logiciel TWEEQU (Berman, 1988, 1991) sont supérieures à celles reconnues antérieurement dans le Grand-Nord du Québec. Les températures s'étalent de  $755 \pm 100^{\circ}\text{C}$  à  $1260 \pm 50^{\circ}\text{C}$  pour des pressions comprises entre 7.5 et  $14 \pm 1$  kbar. Plusieurs interprétations tectoniques peuvent expliquer ces résultats.

## **APPORT POUR LE DOMAINE TECTONIQUE**

Les données structurales recueillies sur le terrain, couplées aux résultats géothermobarométriques, permettent de proposer que la Sous-province d'Opinaca représente un bassin intracontinental archéen formé lors d'une période d'extension antérieure à la déformation régionale  $D_1$ . Les métasédiments de l'Opinaca chevauchent la sous-province de La Grande au nord et la sous-province de l'Opatika au sud. D'anciennes failles normales semblent avoir joué en mouvement inverse. Ces chevauchements sont plissés ce qui entraînent la réorientation locale des pendages des foliations  $S_1$ . La réinterprétation de ces zones majeures de contact peut expliquer les différentes hypothèses formulées antérieurement pour expliquer les relations tectoniques entre les sous-provinces de La Grande et de l'Opinaca (Chartrand et Gauthier, 1995; Gauthier *et al.*, 1996, 1997).

Entre ces zones de chevauchement, la Sous-province d'Opinaca forme une structure à double-vergence reliée à une phase majeure de compression responsable des différentes déformations et périodes métamorphiques observées à l'échelle du Supérieur. Ce type de schéma structural se retrouve dans les bassins sédimentaires plus récents (Paléoproterozoïque à Cénozoïque) mais n'avait jamais été documenté dans l'Archéen. Ces

structures sont alors associées avec des bassins en « pull-apart » et des zones de transpression (McClay et Dooley, 1995).

De plus, cette étude pose un regard plus général sur l'interprétation de l'Ashuanipi. En effet, sur la carte magnétique régionale, l'Ashuanipi semble se poursuivre dans le nord du Supérieur. Les lithologies montrent une direction NO-SE à N-S au nord pour s'orienter E-O dans le sud-est du Supérieur. Cette étude propose donc que l'Ashuanipi se retrouve au sein d'une méga-charnière antiforme plongeant vers l'est. La Sous-province d'Opinaca représente le plan axial de ce méga-pli relié à une phase de déformation  $D_3$ . Cette interprétation à l'échelle régionale pourrait expliquer la localisation du Complexe d'Ashuanipi. Les diatexites de l'Ashuanipi, issues de la fusion de protholites plus anciens, auraient migré vers la charnière, à la façon d'un « saddle-reef ».

La réinterprétation tectono-métamorphique de la Sous-province d'Opinaca soulève des questions sur l'interprétation des sous-provinces du Némiscau, d'English River et du Quético situées à l'ouest de notre secteur d'étude. Ces sous-provinces montrent plusieurs affinités lithologiques et métamorphiques avec l'Opinaca. À l'échelle de la Province du Supérieur, ces différentes ceintures métasédimentaires pourraient représenter des équivalents latéraux de l'Opinaca. Cette étude pourrait donc remettre en question l'interprétation tectonique des grands ensembles métasédimentaires se trouvant dans le Supérieur.

L'étude de la saphirine a contribué à l'établissement du modèle tectonique du Dr J. H. Bédard (CGC) pour le Grand-Nord du Québec. Cet auteur (Bédard, 2002) propose que le métamorphisme et la structure observés dans la sous-province du Minto soient reliés à la



mise en place des différentes intrusions composant la majorité des lithologies du Grand-Nord du Québec. L'assemblage à saphirine - quartz se retrouve dans une brèche localisée au coeur d'un dôme intrusif composé d'enderbites (Complexe de Troie). Les conditions P-T estimées pour cet assemblage ( $9 - 10 \pm 1$  kbar,  $900 - 950 \pm 50^\circ\text{C}$  avec des conditions P-T maximales de  $14 \pm 1$  kbar et de  $1260 \pm 50^\circ\text{C}$ ) peuvent être interprétées au sein d'un modèle de tectonique horizontale et/ou verticale. Les sédiments peuvent avoir été enfouis avant d'être exhumés au sein d'un « metamorphic core complex ».

## **APPORT AU NIVEAU DES SUBDIVISIONS DE LA PROVINCE DU SUPÉRIEUR**

L'Ashuanipi a été classée en tant que 'sous-province' composée essentiellement de granitoïdes diatexitiques issus de la fusion de protholites plus anciens. Ces diatexitites contiennent des enclaves restitiques provenant des sous-provinces de La Grande, de l'Opatika et de l'Opinaca. L'Ashuanipi se réfère donc à un événement métamorphique de haut grade plutôt qu'à une sous-province lithologique à par entière. Cette étude propose donc que cette entité géologique soit caractérisée en tant que 'Complexe d'Ashuanipi' et non comme 'Sous-province d'Ashuanipi'.

Cette recherche permet d'interpréter un nouveau domaine lithologique pour la Province du Supérieur: le Domaine de Caniapiscou. Cartographié et reconnu en 1996 par le MRNQ (Leclair *et al.*, 1998), le Caniapiscou se retrouve au sein du Complexe d'Ashuanipi. Il se compose essentiellement de séquences métavolcaniques et d'intrusions tonalitiques et montre des affinités lithologiques avec la sous-province de La Grande. Cette étude propose

donc que le Domaine de Caniapiscau pourrait représenter une méga-enclave préservée issue de la sous-province de La Grande.

Ce projet, cumulé aux travaux de Goulet (2000), permettent d'apparenter une ceinture volcano-sédimentaire de l'est de la Province du Supérieur à la Bande Volcano-Sédimentaire de la Rivière Eastmain. Incluse dans la sous-province de l'Opatica, la subdivision litho-stratigraphique de la formation de Courcy (Lamothe *et al.*, 1998) se retrouve à proximité du contact Ashuanipi-Opatica (faille du Lac Vallard). Composée essentiellement de conglomérats polygéniques, de formation de fer et de métavolcanites mafiques à felsiques, la formation de Courcy contient plusieurs indices métallifères actuellement explorés pour leur potentiel en métaux de base. Cette ceinture volcano-sédimentaire pourrait représenter un équivalent latéral de la Bande Volcano-Sédimentaire de la Rivière Eastmain Moyenne (BVSREM) étudiée par Boily (1999, 2000) à l'ouest de notre région. De plus, des datations sur les volcanites de la sous-province de La Grande (> à 2708 Ma; David, 1996; Goutier *et al.*, 1998), du Complexe d'Ashuanipi (2711 Ma; David and Parent, 1997) et de la Bande Volcano-sédimentaire de la Rivière Eastmain Moyenne (> à 2705 Ma; Gauthier et Larocque, 1998) témoignent d'une activité volcanique synchrone dans ces entités géologiques. L'âge du volcanisme du Complexe d'Ashuanipi a été obtenu à partir de l'échantillonnage d'une volcanite felsique provenant d'une méga-enclave localisée dans les diatexites. Cette séquence volcanique montre des affinités lithologiques avec les volcanites du Domaine de Caniapiscau.

## APPORT ÉCONOMIQUE

La réinterprétation de la partie nord de la sous-province de l'Opatica a permis de caractériser une nouvelle ceinture volcano-sédimentaire dans la Province du Supérieur. Les affinités lithologiques entre la Formation de Courcy et la BVSREM ouvrent un nouveau territoire à l'exploration minière. En effet, la BVSREM est déjà reconnue pour ses indices métallifères et la Formation de Courcy contient également des indices prometteurs déjà prospectés.

Les failles de Dalmas et du Lac Vallard délimitant le bassin de l'Opinaca au nord et au sud respectivement, contiennent des conglomérats polygéniques. Au contact La Grande-Opinaca (faille de Dalmas), la Formation de Thor se compose de conglomérats à fragments de formation de fer, de volcanites et de tonalites (Lamothe *et al.*, 2000). On retrouve des conglomérats de composition similaire dans la Formation de Courcy, au contact Ashuanipi/Opinaca-Opatica (Goulet, 2000). Labbé et Bélanger (1998) et Goulet (2000) proposent que ces conglomérats montrent des affinités avec les sédiments du 'type Timiscamingue' localisés le long des grands accidents tectoniques de l'Abitibi reconnus pour leurs richesses métallifères (Dimroth *et al.*, 1982; Mueller et Donaldson, 1992). Les indices métallifères retrouvés dans la Formation de Thor et la Formation de Courcy sont anormaux en or et autres métaux et pourraient être aussi prometteurs que ceux présents en Abitibi. Les failles de Dalmas, du Lac Vallard et les autres structures majeures cartographiées pourraient représenter des structures majeures de même ampleur que la faille Cadillac.

Les formations de fer reconnues dans la Sous-province d'Opinaca et dans le Complexe d'Ashuanipi portent également des indices aurifères. De plus, des indices de minéraux industriels tels que les alumino-silicates localisés dans les auréoles de métamorphisme de contact autour des intrusions, constituent des zones-cibles pour l'exploration minière.

## **PERSPECTIVES POUR DES RECHERCHES ULTÉRIEURES**

Cette étude à grande échelle a permis une première approche de ces terrains archéens. Cependant, des zones d'intérêt majeur nécessitent des travaux de cartographie détaillés. Les grandes failles chevauchantes marquant les contacts entre les différentes sous-provinces et d'autres structures majeures constituent des cibles importantes pour l'exploration minière et pour la compréhension de la mise en place de ces grands ensembles géologiques.

Les lithologies et la stratigraphie de la Formation de Courcy doivent être étudiées en détails afin de permettre une comparaison minutieuse avec la Bande Volcano-Sédimentaire de la Rivière Eastmain et de développer son intérêt économique prometteur. L'étude métamorphique des lithologies ainsi que la datation des unités volcaniques felsiques contribueraient à la compréhension de l'évolution tectono-thermale de cette ceinture volcano-sédimentaire.

L'analyse géochimique des roches volcaniques retrouvées dans les sous-provinces de La Grande, d'Opinaca, d'Opatika et dans le Complexe d'Ashuanipi dans la région

étudiée ici, permettrait d'améliorer le modèle tectonique proposée dans ce projet. Ces analyses amèneraient une meilleure compréhension du contexte tectonique de mise en place de ces grands ensembles géologiques.

Cette étude a permis de distinguer et de dater quatre périodes de déformation dans le sud-est de la Province du Supérieur. D'ampleur régionale, ces déformations devraient se retrouver à l'échelle de toute la partie est du craton archéen. Malheureusement, la caractérisation des déformations reconnues pendant les différents travaux effectués dans le Grand-Nord du Québec ne correspond pas toujours à celle utilisée dans le Moyen-Nord. Cela entraîne des difficultés majeures pour relier l'évolution tectono-métamorphique des grands ensembles litho-tectoniques de la Province du Supérieur. Une étude basée sur la synthèse des données structurales du Grand-Nord vs celles du Moyen-Nord permettrait une compréhension à grande échelle de la tectonique polyphasée du craton archéen au Québec.

Cette recherche a permis de localiser les différents isogrades métamorphiques progrades et rétrogrades dans le sud-est de la Province du Supérieur. Ces isogrades sont plissés et semblent se prolonger vers le nord du craton (voir l'appendice II, Fig. II). Cependant, l'absence d'étude métamorphique détaillée dans le Grand-Nord de la Province du Supérieur empêche la corrélation des zones métamorphiques identifiées dans le Moyen-Nord avec celles du Grand-Nord.

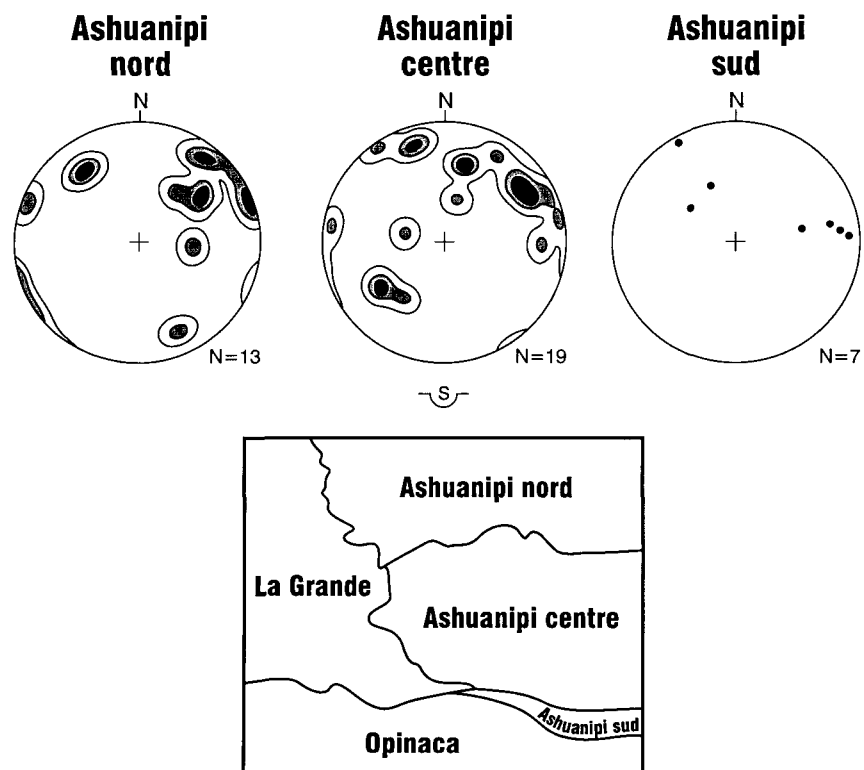
De plus, les travaux effectués dans le Grand-Nord du Québec a permis la reconnaissance de plusieurs bassins sédimentaires archéens d'extension variable. Ces bassins montrent des affinités lithologiques et métamorphiques avec la Sous-province d'Opinaca. La compréhension de l'évolution tectono-métamorphique affectant ces

métasédiments permettrait une étude comparative et leur possible relation avec l'Opinaca et contribuerait à l'extension du modèle proposé dans cette recherche doctorale.

L'interprétation tectono-métamorphique du Complexe d'Ashuanipi proposée dans cette étude est basée sur l'étude structurale de la région et sur l'évolution métamorphique des xénolithes métasédimentaires présents dans les diatexites représentant la lithologie majeure de cet entité géologique. Cependant, une étude métamorphique et isotopique détaillée des granitoïdes diatexitiques contribueraient grandement à la compréhension de l'Ashuanipi.

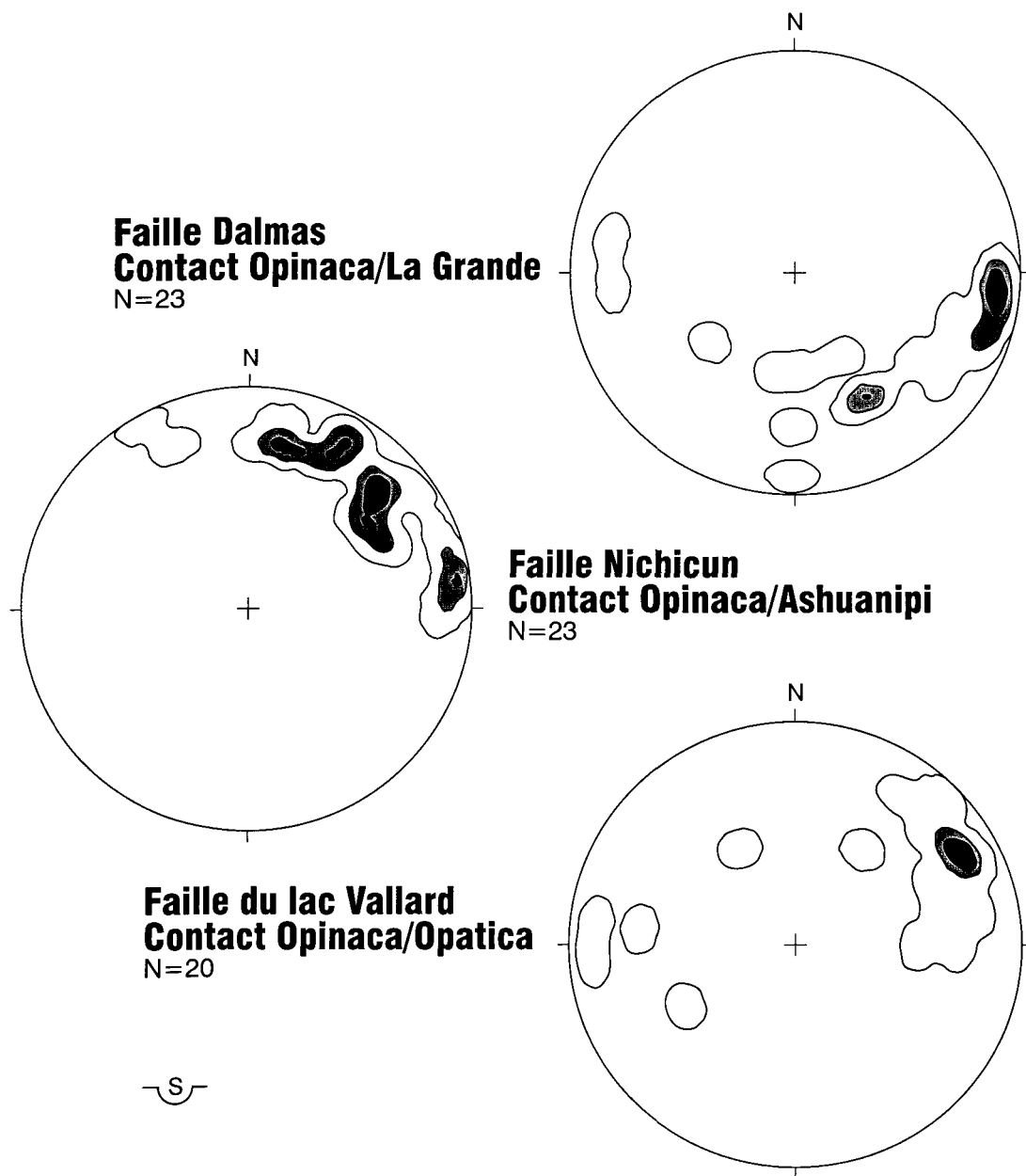
# **APPENDICE I**

## **FIGURES COMPLÉMENTAIRES AUX CHAPITRES I ET II**

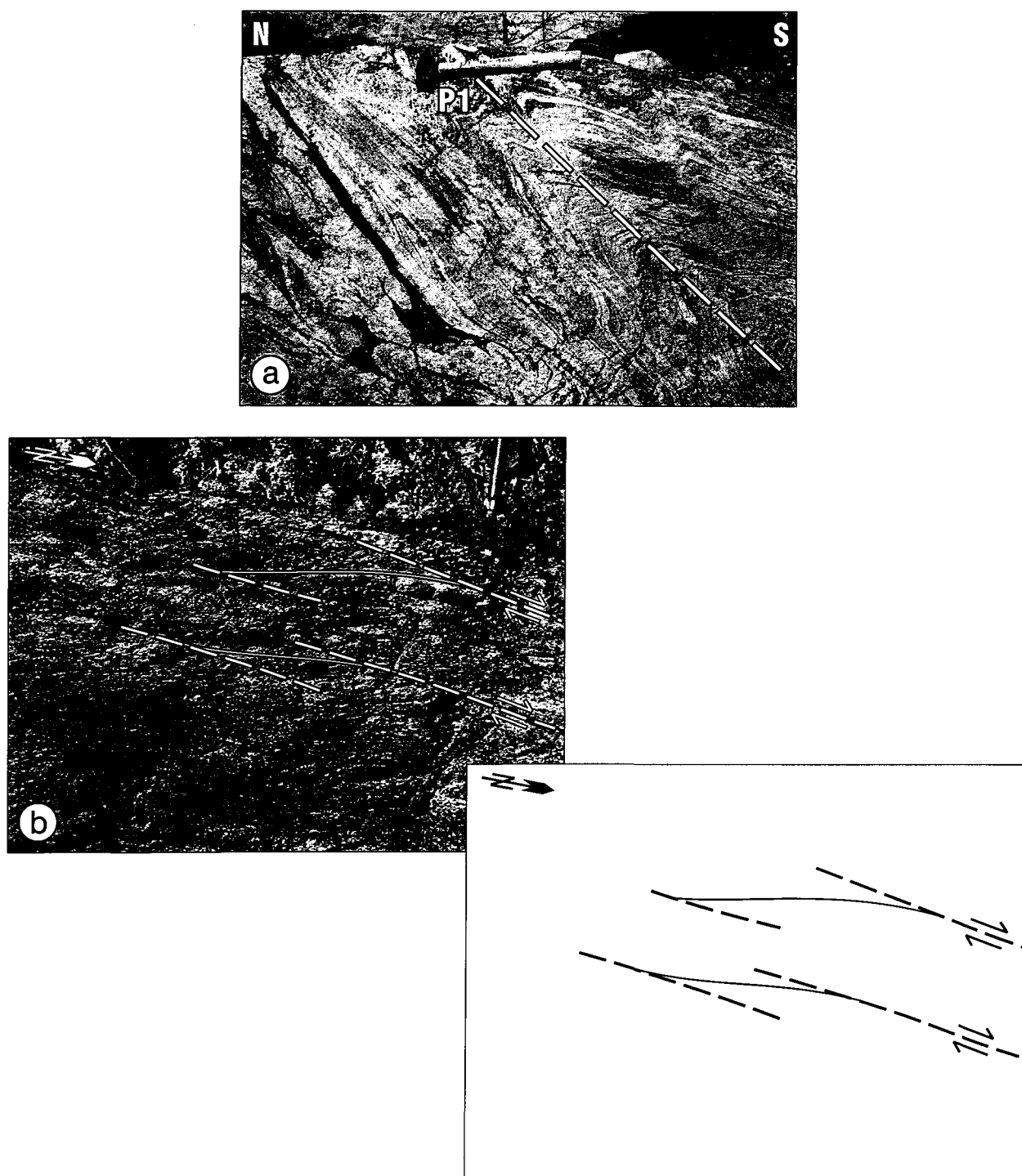


**Figure 1a:** Stéréogrammes des linéations L<sub>2</sub> dans le Complexe d'Ashuanipi (modifiée de Lamothe *et al.*, 2000).





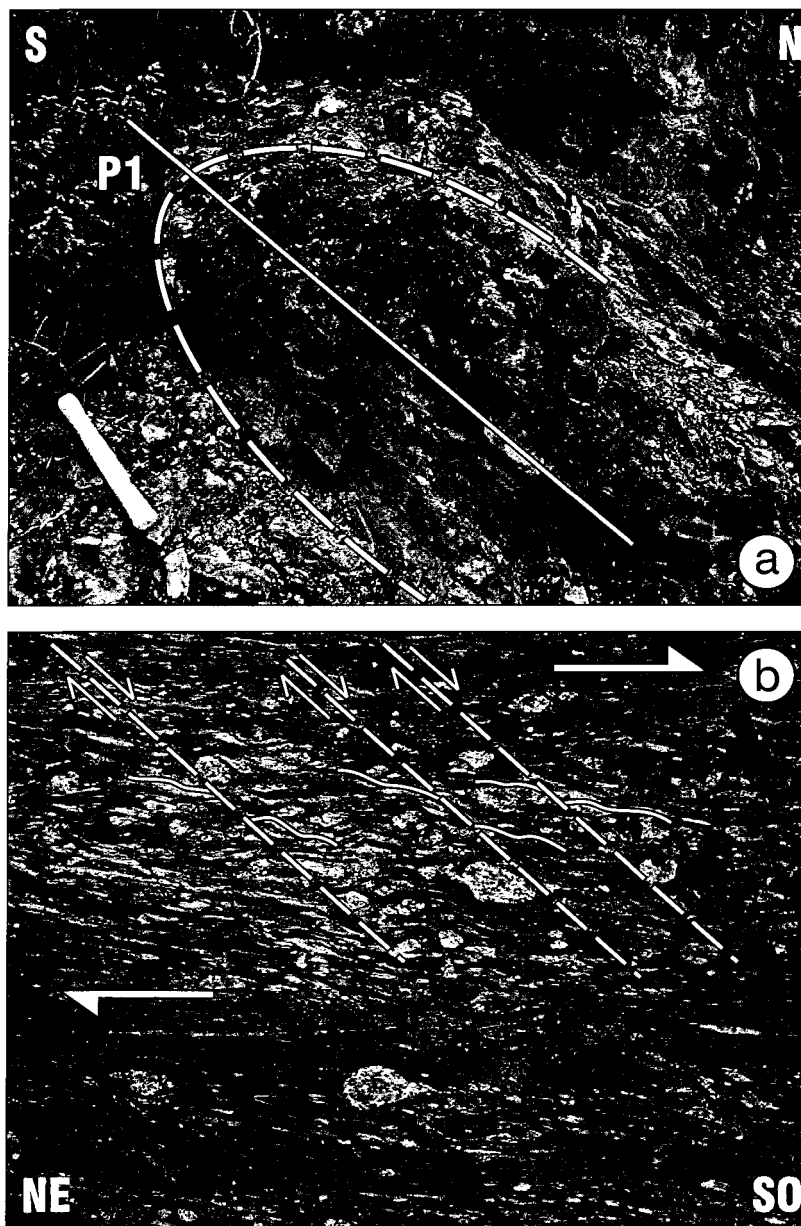
**Figure Ib:** Stéréogrammes des linéations le long des failles majeures.



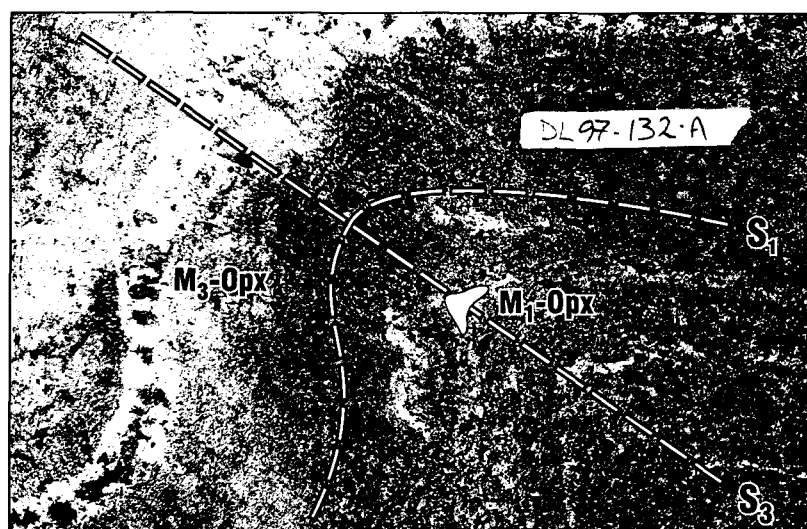
**Figure 1c:** (a) Pli  $P_1$  déversé vers le nord-nord-ouest le long de la faille Dalmas; (b) C/S le long de la faille Dalmas. Ces structures montrent un mouvement vers le nord de la Sous-province d'Opinaca sur la Sous-province de La Grande.



**Figure Id:** Feldspath asymétrique montrant des ombres de pression dans les diatexites de l'Ashuanipi le long de la faille Nichicun. L'enroulement du cristal montre un mouvement vers le sud du Complexe d'Ashuanipi sur la Sous-province d'Opinaca.



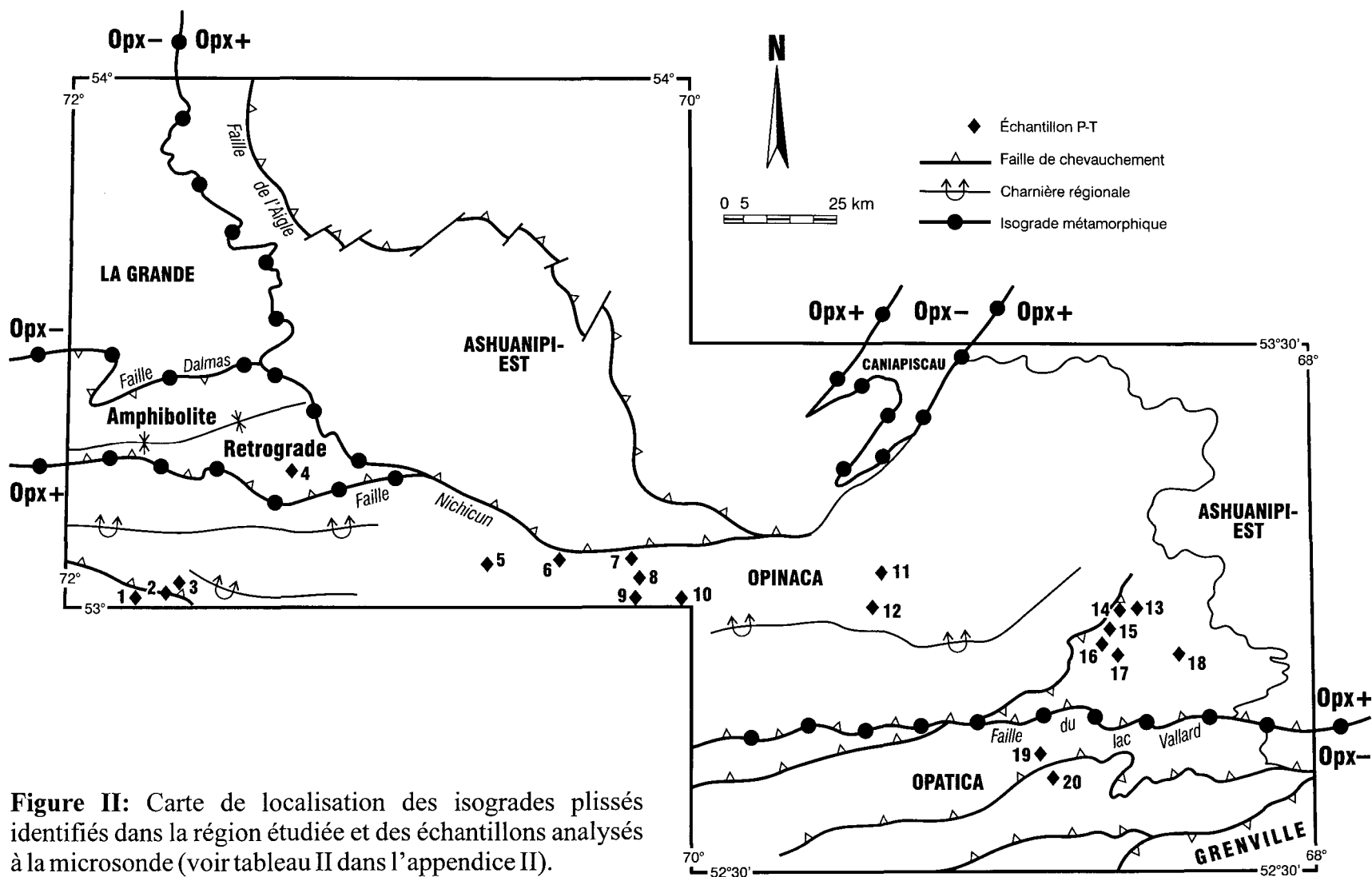
**Figure 1e:** (a) Pli P1 déversé vers le sud le long de la faille du lac Vallard; (b) Ecc dans les conglomérats situés le long de la faille Vallard. Ces deux types de structure montrent un mouvement vers le sud-sud-ouest de la Sous-province d'Opinaca sur la Sous-province d'Opatica.



**Figure If:** Foliations S<sub>1</sub>-S<sub>3</sub> dans les gneiss de la Sous-province d'Opinaca. Les M<sub>1</sub>-Opx sont replissés selon S<sub>3</sub>. Les M<sub>3</sub>-Opx se retrouvent dans le plan axial des plis P<sub>3</sub>.

## **APPENDICE II**

**Figure des isogrades reconnus régionalement**  
**Tableau de localisation des échantillons étudiés pour la**  
**géothermobarométrie dans les chapitres I, II et III**  
**(coordonnées UTM).**



**Figure II:** Carte de localisation des isogrades plissés identifiés dans la région étudiée et des échantillons analysés à la microsonde (voir tableau II dans l'appendice II).

# sur la Fig. II (chapitre I)	# du MRNQ	Estant (coordonnées UTM)	Nordant (coordonnées UTM)
1	4147	312660	5876703
2	4155	320063	5878205
3	4123	322225	5880882
4	4184	345343	5903347
5	4193	385651	5877688
6	4174	410288	5883053
7	4163	424684	5884625
8	4189	425929	5879767
9	4186	424366	5877356
10	4164	432647	5874654
11	4134	464240	5878550
12	4124	567410	5866250
13	4083	513780	5871200
14	4084	510925	5871100
15	4091	506795	5867910
16	4093	506700	5864710
17	4087	514250	5867850
18	4100	519060	5861060
19	4146	517040	5834800
20	4118	512500	5831820

# sur la Fig. 2.2 (# du MRNQ identiques) (chapitre II)	Estant (coordonnées UTM)	Nordant (coordonnées UTM)
1046	554406	5982315
1029	537983	5972048
1044	595299	5946823
25	537783	5912370
2117	577566	5916820
4154	573812	5940834
3036	569478	5941995
2121	575861	5888764

Échantillon à saphirine (chapitre III) (numéro identique au MRNQ)	Estant (coordonnées UTM)	Nordant (coordonnées UTM)
3251	385726	6545614

# du MRNQ Échantillons analysés mais non utilisés	Estant (coordonnées UTM)	Nordant (coordonnées UTM)
4020	590350	5973630
12	405972	6032954

**Tableau II.** Coordonnées UTM des échantillons analysés en microsonde dans les chapitres I, II et III. Les échantillons non-utilisés seront exploités dans des articles à venir.



## **APPENDICE III**

### **ABRÉVIATIONS DES MINÉRAUX UTILISÉS**

**SELON KRETZ (1983)**

Abréviation	Minéral
Ab	Albite
Alm	Almandin
An	Anorthite
Ann	Annite
Bt	Biotite
Cpx	Clinopyroxène
Crd	Cordiérite
Crn	Corindon
En	Enstatite
Fs	Ferrosilite
Grs	Grossulaire
Grt	Grenat
Hem	Hématite
Kfs	Feldspath
Opx	Orthopyroxène
Or	Orthose
Phl	Phlogopite
Pl	Plagioclase
Prp	Pyrope
Qtz	Quartz
Sil	Sillimanite
Spl	Spinelle
Spr	Saphirine
Sps	Spessartine

## **APPENDICE IV**

### **ANALYSES MICROSONDE DES PYROXÈNES**

Lames minces # 4084, 4118, 4020, 4134, 4134A, 4093, 4124, 4100A, 4087, 4091, 4164, 4163, 4186, 4189, 4155A1, 4174, 4147, et 12: métasédiments de la sous-province d'Opinaca.

Lames minces # 1046, 1029, 1044, 25, 2117, 4154, 3036, et 2121: xénolithes métasédimentaire du Complexe d'Ashuanipi.

Abréviations minérales selon Kretz (1983) (appendice III):Opx: orthopyroxène.

	Na2O	MgO	TiO2	K2O	FeO	SiO2	Al2O3	CaO	MnO	Cr2O3	Total	# de la lame et localisation des points analysés
	(wt%)	(wt%)	(wt%)	(wt%)	(wt%)	(wt%)	(wt%)	(wt%)	(wt%)	(wt%)	(wt%)	
#												
1	0.010	19.807	0.233	0.027	24.441	48.635	6.190	0.101	0.346	0.060	99.85	4084c1-Opx1
2	0.000	22.373	0.045	0.033	22.289	50.809	4.207	0.065	0.228	0.053	100.102	4084c1-Opx2
3	0.000	19.750	0.193	0.003	24.800	47.879	6.422	0.097	0.300	0.031	99.475	4084c1-Opx3
4	0.024	21.637	0.078	0.023	22.566	49.099	5.215	0.045	0.277	0.114	99.078	4084c1-Opx4
5	0.004	20.561	0.064	0.026	23.521	49.072	5.822	0.085	0.295	0.115	99.565	4084c1-Opx5
6	0.024	20.816	0.064	0.020	23.519	49.269	5.353	0.071	0.298	0.075	99.509	4084c1-Opx6
7	0.013	19.901	0.055	0.024	24.182	48.705	5.953	0.089	0.295	0.051	99.268	4084c1-Opx7
8	0.000	19.236	0.083	0.019	25.525	48.275	6.492	0.080	0.365	0.111	100.186	4084c2-Opx1
9	0.008	19.364	0.076	0.012	25.639	48.619	5.501	0.084	0.340	0.090	99.733	4084c2-Opx2
10	0.001	18.897	0.785	0.015	25.553	47.364	6.352	0.064	0.350	0.051	99.432	4084c2-Opx3
11	0.007	19.674	0.745	0.013	25.241	47.745	5.870	0.043	0.340	0.107	99.785	4084c2-Opx4
12	0.023	19.744	0.054	0.011	24.887	48.608	6.145	0.032	0.346	0.045	99.895	4084c2-Opx5
13	0.000	19.414	0.109	0.022	24.864	48.380	6.557	0.046	0.357	0.094	99.843	4084c2-Opx6
14	0.017	19.430	0.067	0.025	25.248	47.555	6.098	0.082	0.342	0.094	98.958	4084c3-Opx1
15	0.007	19.022	0.083	0.013	25.685	47.519	5.958	0.076	0.332	0.122	98.817	4084c3-Opx2
16	0.011	18.914	0.106	0.009	24.438	47.777	7.278	0.069	0.337	0.098	99.037	4084c3-Opx3
17	0.027	19.044	0.088	0.019	25.412	48.001	6.387	0.080	0.353	0.070	99.481	4084c7-Opx1
18	0.000	18.843	0.114	0.005	25.541	47.989	6.447	0.072	0.373	0.074	99.458	4084c7-Opx2
19	0.011	19.021	0.049	0.017	25.428	48.403	6.204	0.064	0.355	0.058	99.61	4084c7-Opx3
20	0.023	19.684	0.064	0.014	25.794	49.866	3.893	0.055	0.381	0.075	99.849	4084c7-Opx4
21	0.025	18.558	0.072	0.021	25.742	47.960	6.612	0.074	0.345	0.043	99.452	4084c7-Opx5
22	0.018	18.539	0.067	0.035	26.037	47.856	5.558	0.055	0.371	0.080	98.616	4084c7-Opx6
23	0.000	18.633	0.101	0.022	25.915	48.121	5.918	0.068	0.371	0.006	99.155	4084c7-Opx7
24	0.028	18.808	0.060	0.005	25.119	47.472	6.732	0.051	0.364	0.095	98.734	4084c5-Opx1
25	0.013	18.486	0.112	0.020	24.916	47.175	6.741	0.082	0.333	0.042	97.92	4084c5-Opx2
26	0.000	18.612	0.094	0.030	25.108	47.080	6.563	0.055	0.359	0.107	98.008	4084c5-Opx3
27	0.000	18.834	0.079	0.003	25.069	47.161	6.599	0.051	0.355	0.105	98.256	4084c5-Opx4
28	0.010	18.608	0.053	0.015	25.795	47.451	6.480	0.062	0.342	0.182	98.998	4084c5-Opx5
29	0.000	18.637	0.120	0.029	25.960	47.947	6.462	0.057	0.371	0.053	99.636	4084c5-Opx6
30	0.012	18.921	0.078	0.017	25.530	47.980	6.528	0.064	0.375	0.086	99.591	4084c5-Opx7
31	0.000	18.801	0.070	0.003	25.701	47.576	5.926	0.030	0.383	0.075	98.565	4084c5-Opx8
32	0.012	18.959	0.091	0.021	25.336	48.269	6.162	0.060	0.365	0.082	99.357	4084c5-Opx9
33	0.011	18.643	0.068	0.013	25.886	47.961	5.970	0.081	0.404	0.087	99.124	4084c5-Opx10
34	0.009	19.505	0.052	0.035	23.810	48.081	5.945	0.071	0.205	0.142	97.855	4118c2-Opx1
35	0.008	20.508	0.062	0.025	23.149	49.376	4.720	0.047	0.193	0.125	98.213	4118c2-Opx2
36	0.014	20.215	0.029	0.014	23.426	48.587	5.092	0.061	0.188	0.125	97.751	4118c2-Opx3
37	0.009	19.811	0.058	0.016	23.684	48.724	5.802	0.029	0.190	0.127	98.45	4118c2-Opx4
38	0.011	18.970	0.097	0.017	26.539	50.239	3.750	0.133	0.237	0.070	100.063	4020c2-Opx1
39	0.006	18.635	0.090	0.015	26.708	50.023	3.658	0.151	0.250	0.062	99.598	4020c2-Opx2
40	0.007	18.582	0.123	0.000	26.838	49.810	3.808	0.162	0.233	0.050	99.613	4020c2-Opx3
41	0.003	18.918	0.073	0.023	26.863	49.942	3.844	0.169	0.250	0.043	100.128	4020c1-Opx1
42	0.000	18.648	0.103	0.012	27.273	49.810	3.530	0.078	0.260	0.060	99.774	4020c1-Opx2
43	0.030	18.490	1.801	0.006	26.426	48.976	3.365	0.186	0.254	0.063	99.597	4020c1-Opx3
44	0.008	19.154	0.104	0.024	26.768	50.298	3.383	0.162	0.226	0.045	100.172	4020c1-Opx4
45	0.000	18.908	0.095	0.027	27.164	50.295	3.455	0.110	0.213	0.092	100.359	4020c1-Opx5
46	0.000	18.726	0.106	0.007	27.212	50.218	3.424	0.130	0.218	0.048	100.089	4020c1-Opx6
47	0.013	17.643	0.089	0.015	27.789	46.953	5.841	0.194	0.079	0.216	98.832	4134c1-Opx1
48	0.006	17.742	0.119	0.023	27.278	47.115	6.614	0.160	0.032	0.200	99.289	4134c1-Opx2
49	0.000	18.202	0.095	0.030	26.595	47.717	7.233	0.123	0.066	0.237	100.298	4134c1-Opx3
50	0.006	18.404	0.097	0.005	26.778	47.102	6.715	0.132	0.045	0.256	99.54	4134c1-Opx4
51	0.000	18.432	0.056	0.014	26.841	47.962	6.532	0.089	0.047	0.254	100.227	4134c1-Opx5
52	0.000	18.405	0.097	0.001	26.720	47.997	6.996	0.092	0.031	0.213	100.552	4134c1-Opx6
53	0.014	18.838	0.226	0.019	26.167	47.899	6.498	0.122	0.062	0.245	100.09	4134c1-Opx7
54	0.000	18.853	0.065	0.016	26.036	48.314	6.648	0.128	0.024	0.234	100.318	4134c1-Opx8
55	0.010	18.733	0.096	0.017	25.674	48.775	6.790	0.107	0.030	0.224	100.456	4134c1-Opx9
56	0.004	18.322	0.089	0.013	26.829	48.557	6.564	0.134	0.040	0.224	100.776	4134c1-Opx10
57	0.023	18.074	0.109	0.008	27.127	48.297	6.582	0.196	0.055	0.243	100.714	4134c1-Opx11
58	0.003	18.161	0.113	0.026	26.945	48.681	6.047	0.180	0.042	0.264	100.462	4134c1-Opx12
59	0.000	18.086	0.125	0.013	27.502	48.669	5.660	0.107	0.044	0.253	100.459	4134c2-Opx1
60	0.013	18.737	0.039	0.045	26.787	49.296	5.272	0.073	0.041	0.235	100.538	4134c2-Opx2

61	0.013	18.493	0.057	0.026	26.186	47.854	6.721	0.092	0.056	0.220	99.718	4134c2-Opx3
62	0.002	18.816	0.093	0.007	26.605	48.602	5.522	0.104	0.059	0.248	100.058	4134c2-Opx4
63	0.015	18.491	0.142	0.022	26.756	48.431	6.188	0.124	0.050	0.288	100.507	4134c2-Opx5
64	0.005	18.554	0.119	0.013	26.375	47.660	6.351	0.101	0.030	0.253	99.461	4134c2-Opx6
65	0.014	18.771	0.076	0.022	26.154	47.915	6.576	0.094	0.018	0.241	99.881	4134c3-Opx1
66	0.005	19.006	0.047	0.038	26.162	48.280	6.090	0.092	0.047	0.228	99.995	4134c3-Opx2
67	0.012	18.978	0.125	0.015	25.737	47.313	7.281	0.144	0.048	0.219	99.872	4134c3-Opx3
68	0.009	18.895	0.119	0.014	25.999	47.419	7.374	0.109	0.053	0.221	100.212	4134c3-Opx4
69	0.011	18.878	0.278	0.023	25.933	47.997	6.749	0.113	0.067	0.237	100.286	4134c3-Opx5
70	0.000	18.001	0.152	0.004	26.503	46.394	7.898	0.118	0.055	0.216	99.341	4134c3-Opx6
71	0.019	18.217	0.096	0.017	26.786	47.117	6.708	0.117	0.052	0.237	99.366	4134c3-Opx7
72	0.010	18.159	0.088	0.026	27.258	47.522	5.589	0.109	0.029	0.242	99.032	4134c3-Opx8
73	0.002	18.544	0.105	0.007	27.055	49.032	5.009	0.075	0.049	0.285	100.163	4134c3-Opx9
74	0.010	18.885	0.077	0.027	26.247	48.229	6.541	0.134	0.035	0.249	100.434	4134c6-Opx1
75	0.005	18.977	0.129	0.000	25.404	47.808	7.153	0.122	0.049	0.247	99.894	4134c6-Opx2
76	0.015	19.277	0.081	0.036	25.451	48.267	6.212	0.134	0.037	0.210	99.72	4134c6-Opx3
77	0.000	19.062	0.056	0.007	25.749	48.630	6.554	0.135	0.055	0.247	100.495	4134c6-Opx4
78	0.016	18.666	0.113	0.020	25.928	48.045	7.033	0.119	0.037	0.215	100.192	4134c6-Opx5
79	0.001	19.092	0.129	0.019	25.343	47.981	7.060	0.134	0.025	0.242	100.026	4134c6-Opx6
80	0.012	18.530	0.111	0.036	25.834	47.814	7.264	0.096	0.069	0.243	100.009	4134c6-Opx7
81	0.017	18.304	0.132	0.045	25.892	47.192	6.408	0.126	0.051	0.215	98.382	4134c6-Opx8
82	0.072	18.658	0.130	0.011	25.932	47.804	6.941	0.152	0.058	0.261	100.019	4134c6-Opx9
83	0.000	19.136	0.141	0.005	25.315	47.287	7.443	0.099	0.041	0.198	99.665	4134c6-Opx10
84	0.009	19.130	0.160	0.026	25.147	47.612	7.264	0.100	0.069	0.256	99.773	4134c6-Opx11
85	0.000	18.975	0.159	0.011	25.297	47.367	7.219	0.106	0.056	0.237	99.427	4134c6-Opx12
86	0.002	19.780	0.117	0.027	24.507	47.554	6.811	0.118	0.039	0.246	99.201	4134c6-Opx13
87	0.020	19.203	0.098	0.021	25.611	47.059	6.679	0.129	0.036	0.281	99.137	4134c6-Opx14
88	0.011	19.244	0.117	0.019	25.569	48.063	6.294	0.100	0.033	0.214	99.664	4134c6-Opx15
89	0.000	18.755	0.107	0.018	25.530	47.235	7.009	0.130	0.025	0.232	99.041	4134c6-Opx16
90	0.018	18.728	0.132	0.009	25.576	46.933	7.291	0.125	0.036	0.221	99.069	4134c6-Opx17
91	0.009	19.776	0.425	0.010	24.424	46.896	7.277	0.143	0.035	0.205	99.2	4134c8-Opx1
92	0.000	19.850	0.091	0.013	24.527	47.304	6.879	0.090	0.047	0.220	99.021	4134c8-Opx2
93	0.011	19.779	0.145	0.019	24.485	47.804	7.242	0.111	0.048	0.224	99.868	4134c8-Opx3
94	0.021	19.781	0.058	0.018	24.175	47.775	7.452	0.160	0.066	0.242	99.748	4134c8-Opx4
95	0.000	19.529	0.105	0.027	24.719	47.820	7.575	0.082	0.063	0.188	100.108	4134c8-Opx5
96	0.029	19.806	0.089	0.032	24.658	48.132	7.310	0.091	0.074	0.181	100.402	4134c8-Opx6
97	0.011	19.793	0.423	0.008	24.836	47.855	7.399	0.136	0.033	0.216	100.71	4134c8-Opx7
98	0.014	19.932	0.232	0.018	24.313	47.630	6.997	0.120	0.062	0.210	99.528	4134c8-Opx8
99	0.008	19.735	0.102	0.021	24.403	48.493	7.181	0.103	0.040	0.217	100.303	4134c8-Opx9
100	0.026	20.171	0.091	0.012	23.838	48.206	7.186	0.107	0.049	0.207	99.893	4134c8-Opx10
101	0.006	21.014	0.070	0.011	23.549	49.214	6.365	0.129	0.037	0.175	100.57	4134c8-Opx11
102	0.010	22.109	0.149	0.024	21.913	48.951	6.593	0.083	0.029	0.157	100.018	4134c8-Opx12
103	0.000	21.087	0.132	0.020	22.879	48.186	6.787	0.105	0.055	0.203	99.454	4134c8-Opx13
104	0.000	20.193	0.126	0.004	24.329	48.399	6.839	0.146	0.022	0.198	100.256	4134c8-Opx14
105	0.000	18.362	0.115	0.017	26.762	47.695	6.069	0.083	0.048	0.246	99.397	4134c5-Opx1
106	0.026	18.348	0.068	0.007	27.091	47.811	5.567	0.159	0.029	0.297	99.403	4134c5-Opx2
107	0.009	19.028	0.143	0.012	25.924	47.286	6.755	0.134	0.044	0.226	99.561	4134c5-Opx3
108	0.012	18.619	0.105	0.028	25.500	46.718	7.856	0.111	0.043	0.250	99.242	4134c5-Opx4
109	0.008	18.596	0.072	0.010	25.853	46.320	7.120	0.133	0.036	0.252	98.4	4134c5-Opx5
110	0.015	18.199	0.465	0.031	27.366	46.632	6.346	0.077	0.054	0.269	99.454	4134c5-Opx6
111	0.016	18.843	0.053	0.008	25.530	47.323	7.351	0.110	0.052	0.217	99.503	4134c5-Opx7
112	0.008	18.900	0.081	0.011	25.636	47.712	7.546	0.077	0.039	0.217	100.227	4134c5-Opx8
113	0.033	18.778	0.084	0.030	26.197	45.771	6.726	0.148	0.088	0.249	98.104	4134c5-Opx9
114	0.014	19.694	0.124	0.012	24.650	48.308	7.335	0.090	0.042	0.240	100.509	4134c7-Opx1
115	0.000	19.891	0.117	0.010	24.962	48.747	6.589	0.107	0.046	0.204	100.673	4134c7-Opx2
116	0.000	19.427	0.132	0.026	24.704	48.017	7.427	0.104	0.063	0.228	100.128	4134c7-Opx3
117	0.005	19.555	0.107	0.014	24.521	47.963	7.268	0.071	0.047	0.234	99.785	4134c7-Opx4
118	0.000	19.554	0.089	0.021	24.773	48.150	7.522	0.097	0.046	0.221	100.473	4134c7-Opx5
119	0.015	19.414	0.133	0.026	24.777	48.112	7.783	0.095	0.046	0.223	100.624	4134c7-Opx6
120	0.006	19.262	0.071	0.026	24.700	47.960	7.426	0.084	0.077	0.220	99.832	4134c7-Opx7
121	0.012	19.451	0.094	0.000	24.956	48.238	7.142	0.124	0.075	0.231	100.323	4134c7-Opx8
122	0.000	19.450	0.086	0.000	25.096	47.949	6.889	0.112	0.030	0.199	99.811	4134c7-Opx9
123	0.021	19.601	0.073	0.004	24.997	48.225	6.798	0.079	0.084	0.216	100.098	4134c7-Opx10
124	0.029	19.230	0.199	0.024	24.838	48.156	7.459	0.106	0.053	0.236	100.33	4134c7-Opx11

125	0.006	19.471	0.097	0.020	24.955	48.290	7.004	0.091	0.044	0.253	100.231	4134c7-Opx12
126	0.010	19.403	0.063	0.012	24.979	48.636	7.180	0.063	0.080	0.228	100.654	4134c7-Opx13
127	0.013	18.917	3.426	0.026	25.363	45.978	5.759	0.048	0.065	0.220	99.815	4134c7-Opx14
128	0.000	19.386	0.133	0.017	24.797	48.048	7.208	0.141	0.040	0.228	99.998	4134c7-Opx15
129	0.017	19.983	0.098	0.011	24.092	48.510	7.261	0.105	0.057	0.202	100.336	4134c7-Opx16
130	0.017	21.161	0.067	0.014	23.257	49.627	6.149	0.129	0.027	0.184	100.632	4134c7-Opx17
131	0.002	19.748	0.095	0.003	24.191	48.025	8.202	0.140	0.058	0.197	100.661	4134c7-Opx18
132	0.016	20.619	0.151	0.000	24.329	49.668	6.569	0.097	0.071	0.198	101.718	4134c7-Opx19
133	0.006	20.127	0.128	0.028	24.218	48.509	6.543	0.066	0.042	0.175	99.842	4134c7-Opx20
134	0.005	20.617	0.272	0.018	23.557	48.084	6.875	0.073	0.060	0.219	99.78	4134c7-Opx21
135	0.000	22.224	0.191	0.025	22.258	49.849	6.214	0.091	0.033	0.194	101.079	4134c7-Opx22
136	0.000	21.485	0.095	0.033	22.607	49.646	6.531	0.099	0.034	0.189	100.719	4134c7-Opx23
137	0.001	20.329	0.043	0.005	24.251	48.734	5.662	0.053	0.122	0.240	99.44	4093A1c1-Opx1
138	0.000	20.636	0.061	0.003	23.836	49.283	5.695	0.022	0.072	0.240	99.848	4093A1c1-Opx2
139	0.015	20.532	0.022	0.025	24.073	49.136	5.856	0.027	0.076	0.215	99.977	4093A1c1-Opx3
140	0.000	20.954	0.082	0.023	24.160	50.154	5.108	0.044	0.075	0.271	100.871	4093A1c1-Opx4
141	0.004	20.697	0.110	0.024	24.376	48.872	5.524	0.075	0.072	0.272	100.026	4093A1c1-Opx5
142	0.012	20.896	0.125	0.011	24.122	49.366	5.677	0.022	0.066	0.208	100.505	4093A1c1-Opx6
143	0.005	20.223	0.112	0.030	23.995	49.557	5.643	0.106	0.092	0.231	99.994	4093A1c1-Opx7
144	0.000	20.657	0.067	0.007	24.211	48.798	5.805	0.055	0.047	0.209	99.856	4093A1c1-Opx8
145	0.000	20.444	0.076	0.015	24.060	48.886	5.646	0.114	0.074	0.249	99.564	4093A1c1-Opx9
146	0.000	20.055	0.092	0.035	24.501	48.205	5.676	0.052	0.073	0.272	98.961	4093A1c1-Opx10
147	0.000	20.378	0.091	0.023	24.518	48.544	5.832	0.078	0.085	0.223	99.772	4093A1c1-Opx11
148	0.011	20.189	0.134	0.007	24.553	48.939	5.688	0.110	0.072	0.228	99.931	4093A1c1-Opx12
149	0.006	20.187	0.093	0.021	24.577	48.723	6.053	0.139	0.070	0.261	100.13	4093A1c1-Opx13
150	0.016	20.071	0.084	0.013	24.895	48.444	5.635	0.100	0.070	0.275	99.603	4093A1c1-Opx14
151	0.000	20.298	0.091	0.026	24.074	48.640	5.761	0.080	0.076	0.242	99.288	4093A1c1-Opx15
152	0.000	20.481	0.072	0.019	24.525	48.804	5.883	0.077	0.062	0.223	100.146	4093A1c4-Opx1
153	0.017	20.403	0.057	0.011	24.343	48.971	5.832	0.083	0.061	0.250	100.028	4093A1c4-Opx2
154	0.000	19.863	0.115	0.014	24.478	48.122	5.645	0.102	0.077	0.265	98.681	4093A1c4-Opx3
155	0.000	20.552	0.040	0.000	24.260	49.426	5.334	0.139	0.056	0.236	100.043	4093A1c4-Opx4
156	0.010	20.873	0.063	0.025	24.260	48.891	5.577	0.067	0.069	0.245	100.08	4093A1c4-Opx5
157	0.007	21.122	0.070	0.014	23.289	49.854	5.748	0.121	0.105	0.238	100.568	4093A1c4-Opx6
158	0.000	20.379	0.120	0.033	24.488	49.298	5.733	0.073	0.056	0.249	100.429	4093A1c4-Opx7
159	0.000	20.231	0.082	0.007	24.548	49.174	5.795	0.098	0.072	0.251	100.258	4093A1c4-Opx8
160	0.000	21.928	0.064	0.015	22.701	49.369	5.604	0.078	0.066	0.173	99.998	4134A1c4-Opx1
161	0.017	21.251	0.157	0.018	22.275	49.141	7.159	0.126	0.026	0.145	100.315	4134A1c4-Opx2
162	0.002	21.693	0.065	0.035	22.154	48.233	6.305	0.083	0.029	0.146	98.745	4134A1c4-Opx3
163	0.000	21.309	0.091	0.000	22.915	48.705	6.320	0.127	0.048	0.171	99.686	4134A1c4-Opx4
164	0.010	20.199	0.130	0.031	24.098	48.101	7.252	0.123	0.055	0.173	100.172	4134A1c4-Opx5
165	0.012	20.000	0.456	0.012	24.420	47.840	7.376	0.138	0.053	0.209	100.516	4134A1c4-Opx6
166	0.007	20.353	0.078	0.018	23.924	49.077	7.025	0.104	0.045	0.187	100.818	4134A1c4-Opx7
167	0.013	21.058	0.043	0.026	22.907	49.476	6.076	0.134	0.044	0.153	99.93	4134A1c4-Opx8
168	0.012	20.656	0.091	0.008	23.655	48.538	7.432	0.139	0.052	0.172	100.755	4134A1c4-Opx9
169	0.027	19.422	0.060	0.007	24.904	47.466	7.312	0.105	0.048	0.238	99.589	4134A1c4-Opx10
170	0.019	19.205	0.066	0.007	24.907	47.219	7.514	0.169	0.071	0.218	99.395	4134A1c4-Opx11
171	0.027	18.960	0.404	0.024	25.305	47.425	7.313	0.124	0.052	0.233	99.867	4134A1c4-Opx12
172	0.013	19.184	0.079	0.016	24.075	46.278	7.573	0.134	0.074	0.207	97.633	4134A1c4-Opx13
173	0.017	19.218	0.099	0.016	24.917	46.928	7.374	0.129	0.055	0.250	99.003	4134A1c4-Opx14
174	0.012	19.289	0.115	0.027	24.711	46.945	7.702	0.092	0.063	0.222	99.178	4134A1c4-Opx15
175	0.013	19.284	0.048	0.018	25.250	47.595	7.070	0.153	0.023	0.220	99.674	4134A1c4-Opx16
176	0.000	19.266	0.095	0.029	25.226	47.362	7.104	0.115	0.045	0.227	99.469	4134A1c4-Opx17
177	0.000	18.970	0.131	0.019	25.989	47.742	6.580	0.109	0.049	0.258	99.847	4134A1c4-Opx18
178	0.020	19.950	0.079	0.007	24.457	48.030	6.451	0.093	0.033	0.200	99.32	4134A1c4-Opx19
179	0.000	19.723	0.098	0.011	24.617	47.857	7.364	0.100	0.059	0.237	100.066	4134A1c4-Opx20
180	0.016	19.770	0.087	0.022	24.772	47.889	6.823	0.059	0.085	0.252	99.775	4134A1c4-Opx21
181	0.034	20.000	0.267	0.020	24.831	48.748	5.872	0.040	0.093	0.213	100.118	4134A1c4-Opx22
182	0.018	19.751	0.095	0.030	24.820	48.282	5.959	0.060	0.090	0.264	99.369	4134A1c4-Opx23
183	0.045	19.841	0.042	0.018	24.948	49.263	5.881	0.028	0.118	0.241	100.425	4134A1c4-Opx24
184	0.030	19.816	0.055	0.015	24.938	48.380	5.766	0.028	0.112	0.244	99.384	4134A1c4-Opx25
185	0.001	20.027	0.078	0.021	25.128	48.749	5.219	0.060	0.106	0.233	99.622	4134A1c4-Opx26
186	0.027	19.924	0.076	0.002	24.963	49.668	5.031	0.104	0.095	0.234	100.124	4134A1c4-Opx27
187	0.007	20.165	0.129	0.012	25.213	49.195	4.993	0.063	0.086	0.244	100.107	4134A1c4-Opx28
188	0.000	20.099	0.152	0.007	25.064	48.568	5.008	0.063	0.072	0.242	99.275	4134A1c4-Opx29

189	0.015	20.057	0.056	0.026	24.952	49.011	4.863	0.007	0.090	0.259	99.336	4134A1c4-Opx30
190	0.018	20.246	0.101	0.024	24.993	49.889	4.904	0.082	0.123	0.263	100.643	4134A1c4-Opx31
191	0.034	20.302	0.131	0.007	24.975	49.076	4.865	0.052	0.098	0.212	99.752	4134A1c4-Opx32
192	0.021	20.365	0.098	0.023	25.151	49.251	4.952	0.048	0.088	0.230	100.227	4134A1c4-Opx33
193	0.003	19.971	0.107	0.018	25.063	48.094	5.022	0.087	0.101	0.271	98.737	4134A1c4-Opx34
194	0.023	19.911	0.090	0.002	25.226	48.687	4.835	0.052	0.113	0.268	99.207	4134A1c4-Opx35
195	0.003	20.035	0.074	0.015	25.175	49.295	4.652	0.030	0.143	0.251	99.673	4134A1c4-Opx36
196	0.012	20.044	0.079	0.017	25.092	48.477	5.222	0.079	0.075	0.286	99.383	4134A1c4-Opx37
197	0.027	19.746	0.115	0.021	25.264	48.055	5.209	0.055	0.081	0.261	98.834	4134A1c4-Opx38
198	0.012	19.674	0.082	0.033	25.057	48.652	6.121	0.067	0.054	0.239	99.991	4134A1c4-Opx39
199	0.000	19.405	0.113	0.020	25.191	47.810	6.438	0.093	0.059	0.242	99.371	4134A1c4-Opx40
200	0.034	19.386	0.102	0.009	25.180	48.169	6.718	0.058	0.075	0.240	99.971	4134A1c4-Opx41
201	0.038	19.631	0.067	0.023	25.075	48.117	5.937	0.071	0.062	0.270	99.291	4134A1c4-Opx42
202	0.033	19.658	0.376	0.021	25.212	48.426	6.089	0.071	0.108	0.227	100.221	4134A1c4-Opx43
203	0.024	19.717	0.227	0.024	24.931	49.086	6.172	0.090	0.083	0.258	100.612	4134A1c4-Opx44
204	0.000	19.552	0.226	0.020	25.142	48.310	6.089	0.106	0.068	0.266	99.779	4134A1c4-Opx45
205	0.003	19.551	0.108	0.042	24.970	48.352	6.465	0.029	0.048	0.228	99.796	4134A1c4-Opx46
206	0.001	19.718	0.108	0.006	24.823	48.606	6.153	0.057	0.082	0.250	99.804	4134A1c4-Opx47
207	0.005	19.686	0.081	0.012	24.823	48.038	6.170	0.063	0.083	0.223	99.184	4134A1c4-Opx48
208	0.012	19.984	0.276	0.019	24.961	48.833	6.003	0.042	0.068	0.231	100.429	4134A1c4-Opx49
209	0.017	19.967	0.337	0.021	24.796	47.969	5.796	0.085	0.075	0.274	99.337	4134A1c4-Opx50
210	0.005	20.199	0.084	0.011	24.728	48.673	6.080	0.061	0.083	0.241	100.165	4134A1c4-Opx51
211	0.000	20.282	0.172	0.011	24.508	48.507	5.634	0.066	0.110	0.202	99.492	4134A1c4-Opx52
212	0.002	20.356	0.094	0.030	24.369	48.304	6.096	0.047	0.103	0.235	99.636	4134A1c4-Opx53
213	0.000	19.929	0.076	0.014	24.436	46.757	6.609	0.062	0.083	0.223	98.189	4134A1c4-Opx54
214	0.028	19.506	0.090	0.034	24.881	48.353	6.034	0.025	0.113	0.253	99.317	4134A1c4-Opx55
215	0.014	19.492	0.098	0.030	25.134	47.080	6.311	0.046	0.061	0.267	98.533	4134A1c4-Opx56
216	0.008	19.681	0.087	0.020	24.852	47.451	6.310	0.050	0.068	0.257	98.784	4134A1c4-Opx57
217	0.018	19.341	0.126	0.016	24.995	47.815	6.835	0.131	0.042	0.253	99.572	4134A1c4-Opx58
218	0.007	19.655	0.116	0.030	24.930	47.576	6.903	0.088	0.039	0.259	99.603	4134A1c4-Opx59
219	0.000	19.644	0.113	0.015	25.065	47.465	6.538	0.025	0.072	0.275	99.212	4134A1c4-Opx60
220	0.016	19.639	0.169	0.000	24.928	48.031	6.478	0.061	0.073	0.253	99.648	4134A1c4-Opx61
221	0.020	19.566	0.107	0.000	24.744	48.291	7.308	0.102	0.082	0.225	100.445	4134A1c4-Opx62
222	0.000	19.327	0.154	0.018	24.874	47.659	6.886	0.089	0.073	0.238	99.318	4134A1c4-Opx63
223	0.007	19.384	0.094	0.026	24.704	47.369	7.094	0.128	0.062	0.211	99.079	4134A1c4-Opx64
224	0.009	19.306	0.132	0.007	24.752	46.960	7.170	0.071	0.029	0.261	98.697	4134A1c4-Opx65
225	0.030	19.347	0.260	0.008	24.765	47.964	7.302	0.067	0.052	0.271	100.066	4134A1c4-Opx66
226	0.011	19.649	0.248	0.015	24.612	47.497	7.141	0.112	0.044	0.220	99.549	4134A1c4-Opx67
227	0.008	19.743	0.083	0.034	24.410	47.632	7.247	0.088	0.071	0.228	99.544	4134A1c4-Opx68
228	0.020	19.784	0.084	0.017	24.306	47.864	7.656	0.087	0.056	0.186	100.06	4134A1c4-Opx69
229	0.007	19.935	0.095	0.009	23.898	47.408	7.415	0.063	0.059	0.190	99.079	4134A1c4-Opx70
230	0.021	20.457	0.092	0.074	21.811	44.034	8.474	0.099	0.069	0.153	95.284	4134A1c4-Opx71
231	0.016	19.066	0.105	0.013	25.992	47.841	6.364	0.068	0.046	0.205	99.716	4134A1c4-Opx72
232	0.000	20.210	0.815	0.019	25.171	46.981	5.322	0.154	0.034	0.221	98.927	4134A1c4-Opx73
233	0.000	19.582	0.080	0.020	25.662	48.075	5.973	0.074	0.042	0.230	99.738	4134A1c4-Opx74
234	0.000	18.991	0.141	0.026	25.476	46.764	7.279	0.140	0.043	0.256	99.116	4134A1c4-Opx75
235	0.000	19.399	0.100	0.002	25.364	46.959	7.204	0.121	0.042	0.240	99.431	4134A1c4-Opx76
236	0.000	19.545	0.083	0.019	25.592	48.036	6.654	0.159	0.025	0.245	100.358	4134A1c4-Opx77
237	0.013	19.593	0.061	0.027	25.227	47.508	6.706	0.186	0.043	0.244	99.608	4134A1c4-Opx78
238	0.000	19.346	0.093	0.026	25.361	47.548	6.135	0.084	0.046	0.238	98.877	4134A1c4-Opx79
239	0.000	19.234	0.111	0.018	25.296	47.716	7.021	0.149	0.014	0.197	99.756	4134A1c4-Opx80
240	0.001	20.606	0.096	0.010	23.627	48.743	6.967	0.061	0.070	0.206	100.387	4134A1Opx-Opx81
241	0.002	20.129	0.104	0.020	23.913	47.947	6.777	0.049	0.071	0.207	99.219	4134A1Opx-Opx82
242	0.004	20.053	0.262	0.017	23.961	47.662	7.264	0.099	0.115	0.191	99.628	4134A1Opx-Opx83
243	0.005	20.814	0.078	0.027	23.110	48.722	7.198	0.109	0.045	0.166	100.274	4134A1Opx-Opx84
244	0.003	20.253	0.211	0.009	23.992	48.314	7.157	0.087	0.084	0.225	100.335	4134A1Opx-Opx85
245	0.002	20.964	0.083	0.004	23.097	48.515	6.570	0.068	0.041	0.190	99.534	4134A1Opx-Opx86
246	0.005	19.829	0.083	0.022	24.794	47.760	6.635	0.206	0.068	0.147	99.549	4124Ac1-Opx1
247	0.000	20.175	0.126	0.026	24.486	47.672	6.693	0.181	0.062	0.110	99.531	4124Ac1-Opx2
248	0.008	20.092	0.085	0.041	24.045	46.379	6.843	0.146	0.074	0.161	97.874	4124Ac1-Opx3
249	0.005	20.648	0.044	0.019	24.027	47.172	6.510	0.140	0.062	0.132	98.759	4124Ac1-Opx4
250	0.013	20.272	0.259	0.007	24.284	46.890	7.106	0.063	0.063	0.127	99.084	4124Ac1-Opx8
251	0.020	18.957	0.128	0.027	25.956	47.188	6.628	0.256	0.063	0.186	99.409	4124Ac5-Opx1
252	0.016	18.918	0.125	0.004	25.801	46.675	6.754	0.258	0.036	0.165	98.752	4124Ac5-Opx2

253	0.000	18.688	0.089	0.024	26.466	46.640	6.533	0.375	0.057	0.175	99.047	4124Ac5-Opx3
254	0.008	18.993	0.125	0.015	25.944	46.587	6.405	0.272	0.047	0.189	98.585	4124Ac5-Opx4
255	0.012	19.063	0.135	0.017	25.835	47.373	6.974	0.184	0.066	0.176	99.835	4124Ac5-Opx5
256	0.011	19.158	0.135	0.024	25.932	46.761	6.844	0.198	0.076	0.178	99.317	4124Ac5-Opx6
257	0.023	18.878	0.101	0.017	25.882	47.526	6.966	0.181	0.049	0.182	99.805	4124Ac5-Opx7
258	0.000	19.307	0.083	0.016	25.496	47.584	6.187	0.178	0.050	0.164	99.065	4124Ac5-Opx8
259	0.000	19.267	0.068	0.023	25.766	47.873	6.636	0.208	0.047	0.161	100.049	4124Ac5-Opx9
260	0.008	19.288	0.083	0.017	25.855	47.475	6.076	0.152	0.045	0.165	99.164	4124Ac5-Opx10
261	0.020	19.040	0.097	0.026	25.754	47.376	6.647	0.217	0.042	0.190	99.409	4124Ac5-Opx11
262	0.011	19.038	0.111	0.023	25.990	48.050	6.475	0.208	0.038	0.164	100.108	4124Ac5-Opx12
263	0.036	19.052	0.105	0.008	25.607	46.620	6.681	0.208	0.098	0.173	98.588	4124Ac5-Opx13
264	0.008	21.203	0.130	0.012	23.492	50.434	5.208	0.160	0.087	0.259	100.993	4100A-Opx1
265	0.000	20.941	0.110	0.009	23.281	49.057	5.371	0.133	0.101	0.219	99.222	4100A-Opx2
266	0.006	20.812	0.144	0.021	23.419	50.397	5.388	0.138	0.072	0.256	100.653	4100A-Opx3
267	0.043	21.070	0.110	0.007	23.462	50.864	5.315	0.129	0.093	0.232	101.325	4100A-Opx4
268	0.007	21.477	0.115	0.021	23.046	50.669	5.488	0.226	0.083	0.224	101.356	4100A-Opx5
269	0.000	21.145	0.058	0.016	23.614	50.542	5.579	0.126	0.086	0.260	101.426	4100A-Opx6
270	0.000	20.353	0.109	0.022	24.128	50.100	5.306	0.060	0.073	0.269	100.42	4100A-Opx7
271	0.010	19.687	0.093	0.015	23.923	50.225	5.225	0.142	0.090	0.253	99.663	4100A-Opx8
272	0.025	20.171	0.116	0.001	24.834	50.135	5.295	0.135	0.069	0.266	101.047	4100Ac5-Opx1
273	0.007	19.960	0.139	0.020	24.622	50.090	5.568	0.114	0.110	0.281	100.911	4100Ac5-Opx2
274	0.006	20.001	0.127	0.025	24.665	49.632	5.755	0.119	0.110	0.282	100.722	4100Ac5-Opx3
275	0.000	20.018	0.076	0.025	24.943	50.217	5.600	0.122	0.079	0.269	101.349	4100Ac5-Opx4
276	0.009	19.536	0.115	0.021	24.809	49.446	5.888	0.134	0.098	0.263	100.319	4100Ac5-Opx5
277	0.000	18.802	0.136	0.029	24.537	47.471	5.903	0.103	0.113	0.311	97.405	4100Ac5-Opx6
278	0.018	20.533	0.084	0.008	23.524	50.175	5.837	0.140	0.093	0.223	100.635	4100Ac2-Opx1
279	0.025	20.707	0.118	0.017	23.714	50.229	5.673	0.134	0.081	0.247	100.945	4100Ac2-Opx2
280	0.018	20.414	0.122	0.036	24.074	49.988	5.735	0.082	0.121	0.234	100.824	4100Ac2-Opx3
281	0.010	20.317	0.165	0.007	24.178	49.767	5.634	0.146	0.122	0.237	100.583	4100Ac2-Opx4
282	0.000	20.829	0.071	0.017	24.413	50.663	4.657	0.119	0.058	0.217	101.044	4100Ac2-Opx5
283	0.028	20.508	0.047	0.028	24.121	50.205	5.697	0.138	0.072	0.236	101.08	4100Ac2-Opx6
285	0.000	20.136	0.070	0.022	24.371	48.906	6.810	0.112	0.050	0.226	100.703	4087Ac1-Opx1
286	0.000	20.475	0.083	0.014	23.724	49.319	6.315	0.129	0.066	0.220	100.345	4087Ac1-Opx2
287	0.013	19.918	0.136	0.029	23.808	48.823	7.102	0.110	0.084	0.223	100.246	4087Ac1-Opx3
288	0.003	20.064	0.139	0.033	24.250	48.904	7.016	0.109	0.059	0.237	100.814	4087Ac1-Opx4
289	0.025	20.546	0.083	0.011	23.798	49.179	6.954	0.119	0.053	0.184	100.952	4087Ac1-Opx5
290	0.015	20.080	0.100	0.027	24.298	48.622	6.733	0.088	0.072	0.192	100.227	4087Ac1-Opx6
291	0.000	20.187	0.130	0.014	24.393	49.348	6.290	0.056	0.070	0.184	100.672	4087Ac1-Opx7
292	0.027	21.883	0.087	0.032	22.052	50.033	6.084	0.128	0.059	0.182	100.567	4087Ac2-Opx1
293	0.000	21.540	0.109	0.024	22.747	49.224	6.499	0.082	0.059	0.181	100.465	4087Ac2-Opx2
294	0.000	21.832	0.099	0.014	22.926	49.586	5.850	0.118	0.219	0.159	100.803	4087Ac2-Opx3
295	0.000	21.700	0.065	0.028	22.967	50.555	5.534	0.106	0.059	0.187	101.201	4087Ac2-Opx4
296	0.000	21.415	0.066	0.011	23.580	50.162	5.514	0.126	0.054	0.180	101.108	4087Ac2-Opx5
297	0.000	21.469	0.123	0.010	23.272	49.854	6.272	0.091	0.043	0.174	101.308	4087Ac2-Opx6
298	0.000	21.245	0.082	0.028	23.629	49.682	6.363	0.110	0.065	0.188	101.392	4087Ac2-Opx7
299	0.004	20.834	0.060	0.020	24.178	49.370	6.223	0.154	0.073	0.189	101.105	4087Ac2-Opx8
300	0.002	21.899	0.080	0.025	22.411	49.778	5.909	0.089	0.047	0.168	100.408	4087Ac4-Opx1
301	0.000	21.164	0.076	0.006	23.174	49.660	6.644	0.057	0.050	0.193	101.024	4087Ac4-Opx2
302	0.009	21.095	0.044	0.014	23.687	49.259	6.981	0.104	0.056	0.188	101.437	4087Ac4-Opx3
303	0.015	20.903	0.093	0.016	23.583	48.901	7.029	0.084	0.072	0.196	100.892	4087Ac4-Opx4
304	0.027	20.805	0.156	0.012	23.524	49.324	6.780	0.074	0.077	0.198	100.977	4087Ac4-Opx5
305	0.013	20.531	0.102	0.019	23.695	48.778	7.047	0.072	0.088	0.229	100.574	4087Ac4-Opx6
306	0.000	20.735	0.096	0.015	23.690	49.173	7.058	0.093	0.090	0.183	101.133	4087Ac4-Opx7
307	0.007	20.779	0.088	0.008	23.600	49.031	6.977	0.105	0.104	0.229	100.928	4087Ac4-Opx8
308	0.026	20.530	0.133	0.026	23.585	48.852	7.067	0.088	0.052	0.193	100.552	4087Ac4-Opx9
309	0.000	21.055	0.055	0.017	23.594	49.169	6.558	0.055	0.054	0.159	100.716	4087Ac4-Opx10
310	0.011	20.893	0.077	0.015	23.490	49.224	6.599	0.075	0.057	0.179	100.62	4087Ac4-Opx11
311	0.000	21.036	0.051	0.002	23.118	49.204	6.825	0.110	0.080	0.195	100.621	4087Ac4-Opx12
312	0.000	20.624	0.086	0.034	23.581	48.775	7.050	0.056	0.075	0.178	100.459	4087Ac4-Opx13
313	0.020	20.936	0.048	0.000	23.679	49.136	6.635	0.072	0.077	0.188	100.791	4087Ac4-Opx14
314	0.020	21.004	0.096	0.028	23.566	49.186	6.780	0.045	0.102	0.212	101.039	4087Ac4-Opx15
315	0.005	20.919	0.117	0.019	23.469	48.841	7.082	0.043	0.067	0.194	100.756	4087Ac4-Opx16
316	0.027	20.595	0.099	0.018	23.708	48.600	7.088	0.052	0.100	0.172	100.459	4087Ac4-Opx17
317	0.000	20.312	0.104	0.026	23.595	48.098	7.203	0.071	0.132	0.224	99.765	4087Ac4-Opx18



318	0.017	20.582	0.092	0.012	23.428	48.340	7.324	0.064	0.082	0.183	100.124	4087Ac4-Opx19
319	0.000	20.604	0.074	0.031	23.609	48.487	7.531	0.086	0.100	0.216	100.738	4087Ac4-Opx20
320	0.012	20.887	0.085	0.024	23.564	48.727	6.834	0.077	0.083	0.180	100.473	4087Ac4-Opx21
321	0.000	20.825	0.071	0.006	23.329	48.764	6.934	0.052	0.117	0.196	100.294	4087Ac4-Opx22
322	0.019	20.837	0.053	0.007	23.272	49.306	6.771	0.095	0.080	0.212	100.652	4087Ac4-Opx23
323	0.000	20.805	0.105	0.008	23.347	48.921	6.956	0.097	0.113	0.177	100.529	4087Ac4-Opx24
324	0.024	20.795	0.069	0.006	23.426	48.852	7.020	0.066	0.089	0.224	100.571	4087Ac4-Opx25
325	0.003	20.797	0.102	0.020	23.467	48.837	6.879	0.033	0.095	0.195	100.428	4087Ac4-Opx26
326	0.001	21.081	0.103	0.024	23.156	49.475	6.935	0.092	0.047	0.201	101.115	4087Ac4-Opx27
327	0.004	21.475	0.049	0.004	22.767	49.341	6.849	0.083	0.048	0.188	100.808	4087Ac4-Opx28
328	0.015	21.216	0.096	0.006	22.785	49.160	6.972	0.107	0.040	0.160	100.557	4087Ac4-Opx29
329	0.018	21.194	0.121	0.001	22.909	49.233	6.340	0.115	0.071	0.124	100.126	4087Ac4-Opx30
330	0.000	21.205	0.074	0.004	22.915	49.823	6.321	0.113	0.059	0.129	100.643	4087Ac4-Opx31
331	0.000	21.532	0.097	0.007	22.742	49.935	6.215	0.103	0.055	0.145	100.831	4087Ac4-Opx32
332	0.000	21.176	0.138	0.001	23.254	49.279	6.853	0.087	0.079	0.154	101.021	4087Ac4-Opx33
333	0.018	20.913	0.098	0.019	23.718	48.917	7.099	0.060	0.071	0.178	101.091	4087Ac4-Opx34
334	0.000	20.744	0.132	0.007	24.057	49.263	6.671	0.059	0.086	0.170	101.189	4087Ac4-Opx35
335	0.005	20.602	0.052	0.028	23.572	49.104	6.998	0.061	0.098	0.188	100.708	4087Ac4-Opx37
336	0.002	21.398	0.044	0.018	23.098	49.321	6.610	0.096	0.050	0.192	100.829	4087Ac4-Opx38
337	0.000	20.969	0.102	0.030	23.393	48.824	6.844	0.104	0.074	0.170	100.51	4087Ac4-Opx39
338	0.000	20.520	0.103	0.025	23.856	48.561	6.836	0.093	0.088	0.205	100.287	4087Ac4-Opx40
339	0.000	20.540	0.021	0.030	24.109	49.968	5.430	0.098	0.044	0.240	100.48	4091Ac1-Opx1
340	0.008	20.133	0.087	0.009	24.588	49.430	6.115	0.085	0.061	0.221	100.737	4091Ac1-Opx2
341	0.000	20.400	0.059	0.022	24.448	49.734	5.751	0.113	0.039	0.221	100.787	4091Ac1-Opx3
342	0.007	20.102	0.092	0.102	23.967	49.455	6.209	0.084	0.056	0.198	100.272	4091Ac1-Opx4
343	0.000	20.698	0.059	0.010	23.740	49.429	5.898	0.105	0.043	0.231	100.213	4091Ac1-Opx5
344	0.014	20.493	0.035	0.013	24.230	49.702	5.842	0.118	0.056	0.217	100.72	4091Ac1-Opx6
345	0.011	20.532	0.066	0.015	24.093	49.523	5.870	0.109	0.078	0.218	100.515	4091Ac1-Opx7
346	0.000	20.571	0.069	0.015	23.937	49.427	6.211	0.091	0.051	0.213	100.585	4091Ac1-Opx8
347	0.013	20.333	0.055	0.011	24.316	49.736	5.861	0.082	0.047	0.206	100.66	4091Ac1-Opx9
348	0.019	20.705	0.066	0.025	24.118	50.132	5.901	0.047	0.063	0.245	101.321	4091Ac5-Opx1
349	0.015	20.589	0.070	0.010	24.036	50.019	6.108	0.061	0.075	0.238	101.221	4091Ac5-Opx2
350	0.009	20.659	0.117	0.017	24.367	49.986	6.114	0.073	0.069	0.222	101.633	4091Ac5-Opx3
351	0.008	20.456	0.106	0.005	24.211	49.646	6.054	0.075	0.066	0.200	100.827	4091Ac5-Opx4
352	0.015	20.365	0.560	0.015	24.478	49.551	5.686	0.063	0.077	0.241	101.051	4091Ac5-Opx5
353	0.000	20.270	0.066	0.017	24.492	49.166	6.367	0.068	0.065	0.255	100.766	4091Ac5-Opx6
354	0.003	20.779	0.074	0.004	24.382	49.918	6.009	0.034	0.077	0.242	101.522	4091Ac5-Opx7
355	0.012	20.554	0.107	0.010	24.077	49.333	6.162	0.029	0.083	0.189	100.556	4091Ac5-Opx8
356	0.000	20.116	0.019	0.012	24.646	49.503	6.211	0.063	0.088	0.218	100.876	4091Ac5-Opx9
357	0.007	20.459	0.049	0.028	24.243	49.443	5.910	0.078	0.083	0.238	100.538	4091Ac5-Opx10
358	0.002	20.360	0.106	0.008	24.249	49.666	6.201	0.082	0.066	0.241	100.981	4091Ac5-Opx11
359	0.000	20.530	0.098	0.010	24.258	49.589	5.950	0.059	0.089	0.241	100.824	4091Ac5-Opx12
360	0.000	17.692	0.058	0.027	28.461	48.993	4.862	0.127	0.060	0.227	100.507	4164Ac3-Opx1
361	0.014	17.738	0.053	0.016	28.570	49.075	4.814	0.103	0.061	0.215	100.659	4164Ac3-Opx2
362	0.000	17.561	0.042	0.026	28.530	48.954	4.878	0.097	0.031	0.210	100.329	4164Ac3-Opx3
363	0.000	17.758	0.042	0.013	28.339	49.414	4.547	0.102	0.038	0.201	100.454	4164Ac3-Opx4
364	0.000	17.766	0.053	0.015	28.511	49.394	5.060	0.131	0.053	0.183	101.166	4164Ac3-Opx5
365	0.009	17.625	0.092	0.020	28.617	48.873	4.937	0.088	0.084	0.213	100.558	4164Ac3-Opx6
366	0.004	17.618	0.048	0.023	28.726	48.759	4.908	0.059	0.059	0.223	100.427	4164Ac3-Opx7
367	0.010	17.748	0.081	0.027	28.391	48.874	4.707	0.078	0.060	0.211	100.187	4164Ac3-Opx8
368	0.020	17.813	0.081	0.034	28.233	48.918	4.965	0.101	0.090	0.217	100.472	4164Ac3-Opx9
369	0.003	17.688	0.097	0.021	28.193	49.152	4.946	0.071	0.073	0.208	100.452	4164Ac3-Opx10
370	0.000	17.982	0.048	0.025	28.235	49.155	4.541	0.114	0.054	0.167	100.321	4164Ac3-Opx11
371	0.000	17.719	0.093	0.012	28.124	48.822	5.198	0.110	0.072	0.198	100.348	4164Ac3-Opx12
372	0.000	17.686	0.040	0.010	28.582	48.878	5.132	0.095	0.066	0.246	100.735	4164Ac3-Opx13
373	0.000	17.730	0.082	0.015	28.457	48.981	5.002	0.113	0.047	0.208	100.635	4164Ac3-Opx14
374	0.038	17.657	0.045	0.023	28.610	48.903	4.867	0.082	0.083	0.216	100.524	4164Ac3d-Opx1
375	0.025	17.764	0.073	0.017	27.896	48.741	4.933	0.152	0.050	0.239	99.89	4164Ac3d-Opx2
376	0.035	17.901	0.042	0.027	27.960	49.667	4.648	0.075	0.027	0.258	100.64	4164Ac3d-Opx3
377	0.001	17.483	0.066	0.004	28.336	48.977	5.298	0.088	0.049	0.221	100.523	4164Ac3d-Opx4
378	0.023	17.621	0.047	0.015	28.882	49.168	4.920	0.113	0.045	0.230	101.064	4164Ac3d-Opx5
379	0.008	17.744	0.075	0.025	28.443	49.604	4.640	0.105	0.082	0.246	100.972	4164Ac3d-Opx6
380	0.000	17.433	0.050	0.008	28.637	49.140	5.001	0.050	0.051	0.226	100.596	4164Ac3d-Opx7
381	0.018	17.553	0.039	0.034	28.871	49.061	4.997	0.089	0.080	0.222	100.964	4164Ac3d-Opx8

382	0.015	17.661	0.056	0.023	28.177	48.826	5.053	0.103	0.054	0.222	100.19	4164Ac3d-Opx9
383	0.029	17.689	0.096	0.029	29.042	49.277	4.596	0.079	0.061	0.216	101.114	4164Ac3n-Opx1
384	0.020	17.582	0.083	0.108	27.369	47.338	5.633	0.084	0.074	0.187	98.478	4164Ac3n-Opx2
385	0.001	17.702	0.070	0.032	28.755	49.321	4.706	0.097	0.077	0.230	100.991	4164Ac3n-Opx3
386	0.000	17.499	0.087	0.015	28.706	48.660	5.296	0.135	0.065	0.187	100.65	4164Ac3n-Opx4
387	0.031	17.355	0.063	0.056	27.955	48.608	5.033	0.098	0.080	0.214	99.493	4164Ac3n-Opx5
388	0.006	17.466	0.035	0.008	28.419	48.874	4.706	0.075	0.075	0.186	99.85	4164Ac3n-Opx6
389	0.013	17.366	0.063	0.019	28.615	49.001	4.802	0.122	0.062	0.210	100.273	4164Ac3n-Opx7
390	0.031	17.541	0.039	0.019	28.898	48.835	4.900	0.118	0.037	0.199	100.617	4164Ac3n-Opx8
391	0.000	17.550	0.072	0.005	28.992	49.008	4.995	0.107	0.055	0.230	101.014	4164Ac3n-Opx9
392	0.000	17.543	0.025	0.009	28.467	48.743	4.894	0.123	0.064	0.199	100.067	4164Ac3n-Opx10
393	0.000	17.327	0.097	0.019	28.618	48.941	5.029	0.101	0.075	0.207	100.414	4164Ac3n-Opx11
394	0.015	17.508	0.092	0.015	28.491	48.907	5.249	0.095	0.077	0.185	100.634	4164Ac3n-Opx12
395	0.023	17.617	0.103	0.026	28.557	49.056	4.946	0.059	0.064	0.201	100.652	4164Ac3n-Opx13
396	0.008	18.550	0.082	0.013	27.258	49.601	4.596	0.098	0.068	0.170	100.444	4164Ac5-Opx1
397	0.003	18.586	0.056	0.000	27.084	49.651	4.742	0.089	0.065	0.168	100.444	4164Ac5-Opx2
398	0.025	18.588	0.052	0.023	27.088	49.627	4.891	0.091	0.033	0.161	100.579	4164Ac5-Opx3
399	0.000	18.860	0.038	0.003	27.588	49.960	4.241	0.091	0.050	0.173	101.004	4164Ac5-Opx4
400	0.002	18.515	0.072	0.019	27.368	49.534	4.978	0.112	0.086	0.154	100.84	4164Ac5-Opx5
401	0.000	18.988	0.047	0.014	26.756	49.871	4.626	0.052	0.063	0.161	100.578	4164Ac5-Opx6
402	0.001	18.867	0.084	0.002	27.405	49.618	4.329	0.084	0.069	0.161	100.62	4164Ac5-Opx7
403	0.007	18.932	0.024	0.030	27.350	49.679	4.052	0.094	0.070	0.168	100.406	4164Ac5-Opx8
404	0.345	15.589	0.161	0.000	5.853	53.565	1.336	0.136	23.536	0.161	100.682	4163A-Cpx1
405	0.283	15.859	0.118	0.007	5.664	53.860	1.004	0.130	23.583	0.140	100.648	4163A-Cpx2
406	0.363	15.643	0.162	0.000	5.982	53.072	1.315	0.098	23.016	0.141	99.792	4163A-Cpx3
407	0.298	15.718	0.122	0.025	6.112	52.995	1.303	0.124	22.850	0.201	99.748	4163A-Cpx4
408	0.322	15.977	0.178	0.016	6.837	53.181	1.327	0.079	21.828	0.178	99.923	4163A-Cpx5
409	0.263	15.940	0.062	0.010	5.257	53.740	0.861	0.085	24.012	0.147	100.377	4163A-Cpx6
410	0.300	15.680	0.093	0.000	5.697	53.677	1.174	0.142	23.160	0.182	100.105	4163A-Cpx7
411	0.326	15.635	0.151	0.022	5.826	53.257	1.310	0.182	23.220	0.138	100.067	4163A-Cpx8
412	0.267	15.876	0.071	0.016	5.416	53.720	0.873	0.148	23.620	0.172	100.179	4163A-Cpx9
413	0.000	25.950	0.048	0.000	18.758	54.279	0.756	0.073	0.420	0.432	100.716	4163Ac1-Opx1
414	0.026	26.083	0.055	0.007	18.511	54.287	0.836	0.043	0.419	0.400	100.667	4163Ac1-Opx2
415	0.000	26.203	0.075	0.009	18.656	54.428	0.780	0.055	0.463	0.408	101.077	4163Ac1-Opx3
416	0.002	26.422	0.072	0.023	18.410	54.712	0.693	0.037	0.379	0.418	101.168	4163Ac1-Opx4
417	0.009	26.470	0.066	0.035	18.251	54.439	0.794	0.076	0.430	0.401	100.971	4163Ac1-Opx5
418	0.356	15.218	0.159	0.026	5.924	53.217	1.396	0.154	23.058	0.156	99.664	4163Ac1a-Cpx1
419	0.320	15.711	0.166	0.014	6.082	53.117	1.284	0.186	23.071	0.153	100.104	4163Ac1a-Cpx2
420	0.363	15.515	0.191	0.019	6.118	53.000	1.429	0.177	23.146	0.176	100.134	4163Ac1a-Cpx3
421	0.339	15.566	0.148	0.017	6.016	53.088	1.321	0.180	22.992	0.198	99.865	4163Ac1a-Cpx4
422	0.350	15.721	0.143	0.000	5.889	53.342	1.335	0.194	23.207	0.160	100.341	4163Ac1a-Cpx5
423	0.320	15.388	0.204	0.009	5.869	53.039	1.443	0.208	23.108	0.167	99.755	4163Ac1a-Cpx6
424	0.352	15.565	0.108	0.009	5.834	53.174	1.257	0.132	23.447	0.176	100.054	4163Ac1a-Cpx7
425	0.015	25.941	0.074	0.034	18.190	53.888	0.745	0.094	0.897	0.369	100.247	4163Ac1a-Opx1
426	0.000	26.182	0.035	0.028	18.342	54.300	0.820	0.116	0.495	0.381	100.699	4163Ac1a-Opx2
427	0.026	26.111	0.062	0.000	18.406	54.590	0.819	0.063	0.465	0.408	100.95	4163Ac1a-Opx3
428	0.000	26.108	0.047	0.012	18.397	54.288	0.842	0.077	0.473	0.349	100.593	4163Ac1a-Opx4
429	0.006	26.297	0.020	0.012	18.251	54.270	0.689	0.077	0.530	0.404	100.556	4163Ac1a-Opx5
430	0.000	26.226	0.058	0.027	18.387	54.238	0.877	0.065	0.459	0.360	100.697	4163Ac1a-Opx6
431	0.000	26.501	0.029	0.026	18.119	54.468	0.797	0.088	0.424	0.437	100.889	4163Ac1a-Opx7
432	0.006	26.404	0.006	0.010	18.423	54.531	0.619	0.047	0.425	0.403	100.874	4163Ac1a-Opx8
433	0.024	19.008	0.088	0.018	25.797	48.669	5.652	0.000	0.039	0.236	99.531	4186A2c12-Opx4
434	0.007	19.077	0.101	0.028	25.603	45.454	5.712	0.051	0.082	0.272	96.387	4186A2c12-Opx5
435	0.013	18.872	0.057	0.015	25.644	48.632	5.888	0.036	0.063	0.244	99.464	4186A2c12-Opx6
436	0.000	18.836	0.118	0.028	25.933	48.712	5.838	0.000	0.067	0.261	99.793	4186A2c12-Opx7
437	0.002	18.196	0.061	0.035	26.363	48.670	5.689	0.050	0.072	0.387	99.525	4186A2c3-Opx1
438	0.009	18.327	0.082	0.013	26.633	48.583	5.761	0.030	0.081	0.428	99.947	4186A2c3-Opx2
439	0.026	18.710	0.017	0.017	26.497	48.794	5.501	0.008	0.110	0.452	100.132	4186A2c3-Opx3
440	0.002	18.607	0.039	0.004	26.289	48.417	5.453	0.026	0.066	0.384	99.287	4186A2c3-Opx4
441	0.000	18.681	0.433	0.011	26.629	48.209	5.371	0.000	0.099	0.403	99.836	4186A2c3-Opx5
442	0.009	18.650	0.054	0.000	26.348	49.244	5.226	0.034	0.101	0.486	100.152	4186A2c3-Opx6
443	0.001	18.471	0.450	0.033	26.453	48.455	5.099	0.000	0.111	0.417	99.49	4186A2c3-Opx7
444	0.000	18.731	0.054	0.029	27.242	49.800	3.631	0.083	0.063	0.367	100	4189A2c1-Opx1
445	0.005	18.716	0.081	0.020	26.982	49.805	4.039	0.089	0.053	0.395	100.185	4189A2c1-Opx2

446	0.023	18.463	0.054	0.011	27.203	49.679	4.346	0.043	0.067	0.390	100.279	4189A2c1-Opx3
447	0.002	18.390	0.098	0.006	27.688	49.808	4.380	0.089	0.074	0.403	100.938	4189A2c1-Opx4
448	0.007	18.500	0.069	0.022	27.463	49.650	4.560	0.102	0.058	0.409	100.84	4189A2c1-Opx5
449	0.007	18.494	0.044	0.028	27.440	49.778	4.536	0.107	0.085	0.371	100.89	4189A2c1-Opx6
450	0.003	18.397	0.034	0.042	27.343	49.444	4.596	0.106	0.078	0.369	100.412	4189A2c1-Opx7
451	0.000	18.297	0.079	0.004	27.601	49.691	4.380	0.093	0.067	0.403	100.615	4189A2c2e-Opx1
452	0.037	18.083	0.051	0.004	27.973	49.244	4.739	0.176	0.088	0.408	100.803	4189A2c2e-Opx2
453	0.026	18.146	0.053	0.033	27.657	49.130	4.724	0.154	0.100	0.383	100.406	4189A2c2e-Opx3
454	0.007	18.194	0.074	0.016	27.910	49.516	4.507	0.096	0.083	0.429	100.832	4189A2c2e-Opx4
455	0.000	18.229	0.095	0.019	27.499	49.590	4.462	0.113	0.058	0.435	100.5	4189A2c2e-Opx5
456	0.000	18.321	0.048	0.004	27.349	49.721	3.939	0.069	0.068	0.453	99.972	4189A2c2e-Opx6
457	0.024	18.284	0.045	0.028	28.432	50.377	2.368	0.057	0.096	0.348	100.059	4155A1c3-Opx1
458	0.000	17.987	0.005	0.001	28.526	50.438	2.063	0.084	0.099	0.349	99.552	4155A1c3-Opx2
459	0.017	17.988	0.008	0.024	28.758	50.299	2.247	0.059	0.103	0.364	99.867	4155A1c3-Opx3
460	0.000	17.782	0.018	0.003	28.761	50.271	2.474	0.051	0.111	0.358	99.829	4155A1c3-Opx4
461	0.011	17.890	0.020	0.004	28.614	49.991	2.319	0.037	0.128	0.375	99.389	4155A1c3-Opx5
462	0.005	18.212	0.026	0.027	28.749	50.417	2.121	0.055	0.093	0.364	100.069	4155A1c3-Opx6
463	0.005	17.957	0.016	0.025	28.919	49.665	2.202	0.031	0.134	0.323	99.277	4155A1c3-Opx7
464	0.019	18.051	0.057	0.005	28.555	50.307	2.434	0.024	0.119	0.349	99.92	4155A1c3-Opx8
465	0.000	18.035	0.000	0.029	28.512	50.298	2.377	0.033	0.116	0.341	99.741	4155A1c3-Opx9
466	0.005	17.929	0.013	0.003	28.696	50.260	1.965	0.018	0.115	0.341	99.345	4155A1c3-Opx10
467	0.020	18.054	0.000	0.000	28.732	50.063	2.015	0.021	0.108	0.413	99.426	4155A1c3-Opx11
468	0.010	17.938	0.026	0.007	28.617	50.053	2.592	0.033	0.112	0.335	99.723	4155A1c3-Opx12
469	0.004	18.182	0.001	0.029	28.302	50.648	2.003	0.029	0.110	0.356	99.664	4155A1c3-Opx13
470	0.000	18.059	0.000	0.023	28.465	50.506	1.907	0.008	0.122	0.406	99.496	4155A1c3-Opx14
471	0.000	18.224	0.000	0.013	28.307	50.346	2.252	0.037	0.111	0.358	99.648	4155A1c3-Opx15
472	0.001	17.881	0.052	0.022	28.673	50.250	2.396	0.023	0.135	0.359	99.792	4155A1c3-Opx16
473	0.007	17.922	0.045	0.021	28.550	49.973	2.557	0.038	0.152	0.361	99.626	4155A1c3-Opx17
474	0.001	18.666	0.085	0.031	27.013	49.059	4.519	0.029	0.113	0.310	99.826	4174A1c1-Opx1
475	0.009	18.592	0.052	0.038	26.908	49.266	4.561	0.000	0.156	0.321	99.903	4174A1c1-Opx2
476	0.004	18.407	0.070	0.004	26.778	48.898	4.607	0.039	0.122	0.338	99.267	4174A1c1-Opx3
477	0.017	18.295	0.092	0.019	27.089	48.949	4.935	0.039	0.171	0.286	99.892	4174A1c1-Opx4
478	0.010	18.407	0.057	0.025	27.187	48.854	4.706	0.041	0.144	0.320	99.751	4174A1c1-Opx5
479	0.000	18.298	0.024	0.020	27.570	48.833	4.647	0.041	0.120	0.307	99.86	4174A1c1-Opx6
480	0.023	18.316	0.047	0.021	27.390	49.247	4.802	0.040	0.149	0.326	100.361	4174A1c1-Opx7
481	0.011	18.284	0.053	0.013	27.263	48.580	4.820	0.029	0.153	0.312	99.518	4174A1c1-Opx8
482	0.012	18.377	0.024	0.027	26.976	48.793	4.773	0.036	0.132	0.299	99.449	4174A1c1-Opx9
483	0.000	18.149	0.051	0.011	26.831	47.968	5.094	0.002	0.179	0.285	98.57	4174A1c1-Opx10
484	0.000	18.597	0.057	0.018	27.333	48.866	4.535	0.041	0.122	0.287	99.856	4174A1c1-Opx11
485	0.000	18.358	0.046	0.006	27.023	48.873	4.712	0.064	0.129	0.283	99.494	4174A1c1-Opx12
486	0.000	17.084	0.048	0.017	28.494	48.077	4.688	0.059	0.109	0.372	98.948	4174A1c5-Opx1
487	0.007	17.741	0.033	0.023	28.548	48.447	4.254	0.059	0.088	0.383	99.583	4174A1c5-Opx2
488	0.007	17.521	0.070	0.032	28.410	48.940	4.444	0.012	0.097	0.386	99.919	4174A1c5-Opx3
489	0.029	17.418	0.022	0.029	28.354	48.437	4.442	0.029	0.071	0.372	99.203	4174A1c5-Opx4
490	0.000	17.731	0.038	0.029	28.478	48.980	4.011	0.060	0.055	0.406	99.788	4174A1c5-Opx5
491	0.010	17.730	0.046	0.021	28.209	48.921	4.189	0.048	0.082	0.349	99.605	4174A1c5-Opx6
492	0.003	17.503	0.076	0.021	28.491	48.584	4.492	0.041	0.067	0.368	99.646	4174A1c5-Opx7
493	0.001	17.500	0.054	0.019	28.189	48.451	4.678	0.042	0.066	0.346	99.346	4174A1c5-Opx8
494	0.000	17.683	0.082	0.034	28.231	48.751	4.438	0.060	0.090	0.354	99.723	4174A1c5-Opx9
495	0.003	17.752	0.028	0.023	28.105	48.830	4.389	0.036	0.063	0.373	99.602	4174A1c5-Opx10
496	0.019	17.632	0.033	0.031	28.212	48.827	4.137	0.055	0.076	0.353	99.375	4174A1c5-Opx11
497	0.043	17.563	0.067	0.016	28.369	48.589	4.505	0.000	0.078	0.334	99.564	4174A1c5-Opx12
498	0.015	17.492	0.029	0.032	28.219	48.631	4.295	0.037	0.079	0.357	99.186	4174A1c5-Opx13
499	0.021	17.509	0.047	0.018	28.155	48.482	4.402	0.023	0.063	0.377	99.097	4174A1c5-Opx14
500	0.000	17.659	0.042	0.010	28.304	48.691	4.316	0.046	0.064	0.382	99.514	4174A1c5-Opx15
501	0.000	18.968	0.030	0.016	25.804	50.137	2.990	0.060	0.122	0.239	98.366	4147A2c4Opx1
502	0.007	18.798	0.039	0.017	26.294	49.948	2.826	0.047	0.076	0.232	98.284	4147A2c4Opx2
503	0.000	18.926	0.033	0.025	25.908	49.961	2.910	0.058	0.127	0.268	98.216	4147A2c4Opx3
504	0.015	19.195	0.075	0.009	25.633	49.937	3.032	0.020	0.087	0.262	98.265	4147A2c4Opx4
505	0.021	18.454	0.029	0.030	26.292	49.661	3.144	0.034	0.095	0.256	98.016	4147A2c4Opx5
506	0.000	20.452	0.010	0.042	26.819	48.495	2.856	0.019	0.091	0.226	99.01	4147A2c4Opx1
507	0.003	17.730	0.050	0.014	26.905	50.148	2.703	0.000	0.079	0.278	97.91	4147A2c4Opx2
508	0.015	18.779	0.041	0.033	26.338	50.159	2.802	0.038	0.149	0.268	98.622	4147A2c4Opx3
509	0.000	18.711	0.040	0.014	24.338	49.953	2.973	0.050	0.104	0.244	96.427	4147A2c4Opx4

510	0.007	17.953	0.031	0.015	27.125	49.951	3.056	0.047	0.102	0.253	98.54	4147A2c4Opx5
511	0.007	14.927	0.043	0.024	33.433	49.285	1.908	0.036	0.210	0.259	100.132	12a2-opx1
512	0.019	14.643	0.041	0.018	33.759	48.787	2.079	0.027	0.265	0.283	99.921	12a2-opx2
513	0.018	14.527	0.027	0.016	34.042	48.882	2.128	0.018	0.246	0.201	100.105	12a2-opx3
514	0.000	14.171	0.055	0.011	34.211	48.683	2.143	0.036	0.289	0.252	99.851	12a2-opx4
515	0.003	14.064	0.041	0.000	34.708	49.378	2.106	0.040	0.237	0.242	100.819	12a2-opx5
516	0.009	14.042	0.046	0.012	34.416	48.976	2.462	0.023	0.248	0.264	100.498	12a2-opx6
517	0.008	14.333	0.028	0.033	33.921	49.229	2.176	0.017	0.222	0.283	100.25	12a2-opx7
518	0.000	13.902	0.000	0.023	34.599	49.034	2.177	0.000	0.282	0.290	100.307	12a2c3-opx1
519	0.000	14.118	0.041	0.015	34.442	49.212	1.937	0.038	0.251	0.267	100.321	12a2c3-opx2
520	0.000	13.656	0.001	0.032	35.161	48.737	2.132	0.000	0.266	0.237	100.222	12a2c3-opx3
521	0.010	13.556	0.047	0.029	34.707	48.241	2.199	0.003	0.283	0.247	99.322	12a2c3-opx4
522	0.011	14.041	0.032	0.006	34.929	48.907	1.876	0.000	0.273	0.241	100.316	12a2c3-opx5
523	0.022	13.560	0.030	0.010	35.235	48.399	2.127	0.036	0.289	0.268	99.976	12a2c3-opx6
524	0.019	14.021	0.044	0.010	35.074	48.596	1.824	0.000	0.290	0.249	100.127	12a2c3-opx7
1	0.011	18.641	0.049	0.041	27.898	50.352	3.598	0.048	0.096	0.325	101.059	1046c1-Opx1
2	0.004	18.458	0.030	0.000	27.561	50.463	3.712	0.074	0.089	0.360	100.751	1046c1-Opx2
3	0.006	18.765	0.050	0.015	27.676	50.645	3.386	0.062	0.079	0.326	101.01	1046c1-Opx3
4	0.011	18.393	0.038	0.048	28.182	50.212	3.471	0.040	0.062	0.377	100.834	1046c1-Opx4
5	0.025	17.962	0.090	0.029	28.817	49.450	3.719	0.051	0.072	0.524	100.739	1046c2-Opx6
6	0.010	17.500	0.109	0.040	28.576	49.566	3.827	0.065	0.071	0.544	100.308	1046c2-Opx7
7	0.007	17.365	0.029	0.033	28.630	49.187	3.829	0.061	0.056	0.589	99.786	1046c2-Opx8
8	0.000	18.084	0.098	0.028	26.819	47.712	6.225	0.111	0.043	0.435	99.555	1029Ac2-Opx1
9	0.027	18.527	0.089	0.000	26.268	47.984	5.926	0.121	0.049	0.381	99.372	1029Ac2-Opx2
10	0.000	18.755	0.064	0.010	26.144	48.261	5.908	0.146	0.084	0.377	99.749	1029Ac2-Opx3
11	0.013	18.173	0.069	0.029	26.633	48.192	6.092	0.117	0.086	0.366	99.77	1029Ac2-Opx4
12	0.000	19.981	0.114	0.024	24.559	48.271	5.846	0.086	0.085	0.286	99.252	1029OPX-Opx5
13	0.000	20.589	0.048	0.024	24.349	49.140	5.041	0.106	0.081	0.277	99.655	1029OPX-Opx6
14	0.000	19.657	0.103	0.030	25.189	48.091	5.877	0.106	0.063	0.287	99.403	1029OPX-Opx7
15	0.000	19.634	0.093	0.000	25.252	48.107	5.775	0.115	0.135	0.331	99.442	1029OPX-Opx8
16	0.015	20.584	0.108	0.018	23.630	48.252	7.159	0.173	0.072	0.202	100.213	1044c1-Opx1
17	0.004	20.510	0.101	0.011	23.496	48.669	7.031	0.109	0.046	0.208	100.185	1044c1-Opx2
18	0.095	20.331	0.121	0.027	24.067	47.853	7.262	0.147	0.060	0.228	100.191	1044c1-Opx3
19	0.000	20.291	0.064	0.024	23.871	48.407	7.333	0.192	0.047	0.235	100.464	1044c1-Opx4
20	0.172	21.348	0.139	0.034	22.509	48.500	7.272	0.137	0.043	0.203	100.357	1044c1-Opx5
21	0.007	21.926	0.064	0.029	22.361	49.346	5.912	0.125	0.037	0.194	100.001	1044c1-Opx6
22	0.000	21.321	0.073	0.018	22.480	48.186	7.462	0.118	0.067	0.204	99.929	1044c1-Opx7
23	0.015	23.161	0.058	0.015	20.877	50.023	6.093	0.162	0.055	0.159	100.618	1044c1-Opx8
24	0.054	22.729	0.121	0.026	20.893	49.785	6.537	0.121	0.076	0.177	100.519	1044c1-Opx9
25	0.000	21.931	0.170	0.020	22.543	50.317	4.927	0.079	0.104	0.228	100.319	25Ac1-Opx1
26	0.004	21.995	0.113	0.016	22.479	50.348	4.802	0.074	0.077	0.208	100.116	25Ac1-Opx2
27	0.000	21.656	0.132	0.019	23.102	50.461	4.878	0.065	0.092	0.230	100.635	25Ac1-Opx3
28	0.037	21.561	0.102	0.008	23.099	50.722	4.758	0.071	0.118	0.242	100.718	25Ac1-Opx4
29	0.013	21.548	0.095	0.015	23.176	50.331	4.705	0.071	0.093	0.235	100.282	25Ac1-Opx5
30	0.075	21.268	0.088	0.024	22.962	50.146	4.872	0.067	0.113	0.247	99.862	25Ac1-Opx6
31	0.000	20.269	0.084	0.013	23.874	47.581	8.125	0.057	0.092	0.217	100.312	2117Ac1-Opx1
32	0.007	20.183	0.085	0.006	24.043	47.871	8.219	0.041	0.060	0.209	100.724	2117Ac1-Opx2
33	0.027	20.173	0.099	0.005	23.949	47.493	8.179	0.077	0.063	0.231	100.296	2117Ac1-Opx3
34	0.011	20.213	0.121	0.025	23.871	47.615	8.189	0.059	0.055	0.214	100.373	2117Ac1-Opx4
35	0.020	20.704	0.121	0.016	23.202	48.275	7.903	0.073	0.065	0.230	100.609	2117Ac1-Opx5
36	0.020	20.587	0.069	0.014	23.539	47.988	7.965	0.052	0.062	0.204	100.5	2117Ac1-Opx6
37	0.000	20.571	0.116	0.019	23.503	47.790	7.992	0.063	0.082	0.211	100.347	2117Ac1-Opx7
38	0.025	20.505	0.148	0.012	23.673	47.664	8.012	0.059	0.074	0.185	100.357	2117Ac1-Opx8
39	0.001	20.977	0.181	0.027	23.237	48.288	7.138	0.069	0.055	0.175	100.148	2117Ac1-Opx9
40	0.046	19.779	0.098	0.023	24.249	47.569	8.049	0.087	0.035	0.238	100.173	2117Ac2-Opx10
41	0.010	19.876	0.065	0.013	24.234	48.057	7.910	0.104	0.036	0.253	100.558	2117Ac2-Opx11
42	0.486	19.586	0.102	0.110	23.479	47.160	8.018	0.100	0.099	0.281	99.421	2117Ac2-Opx14
43	0.012	5.382	0.002	0.370	8.049	82.102	2.387	0.054	0.041	0.055	98.454	2117Ac2-Opx15
44	0.000	19.829	0.083	0.019	24.092	47.982	7.710	0.106	0.053	0.233	100.107	2117Ac2-Opx16
45	0.011	20.707	0.067	0.004	24.075	49.157	6.419	0.077	0.039	0.315	100.871	2117Ac2-Opx17
46	0.008	20.253	0.057	0.031	23.803	48.018	8.030	0.097	0.054	0.249	100.6	2117Ac2-Opx18
47	0.057	12.659	7.219	10.824	14.877	36.086	15.695	0.084	0.030	0.052	97.583	2117Ac3-Opx19
48	0.001	20.452	0.093	0.023	24.183	48.113	7.329	0.066	0.054	0.281	100.595	2117Ac3-Opx20

49	0.047	20.677	0.092	0.014	24.172	47.610	8.150	0.067	0.070	0.293	101.192	2117Ac3-Opx22
50	0.012	20.072	0.093	0.006	24.561	48.045	7.574	0.060	0.030	0.282	100.735	2117Ac3-Opx23
51	0.008	19.031	0.084	0.031	24.257	46.174	7.707	0.046	0.119	0.248	97.705	2117Ac3-Opx24
52	0.000	19.712	0.103	0.022	24.244	47.390	8.093	0.064	0.038	0.329	99.995	2117Ac3-Opx25
53	0.000	19.990	0.117	0.002	24.426	47.863	8.216	0.061	0.043	0.286	101.004	2117Ac3-Opx26
54	0.225	19.676	0.116	0.078	23.995	46.909	7.969	0.067	0.065	0.255	99.355	2117Ac3-Opx27
55	0.004	19.720	0.105	0.015	24.466	47.561	8.061	0.066	0.068	0.282	100.348	2117Ac3-Opx28
56	0.017	20.074	0.071	0.025	24.178	46.001	8.213	0.076	0.064	0.241	98.96	2117Ac3-Opx29
57	0.000	19.768	0.143	0.019	24.529	47.379	8.217	0.033	0.088	0.283	100.459	2117Ac3-Opx30
58	0.003	19.430	0.108	0.011	24.644	47.148	8.352	0.106	0.056	0.267	100.125	2117Ac3-Opx31
59	0.000	19.618	0.143	0.025	24.745	47.165	8.166	0.044	0.085	0.267	100.258	2117Ac3-Opx32
60	0.018	19.721	0.134	0.026	24.512	47.533	8.170	0.053	0.064	0.258	100.489	2117Ac3-Opx33
61	0.000	19.824	0.156	0.028	24.526	47.051	8.202	0.054	0.049	0.265	100.155	2117Ac3-Opx34
62	0.019	19.796	0.122	0.015	24.579	47.735	8.290	0.053	0.058	0.237	100.904	2117Ac3-Opx35
63	0.006	19.867	0.084	0.022	24.197	47.998	7.857	0.045	0.063	0.259	100.398	2117Ac3-Opx36
64	0.004	17.837	0.009	0.009	28.691	49.819	3.325	0.045	0.104	0.383	100.226	4154Ac2-Opx1
65	0.028	17.966	0.056	0.039	28.676	49.874	3.446	0.066	0.083	0.418	100.652	4154Ac2-Opx2
66	0.014	17.897	0.042	0.019	28.570	49.924	3.901	0.042	0.061	0.422	100.892	4154Ac2-Opx3
67	0.029	18.261	0.000	0.021	28.750	50.319	3.021	0.041	0.067	0.360	100.869	4154Ac2-Opx4
68	0.004	17.989	0.002	0.029	29.260	49.737	3.874	0.045	0.107	0.364	101.411	4154Ac2-Opx5
69	0.011	17.814	0.082	0.021	29.010	49.094	4.095	0.078	0.077	0.407	100.689	4154Ac2-Opx6
70	0.000	17.912	0.042	0.025	28.759	49.923	3.641	0.061	0.110	0.384	100.857	4154Ac2-Opx7
71	0.010	17.717	0.062	0.025	29.005	49.723	3.688	0.066	0.104	0.401	100.801	4154Ac2-Opx8
72	0.004	17.704	0.038	0.024	29.286	49.780	3.513	0.058	0.077	0.419	100.903	4154Ac2-Opx9
73	0.022	17.831	0.045	0.009	28.812	49.768	3.702	0.043	0.080	0.408	100.72	4154Ac2-Opx10
74	0.000	18.238	0.051	0.021	28.441	49.557	3.723	0.046	0.097	0.293	100.467	4154Ac3-Opx11
75	0.019	18.640	0.055	0.027	28.125	50.098	3.555	0.062	0.084	0.274	100.939	4154Ac3-Opx12
76	0.004	18.407	0.072	0.021	27.989	49.692	3.884	0.042	0.121	0.331	100.563	4154Ac3-Opx13
77	0.025	18.829	0.051	0.005	27.322	49.780	3.767	0.077	0.085	0.323	100.264	4154Ac3-Opx14
78	0.018	18.394	0.030	0.016	28.197	50.231	3.713	0.037	0.096	0.306	101.038	4154Ac3-Opx15
79	0.007	18.257	0.023	0.030	28.322	49.965	3.937	0.039	0.107	0.337	101.024	4154Ac4-Opx16
80	0.002	18.308	0.076	0.022	28.394	49.693	3.852	0.046	0.115	0.321	100.829	4154Ac4-Opx17
81	0.013	18.317	0.062	0.015	28.541	49.646	3.875	0.073	0.134	0.320	100.996	4154Ac4-Opx18
82	0.016	18.021	0.086	0.020	28.409	49.918	4.036	0.058	0.142	0.354	101.06	4154Ac4-Opx19
83	0.009	18.018	0.081	0.023	28.643	49.487	3.896	0.028	0.137	0.341	100.663	4154Ac4-Opx20
84	0.016	18.171	0.078	0.016	28.479	49.313	3.865	0.038	0.139	0.355	100.47	4154Ac4-Opx21
85	0.000	18.469	0.093	0.011	28.351	49.917	3.690	0.015	0.118	0.344	101.008	4154Ac4-Opx22
86	0.018	18.554	0.052	0.019	28.419	49.780	3.533	0.039	0.110	0.274	100.798	4154Ac4-Opx23
87	0.018	18.277	0.066	0.023	28.296	49.695	3.879	0.021	0.145	0.354	100.774	4154Ac4-Opx24
88	0.021	18.435	0.051	0.012	28.028	49.508	3.558	0.044	0.127	0.308	100.092	4154Ac4-Opx25
89	0.000	18.649	0.039	0.010	28.158	49.622	3.177	0.022	0.108	0.333	100.118	4154Ac4-Opx26
90	0.023	18.782	0.047	0.020	27.830	49.502	3.610	0.018	0.102	0.295	100.229	4154Ac4-Opx27
91	0.000	17.847	0.018	0.013	28.393	48.831	4.403	0.039	0.076	0.434	100.054	3036Ac2-Opx1
92	0.000	17.838	0.042	0.011	28.844	48.560	4.490	0.085	0.068	0.456	100.394	3036Ac2-Opx2
93	0.011	18.331	0.020	0.022	28.374	49.276	3.597	0.068	0.053	0.459	100.211	3036Ac2-Opx3
94	0.000	17.849	0.015	0.009	28.337	48.746	4.379	0.069	0.077	0.462	99.943	3036Ac2-Opx4
95	0.000	17.787	0.038	0.021	28.613	49.006	4.633	0.066	0.066	0.468	100.698	3036Ac2-Opx5
96	0.029	17.656	0.044	0.033	28.565	49.251	4.600	0.092	0.085	0.461	100.816	3036Ac2-Opx6
97	0.000	19.385	0.087	0.031	26.376	49.703	4.728	0.079	0.094	0.334	100.817	2121Ac2-Opx1
98	0.000	19.141	0.120	0.028	26.450	49.898	4.659	0.109	0.076	0.295	100.776	2121Ac2-Opx2
99	0.000	19.050	0.143	0.018	26.640	49.870	4.813	0.070	0.091	0.310	101.005	2121Ac2-Opx3
100	0.014	19.226	0.098	0.006	26.115	49.728	5.174	0.087	0.028	0.323	100.799	2121Ac2-Opx4
101	0.000	19.143	0.099	0.027	26.219	49.878	4.851	0.089	0.041	0.265	100.612	2121Ac2-Opx5
102	0.000	19.570	0.093	0.026	26.309	50.054	4.986	0.088	0.059	0.286	101.471	2121Ac2-Opx6
103	0.005	19.372	0.122	0.006	26.072	49.662	4.786	0.077	0.036	0.289	100.427	2121Ac2-Opx7
104	0.000	19.355	0.113	0.022	25.858	49.829	4.901	0.071	0.080	0.299	100.528	2121Ac2-Opx8
105	0.000	18.938	0.118	0.021	26.649	49.581	4.818	0.136	0.072	0.318	100.651	2121Ac2-Opx9
106	0.006	18.936	0.129	0.032	26.509	49.847	4.894	0.072	0.058	0.315	100.798	2121Ac2-Opx10
107	0.000	21.210	0.075	0.021	23.542	50.332	5.037	0.105	0.044	0.207	100.573	2121Ac3-Opx28
108	0.020	21.037	0.131	0.015	23.953	50.259	4.772	0.098	0.056	0.227	100.568	2121Ac3-Opx29
109	0.008	20.191	0.152	0.017	25.453	49.915	4.677	0.081	0.099	0.244	100.837	2121Ac3-Opx30
110	0.007	19.643	0.043	0.024	25.726	49.822	4.997	0.087	0.076	0.299	100.724	2121Ac3-Opx31
111	0.002	20.122	0.139	0.022	25.352	50.208	4.847	0.090	0.116	0.276	101.174	2121Ac3-Opx32
107	0.000	19.228	0.158	0.014	26.600	50.074	4.492	0.048	0.063	0.357	101.034	2121Ac4-Opx11

108	0.010	19.227	0.105	0.030	26.583	49.205	4.578	0.080	0.106	0.298	100.222	2121Ac4-Opx12
109	0.011	19.292	0.139	0.030	26.383	49.770	4.477	0.055	0.095	0.303	100.555	2121Ac4-Opx13
110	0.006	19.297	0.027	0.001	26.359	49.881	4.706	0.064	0.052	0.288	100.681	2121Ac4-Opx14
111	0.000	0.990	0.000	0.031	2.118	94.330	0.187	0.010	0.003	0.022	97.691	2121Ac4-Opx15
112	0.013	19.903	0.061	0.025	25.395	50.076	4.784	0.078	0.076	0.245	100.656	2121Ac4-Opx16
113	0.020	19.036	0.452	0.009	26.633	49.552	4.535	0.039	0.094	0.332	100.702	2121Ac4-Opx17
114	0.014	19.790	0.046	0.028	25.828	50.274	4.813	0.061	0.067	0.252	101.173	2121Ac4-Opx18
115	0.020	19.124	0.126	0.016	26.555	49.792	4.603	0.065	0.109	0.301	100.711	2121Ac4-Opx19
116	0.019	19.290	0.119	0.020	26.684	50.289	3.931	0.012	0.175	0.346	100.885	2121Ac4-Opx20
117	0.024	19.259	0.122	0.021	26.733	50.221	3.974	0.039	0.147	0.319	100.859	2121Ac4-Opx21
118	0.016	19.323	0.081	0.031	26.782	50.267	3.770	0.025	0.158	0.330	100.783	2121Ac4-Opx22
119	0.017	19.229	0.071	0.015	26.493	49.948	4.290	0.039	0.108	0.349	100.559	2121Ac4-Opx23
120	0.000	19.457	0.104	0.026	26.410	50.061	4.580	0.057	0.056	0.274	101.025	2121Ac4-Opx24
121	0.006	19.160	0.096	0.008	26.387	49.861	4.743	0.064	0.080	0.272	100.677	2121Ac4-Opx25
122	0.014	19.156	0.110	0.018	26.520	49.396	4.689	0.040	0.103	0.295	100.341	2121Ac4-Opx26
123	0.011	19.294	0.076	0.004	26.449	50.081	4.037	0.039	0.137	0.319	100.447	2121Ac4-Opx27

## **APPENDICE V**

### **ANALYSES MICROSONDE DES GRENATS**

Lames minces # 4020, 4084, 4118, 4146, 4134, 4134A, 4093, 4124, 4100, 4083, 4087, 4091, 4164, 4186, 4189, 4155A2, 4155A1, 4193, 4174, 4147, 4123, 12, et 4184: métasédiments de la sous-province d'Opinaca.

Lames minces # 1046, 1029, 1044, 25, 2117, 4154, 3036, et 2121: xénolithes métasédimentaires du Complexe d'Ashuanipi.

Abréviations minérales selon Kretz (1983) (appendice III): Grt: grenat.



	SiO2	Al2O3	TiO2	CaO	FeO	MgO	Cr2O3	MnO	TOTAL	# de la lame et localisation des points analysés
	(wt%)	(wt%)	(wt%)	(wt%)	(wt%)	(wt%)	(wt%)	(wt%)	(wt%)	
#										
1	37.053	21.600	0.027	1.351	31.087	7.094	0.069	0.782	99.063	4020ac1-Gr1
2	37.292	21.482	0.025	1.378	31.554	6.757	0.068	0.891	99.447	4020ac1-Gr2
3	37.692	5.979	0.023	1.303	32.319	21.469	0.056	0.892	99.733	4020c2-Gr1
4	37.883	7.268	0.016	1.419	30.200	21.617	0.108	0.819	99.33	4020c2-Gr2
5	37.581	7.019	0.010	1.306	30.614	21.532	0.041	0.832	98.935	4020c2-Gr3
6	37.589	5.982	0.021	1.391	31.997	21.340	0.040	0.961	99.321	4020c2-Gr4
7	37.721	5.672	0.032	1.395	32.822	21.536	0.035	0.908	100.121	4020c1-Gr1
8	37.375	5.807	0.041	1.315	32.827	21.459	0.076	0.933	99.833	4020c1-Gr2
9	37.974	7.276	0.024	1.298	30.951	21.664	0.114	0.791	100.092	4020c1-Gr3
10	37.800	6.638	0.000	1.388	31.779	21.504	0.120	0.763	99.992	4020c1-Gr4
11	37.851	7.290	0.016	1.313	30.836	21.693	0.050	0.787	99.836	4020c1-Gr5
12	37.944	8.780	0.020	0.930	28.639	21.663	0.000	1.094	99.07	4084c1-Gr1
13	38.016	8.954	0.013	0.949	28.563	21.707	0.049	1.125	99.376	4084c1-Gr2
14	38.027	9.033	0.000	0.930	28.442	21.890	0.025	1.101	99.448	4084c1-Gr3
15	37.827	9.073	0.008	0.881	28.234	21.708	0.064	1.154	98.949	4084c1-Gr4
16	38.267	8.943	0.001	0.978	28.298	21.671	0.037	1.015	99.21	4084c1-Gr5
17	37.946	9.299	0.000	0.921	27.738	21.591	0.068	1.059	98.622	4084c1-Gr6
18	38.118	9.615	0.019	0.822	27.082	21.534	0.076	0.650	97.916	4118c1-Gr1
19	37.987	9.036	0.026	0.842	28.047	21.504	0.110	0.650	98.202	4118c1-Gr2
20	37.887	9.149	0.023	0.831	27.983	21.718	0.072	0.689	98.352	4118c1-Gr3
21	38.034	9.362	0.059	0.860	27.432	21.663	0.069	0.644	98.123	4118c1-Gr4
22	37.902	9.566	0.000	0.785	27.401	21.660	0.049	0.602	97.965	4118c3-Gr1
23	37.563	8.931	0.034	0.825	27.717	22.022	0.055	0.698	97.845	4118c3-Gr2
24	38.014	9.249	0.004	0.801	27.811	21.516	0.092	0.661	98.148	4118c3-Gr3
25	36.638	3.266	0.018	0.956	33.931	21.200	0.034	3.570	99.613	4146c1-Gr1
26	36.797	3.442	0.000	0.991	33.610	21.160	0.000	3.339	99.339	4146c1-Gr2
27	36.933	3.609	0.000	0.979	33.677	21.046	0.009	3.216	99.469	4146c1-Gr3
28	37.013	3.727	0.000	0.948	33.902	21.320	0.026	3.260	100.196	4146c1-Gr4
29	36.826	3.617	0.000	0.985	33.452	21.134	0.000	3.282	99.296	4146c1-Gr5
30	36.862	3.622	0.024	0.972	33.609	21.117	0.018	3.306	99.53	4146c1-Gr6
31	36.894	3.641	0.000	1.019	33.462	21.015	0.043	3.360	99.434	4146c1-Gr7
32	36.558	3.103	0.000	1.084	33.291	21.019	0.018	3.682	98.755	4146c6-Gr1
33	36.862	3.947	0.000	0.981	33.380	21.282	0.019	2.998	99.469	4146c6-Gr2
34	36.877	4.228	0.000	0.979	33.475	21.429	0.000	2.889	99.877	4146c6-Gr3
35	37.068	4.098	0.000	1.034	33.310	21.188	0.026	2.860	99.584	4146c6-Gr4
36	36.809	4.066	0.009	0.997	33.176	20.951	0.020	2.793	98.821	4146c6-Gr5
37	36.883	4.044	0.023	1.024	33.121	21.116	0.050	2.861	99.122	4146c6-Gr6
38	37.005	4.011	0.000	1.002	33.332	21.000	0.079	2.876	99.305	4146c6-Gr7
39	36.900	4.103	0.000	1.038	33.196	21.000	0.037	2.975	99.249	4146c6-Gr8
40	36.890	4.021	0.000	1.010	33.206	20.978	0.034	2.965	99.104	4146c6-Gr9
41	36.930	4.039	0.000	1.006	33.253	21.158	0.032	2.978	99.396	4146c6-Gr10
42	36.767	3.908	0.016	0.989	33.419	20.967	0.048	3.076	99.19	4146c6-Gr11
43	36.889	3.875	0.000	1.003	33.498	20.965	0.051	3.114	99.395	4146c6-Gr12
44	36.865	3.744	0.000	0.973	33.340	21.131	0.016	3.168	99.237	4146c6-Gr13
45	36.809	3.541	0.005	1.013	33.295	21.112	0.016	3.354	99.145	4146c6-Gr14
46	38.378	10.095	0.019	0.659	28.372	21.862	0.100	0.709	100.194	4134c8-Gr1
47	38.454	9.996	0.026	0.673	28.137	21.957	0.059	0.737	100.039	4134c8-Gr2
48	38.115	9.946	0.032	0.688	28.055	21.734	0.098	0.748	99.416	4134c8-Gr3
49	37.051	10.061	0.053	0.703	28.336	21.742	0.121	0.740	98.807	4134c8-Gr4
50	36.970	10.164	0.058	0.679	27.851	21.822	0.065	0.695	98.304	4134c8-Gr6
51	36.596	10.184	0.022	0.688	27.942	21.844	0.036	0.684	97.996	4134c8-Gr7
52	36.818	10.201	0.018	0.725	27.826	21.919	0.035	0.663	98.205	4134c8-Gr8
53	36.524	10.339	0.046	0.707	27.573	21.819	0.095	0.632	97.735	4134c8-Gr9
54	36.998	10.392	0.000	0.745	27.669	21.871	0.060	0.684	98.419	4134c8-Gr10
55	36.746	10.346	0.009	0.690	27.758	21.937	0.032	0.751	98.269	4134c8-Gr11
56	36.194	9.902	0.039	0.709	28.248	21.691	0.094	0.734	97.611	4134c7-Gr1



57	36.911	9.998	0.026	0.678	28.390	21.794	0.086	0.707	98.59	4134c7-Grt2
58	36.565	9.850	0.049	0.681	28.635	21.789	0.126	0.694	98.389	4134c7-Grt3
59	36.640	10.019	0.013	0.669	28.304	21.669	0.098	0.710	98.122	4134c7-Grt4
60	36.822	10.384	0.019	0.654	27.671	21.845	0.100	0.720	98.215	4134c7-Grt5
61	37.335	10.013	0.010	0.667	28.121	21.693	0.109	0.702	98.65	4134c7-Grt6
62	37.065	10.160	0.000	0.705	27.921	21.780	0.101	0.724	98.456	4134c7-Grt7
63	37.245	10.123	0.025	0.685	27.798	21.783	0.076	0.720	98.455	4134c7-Grt8
64	37.030	10.213	0.055	0.708	27.890	21.801	0.042	0.711	98.45	4134c7-Grt9
65	36.907	10.302	0.015	0.717	27.701	21.783	0.058	0.691	98.174	4134c7-Grt10
66	37.547	10.440	0.040	0.714	27.723	22.004	0.032	0.655	99.155	4134c7-Grt11
67	37.027	10.268	0.029	0.737	27.575	21.624	0.053	0.697	98.01	4134c7-Grt12
68	36.883	10.271	0.036	0.717	27.917	21.699	0.080	0.631	98.234	4134c7-Grt13
69	36.932	10.367	0.042	0.670	27.881	21.744	0.058	0.717	98.411	4134c7-Grt14
70	36.776	10.208	0.026	0.689	27.965	21.757	0.041	0.610	98.072	4134c7-Grt15
71	37.220	10.326	0.011	0.714	28.139	21.872	0.061	0.706	99.049	4134c7-Grt16
72	37.399	10.357	0.011	0.696	27.809	21.818	0.008	0.687	98.785	4134c7-Grt17
73	36.727	10.334	0.036	0.659	27.921	21.834	0.032	0.655	98.198	4134c7-Grt18
74	37.002	10.473	0.018	0.724	27.731	21.648	0.053	0.663	98.312	4134c7-Grt19
75	37.139	10.355	0.000	0.703	27.816	21.747	0.054	0.702	98.516	4134c7-Grt20
76	37.679	10.451	0.023	0.692	28.010	21.796	0.088	0.688	99.427	4134c7-Grt21
77	37.548	10.360	0.000	0.709	27.751	21.922	0.103	0.690	99.083	4134c7-Grt22
78	37.350	10.465	0.015	0.731	27.867	21.788	0.000	0.671	98.887	4134c7-Grt23
79	37.133	10.508	0.010	0.736	27.705	21.883	0.033	0.663	98.671	4134c7-Grt24
80	37.121	10.457	0.016	0.715	27.760	22.004	0.031	0.683	98.787	4134c7-Grt25
81	36.930	10.303	0.035	0.665	28.054	21.900	0.055	0.685	98.627	4134c7-Grt26
82	37.055	10.136	0.000	0.709	27.971	21.827	0.026	0.723	98.447	4134c7-Grt27
83	36.825	10.254	0.014	0.707	27.932	21.600	0.068	0.701	98.101	4134c7-Grt28
84	36.839	10.067	0.032	0.690	28.286	21.727	0.099	0.740	98.48	4134c7-Grt29
85	36.993	9.954	0.032	0.682	28.322	21.699	0.082	0.715	98.479	4134c7-Grt30
86	37.383	10.324	0.030	0.660	27.629	22.024	0.073	0.639	98.762	4134c7-Grt31
87	37.203	10.518	0.017	0.670	27.862	21.919	0.053	0.691	98.933	4134c7-Grt32
88	36.879	10.489	0.029	0.693	27.493	21.683	0.000	0.740	98.006	4134c7-Grt33
89	37.271	10.668	0.000	0.656	27.508	21.768	0.064	0.702	98.637	4134c7-Grt34
90	37.741	10.621	0.010	0.634	27.347	21.974	0.076	0.644	99.047	4134c7-Grt35
91	37.057	8.305	0.003	1.095	29.645	21.373	0.045	0.999	98.522	4093A1c1-Grt1
92	36.988	8.215	0.012	1.093	29.797	21.523	0.072	0.998	98.698	4093A1c1-Grt2
93	37.248	8.472	0.017	1.054	29.431	20.943	0.083	0.977	98.225	4093A1c1-Grt3
94	37.102	8.785	0.000	1.077	29.565	21.536	0.035	0.949	99.049	4093A1c1-Grt4
95	37.378	8.511	0.013	1.099	29.670	21.505	0.039	1.005	99.22	4093A1c1-Grt5
96	37.295	8.567	0.018	1.086	29.722	21.535	0.070	1.034	99.327	4093A1c1-Grt6
97	37.499	8.476	0.005	1.123	29.629	21.644	0.061	1.024	99.461	4093A1c1-Grt7
98	37.176	8.625	0.017	1.066	29.768	21.526	0.050	0.974	99.202	4093A1c1-Grt8
99	37.639	8.768	0.005	1.074	29.327	21.639	0.036	1.028	99.516	4093A1c1-Grt9
100	37.447	9.593	0.034	1.100	28.663	21.781	0.042	0.888	99.548	4093A1c4-Grt1
101	37.617	9.378	0.035	1.081	28.472	21.722	0.046	0.953	99.304	4093A1c4-Grt2
102	37.457	9.409	0.029	1.078	28.828	21.705	0.045	0.936	99.487	4093A1c4-Grt3
103	37.723	9.430	0.027	1.048	28.903	21.830	0.046	0.907	99.914	4093A1c4-Grt4
104	37.784	9.093	0.037	1.093	29.227	21.754	0.075	0.948	100.011	4093A1c4-Grt5
105	37.492	9.861	0.024	0.686	28.896	21.808	0.077	0.732	99.576	4134A1c4-Grt1
106	37.594	10.104	0.048	0.687	28.506	21.765	0.076	0.735	99.515	4134A1c4-Grt2
107	37.359	10.224	0.026	0.659	28.501	21.831	0.071	0.716	99.387	4134A1c4-Grt3
108	37.729	9.815	0.053	0.656	28.920	21.880	0.073	0.791	99.917	4134A1c4-Grt4
109	37.597	9.053	0.000	0.740	29.634	21.788	0.048	0.789	99.649	4134A1c4-Grt5
110	37.859	9.775	0.019	0.652	29.067	21.908	0.063	0.733	100.076	4134A1c4-Grt6
111	37.749	9.761	0.015	0.642	28.849	21.855	0.102	0.722	99.695	4134A1c4-Grt7
112	38.123	9.849	0.046	0.692	28.782	21.875	0.037	0.720	100.124	4134A1c4-Grt8
113	38.003	10.159	0.000	0.681	28.288	22.059	0.095	0.682	99.967	4134A1c4-Grt9
114	38.416	10.279	0.020	0.697	28.420	22.071	0.082	0.701	100.686	4134A1c4-Grt10
115	38.306	10.101	0.017	0.699	28.540	22.185	0.016	0.666	100.53	4134A1c4-Grt11
116	38.209	10.197	0.038	0.709	28.352	22.061	0.043	0.711	100.32	4134A1c4-Grt12

117	36.741	10.152	0.017	0.696	28.236	21.895	0.010	0.714	98.461	4134A1c4-Grt13
118	37.948	10.235	0.022	0.702	28.350	22.002	0.045	0.720	100.024	4134A1c4-Grt14
119	38.084	10.434	0.000	0.654	28.167	21.945	0.046	0.730	100.06	4134A1c4-Grt15
120	38.203	10.036	0.000	0.675	28.659	21.966	0.064	0.708	100.311	4134A1opx-Grt16
121	38.009	10.047	0.000	0.680	28.451	21.994	0.061	0.748	99.99	4134A1opx-Grt17
122	38.185	9.978	0.010	0.680	28.674	21.948	0.092	0.723	100.29	4134A1opx-Grt18
123	38.232	9.739	0.020	0.663	28.755	21.927	0.059	0.763	100.158	4134A1opx-Grt19
124	38.714	10.162	0.000	0.636	28.481	22.059	0.066	0.704	100.822	4134A1opx-Grt20
125	37.906	10.177	0.027	0.674	28.285	22.045	0.045	0.679	99.838	4134A1opx-Grt21
126	38.252	9.654	0.000	0.777	29.019	21.947	0.077	0.529	100.255	4124Ac1-Grt1
127	37.622	9.669	0.000	0.794	28.929	21.815	0.056	0.540	99.425	4124Ac1-Grt2
128	37.713	9.136	0.004	0.861	29.318	21.897	0.077	0.586	99.592	4124Ac1-Grt3
129	37.985	9.750	0.000	0.817	28.685	22.006	0.075	0.575	99.893	4124Ac1-Grt4
130	38.178	9.808	0.000	0.843	28.639	21.892	0.147	0.551	100.058	4124Ac1-Grt5
131	37.822	9.736	0.001	0.882	28.827	21.828	0.154	0.516	99.766	4124Ac1-Grt6
132	38.218	9.890	0.044	0.797	28.554	21.869	0.069	0.565	100.006	4124Ac1-Grt7
133	37.573	9.853	0.000	0.817	28.663	21.878	0.058	0.511	99.353	4124Ac1-Grt8
134	36.897	9.237	0.026	0.809	29.644	21.572	0.038	0.535	98.758	4124Ac1-Grt9
135	37.779	9.290	0.001	0.861	29.647	21.826	0.089	0.519	100.012	4124Ac1-Grt10
136	37.916	8.994	0.027	0.801	29.957	21.737	0.054	0.574	100.06	4124Ac1-Grt11
137	38.057	9.427	0.001	0.876	29.286	21.770	0.121	0.600	100.138	4124Ac1-Grt12
138	37.378	9.226	0.014	0.846	29.573	21.738	0.055	0.602	99.432	4124Ac1-Grt13
139	37.532	8.829	0.020	0.878	30.394	21.837	0.079	0.593	100.162	4124Ac1-Grt14
140	37.792	9.676	0.023	0.839	28.961	21.753	0.124	0.553	99.721	4124Ac1-Grt15
141	37.695	8.076	0.000	0.911	31.025	21.538	0.125	0.595	99.965	4124Ac5-Grt1
142	38.114	9.454	0.024	0.866	29.404	21.932	0.134	0.577	100.505	4124Ac5-Grt2
143	37.663	9.708	0.000	0.843	27.932	21.396	0.056	0.547	98.145	4124Ac5-Grt3
144	38.248	9.954	0.012	0.841	28.565	22.034	0.105	0.550	100.309	4124Ac5-Grt4
145	38.377	9.856	0.047	0.787	28.791	21.796	0.099	0.587	100.34	4124Ac5-Grt5
146	37.979	9.836	0.000	0.857	28.833	21.868	0.093	0.587	100.053	4124Ac5-Grt6
147	38.040	9.980	0.013	0.856	28.723	22.042	0.079	0.559	100.292	4124Ac5-Grt7
148	38.009	10.027	0.021	0.841	29.054	21.853	0.034	0.585	100.424	4124Ac5-Grt8
149	38.025	9.885	0.024	0.833	28.673	21.854	0.095	0.521	99.91	4124Ac5-Grt9
150	38.388	10.166	0.008	0.893	28.490	22.012	0.154	0.510	100.621	4124Ac5-Grt10
151	38.228	9.386	0.016	1.296	27.898	21.607	0.146	0.889	99.466	4100A-Grt1
152	38.200	9.398	0.007	1.278	27.429	21.445	0.088	0.851	98.696	4100A-Grt2
153	38.410	9.588	0.048	1.256	27.762	21.533	0.065	0.849	99.511	4100A-Grt3
154	38.206	9.653	0.000	1.215	27.574	21.485	0.082	0.874	99.089	4100A-Grt4
155	38.519	9.921	0.011	1.276	27.095	21.647	0.046	0.770	99.285	4100Ac2-Grt1
156	38.371	9.832	0.012	1.292	27.225	21.640	0.108	0.783	99.263	4100Ac2-Grt2
157	38.296	9.901	0.041	1.260	27.145	21.446	0.088	0.799	98.976	4100Ac2-Grt3
158	38.231	9.916	0.010	1.266	27.535	21.715	0.035	0.787	99.495	4100Ac2-Grt4
159	38.588	9.851	0.006	1.252	27.364	21.640	0.002	0.834	99.537	4100Ac2-Grt5
160	38.510	9.693	0.052	1.262	27.566	21.510	0.097	0.804	99.494	4100Ac2-Grt6
161	38.080	10.280	0.015	0.873	27.188	21.574	0.098	0.711	98.819	4083A1c1-Grt1
162	38.170	10.252	0.024	0.914	27.595	21.705	0.066	0.749	99.475	4083A1c1-Grt2
163	38.322	10.348	0.000	0.900	27.162	21.704	0.028	0.715	99.179	4083A1c1-Grt3
164	38.220	10.388	0.000	0.882	27.016	21.673	0.043	0.767	98.989	4083A1c1-Grt4
165	38.191	10.624	0.000	0.905	27.078	21.659	0.064	0.668	99.189	4083A1c1-Grt5
166	38.363	9.709	0.026	0.853	28.225	21.523	0.071	0.821	99.591	4083A1c1-Grt6
167	38.127	10.263	0.013	0.883	27.045	21.541	0.044	0.755	98.671	4083A1c1-Grt7
168	38.027	10.278	0.001	0.912	26.977	21.465	0.038	0.708	98.406	4083A1c1-Grt8
169	38.126	8.929	0.019	1.009	28.920	21.410	0.081	0.830	99.324	4087Ac2-Grt1
170	38.026	8.916	0.044	1.064	28.957	21.505	0.081	0.820	99.413	4087Ac2-Grt2
171	38.348	9.041	0.017	1.038	28.901	21.365	0.060	0.804	99.574	4087Ac2-Grt3
172	38.528	9.210	0.024	1.012	28.775	21.645	0.009	0.759	99.962	4087Ac2-Grt4
173	38.213	9.293	0.017	0.994	28.618	21.496	0.034	0.792	99.457	4087Ac2-Grt5
174	38.509	9.309	0.000	1.118	28.671	21.417	0.063	0.790	99.877	4087Ac2-Grt6
175	38.304	9.589	0.024	1.057	28.238	21.384	0.072	0.755	99.423	4087Ac2-Grt7
176	38.399	9.659	0.000	1.084	27.926	21.410	0.030	0.738	99.246	4087Ac2-Grt8

177	38.183	9.346	0.000	1.093	28.308	21.335	0.080	0.757	99.102	4087Ac2-Grt9
178	38.342	9.783	0.000	1.059	27.801	21.473	0.047	0.731	99.236	4087Ac2-Grt10
179	38.453	9.486	0.000	1.088	28.066	21.330	0.084	0.763	99.270	4087Ac2-Grt11
180	38.202	9.469	0.000	0.956	28.143	21.455	0.075	0.791	99.091	4087Ac2-Grt12
181	38.398	9.310	0.010	0.988	28.420	21.509	0.071	0.790	99.496	4087Ac2-Grt13
182	38.222	9.431	0.000	0.988	28.414	21.349	0.035	0.710	99.149	4087Ac4-Grt1
183	38.461	9.448	0.016	0.955	28.445	21.496	0.082	0.746	99.649	4087Ac4-Grt2
184	38.273	9.575	0.012	0.994	28.092	21.342	0.034	0.756	99.078	4087Ac4-Grt3
185	38.394	9.457	0.000	1.008	28.107	21.293	0.062	0.723	99.044	4087Ac4-Grt4
186	38.049	9.364	0.013	0.984	28.361	21.540	0.067	0.743	99.121	4087Ac4-Grt5
187	38.687	9.748	0.028	0.925	27.887	21.704	0.065	0.703	99.747	4087Ac4-Grt6
188	38.583	9.682	0.000	0.977	27.897	21.523	0.064	0.690	99.416	4087Ac4-Grt7
189	38.319	9.831	0.000	0.976	27.966	21.335	0.050	0.720	99.197	4087Ac4-Grt8
190	38.487	8.782	0.043	1.013	28.771	21.333	0.074	0.860	99.363	4091Ac1-Grt1
191	38.081	8.506	0.011	0.997	29.290	21.328	0.016	0.871	99.100	4091Ac1-Grt2
192	38.359	8.901	0.000	1.039	28.906	21.410	0.061	0.794	99.470	4091Ac1-Grt3
193	38.561	9.045	0.023	1.016	28.623	21.540	0.077	0.852	99.737	4091Ac1-Grt4
194	38.064	9.116	0.016	1.014	28.425	21.210	0.093	0.865	98.803	4091Ac1-Grt5
195	38.158	9.236	0.017	1.035	28.355	21.464	0.079	0.831	99.175	4091Ac1-Grt6
196	38.414	8.846	0.000	1.022	28.668	21.341	0.084	0.871	99.246	4091Ac1-Grt7
197	38.355	9.102	0.000	1.005	28.279	21.324	0.075	0.794	98.934	4091Ac1-Grt8
198	38.307	8.568	0.000	1.015	29.068	21.139	0.072	0.861	99.030	4091Ac1-Grt9
199	38.156	8.896	0.030	1.057	28.444	21.184	0.051	0.820	98.638	4091Ac1-Grt10
200	37.877	8.883	0.005	1.006	28.646	21.044	0.058	0.859	98.378	4091Ac1-Grt11
201	38.371	8.800	0.004	1.060	29.106	21.349	0.031	0.881	99.602	4091Ac1-Grt12
202	37.992	8.843	0.011	1.029	28.892	21.300	0.025	0.885	98.977	4091Ac1-Grt13
203	38.311	9.150	0.032	1.060	28.729	21.402	0.034	0.892	99.610	4091Ac5-Grt1
204	38.552	9.000	0.009	0.967	28.619	21.426	0.059	0.937	99.569	4091Ac5-Grt2
205	38.285	9.051	0.005	1.005	28.565	21.392	0.035	0.837	99.175	4091Ac5-Grt3
206	38.596	9.677	0.001	1.060	27.910	21.523	0.094	0.850	99.711	4091Ac5-Grt4
207	38.392	9.690	0.000	1.041	27.967	21.474	0.018	0.873	99.455	4091Ac5-Grt5
208	38.426	9.540	0.019	0.999	27.989	21.576	0.073	0.862	99.484	4091Ac5-Grt6
209	38.304	9.765	0.022	1.028	27.929	21.491	0.054	0.804	99.397	4091Ac5-Grt7
210	38.288	9.208	0.003	1.030	28.446	21.296	0.061	0.847	99.179	4091Ac5-Grt8
211	38.306	9.188	0.000	1.064	28.497	21.360	0.061	0.881	99.357	4091Ac5-Grt9
212	38.313	9.296	0.030	1.077	28.672	21.472	0.053	0.828	99.741	4091Ac5-Grt10
213	37.952	8.504	0.000	1.016	29.302	21.232	0.113	0.920	99.039	4091Ac5-Grt11
214	38.092	8.362	0.041	1.010	29.675	21.203	0.084	0.935	99.402	4091Ac5-Grt12
215	38.094	8.354	0.032	1.025	29.366	21.441	0.062	1.031	99.405	4091Ac5-Grt13
216	38.116	8.257	0.016	0.994	29.629	21.163	0.052	1.036	99.263	4091Ac5-Grt14
217	37.988	7.983	0.020	1.057	31.391	21.651	0.064	0.536	100.69	4164Ac5-Grt1
218	37.786	8.037	0.000	1.155	31.142	21.741	0.071	0.528	100.46	4164Ac5-Grt2
219	37.885	7.881	0.026	1.164	30.816	21.672	0.064	0.547	100.055	4164Ac5-Grt3
220	37.576	7.784	0.002	1.134	30.966	21.605	0.048	0.572	99.687	4164Ac5-Grt4
221	37.735	7.844	0.032	1.200	31.137	21.571	0.086	0.530	100.135	4164Ac5-Grt5
222	38.014	7.933	0.039	1.178	30.859	21.727	0.097	0.541	100.388	4164Ac5-Grt6
223	37.614	7.961	0.000	1.222	30.974	21.753	0.051	0.558	100.133	4164Ac5-Grt7
224	37.723	7.928	0.017	1.185	30.988	21.680	0.063	0.557	100.141	4164Ac5-Grt8
225	37.787	7.847	0.041	1.147	31.110	21.581	0.046	0.571	100.13	4164Ac5-Grt9
226	38.026	7.983	0.000	1.135	31.329	21.730	0.052	0.591	100.846	4164Ac5-Grt10
227	37.516	7.795	0.008	1.089	31.176	21.606	0.049	0.589	99.828	4164Ac5-Grt11
228	37.546	8.027	0.040	1.193	30.992	21.580	0.054	0.522	99.954	4164Ac5-Grt12
229	37.550	8.100	0.011	1.262	30.771	21.563	0.065	0.528	99.85	4164Ac5-Grt13
230	37.808	8.077	0.000	1.271	30.830	21.730	0.076	0.550	100.342	4164Ac5-Grt14
231	37.695	7.943	0.000	1.177	30.905	21.585	0.062	0.568	99.935	4164Ac5-Grt15
232	37.541	8.045	0.000	1.107	31.061	21.675	0.049	0.549	100.027	4164Ac5-Grt16
233	37.757	7.968	0.047	1.081	31.279	21.583	0.064	0.565	100.344	4164Ac5-Grt17
234	37.291	7.835	0.000	1.071	31.445	21.716	0.070	0.568	99.996	4164Ac5-Grt18
235	37.255	7.770	0.007	1.053	31.267	21.712	0.078	0.567	99.709	4164Ac5-Grt19
236	37.534	7.317	0.008	1.109	31.815	21.701	0.050	0.599	100.133	4164Ac5-Grt20

237	37.300	6.329	0.005	1.063	33.233	21.521	0.021	0.622	100.094	4164Ac5-Gr21
238	37.290	6.631	0.000	1.063	32.719	21.419	0.028	0.605	99.755	4164Ac5-Gr22
239	37.532	8.212	0.002	1.037	30.226	21.520	0.040	0.958	99.527	4186A2c12-Gr1
240	37.442	8.267	0.000	1.068	30.186	21.511	0.052	0.949	99.475	4186A2c12-Gr2
241	37.574	8.115	0.039	1.151	30.293	21.555	0.029	0.981	99.737	4186A2c12-Gr3
242	37.336	8.083	0.026	1.062	30.680	21.399	0.031	0.965	99.582	4186A2c12-Gr4
243	37.638	8.160	0.000	1.132	30.278	21.678	0.028	0.977	99.891	4186A2c12-Gr5
244	37.483	8.247	0.000	1.071	30.392	21.639	0.041	0.970	99.843	4186A2c12-Gr6
245	37.709	8.437	0.031	1.144	30.121	21.540	0.030	1.013	100.025	4186A2c12-Gr7
246	37.487	8.366	0.000	1.122	30.396	21.478	0.037	0.992	99.878	4186A2c12-Gr8
247	37.553	7.910	0.019	1.083	30.414	21.565	0.104	1.325	99.973	4189A2c1-Gr1
248	37.792	8.073	0.000	1.103	30.281	21.648	0.052	1.290	100.239	4189A2c1-Gr2
249	37.522	8.002	0.014	1.126	30.513	21.446	0.065	1.328	100.016	4189A2c1-Gr3
250	37.733	7.611	0.012	1.121	30.697	21.498	0.064	1.315	100.051	4189A2c1-Gr4
251	37.760	7.371	0.000	1.130	31.067	21.677	0.075	1.378	100.458	4189A2c1-Gr5
252	37.561	7.220	0.014	1.159	31.249	21.482	0.085	1.351	100.121	4189A2c1-Gr6
253	37.762	8.169	0.000	1.128	30.143	21.610	0.053	1.250	100.115	4189A2c1-Gr7
254	37.920	8.281	0.041	1.092	29.975	21.788	0.033	1.219	100.349	4189A2c1-Gr8
255	37.655	8.178	0.005	1.105	29.993	21.708	0.060	1.135	99.839	4189A2c5-Gr1
256	37.686	8.199	0.000	1.141	29.893	21.739	0.052	1.220	99.93	4189A2c5-Gr2
257	37.492	8.242	0.005	1.042	29.747	21.554	0.071	1.239	99.392	4189A2c5-Gr3
258	37.518	8.146	0.016	1.108	29.648	21.642	0.041	1.228	99.347	4189A2c5-Gr4
259	37.896	8.075	0.000	1.080	29.893	21.580	0.044	1.231	99.799	4189A2c5-Gr5
260	37.586	8.175	0.004	1.118	29.894	21.709	0.008	1.282	99.776	4189A2c5-Gr6
261	37.722	8.010	0.010	1.125	29.912	21.674	0.067	1.286	99.806	4189A2c5-Gr7
262	37.594	8.204	0.010	1.142	29.926	21.543	0.041	1.259	99.719	4189A2c5-Gr8
263	37.684	8.226	0.042	1.070	29.608	21.590	0.057	1.298	99.575	4189A2c5-Gr9
264	37.901	8.160	0.000	1.083	30.013	21.621	0.050	1.335	100.163	4189A2c5-Gr10
265	37.792	8.152	0.008	1.081	30.117	21.621	0.050	1.242	100.063	4189A2c5-Gr11
266	37.509	7.951	0.005	1.109	30.214	21.473	0.115	1.259	99.635	4189A2c5-Gr12
267	37.579	7.886	0.005	1.119	30.179	21.431	0.087	1.286	99.572	4189A2c5-Gr13
268	37.594	8.150	0.001	1.115	29.799	21.456	0.059	1.228	99.402	4189A2c5-Gr14
269	37.590	7.430	0.000	1.146	30.648	21.496	0.096	1.290	99.696	4189A2c5-Gr15
270	37.574	7.979	0.000	1.183	30.248	21.604	0.043	1.245	99.876	4189A2c5-Gr16
271	37.729	7.967	0.000	1.173	30.096	21.625	0.074	1.306	99.97	4189A2c5-Gr17
272	37.573	7.872	0.000	1.123	30.136	21.774	0.038	1.263	99.779	4189A2c5-Gr18
273	37.460	7.639	0.000	1.285	30.627	21.681	0.009	0.429	99.13	4155A2c3-Gr1
274	37.188	7.621	0.000	1.281	30.752	21.595	0.000	0.453	98.89	4155A2c3-Gr2
275	37.494	7.686	0.000	1.344	30.682	21.390	0.039	0.441	99.076	4155A2c3-Gr3
276	37.493	7.413	0.004	1.350	30.895	21.439	0.004	0.409	99.007	4155A2c3-Gr4
277	37.389	7.547	0.000	1.289	30.754	21.476	0.012	0.414	98.881	4155A2c3-Gr5
278	37.383	7.128	0.000	1.367	31.091	21.454	0.020	0.454	98.897	4155A2c3-Gr6
279	37.203	7.431	0.000	1.316	31.078	21.428	0.038	0.413	98.907	4155A2c3-Gr7
280	37.308	7.536	0.000	1.266	31.088	21.629	0.048	0.472	99.347	4155A2c3-Gr8
281	37.249	7.273	0.000	1.364	31.329	21.413	0.050	0.470	99.148	4155A2c3-Gr9
282	37.534	7.707	0.000	1.344	30.441	21.315	0.021	0.431	98.793	4155A2c3-Gr10
283	37.490	7.871	0.000	1.251	30.539	21.453	0.018	0.435	99.057	4155A2c3-Gr11
284	37.300	7.735	0.000	1.267	30.648	21.475	0.008	0.436	98.869	4155A2c3-Gr12
285	37.379	8.126	0.000	1.223	30.141	21.473	0.015	0.431	98.788	4155A2c3-Gr13
286	37.497	8.005	0.000	1.320	30.342	21.724	0.000	0.445	99.333	4155A2c3-Gr14
287	37.602	7.937	0.000	1.360	30.335	21.612	0.023	0.430	99.299	4155A2c3-Gr15
288	37.429	7.604	0.001	1.363	30.823	21.465	0.005	0.405	99.095	4155A2c3-Gr16
289	37.331	7.749	0.000	1.401	30.423	21.446	0.026	0.456	98.832	4155A2c3-Gr17
290	37.357	7.119	0.000	1.371	31.550	21.476	0.002	0.443	99.318	4155A2c3-Gr18
291	37.535	8.094	0.000	1.241	30.152	21.514	0.016	0.459	99.011	4155A2c3-Gr19
292	37.484	8.141	0.000	1.272	30.332	21.555	0.019	0.447	99.25	4155A2c3-Gr20
293	37.465	7.558	0.000	1.363	31.027	21.608	0.000	0.452	99.473	4155A2c3-Gr21
294	37.481	7.418	0.000	1.380	31.160	21.483	0.028	0.441	99.391	4155A2c3-Gr22
295	37.374	7.606	0.000	1.370	30.682	21.604	0.035	0.486	99.157	4155A2c3-Gr23
296	37.694	7.793	0.004	1.340	30.317	21.569	0.013	0.422	99.152	4155A2c3-Gr24

297	37.673	7.945	0.000	1.243	30.462	21.513	0.000	0.446	99.282	4155A2c3-Grt25
298	37.287	7.618	0.000	1.188	30.815	21.491	0.018	0.436	98.853	4155A2c3-Grt26
299	37.695	7.953	0.000	1.218	30.558	21.881	0.030	0.429	99.764	4155A2c3-Grt27
300	37.448	7.775	0.000	1.300	30.524	21.447	0.006	0.428	98.928	4155A2c3-Grt28
301	37.334	7.886	0.000	1.221	30.359	21.407	0.016	0.430	98.653	4155A2c3-Grt29
302	37.281	7.869	0.009	1.231	30.475	21.545	0.013	0.414	98.837	4155A2c3-Grt30
303	37.480	7.507	0.007	1.334	30.955	21.535	0.005	0.439	99.262	4155A2c3-Grt31
304	37.425	7.791	0.000	1.323	30.613	21.585	0.019	0.438	99.194	4155A2c3-Grt32
305	37.546	8.053	0.000	1.384	30.306	21.661	0.012	0.412	99.374	4155A2c3-Grt33
306	37.768	8.161	0.027	1.344	29.974	21.443	0.008	0.446	99.171	4155A2c3-Grt34
307	37.345	7.665	0.001	1.372	30.529	21.737	0.009	0.414	99.072	4155A2c3-Grt35
308	37.506	7.804	0.000	1.409	30.437	21.461	0.049	0.447	99.113	4155A2c3-Grt36
309	37.606	7.774	0.000	1.368	30.782	21.513	0.014	0.458	99.515	4155A2c3-Grt37
310	37.392	7.825	0.000	1.340	30.411	21.458	0.054	0.426	98.906	4155A2c3-Grt38
311	37.295	7.794	0.000	1.360	30.437	21.365	0.056	0.475	98.782	4155A2c3-Grt39
312	37.267	7.306	0.000	1.390	31.154	21.593	0.023	0.462	99.195	4155A2c3-Grt40
313	37.174	5.593	0.000	1.328	32.858	21.120	0.054	1.332	99.459	4155A1c3-Grt1
314	37.039	5.376	0.000	1.384	32.976	21.084	0.103	1.364	99.326	4155A1c3-Grt2
315	37.036	5.922	0.000	1.333	32.277	21.367	0.101	1.224	99.26	4155A1c3-Grt3
316	37.273	6.008	0.000	1.367	31.916	21.277	0.086	1.335	99.262	4155A1c3-Grt4
317	37.210	6.172	0.017	1.314	32.212	21.224	0.058	1.297	99.504	4155A1c3-Grt5
318	36.967	5.277	0.000	1.369	33.255	21.320	0.072	1.391	99.651	4155A1c3-Grt6
319	37.087	6.002	0.011	1.351	32.337	21.324	0.061	1.339	99.512	4155A1c3-Grt7
320	37.085	5.926	0.000	1.348	32.296	21.197	0.091	1.295	99.238	4155A1c3-Grt8
321	37.155	5.495	0.000	1.364	33.045	21.123	0.051	1.356	99.589	4155A1c3-Grt9
322	36.859	5.790	0.000	1.231	29.829	21.181	0.000	4.109	98.999	4193A12c2-Grt1
323	36.912	5.821	0.000	1.253	29.772	21.170	0.000	4.031	98.959	4193A12c2-Grt2
324	37.200	5.994	0.000	1.265	29.500	21.182	0.000	3.964	99.105	4193A12c2-Grt3
325	36.865	5.896	0.000	1.251	29.752	21.386	0.000	3.963	99.113	4193A12c2-Grt5
326	37.045	5.624	0.010	1.319	29.919	21.257	0.000	3.980	99.154	4193A12c2-Grt6
327	36.892	5.721	0.000	1.310	30.028	21.211	0.011	3.972	99.145	4193A12c2-Grt7
328	36.952	6.603	0.000	1.258	29.249	21.241	0.000	3.734	99.037	4193A12c2-Grt8
329	37.036	6.003	0.016	1.284	29.363	21.362	0.000	4.009	99.073	4193A12c2-Grt9
330	36.964	6.163	0.000	1.321	29.131	21.257	0.000	3.971	98.807	4193A12c2-Grt10
331	37.221	6.498	0.000	1.206	29.149	21.229	0.000	3.814	99.117	4193A12c2-Grt11
332	37.331	6.660	0.000	1.228	29.192	21.293	0.000	3.834	99.538	4193A12c2-Grt12
333	36.975	6.448	0.000	1.361	31.850	21.310	0.000	1.111	99.055	4174A1c1-Grt1
334	37.201	6.749	0.013	1.390	31.201	21.289	0.020	1.099	98.962	4174A1c1-Grt2
335	37.160	6.861	0.000	1.505	31.025	21.202	0.000	1.084	98.837	4174A1c1-Grt3
336	37.306	6.900	0.004	1.312	31.166	21.392	0.008	1.048	99.136	4174A1c1-Grt4
337	37.429	7.094	0.003	1.273	30.818	21.292	0.007	1.057	98.973	4174A1c1-Grt5
338	37.249	7.007	0.019	1.256	30.935	21.341	0.033	1.011	98.851	4174A1c1-Grt6
339	37.286	7.178	0.000	1.300	30.907	21.450	0.000	1.059	99.18	4174A1c1-Grt7
340	37.037	6.906	0.001	1.262	31.303	21.218	0.000	1.084	98.811	4174A1c1-Grt8
341	37.142	6.942	0.007	1.301	30.970	21.395	0.006	1.112	98.875	4174A1c1-Grt9
342	37.298	7.192	0.000	1.277	30.853	21.334	0.023	1.049	99.026	4174A1c1-Grt10
343	37.134	7.136	0.017	1.325	30.722	21.304	0.021	1.064	98.723	4174A1c1-Grt11
344	37.175	7.182	0.000	1.299	31.057	21.391	0.011	1.079	99.194	4174A1c1-Grt12
345	36.944	6.799	0.000	1.228	31.401	21.455	0.000	1.138	98.965	4174A1c1-Grt13
346	36.926	6.816	0.000	1.291	31.114	21.206	0.040	1.108	98.501	4174A1c2-Grt1
347	37.125	6.802	0.000	1.197	31.282	21.178	0.062	1.114	98.76	4174A1c2-Grt2
348	37.042	6.769	0.007	1.264	31.172	21.290	0.067	1.133	98.744	4174A1c2-Grt3
349	37.163	6.383	0.003	1.221	32.042	21.186	0.052	1.142	99.192	4174A1c2-Grt4
350	36.775	6.334	0.011	1.205	32.100	21.230	0.071	1.094	98.82	4174A1c2-Grt5
351	37.029	6.356	0.000	1.366	31.821	21.328	0.059	1.119	99.078	4174A1c2-Grt6
352	36.937	6.776	0.000	1.263	31.353	21.370	0.088	1.129	98.916	4174A1c2-Grt7
353	36.817	6.187	0.000	1.275	31.908	21.067	0.095	1.071	98.42	4174A1c2-Grt8
354	37.127	6.866	0.000	1.187	31.450	21.427	0.028	1.117	99.202	4174A1c2-Grt9
355	37.331	7.407	0.001	1.245	30.831	21.318	0.061	1.102	99.296	4174A1c2-Grt10
356	37.023	7.027	0.019	1.285	31.217	21.350	0.017	1.077	99.015	4174A1c2-Grt11

357	37.315	7.259	0.006	1.309	30.913	21.342	0.044	1.073	99.261	4174A1c2-Grt12
358	37.085	7.251	0.002	1.283	30.946	21.293	0.029	1.087	98.976	4174A1c2-Grt13
359	37.243	7.339	0.000	1.389	30.363	21.348	0.017	1.073	98.772	4174A1c2-Grt14
360	37.244	7.500	0.000	1.438	30.308	21.374	0.015	1.080	98.959	4174A1c2-Grt15
361	37.228	7.655	0.000	1.369	30.393	21.540	0.025	0.995	99.205	4147A2c4Grt1
362	36.949	7.290	0.000	1.384	30.829	21.537	0.039	1.005	99.033	4147A2c4Grt2
363	36.801	7.530	0.000	1.347	30.741	21.535	0.031	1.002	98.987	4147A2c4Grt3
364	37.127	7.356	0.000	1.414	30.799	21.536	0.055	0.986	99.273	4147A2c4Grt4
365	37.204	7.499	0.010	1.433	30.229	21.652	0.049	0.984	99.06	4147A2c4Grt5
366	37.232	7.702	0.000	1.324	30.575	21.649	0.021	0.973	99.476	4147A2c4Grt6
367	36.619	4.566	0.000	0.835	35.003	21.178	0.050	1.393	99.644	4123Ac2aGrt1
368	36.420	4.903	0.003	0.794	34.502	21.215	0.028	1.336	99.201	4123Ac2aGrt2
369	36.616	5.276	0.000	0.797	34.113	21.257	0.055	1.236	99.35	4123Ac2aGrt3
370	36.705	5.188	0.000	0.836	34.212	21.369	0.076	1.287	99.673	4123Ac2aGrt4
371	36.425	4.915	0.000	0.803	34.632	21.242	0.041	1.244	99.302	4123Ac2aGrt5
372	36.740	5.486	0.003	0.759	33.943	21.340	0.069	1.188	99.528	4123Ac2aGrt6
373	36.774	5.460	0.000	0.809	34.028	21.254	0.000	1.102	99.427	4123Ac3Grt1
374	36.555	5.582	0.000	0.848	34.011	21.319	0.045	1.099	99.459	4123Ac3Grt2
375	36.708	5.414	0.019	0.864	34.017	21.295	0.004	1.047	99.368	4123Ac3Grt3
376	36.737	5.146	0.000	0.829	34.255	21.314	0.018	1.242	99.541	4123Ac3Grt4
377	36.723	5.557	0.000	0.814	34.218	21.484	0.011	1.182	99.989	4123Ac3Grt5
378	36.597	5.644	0.010	0.799	33.936	21.356	0.000	1.082	99.424	4123Ac3Grt6
379	37.094	4.436	0.000	2.863	33.847	21.077	0.094	0.741	100.152	12a2-Grt2
380	37.039	4.653	0.000	2.603	33.813	21.129	0.059	0.754	100.05	12a2-Grt3
381	37.234	4.730	0.000	2.698	33.701	21.027	0.042	0.725	100.157	12a2-Grt4
382	37.113	4.575	0.000	2.933	33.709	21.118	0.047	0.729	100.224	12a2-Grt5
383	36.876	4.688	0.018	3.132	33.462	21.016	0.058	0.682	99.932	12a2-Grt6
384	37.088	4.687	0.010	2.715	33.916	21.033	0.086	0.695	100.23	12a2-Grt7
385	37.088	4.252	0.000	2.904	34.341	21.046	0.095	0.770	100.496	12a2c3-Grt1
386	36.767	4.771	0.000	2.685	33.892	21.037	0.067	0.724	99.943	12a2c3-Grt2
387	37.025	4.448	0.000	2.804	34.009	21.111	0.035	0.726	100.158	12a2c3-Grt3
388	37.053	4.560	0.008	2.679	33.879	20.994	0.065	0.698	99.936	12a2c3-Grt4
389	37.249	4.710	0.018	2.835	33.553	21.180	0.071	0.694	100.31	12a2c3-Grt5
390	37.073	4.716	0.020	2.794	33.875	20.989	0.083	0.769	100.319	12a2c3-Grt6
391	36.891	4.473	0.000	2.977	33.405	20.769	0.060	0.690	99.265	12a2c3-Grt7
392	37.201	6.515	0.000	1.156	31.830	21.375	0.045	0.848	98.97	4184ac2-Grt1
393	37.288	6.777	0.000	1.184	32.229	21.478	0.046	0.835	99.837	4184ac2-Grt2
394	37.274	6.674	0.000	1.182	31.955	21.329	0.005	0.825	99.244	4184ac2-Grt3
395	37.155	6.086	0.000	1.211	32.868	21.349	0.061	0.963	99.693	4184ac2-Grt4
396	37.429	7.088	0.009	1.175	31.677	21.536	0.024	0.782	99.72	4184ac2-Grt5
397	37.464	7.306	0.000	1.221	31.297	21.453	0.050	0.722	99.513	4184ac2-Grt6
398	37.406	7.312	0.000	1.175	31.421	21.431	0.030	0.757	99.532	4184ac2-Grt7
399	37.437	7.340	0.000	1.244	31.624	21.486	0.034	0.731	99.896	4184ac2-Grt8
400	37.361	6.880	0.046	1.127	31.996	21.502	0.053	0.884	99.849	4184ac2-Grt9
401	37.361	6.902	0.000	1.181	32.004	21.436	0.039	0.839	99.762	4184ac2-Grt10
1	37.295	6.988	0.024	1.437	31.125	21.274	0.073	1.233	99.449	1046c1-Grt1
2	36.759	5.552	0.003	1.228	33.008	21.003	0.073	1.222	98.848	1046c1-Grt2
3	37.155	6.321	0.005	1.173	31.790	21.182	0.032	1.300	98.958	1046c1-Grt3
4	37.687	8.988	0.008	1.216	28.592	21.613	0.034	1.087	99.225	1029OPX-Grt1
5	37.490	8.334	0.000	1.291	28.896	21.532	0.079	1.075	98.697	1029OPX-Grt2
6	37.375	8.806	0.012	1.289	28.710	21.473	0.058	1.100	98.823	1029OPX-Grt3
7	37.675	8.765	0.031	1.375	28.560	21.555	0.053	1.121	99.135	1029OPX-Grt4
8	37.965	10.584	0.007	0.951	26.699	21.788	0.048	0.908	98.95	1044c2-Grt1
9	38.362	10.607	0.061	0.927	27.167	21.892	0.094	0.829	99.939	1044c2-Grt2
10	38.307	10.622	0.019	0.930	26.930	21.868	0.068	0.830	99.574	1044c2-Grt3
11	38.270	10.797	0.017	0.961	26.679	21.950	0.065	0.852	99.591	1044c2-Grt4
12	38.370	10.363	0.016	0.932	27.150	21.664	0.092	0.767	99.354	1044c1-Grt5
13	38.585	11.003	0.001	0.911	26.621	21.953	0.099	0.822	99.995	1044c1-Grt6
14	38.390	10.772	0.015	0.945	26.524	21.961	0.099	0.771	99.477	1044c1-Grt7



15	37.784	9.726	0.017	0.925	27.794	21.787	0.119	0.843	98.995	1044c1-Grt8
16	38.157	9.949	0.018	0.926	27.668	21.813	0.131	0.865	99.527	1044c1-Grt9
17	37.894	9.863	0.023	1.079	27.515	21.817	0.056	0.798	99.045	25Ac1-Grt1
18	37.994	10.036	0.000	1.026	27.289	21.808	0.053	0.765	98.971	25Ac1-Grt2
19	38.071	10.115	0.000	0.977	27.445	21.852	0.066	0.744	99.27	25Ac1-Grt3
20	38.120	9.806	0.000	1.019	27.723	21.947	0.056	0.862	99.533	25Ac1-Grt4
21	37.675	9.312	0.000	1.038	28.689	21.667	0.075	0.849	99.305	25Ac1-Grt5
22	37.889	10.087	0.011	1.053	27.027	21.933	0.048	0.767	98.815	25Ac1-Grt6
23	37.578	7.716	0.006	1.154	30.403	21.541	0.074	1.073	99.545	25Ac1-Grt7
24	37.511	9.155	0.000	1.092	28.565	21.837	0.039	0.831	99.03	25Ac1-Grt8
25	37.799	9.452	0.009	0.955	28.312	21.696	0.091	0.792	99.106	25Ac1-Grt9
26	37.746	9.323	0.021	1.003	28.359	21.747	0.042	0.846	99.087	25Ac1-Grt10
27	37.792	8.610	0.000	1.106	29.110	21.817	0.047	0.934	99.416	25Ac1-Grt11
28	38.204	10.431	0.013	0.901	27.261	21.848	0.042	0.760	99.46	2117Ac1-Grt1
29	38.057	10.262	0.005	0.872	27.556	21.690	0.046	0.749	99.237	2117Ac1-Grt2
30	37.643	9.462	0.002	0.901	28.321	21.735	0.062	0.770	98.896	2117Ac1-Grt3
31	37.973	9.838	0.005	0.961	27.989	21.664	0.048	0.738	99.216	2117Ac1-Grt4
32	37.934	10.385	0.000	0.918	27.429	21.789	0.051	0.754	99.26	2117Ac1-Grt5
33	38.136	10.360	0.029	0.929	27.148	21.747	0.001	0.727	99.077	2117Ac1-Grt6
34	37.982	10.485	0.000	0.907	27.264	21.881	0.059	0.796	99.374	2117Ac1-Grt7
35	37.991	10.612	0.033	0.945	27.105	21.706	0.051	0.789	99.232	2117Ac1-Grt8
36	37.941	10.422	0.018	0.943	27.155	21.735	0.066	0.802	99.082	2117Ac1-Grt9
37	37.001	5.893	0.006	1.394	32.809	21.262	0.052	1.144	99.561	4154c3-Grt1
38	37.324	7.370	0.020	1.308	30.678	21.473	0.047	1.047	99.267	4154c3-Grt2
39	37.361	7.801	0.046	1.247	30.312	21.528	0.050	1.053	99.398	4154c3-Grt3
40	37.117	6.940	0.003	1.184	31.338	21.444	0.043	1.016	99.085	4154c3-Grt4
41	37.286	7.385	0.012	1.254	30.881	21.350	0.022	1.044	99.234	4154c3-Grt5
42	37.363	7.630	0.004	1.249	30.618	21.525	0.054	1.051	99.494	4154c3-Grt6
43	37.456	7.666	0.006	1.308	30.039	21.519	0.039	1.015	99.048	4154c4-Grt7
44	37.335	7.667	0.017	1.243	30.154	21.471	0.048	1.006	98.941	4154c4-Grt8
45	37.152	6.879	0.008	1.256	31.276	21.357	0.029	1.036	98.993	4154c4-Grt9
46	37.379	7.822	0.000	1.177	30.155	21.520	0.023	1.035	99.111	4154c4-Grt10
47	37.146	7.613	0.000	1.227	30.339	21.462	0.035	1.109	98.931	4154c4-Grt11
48	37.277	6.801	0.027	1.243	31.364	21.326	0.038	1.064	99.14	4154c4-Grt12
49	37.191	6.422	0.000	1.318	31.947	21.372	0.040	1.046	99.336	4154c4-Grt13
50	37.092	7.375	0.012	1.319	30.611	21.371	0.043	1.238	99.061	3036Ac1-Grt1
51	37.043	7.283	0.022	1.324	30.629	21.271	0.064	1.279	98.915	3036Ac1-Grt2
52	37.203	7.306	0.026	1.342	30.442	21.410	0.017	1.302	99.048	3036Ac1-Grt3
53	36.966	6.426	0.016	1.380	31.386	21.298	0.056	1.399	98.927	3036Ac1-Grt4
54	37.949	9.057	0.033	1.148	28.724	21.656	0.067	0.980	99.614	2121Ac2-Grt1
55	37.719	8.482	0.022	1.153	29.609	21.490	0.085	0.944	99.504	2121Ac2-Grt2
56	37.402	7.937	0.012	1.088	30.185	21.453	0.038	1.031	99.146	2121Ac2-Grt3
57	37.509	9.003	0.000	1.110	28.852	21.691	0.068	0.958	99.191	2121Ac2-Grt4
58	37.361	7.121	0.004	1.066	31.350	21.500	0.047	1.161	99.61	2121Ac2-Grt5
59	37.358	7.645	0.000	1.094	30.344	21.369	0.045	1.056	98.911	2121Ac2-Grt6
60	37.783	8.672	0.002	1.158	29.157	21.600	0.060	0.937	99.369	2121Ac2-Grt7
61	37.735	8.985	0.022	1.117	28.715	21.615	0.048	0.957	99.194	2121Ac2-Grt8
62	37.795	8.953	0.000	1.164	28.772	21.687	0.057	0.940	99.368	2121Ac2-Grt9
63	37.677	8.685	0.000	1.071	29.451	21.607	0.079	0.957	99.527	2121Ac2-Grt10
64	37.624	9.240	0.003	1.120	28.467	21.761	0.023	0.913	99.151	2121Ac3-Grt11
65	37.585	9.091	0.002	1.182	28.627	21.729	0.058	0.935	99.209	2121Ac3-Grt12
66	37.732	9.067	0.016	1.107	28.665	21.812	0.067	0.937	99.403	2121Ac3-Grt13
67	37.725	8.989	0.028	1.138	28.951	21.766	0.091	0.970	99.658	2121Ac3-Grt14
68	37.699	8.876	0.044	1.125	28.912	21.799	0.040	0.984	99.479	2121Ac3-Grt15
69	37.716	9.148	0.008	1.143	28.579	21.736	0.032	0.945	99.307	2121Ac3-Grt16
70	37.312	8.710	0.000	1.139	29.147	21.592	0.044	0.971	98.915	2121Ac3-Grt17
71	37.603	8.905	0.022	1.110	28.827	21.677	0.070	0.984	99.198	2121Ac3-Grt18
72	37.722	9.293	0.000	1.157	28.744	21.807	0.060	0.934	99.717	2121Ac3-Grt19
73	37.505	7.854	0.021	1.089	30.163	21.606	0.019	1.064	99.321	2121Ac4-Grt20
74	37.453	7.802	0.011	1.112	29.968	21.641	0.020	1.110	99.117	2121Ac4-Grt21

<b>75</b>	<b>36.686</b>	<b>7.807</b>	<b>0.005</b>	<b>1.165</b>	<b>30.027</b>	<b>21.507</b>	<b>0.000</b>	<b>1.156</b>	<b>98.353</b>	<b>2121Ac4-Grt22</b>
<b>76</b>	<b>37.318</b>	<b>7.923</b>	<b>0.034</b>	<b>1.056</b>	<b>30.209</b>	<b>21.587</b>	<b>0.020</b>	<b>1.056</b>	<b>99.203</b>	<b>2121Ac4-Grt23</b>
<b>77</b>	<b>36.896</b>	<b>6.646</b>	<b>0.001</b>	<b>1.055</b>	<b>31.593</b>	<b>21.313</b>	<b>0.038</b>	<b>1.251</b>	<b>98.793</b>	<b>2121Ac4-Grt24</b>
<b>78</b>	<b>37.290</b>	<b>6.682</b>	<b>0.000</b>	<b>1.111</b>	<b>31.907</b>	<b>21.467</b>	<b>0.059</b>	<b>1.241</b>	<b>99.757</b>	<b>2121Ac4-Grt25</b>
<b>79</b>	<b>36.947</b>	<b>6.625</b>	<b>0.000</b>	<b>1.144</b>	<b>31.787</b>	<b>21.367</b>	<b>0.088</b>	<b>1.214</b>	<b>99.172</b>	<b>2121Ac4-Grt26</b>



## **APPENDICE VI**

### **ANALYSES MICROSONDE DES CORDIÉRITES**

Lames minces # 4134, 4124, 4193, 4123, et 4184: métasédiments de la sous-province d'Opinaca.

Lames minces # 3251: xénolithes métasédimentaires à saphirine du Domaine de Douglas-Harbour.

Abréviations minérales selon Kretz (1983) (appendice III): Crd: cordiérite.

	Na2O	MgO	TiO2	K2O	FeO	SiO2	Al2O3	Cr2O3	CaO	MnO	TOTAL	# de la lame et localisation des point analysés
	(wt%)	(wt%)	(wt%)	(wt%)	(wt%)	(wt%)	(wt%)	(wt%)	(wt%)	(wt%)	(wt%)	
#												
1	0.269	9.779	0.003	0.013	5.813	46.780	33.418	0.000	0.020	0.070	96.165	4134c1-Crd1
2	0.796	9.333	0.004	0.022	5.483	47.165	33.290	0.089	0.001	0.058	96.241	4134c1-Crd2
3	0.316	9.795	0.000	0.022	5.633	47.724	33.529	0.000	0.027	0.033	97.079	4134c1-Crd3
4	1.243	8.668	0.002	0.407	4.890	46.533	32.804	0.012	0.165	0.054	94.778	4134c1-Crd4
5	0.726	9.424	0.000	0.017	5.175	47.111	33.322	0.000	0.007	0.050	95.832	4134c1-Crd5
6	8.872	0.000	0.000	0.258	0.068	62.039	23.160	0.045	4.326	0.000	98.768	4134c1-Crd6
7	8.682	0.000	0.014	0.426	0.010	61.021	23.144	0.000	4.318	0.007	97.622	4134c1-Crd7
8	8.781	0.004	0.001	0.380	0.030	61.128	23.237	0.000	4.241	0.000	97.802	4134c1-Crd8
9	8.486	0.000	0.000	0.319	0.115	61.215	23.264	0.003	4.702	0.022	98.126	4134c1-Crd9
10	0.535	10.044	0.000	0.045	6.064	46.263	32.369	0.012	0.009	0.049	95.39	4134c1-Crd11
11	1.275	8.777	0.016	0.029	4.939	47.324	33.257	0.026	0.001	0.023	95.667	4134c1-Crd12
12	0.729	9.118	0.000	1.025	5.373	47.481	33.040	0.000	0.000	0.039	96.805	4134c2-Crd1
13	0.144	10.063	0.000	0.037	5.697	48.117	33.467	0.000	0.000	0.033	97.558	4134c2-Crd2
14	0.337	10.046	0.007	0.617	5.680	47.402	32.813	0.000	0.019	0.030	96.951	4134c2-Crd3
15	0.061	10.208	0.000	0.025	5.695	47.917	33.608	0.038	0.000	0.042	97.594	4134c2-Crd4
16	0.052	10.157	0.000	0.025	5.875	47.717	33.564	0.000	0.010	0.052	97.452	4134c2-Crd5
17	0.119	10.068	0.000	0.017	5.720	47.606	33.560	0.000	0.000	0.040	97.13	4134c2-Crd6
18	0.062	10.123	0.000	0.044	5.946	47.099	33.569	0.000	0.013	0.059	96.915	4134c2-Crd7
19	0.159	10.152	0.000	0.027	5.667	47.775	33.601	0.000	0.000	0.060	97.441	4134c2-Crd8
20	0.116	9.872	0.000	0.029	6.035	47.338	33.615	0.020	0.007	0.056	97.088	4134c3-Crd1
21	0.038	9.911	0.000	0.018	5.931	47.463	33.459	0.006	0.007	0.044	96.877	4134c3-Crd2
22	0.071	10.052	0.000	0.026	5.837	47.630	33.388	0.013	0.000	0.031	97.048	4134c3-Crd3
23	0.540	10.287	0.000	0.032	5.593	47.384	32.860	0.000	0.000	0.037	96.733	4134c3-Crd4
24	0.412	9.748	0.018	0.021	5.658	47.833	33.296	0.030	0.000	0.068	97.084	4134c3-Crd5
25	0.089	9.892	0.000	0.022	5.940	47.966	33.257	0.000	0.012	0.041	97.219	4134c5-Crd1
26	0.446	9.681	0.021	0.083	5.903	47.577	33.078	0.000	0.000	0.053	96.842	4134c5-Crd2
27	0.072	10.018	0.000	0.023	6.034	48.256	33.080	0.000	0.006	0.061	97.55	4134c5-Crd3
28	0.075	10.083	0.000	0.029	5.909	48.270	33.558	0.000	0.014	0.050	97.988	4134c5-Crd4
29	0.624	10.210	0.007	0.030	5.910	46.756	32.657	0.000	0.010	0.014	96.218	4134c5-Crd5
30	0.051	10.060	0.000	0.029	5.856	48.264	33.312	0.008	0.009	0.055	97.644	4134c5-Crd6
31	0.055	10.115	0.000	0.006	5.907	48.410	33.451	0.027	0.000	0.043	98.014	4134c5-Crd7
32	0.054	10.790	0.000	0.013	4.668	47.875	33.452	0.000	0.009	0.030	96.891	4124Ac1-Crd1
33	0.284	10.699	0.000	0.011	4.459	47.146	33.083	0.000	0.013	0.012	95.707	4124Ac1-Crd2
34	0.048	10.711	0.000	0.012	4.873	47.999	33.287	0.003	0.006	0.019	96.958	4124Ac1-Crd3
35	0.051	10.774	0.016	0.018	4.817	47.696	33.379	0.000	0.014	0.048	96.813	4124Ac1-Crd4
36	0.079	10.665	0.000	0.001	4.885	47.557	33.478	0.000	0.007	0.024	96.696	4124Ac1-Crd5
37	1.364	10.086	0.003	0.129	3.832	46.524	32.706	0.000	0.025	0.037	94.706	4124Ac1-Crd6
38	0.088	10.886	0.000	0.009	4.692	47.114	33.327	0.000	0.027	0.022	96.165	4124Ac1-Crd7
39	0.076	10.549	0.000	0.028	5.048	47.151	33.233	0.000	0.008	0.054	96.147	4124Ac5-Crd1
40	0.075	10.288	0.000	0.011	4.925	47.014	32.784	0.000	0.000	0.029	95.126	4124Ac5-Crd2
41	0.088	10.743	0.000	0.023	4.792	47.312	33.320	0.000	0.002	0.030	96.31	4124Ac5-Crd3
42	0.075	10.847	0.000	0.031	4.818	48.098	33.550	0.016	0.019	0.038	97.492	4124Ac5-Crd4
43	0.084	10.481	0.002	0.016	5.231	47.174	33.221	0.008	0.010	0.041	96.268	4124Ac5-Crd5
44	0.083	10.887	0.000	0.023	4.772	48.658	33.542	0.013	0.006	0.042	98.026	4124Ac5-Crd6
45	0.063	10.888	0.000	0.010	4.324	48.418	33.222	0.000	0.000	0.003	96.928	4124Ac5-Crd7
46	0.094	10.347	0.000	0.012	5.203	48.361	33.530	0.000	0.021	0.032	97.6	4124Ac5-Crd8
47	0.058	10.578	0.020	0.027	5.037	47.536	33.256	0.000	0.000	0.026	96.538	4124Ac5-Crd9
48	0.118	9.950	0.000	0.092	6.021	45.744	31.176	0.000	0.310	0.059	93.47	4124Ac5-Crd10
49	0.138	10.321	0.000	0.016	5.181	48.700	33.315	0.000	0.007	0.027	97.705	4124Ac5-Crd11
50	0.097	10.554	0.025	0.020	5.129	48.326	33.271	0.000	0.009	0.032	97.463	4124Ac5-Crd12
51	8.042	0.002	0.015	0.342	0.164	59.518	23.958	0.000	5.310	0.003	97.354	4124Ac5-Crd13
52	0.178	10.254	0.011	0.023	5.291	48.094	32.922	0.008	0.003	0.026	96.81	4124Ac5-Crd14
53	0.088	10.221	0.000	0.024	5.443	47.692	33.127	0.000	0.012	0.021	96.628	4124Ac5-Crd15
54	0.147	10.481	0.010	0.029	5.323	49.007	33.272	0.008	0.002	0.029	98.308	4124Ac5-Crd16
55	0.342	10.014	0.000	0.023	5.284	47.798	33.216	0.000	0.000	0.051	96.728	4124Ac5-Crd17
56	0.348	10.280	0.000	0.019	5.508	46.545	32.698	0.000	0.007	0.036	95.441	4124Ac5-Crd18
57	0.312	10.213	0.000	0.022	5.567	47.460	33.005	0.000	0.001	0.056	96.636	4124Ac5-Crd19
58	0.118	10.200	0.000	0.013	5.490	47.825	33.200	0.000	0.013	0.042	96.901	4124Ac5-Crd20
59	0.080	10.325	0.026	0.017	5.431	47.479	33.217	0.003	0.023	0.030	96.631	4124Ac5-Crd21
60	0.145	10.437	0.011	0.007	5.122	47.300	33.421	0.013	0.010	0.071	96.537	4124Ac5-Crd22

61	0.369	10.171	0.000	0.022	5.438	47.203	33.083	0.000	0.018	0.032	96.336	4124Ac5-Crd23
62	0.226	9.398	0.000	0.549	7.615	42.582	29.691	0.005	0.132	0.038	90.236	4124Ac5-Crd24
63	0.069	10.731	0.003	0.022	5.270	47.249	33.423	0.000	0.002	0.013	96.782	4124Ac5-Crd25
64	0.187	10.593	0.000	0.026	4.309	48.057	33.206	0.005	0.017	0.167	96.567	4193A12c2-Crd1
65	0.173	10.403	0.000	0.030	4.811	47.431	33.074	0.004	0.014	0.151	96.091	4193A12c2-Crd2
66	0.313	10.284	0.000	0.022	4.552	48.340	33.220	0.005	0.014	0.128	96.878	4193A12c2-Crd3
67	0.192	10.353	0.016	0.014	4.809	47.941	33.041	0.021	0.024	0.147	96.558	4193A12c2-Crd4
68	0.147	10.198	0.007	0.015	5.172	47.638	33.071	0.000	0.011	0.178	96.437	4193A12c2-Crd5
69	0.454	9.877	0.000	0.015	4.880	47.735	33.105	0.003	0.000	0.168	96.237	4193A12c2-Crd6
70	0.201	10.239	0.000	0.019	5.083	47.716	33.021	0.016	0.019	0.182	96.496	4193A12c2-Crd7
71	0.623	9.675	0.000	0.018	4.767	48.034	33.159	0.000	0.011	0.136	96.423	4193A12c2-Crd8
72	0.243	10.525	0.000	0.014	4.534	48.269	33.279	0.007	0.030	0.144	97.045	4193A12c2-Crd9
73	0.212	10.278	0.000	0.012	4.832	48.361	33.039	0.023	0.015	0.171	96.943	4193A12c2-Crd10
74	0.447	9.473	0.000	0.012	4.733	47.233	32.074	0.000	0.019	0.152	94.143	4193A12c2-Crd11
75	0.266	10.043	0.000	0.014	5.021	48.460	33.218	0.000	0.005	0.188	97.215	4193A12c2-Crd12
76	0.293	9.874	0.001	0.016	5.081	48.271	32.968	0.000	0.026	0.185	96.715	4193A12c2-Crd13
77	0.441	9.725	0.000	0.010	4.992	48.604	33.044	0.000	0.013	0.168	96.997	4193A12c2-Crd14
78	0.160	10.135	0.000	0.024	5.239	48.346	33.086	0.000	0.015	0.187	97.192	4193A12c2-Crd15
79	0.143	10.100	0.000	0.004	5.073	48.328	33.072	0.000	0.008	0.189	96.917	4193A12c2-Crd16
80	7.512	0.006	0.000	0.078	0.112	58.933	25.164	0.000	6.933	0.005	98.743	4193A12c2-Crd17
81	7.416	0.000	0.024	0.083	0.216	58.247	25.512	0.000	7.155	0.010	98.663	4193A12c2-Crd18
82	0.000	14.585	0.048	0.028	33.808	48.580	2.348	0.030	0.218	0.273	99.918	4123c2-Crd1
83	0.005	0.000	0.000	0.035	0.001	96.350	0.011	0.000	0.004	0.000	96.406	4123c2-Crd2
84	0.000	0.000	0.000	0.001	0.033	97.214	0.026	0.000	0.011	0.003	97.288	4123c2-Crd3
85	0.025	4.615	0.008	0.084	8.468	80.349	1.576	0.000	0.013	0.026	95.164	4123c2-Crd4
86	0.010	4.450	0.000	0.022	33.560	37.915	21.828	0.029	2.744	0.672	101.23	4123Ac3-Crd1
87	0.000	4.524	0.004	0.019	33.855	38.113	21.703	0.029	2.679	0.720	101.646	4123Ac3-Crd2
88	0.042	14.712	0.000	0.043	32.370	47.882	2.407	0.017	0.315	0.164	97.952	4123Ac3-Crd3
89	0.014	0.059	0.000	0.031	0.876	94.594	1.079	0.000	0.120	0.007	96.78	4123Ac3-Crd4
90	0.014	13.744	0.005	0.017	32.407	45.044	2.412	0.036	0.252	0.196	94.127	4123Ac3-Crd5
91	0.000	0.000	0.000	0.021	0.036	95.986	0.040	0.000	0.011	0.012	96.106	4123Ac3-Crd6
92	0.007	0.001	0.000	0.024	0.070	96.684	0.019	0.000	0.001	0.021	96.827	4123Ac3-Crd7
93	0.122	9.610	0.000	0.024	6.103	47.885	33.424	0.000	0.011	0.041	97.22	4184ac2-Crd1
94	0.133	9.721	0.000	0.028	5.979	48.097	33.522	0.000	0.015	0.040	97.535	4184ac2-Crd2
95	0.112	9.711	0.000	0.023	6.211	47.801	33.378	0.000	0.023	0.056	97.315	4184ac2-Crd3
96	0.162	9.766	0.000	0.018	6.198	47.677	33.510	0.000	0.018	0.068	97.417	4184ac2-Crd4
97	0.135	9.699	0.000	0.008	6.098	47.731	33.478	0.010	0.000	0.035	97.194	4184ac2-Crd5
98	0.134	9.576	0.000	0.014	6.281	47.835	33.403	0.000	0.022	0.043	97.308	4184ac2-Crd6
99	0.138	9.469	0.015	0.019	6.270	47.476	33.309	0.000	0.017	0.053	96.766	4184ac2-Crd7
100	0.115	9.204	0.009	0.021	6.274	47.002	33.491	0.000	0.279	0.052	96.447	4184ac2-Crd8
101	0.100	9.538	0.000	0.024	6.263	47.844	33.341	0.000	0.004	0.033	97.147	4184ac2-Crd9
102	0.091	9.505	0.000	0.015	6.365	48.265	33.508	0.000	0.000	0.061	97.81	4184ac2-Crd10
103	0.100	9.492	0.008	0.019	6.334	48.037	33.365	0.000	0.005	0.033	97.393	4184ac2-Crd11
104	0.123	9.574	0.000	0.018	6.218	48.215	33.386	0.014	0.007	0.040	97.595	4184ac2-Crd12
105	0.102	9.590	0.000	0.026	6.336	48.307	33.421	0.000	0.006	0.032	97.82	4184ac2-Crd13
1	0.122	11.217	0.002	0.001	3.435	48.299	34.152	0.000	0.002	0.083	97.313	3251ngc2a-Crd1
2	0.118	11.347	0.000	0.015	3.471	48.540	33.938	0.008	0.010	0.091	97.538	3251ngc2a-Crd2
3	0.114	11.383	0.000	0.018	3.480	48.839	34.092	0.007	0.006	0.140	98.079	3251ngc2a-Crd3
4	0.110	11.486	0.000	0.019	3.428	48.404	34.150	0.000	0.000	0.107	97.704	3251ngc2a-Crd4
5	0.111	11.362	0.000	0.018	3.462	49.175	34.242	0.000	0.002	0.112	98.484	3251ngc2a-Crd5
6	0.099	11.380	0.015	0.015	3.485	49.357	34.000	0.000	0.012	0.123	98.486	3251ngc2a-Crd6
7	0.108	11.319	0.000	0.016	3.478	49.061	33.925	0.000	0.000	0.077	97.984	3251ngc2a-Crd7
8	0.094	11.301	0.000	0.017	3.495	49.259	34.027	0.000	0.011	0.109	98.313	3251ngc2a-Crd8
9	0.105	11.378	0.000	0.004	3.548	49.147	33.769	0.021	0.011	0.122	98.105	3251ngc2a-Crd9
10	0.134	11.287	0.000	0.025	3.650	49.047	34.223	0.008	0.019	0.103	98.496	3251ngc3-Crd1
11	0.163	11.258	0.011	0.024	3.633	49.105	34.076	0.008	0.021	0.082	98.381	3251ngc3-Crd2
12	0.114	11.372	0.022	0.020	3.463	49.371	34.316	0.000	0.000	0.126	98.804	3251ngc3-Crd3
13	0.110	11.230	0.005	0.033	3.534	49.362	34.320	0.000	0.007	0.120	98.721	3251ngc3-Crd4
14	0.099	11.356	0.004	0.014	3.566	49.722	34.189	0.000	0.014	0.118	99.082	3251ngc3-Crd5
15	0.148	11.260	0.000	0.009	3.520	49.084	34.073	0.000	0.030	0.095	98.219	3251ngc3-Crd6
16	0.087	11.404	0.000	0.018	3.536	49.459	34.155	0.000	0.010	0.108	98.777	3251ngc3-Crd7
17	0.110	11.380	0.000	0.014	3.604	49.350	34.154	0.000	0.005	0.109	98.726	3251ngc3-Crd8
18	0.103	11.350	0.000	0.017	3.597	48.912	34.258	0.000	0.009	0.123	98.369	3251ngc3-Crd9

19	0.112	11.481	0.000	0.000	3.532	48.938	34.202	0.000	0.006	0.068	98.339	3251ngc3-Crd10
20	0.141	11.400	0.001	0.020	3.572	48.409	34.252	0.000	0.002	0.084	97.881	3251ngc3-Crd11
21	0.092	11.214	0.020	0.011	3.561	48.912	33.875	0.000	0.030	0.097	97.812	3251ngc3-Crd12
22	0.085	11.346	0.000	0.026	3.559	48.842	34.272	0.000	0.025	0.147	98.302	3251ngc1-Crd1
23	0.082	11.207	0.014	0.020	3.544	49.207	34.260	0.000	0.013	0.107	98.454	3251ngc1-Crd2
24	0.090	11.372	0.000	0.024	3.453	49.464	34.166	0.000	0.010	0.121	98.7	3251ngc1-Crd3
25	0.099	11.270	0.011	0.018	3.600	49.478	34.224	0.000	0.015	0.137	98.852	3251ngc1-Crd4
26	0.117	11.276	0.000	0.024	3.452	48.989	33.973	0.001	0.010	0.116	97.958	3251ngc1-Crd5
27	0.094	11.493	0.012	0.028	3.425	49.278	34.146	0.000	0.005	0.128	98.609	3251ngc1-Crd6
28	0.089	11.460	0.008	0.000	3.477	49.201	34.047	0.000	0.000	0.120	98.402	3251ngc1-Crd7
29	0.093	11.454	0.029	0.000	3.553	49.360	34.156	0.006	0.018	0.118	98.787	3251ngc1-Crd8
30	0.102	11.283	0.014	0.004	3.525	49.199	34.184	0.000	0.002	0.113	98.426	3251ngc1-Crd9
31	0.107	11.307	0.000	0.010	3.504	49.135	34.031	0.000	0.054	0.120	98.268	3251ngc1-Crd10
32	0.082	11.270	0.003	0.013	3.514	48.434	34.023	0.000	0.002	0.133	97.474	3251ngc1-Crd11
33	0.091	11.376	0.014	0.006	3.517	48.602	34.278	0.007	0.000	0.110	98.001	3251ngc1-Crd12
34	0.039	11.402	0.000	0.013	3.756	49.514	32.670	0.000	0.009	0.100	97.503	3251 c1-Crd 1
35	0.139	11.621	0.009	0.007	3.776	49.913	33.013	0.016	0.022	0.126	98.642	3251 c1-Crd 2
36	0.080	11.422	0.006	0.006	3.583	49.702	33.798	0.035	0.012	0.124	98.768	3251 c1-Crd 3
37	0.083	11.518	0.024	0.001	3.608	49.837	32.296	0.000	0.000	0.126	97.493	3251 c1-Crd 4
38	0.071	11.430	0.000	0.000	3.754	50.046	34.319	0.000	0.000	0.121	99.741	3251 c1-Crd 5
39	0.103	11.451	0.013	0.011	3.850	49.678	33.585	0.000	0.017	0.116	98.824	3251 c4-Crd 1
40	0.058	11.594	0.001	0.013	3.603	50.087	33.719	0.000	0.000	0.105	99.180	3251 c4-Crd 2
41	0.102	11.511	0.015	0.002	3.809	49.847	33.430	0.003	0.000	0.128	98.847	3251 c4-Crd 3
42	0.159	11.407	0.012	0.009	3.604	49.813	34.354	0.035	0.007	0.116	99.516	3251 c4-Crd 4
43	0.115	11.545	0.008	0.008	3.762	49.959	34.542	0.000	0.009	0.118	100.066	3251 c4-Crd 5
44	0.067	11.656	0.010	0.022	3.674	50.118	34.366	0.000	0.022	0.109	100.044	3251 c4-Crd 6
45	0.081	11.659	0.007	0.013	3.724	50.110	33.329	0.010	0.013	0.100	99.046	3251 c4-crd 7

## **APPENDICE VII**

### **ANALYSES MICROSONDE DES BIOTITES**

Lames minces # 4084, 4118, 4020, 4146, 4134, 4134A, 4093, 4124, 4100A, 4083, 4087, 4091, 4164, 4163, 4186, 4189, 4155A2, 4155A1, 4193, 4174, 4147, 4123, 12, et 4184: métasédiments de la sous-province de l'Opinaca.

Lames minces # 1046, 1029, 1044, 25, 2117, 4154, 3036, et 2121: xénolithes métasédimentaire du Complexe d'Ashuanipi.

Lames minces # 3251: xénolithe métasédimentaire à saphirine du Domaine de Douglas-Harbour.

Abréviations minérales selon Kretz (1983) (appendice I): Bt: biotite.

	Na2O	F	Cl	K2O	FeO	SiO2	MgO	TiO2	CaO	MnO	Al2O3	Cr2O3	TOTAL	# de la lame et localisation des points analysés
	(wt%)	(wt%)	(wt%)	(wt%)	(wt%)	(wt%)	(wt%)	(wt%)	(wt%)	(wt%)	(wt%)	(wt%)	(wt%)	
#														
1	0.118	0.995	0.005	10.168	13.204	36.580	14.385	5.981	0.032	0.032	14.978	0.222	96.7	4084c1-Bt 1
2	0.121	1.139	0.012	10.190	12.916	36.380	14.919	5.446	0.019	0.011	14.964	0.184	96.301	4084c1-Bt 2
3	0.138	0.990	0.006	10.323	14.365	36.237	13.689	5.298	0.000	0.066	15.230	0.184	96.526	4084c2-Bt 1
4	0.082	0.962	0.008	10.228	15.059	36.197	13.257	5.808	0.000	0.018	15.001	0.159	96.779	4084c2-Bt2
5	0.098	1.016	0.010	10.215	14.857	36.341	13.672	5.784	0.009	0.034	15.401	0.183	97.62	4084c2-Bt3
6	0.147	0.933	0.009	10.227	14.687	36.156	13.524	6.044	0.009	0.038	14.884	0.156	96.814	4084c2-Bt4
7	0.190	0.955	0.009	9.982	14.266	35.930	13.791	5.441	0.000	0.033	15.302	0.200	96.099	4084c3-Bt 1
8	0.090	0.918	0.008	10.247	14.332	35.917	13.566	5.107	0.000	0.000	15.085	0.233	95.503	4084c3-Bt2
9	0.121	1.058	0.005	10.200	14.553	35.768	13.533	5.264	0.000	0.019	14.890	0.268	95.679	4084c3-Bt3
10	0.092	1.022	0.004	10.155	15.066	36.018	13.418	5.135	0.000	0.036	15.043	0.183	96.172	4084c7-Bt1
11	0.106	0.952	0.007	10.243	15.285	36.295	13.290	5.759	0.010	0.059	15.017	0.160	97.183	4084c7-Bt2
12	0.145	0.950	0.017	10.010	14.392	36.125	13.508	5.780	0.030	0.027	15.244	0.095	96.323	4084c7-Bt3
13	0.187	1.055	0.008	9.992	14.412	36.365	13.472	5.687	0.015	0.026	15.000	0.154	96.373	4084c7-Bt4
14	0.225	1.093	0.009	9.997	14.633	36.445	13.294	5.912	0.004	0.049	15.199	0.167	97.027	4084c5-Bt1
15	0.178	0.938	0.007	9.936	15.697	36.266	13.134	5.144	0.012	0.058	15.342	0.188	96.9	4084c5-Bt2
16	0.245	0.916	0.008	10.296	14.337	36.054	13.426	5.236	0.000	0.050	15.355	0.214	96.137	4084c5-Bt3
17	0.140	1.037	0.007	10.198	14.819	36.401	13.450	5.428	0.005	0.051	15.195	0.132	96.863	4084c5-Bt4
18	0.091	0.929	0.004	10.151	14.793	35.989	13.261	5.420	0.000	0.045	15.392	0.180	96.255	4084c5-Bt5
19	0.117	0.862	0.006	10.275	14.594	35.894	13.364	5.553	0.000	0.060	15.437	0.144	96.306	4084c5-Bt6
20	0.209	0.693	0.012	9.901	10.372	36.511	15.661	5.747	0.000	0.019	16.188	0.271	95.584	4118c1-Bt1
21	0.118	0.450	0.000	10.020	12.863	36.104	13.767	5.558	0.000	0.015	15.466	0.267	94.628	4118c1-Bt2
22	0.123	0.480	0.007	10.292	13.028	35.580	13.748	5.819	0.000	0.002	15.724	0.234	95.037	4118c1-Bt3
23	0.143	0.503	0.001	10.001	14.042	36.018	13.330	5.349	0.002	0.000	15.618	0.302	95.309	4118c2-Bt1
24	0.129	0.447	0.002	10.066	14.409	35.544	12.879	5.618	0.007	0.015	15.569	0.319	94.914	4118c2-Bt2
25	0.111	0.497	0.001	9.984	14.298	35.092	13.430	5.727	0.000	0.020	15.635	0.321	95.116	4118c2-Bt3
26	0.126	0.447	0.005	10.176	11.474	36.080	14.659	5.973	0.000	0.044	15.485	0.235	94.704	4118c3-Bt1
27	0.129	0.486	0.004	10.177	11.869	36.150	14.756	6.010	0.000	0.016	15.137	0.211	94.945	4118c3-Bt2
28	0.195	0.639	0.007	9.872	11.970	36.012	15.185	5.027	0.006	0.034	15.406	0.223	94.576	4118c3-Bt3
29	0.091	0.618	0.002	10.150	12.699	36.266	14.701	5.441	0.018	0.018	15.303	0.224	95.531	4118c3-Bt4
30	0.121	1.116	0.047	10.208	14.386	36.885	14.013	5.294	0.009	0.019	15.117	0.107	97.322	4020c2-Bt1
31	0.125	0.955	0.044	10.264	14.629	36.941	14.146	5.330	0.000	0.002	15.269	0.106	97.811	4020c2-Bt2
32	0.116	0.997	0.040	10.341	13.700	36.734	13.949	5.014	0.011	0.026	15.612	0.152	96.692	4020c2-Bt3
33	0.153	0.850	0.048	10.110	13.089	36.837	14.119	5.541	0.019	0.000	15.385	0.179	96.33	4020c1-Bt1
34	0.092	1.060	0.041	10.233	13.307	36.783	14.528	5.115	0.000	0.018	15.578	0.126	96.881	4020c1-Bt2
35	0.114	1.377	0.040	8.913	13.555	37.267	17.250	2.910	0.002	0.013	15.109	0.072	96.622	4020c1-Bt3
36	0.110	1.153	0.037	10.110	12.950	36.525	15.044	5.108	0.000	0.018	15.170	0.136	96.361	4020c1-Bt4
37	0.113	0.955	0.036	9.901	15.116	37.143	13.810	4.124	0.012	0.046	15.778	0.148	97.182	4020c1-Bt5
38	0.091	1.162	0.034	10.260	14.126	36.957	14.911	4.218	0.000	0.012	15.589	0.134	97.494	4020c1-Bt6
39	0.345	0.193	0.007	9.447	18.872	35.199	9.064	2.184	0.031	0.073	20.205	0.102	95.722	4146c1-Bt2
40	0.408	0.235	0.004	9.517	17.757	35.406	10.144	2.240	0.004	0.051	19.857	0.141	95.764	4146c5-Bt2
41	0.085	1.453	0.005	10.710	14.310	36.268	13.801	6.102	0.004	0.035	14.654	0.183	97.61	4134c1-Bt1
42	0.097	0.993	0.014	9.719	13.443	34.958	13.235	5.600	0.032	0.039	14.159	0.142	92.431	4134c1-Bt2
43	0.099	1.315	0.000	10.789	14.669	36.445	13.437	6.698	0.000	0.026	14.649	0.160	98.287	4134c1-Bt3
44	0.425	0.848	0.010	9.789	12.878	36.936	14.350	6.092	0.225	0.035	15.230	0.132	96.95	4134c1-Bt4
45	0.086	1.441	0.003	10.736	13.896	36.148	14.641	5.193	0.000	0.006	14.831	0.143	97.124	4134c1-Bt5
46	0.082	1.657	0.003	10.633	13.906	36.232	14.391	5.505	0.000	0.023	14.672	0.180	97.284	4134c1-Bt6
47	0.107	1.345	0.002	10.564	14.143	35.926	13.704	5.990	0.013	0.034	14.775	0.180	96.783	4134c1-Bt7
48	0.071	1.267	0.000	9.866	14.822	36.013	13.311	5.843	0.001	0.001	15.118	0.250	96.563	4134c1-Bt8
49	0.044	1.385	0.005	10.465	14.711	36.334	13.964	5.821	0.000	0.001	14.832	0.146	97.708	4134c1-Bt10
50	0.104	1.531	0.006	10.615	14.130	36.085	14.528	5.507	0.013	0.045	14.403	0.204	97.171	4134c2-Bt1
51	0.096	1.651	0.004	10.611	14.214	36.538	14.303	5.959	0.000	0.016	14.269	0.164	97.825	4134c2-Bt2
52	0.090	1.396	0.002	10.635	14.148	36.354	13.867	6.023	0.008	0.053	14.151	0.169	96.896	4134c2-Bt3
53	0.105	1.524	0.003	10.634	13.816	36.750	14.357	5.783	0.000	0.035	14.591	0.170	97.768	4134c2-Bt4
54	8.704	0.125	0.003	0.308	0.228	61.697	0.065	0.009	4.136	0.012	22.912	0.003	98.202	4134c2-Bt5
55	1.919	0.008	0.001	0.122	4.515	44.586	6.448	0.142	7.845	0.033	30.256	0.037	95.912	4134c2-Bt6
56	0.111	1.379	0.002	10.579	14.111	36.457	13.841	6.138	0.000	0.027	14.231	0.181	97.057	4134c2-Bt7
57	0.125	1.448	0.000	10.491	13.196	36.597	15.220	5.041	0.016	0.028	14.716	0.170	97.048	4134c3-Bt1
58	0.128	1.460	0.006	10.578	13.739	36.736	14.660	5.433	0.010	0.029	14.677	0.157	97.613	4134c3-Bt2
59	0.115	1.534	0.003	10.408	13.536	35.889	14.069	6.009	0.003	0.017	14.387	0.239	96.209	4134c3-Bt3
60	0.110	0.719	0.007	10.524	14.360	36.661	14.460	5.336	0.018	0.043	14.506	0.210	96.954	4134c3-Bt4

61	3.839	0.026	0.002	10.325	0.068	61.643	0.006	0.049	1.724	0.000	20.376	0.002	98.06	4134c3-Bt5
62	0.114	1.573	0.000	10.591	13.668	36.410	14.135	5.788	0.018	0.021	14.508	0.257	97.083	4134c3-Bt6
63	0.091	0.690	0.000	10.276	14.491	35.515	13.787	5.728	0.003	0.031	14.571	0.272	95.455	4134c3-Bt7
64	0.123	1.447	0.004	10.833	13.042	36.151	15.383	4.675	0.024	0.036	14.652	0.185	96.555	4134c6-Bt1
65	0.122	1.067	0.004	9.629	12.967	40.271	13.108	5.545	0.005	0.018	13.540	0.169	96.445	4134c6-Bt2
66	0.124	1.488	0.004	10.586	13.658	36.187	14.509	5.926	0.008	0.000	14.823	0.150	97.463	4134c6-Bt3
67	0.129	1.712	0.002	10.749	13.256	36.256	14.978	5.131	0.000	0.006	14.550	0.206	96.975	4134c6-Bt4
68	0.134	1.519	0.000	10.695	14.181	36.605	14.375	5.729	0.013	0.051	14.355	0.278	97.935	4134c6-Bt5
69	0.155	1.358	0.001	10.518	13.552	36.748	15.114	5.266	0.000	0.016	14.556	0.176	97.46	4134c6-Bt6
70	0.119	1.611	0.000	10.690	13.351	37.134	14.968	5.699	0.045	0.027	14.896	0.160	98.7	4134c6-Bt7
71	0.128	1.592	0.000	10.864	12.585	36.974	15.127	5.186	0.000	0.030	14.482	0.151	97.119	4134c6-Bt8
72	0.138	1.709	0.003	10.808	12.993	37.172	15.126	5.113	0.000	0.022	14.987	0.167	98.238	4134c6-Bt9
73	0.150	1.559	0.000	10.511	12.457	36.980	15.501	5.380	0.018	0.003	14.715	0.187	97.461	4134c8-Bt1
74	0.125	1.858	0.000	10.647	12.378	36.924	15.652	5.267	0.000	0.009	14.845	0.185	97.89	4134c8-Bt2
75	0.137	1.773	0.010	10.705	12.300	36.851	15.804	5.269	0.000	0.009	14.962	0.190	98.01	4134c8-Bt3
76	0.106	1.690	0.000	10.565	12.270	37.384	15.828	5.215	0.000	0.013	15.089	0.136	98.296	4134c8-Bt4
77	0.074	1.673	0.000	10.425	11.159	36.647	16.790	4.744	0.000	0.003	14.541	0.177	96.233	4134c8-Bt5
78	0.225	1.716	0.005	10.335	10.727	35.945	16.518	4.652	0.024	0.034	15.091	0.232	95.504	4134c8-Bt6
79	0.092	1.290	0.004	10.591	14.125	36.558	13.610	6.418	0.000	0.003	14.568	0.333	97.592	4134c5-Bt1
80	0.101	1.437	0.005	10.610	14.098	36.733	13.946	6.190	0.006	0.012	14.640	0.298	98.076	4134c5-Bt2
81	0.086	1.353	0.004	10.611	14.554	35.670	13.658	6.434	0.000	0.029	14.454	0.207	97.06	4134c5-Bt3
82	0.120	1.287	0.001	10.695	14.386	36.317	13.568	6.489	0.000	0.028	14.639	0.191	97.721	4134c5-Bt4
83	0.108	1.651	0.005	10.567	14.632	36.374	13.937	5.668	0.019	0.001	14.732	0.218	97.912	4134c5-Bt5
84	0.122	1.578	0.000	10.505	14.050	35.932	14.438	5.332	0.000	0.022	14.622	0.195	96.796	4134c5-Bt6
85	0.118	1.276	0.005	10.598	14.739	36.295	13.533	6.314	0.001	0.026	14.497	0.150	97.552	4134c5-Bt7
86	0.101	1.302	0.000	10.717	14.740	36.571	13.460	6.263	0.000	0.053	14.656	0.344	98.207	4134c5-Bt8
87	0.120	1.200	0.000	10.571	14.138	36.315	13.651	6.065	0.012	0.024	14.712	0.274	97.082	4134c5-Bt9
88	0.259	1.773	0.002	10.583	8.139	37.190	18.048	5.383	0.003	0.016	15.438	0.189	97.023	4134c7-Bt1
89	0.137	1.616	0.004	10.678	11.784	36.925	15.907	5.773	0.005	0.013	14.667	0.216	97.725	4134c7-Bt2
90	0.117	1.610	0.000	10.881	11.581	37.530	15.528	5.797	0.006	0.033	14.644	0.213	97.94	4134c7-Bt3
91	0.084	1.571	0.001	10.849	11.323	37.015	16.096	5.831	0.013	0.003	14.685	0.175	97.646	4134c7-Bt4
92	0.119	1.557	0.004	10.557	12.102	37.299	15.262	5.713	0.036	0.019	14.428	0.205	97.301	4134c7-Bt5
93	0.104	1.654	0.002	10.874	12.281	36.499	14.893	5.841	0.017	0.015	14.660	0.142	96.982	4134c7-Bt6
94	0.783	0.013	0.001	16.251	0.011	61.761	0.002	0.034	0.089	0.000	18.711	0.000	97.656	4093A1c1-Bt1
95	1.012	0.000	0.001	15.931	0.026	61.769	0.002	0.057	0.138	0.004	18.790	0.000	97.73	4093A1c1-Bt2
96	1.092	0.018	0.003	16.179	0.036	62.220	0.000	0.000	0.127	0.000	18.743	0.000	98.418	4093A1c1-Bt4
97	1.406	0.015	0.000	15.663	0.117	62.262	0.000	0.036	0.248	0.000	18.933	0.006	98.686	4093A1c1-Bt5
98	1.367	0.000	0.007	15.340	0.278	61.727	0.132	0.005	0.124	0.000	18.722	0.000	97.702	4093A1c1-Bt6
99	0.113	0.478	0.000	10.547	14.696	34.354	12.551	6.872	0.020	0.002	15.103	0.205	94.941	4093A1c4-Bt1
100	0.082	0.523	0.003	10.732	14.688	35.558	12.854	6.765	0.000	0.027	15.278	0.220	96.73	4093A1c4-Bt2
101	0.103	0.646	0.000	10.747	14.461	35.920	13.559	5.692	0.000	0.000	15.486	0.190	96.804	4093A1c4-Bt3
102	0.080	0.532	0.000	10.594	14.567	35.222	13.064	6.101	0.006	0.007	15.259	0.206	95.638	4093A1c4-Bt4
103	0.106	0.606	0.005	10.762	14.348	35.804	13.607	5.718	0.015	0.004	15.565	0.203	96.743	4093A1c4-Bt5
104	0.111	0.694	0.003	10.677	12.338	35.788	15.198	5.177	0.020	0.001	15.446	0.130	95.583	4093A1c4-Bt7
105	0.125	0.495	0.006	10.038	16.156	35.541	12.186	5.467	0.071	0.021	15.528	0.162	95.796	4093A1c4-Bt8
106	0.193	2.277	0.003	10.712	8.219	37.147	19.150	4.407	0.015	0.037	14.992	0.151	97.303	4134A1c4-Bt1
107	0.104	1.228	0.004	10.284	9.555	37.555	18.702	4.112	0.048	0.001	15.083	0.132	96.808	4134A1c4-Bt2
108	0.146	2.104	0.004	10.794	8.036	37.705	19.487	4.294	0.001	0.003	15.204	0.154	97.932	4134A1c4-Bt3
109	0.155	2.294	0.000	10.901	8.170	37.960	19.226	4.314	0.000	0.000	15.024	0.143	98.187	4134A1c4-Bt3
110	0.211	1.724	0.003	10.319	11.378	37.034	16.444	4.903	0.000	0.020	15.189	0.189	97.414	4134A1c4-Bt4
111	0.212	1.637	0.004	9.971	11.704	35.032	16.573	4.671	0.012	0.031	14.657	0.153	94.657	4134A1c4-Bt5
112	0.216	1.562	0.003	10.156	9.837	37.648	17.433	4.302	0.059	0.000	14.966	0.131	96.313	4134A1c4-Bt6
113	0.092	1.567	0.005	10.725	12.723	37.107	15.338	5.267	0.006	0.000	14.929	0.166	97.925	4134A1c4-Bt7
114	0.088	1.528	0.001	10.828	12.733	36.385	15.097	5.318	0.000	0.004	14.778	0.164	96.924	4134A1c4-Bt8
115	0.124	1.523	0.008	10.680	12.994	36.563	15.549	5.262	0.000	0.028	14.728	0.174	97.633	4134A1c4-Bt9
116	0.140	1.443	0.003	10.167	12.892	36.859	15.306	5.332	0.044	0.031	14.922	0.168	97.307	4134A1c4-Bt10
117	0.107	1.537	0.001	10.485	13.267	37.398	15.380	5.214	0.000	0.024	14.938	0.154	98.505	4134A1c4-Bt11
118	0.121	1.624	0.003	10.779	12.679	36.292	15.274	5.380	0.000	0.034	14.746	0.221	97.153	4134A1c4-Bt12
119	2.928	0.004	0.002	12.178	0.620	62.487	0.188	0.025	1.309	0.002	19.946	0.000	99.689	4134A1opx-Bt13
120	6.199	0.017	0.001	5.405	0.404	62.808	0.115	0.026	3.313	0.000	22.180	0.000	100.47	4134A1opx-Bt14
121	0.123	1.193	0.000	10.915	10.556	36.987	16.842	4.522	0.023	0.000	15.672	0.458	97.291	4124Ac1-Bt2
122	0.113	0.197	0.005	12.108	2.117	48.238	1.919	0.000	0.000	0.000	31.757	0.003	96.457	4124Ac1-Bt3
123	0.142	0.167	0.004	12.123	2.070	48.375	1.446	0.040	0.001	0.000	33.057	0.000	97.425	4124Ac1-Bt4
124	0.124	1.389	0.002	10.841	9.607	37.816	18.760	2.903	0.041	0.000	15.835	0.165	97.483	4124Ac1-Bt5

125	0.184	0.678	0.000	10.436	14.099	36.779	13.550	5.756	0.000	0.032	15.745	0.316	97.575	4124Ac5-Bt1
126	0.195	0.653	0.004	10.320	14.777	35.881	12.809	6.106	0.093	0.000	15.649	0.434	96.921	4124Ac5-Bt3
127	0.101	0.624	0.000	10.640	15.062	36.001	12.732	6.153	0.013	0.010	15.430	0.521	97.287	4124Ac5-Bt5
128	0.118	0.645	0.000	10.255	14.724	36.262	12.847	6.016	0.001	0.000	15.790	0.457	97.115	4124Ac5-Bt6
129	0.153	0.782	0.003	10.634	14.896	35.931	13.271	5.712	0.000	0.003	15.703	0.458	97.546	4124Ac5-Bt7
130	0.136	0.572	0.000	10.656	15.428	35.806	12.624	6.234	0.000	0.042	15.374	0.492	97.364	4124Ac5-Bt8
131	0.160	0.742	0.001	10.629	15.056	36.759	13.859	5.332	0.016	0.050	15.474	0.354	98.432	4124Ac5-Bt10
132	0.115	0.887	0.000	10.569	14.462	36.049	14.916	4.516	0.049	0.010	15.439	0.344	97.356	4124Ac5-Bt12
133	0.127	0.846	0.000	10.811	14.664	35.618	13.227	5.663	0.000	0.000	15.434	0.498	96.888	4124Ac5-Bt13
134	0.165	0.600	0.000	10.684	15.021	35.219	12.627	6.111	0.000	0.000	15.270	0.504	96.201	4124Ac5-Bt14
135	0.133	0.690	0.001	10.841	15.790	36.095	12.633	5.803	0.022	0.027	15.528	0.417	97.98	4124Ac5-Bt15
136	0.061	0.741	0.006	10.449	13.809	36.249	13.730	6.504	0.006	0.018	15.582	0.328	97.483	4100A-Bt1
137	0.064	0.580	0.000	10.210	13.979	36.194	13.341	6.581	0.006	0.015	15.528	0.297	96.795	4100A-Bt2
138	0.072	0.731	0.002	10.424	13.937	36.934	13.814	6.362	0.000	0.033	15.734	0.290	98.333	4100A-Bt3
139	0.089	0.930	0.001	10.396	9.809	37.422	16.922	5.249	0.040	0.000	15.498	0.450	96.806	4100A-Bt4
140	0.078	0.630	0.002	10.200	13.931	36.821	13.426	6.475	0.000	0.008	15.460	0.297	97.328	4100A-Bt5
141	0.111	0.627	0.005	10.243	14.281	36.184	13.292	6.572	0.040	0.046	15.535	0.325	97.261	4100Ac5-Bt1
142	0.080	0.623	0.007	10.406	13.897	37.162	13.319	6.721	0.035	0.062	15.767	0.293	98.372	4100Ac5-Bt2
143	0.083	0.884	0.002	10.405	13.030	37.480	14.549	5.827	0.000	0.030	15.340	0.243	97.873	4100Ac2-Bt1
144	0.054	0.649	0.000	10.624	12.766	37.477	14.299	6.121	0.017	0.040	15.558	0.213	97.818	4100Ac2-Bt2
145	0.060	0.818	0.002	10.373	12.900	37.067	14.407	5.727	0.000	0.025	15.530	0.263	97.172	4100Ac2-Bt3
146	0.093	0.652	0.000	9.820	13.344	36.460	14.467	5.373	0.035	0.011	15.450	0.245	95.95	4100Ac2-Bt4
147	0.064	0.767	0.005	10.245	13.321	36.166	14.097	6.095	0.005	0.000	15.323	0.209	96.297	4100Ac2-Bt5
148	0.054	0.751	0.006	10.163	13.341	37.040	14.037	6.289	0.008	0.028	15.529	0.227	97.473	4100Ac2-Bt6
149	0.069	0.630	0.003	10.162	14.148	35.757	13.918	5.966	0.008	0.044	15.077	0.220	96.002	4100Ac2-Bt7
150	0.069	0.587	0.002	10.433	12.950	36.690	13.859	6.847	0.001	0.016	15.364	0.281	97.099	4100Ac2-Bt8
151	0.050	0.668	0.003	10.435	13.026	37.027	14.058	6.749	0.030	0.001	15.387	0.262	97.696	4100Ac2-Bt9
152	0.051	0.776	0.000	9.829	12.210	36.732	14.478	6.700	0.016	0.027	15.305	0.241	96.365	4100Ac2-Bt10
153	0.201	0.518	0.012	10.055	13.225	36.704	14.138	5.660	0.000	0.000	15.459	0.168	96.14	4083A1c1-Bt1
154	0.168	0.501	0.012	10.092	13.660	36.139	13.620	5.477	0.000	0.000	15.354	0.222	95.245	4083A1c1-Bt2
155	0.185	0.565	0.008	10.174	13.772	36.582	13.869	5.527	0.006	0.003	15.443	0.198	96.332	4083A1c1-Bt3
156	0.204	0.653	0.007	10.186	13.588	37.157	14.248	5.332	0.000	0.035	15.641	0.173	97.224	4083A1c1-Bt4
157	0.187	0.546	0.008	9.739	13.891	36.546	13.916	5.581	0.000	0.044	15.724	0.155	96.337	4083A1c1-Bt5
158	0.194	0.545	0.005	9.711	13.146	36.788	15.143	4.767	0.015	0.045	16.011	0.158	96.528	4083A1c1-Bt6
159	0.197	0.576	0.007	10.141	13.783	37.320	14.045	5.350	0.038	0.035	15.771	0.134	97.397	4083A1c1-Bt7
160	0.137	0.620	0.001	10.226	13.709	36.867	13.965	5.471	0.000	0.029	15.498	0.203	96.726	4083A1c1-Bt8
161	0.115	0.576	0.004	9.835	14.286	36.519	13.832	5.227	0.010	0.070	15.519	0.186	96.179	4083A1c1-Bt9
162	0.130	0.453	0.004	10.421	14.018	36.745	13.748	5.568	0.000	0.030	15.420	0.192	96.729	4083A1c1-Bt10
163	0.078	0.516	0.004	8.440	12.151	51.010	10.369	4.848	0.000	0.025	12.301	0.195	99.937	4087Ac1-Bt1
164	0.062	0.658	0.002	10.541	14.454	36.968	13.447	6.202	0.000	0.014	16.034	0.263	98.645	4087Ac1-Bt2
165	0.078	0.648	0.002	10.405	14.650	36.709	13.521	5.910	0.008	0.006	15.626	0.283	97.846	4087Ac1-Bt3
166	0.081	0.654	0.000	10.310	14.779	36.449	13.644	5.672	0.003	0.000	15.748	0.217	97.557	4087Ac1-Bt4
167	0.063	0.822	0.000	10.531	14.585	36.984	14.273	5.167	0.000	0.018	15.570	0.196	98.209	4087Ac1-Bt5
168	0.090	0.621	0.000	10.352	15.092	36.689	13.433	5.719	0.003	0.061	15.707	0.208	97.975	4087Ac1-Bt6
169	0.090	0.551	0.000	10.450	15.155	36.508	13.024	6.284	0.023	0.017	15.727	0.228	98.057	4087Ac1-Bt7
170	0.116	0.660	0.000	10.220	15.188	36.789	13.738	5.627	0.029	0.035	15.691	0.178	98.271	4087Ac1-Bt8
171	0.102	0.744	0.000	10.550	14.749	36.898	13.756	5.547	0.004	0.003	15.740	0.175	98.268	4087Ac1-Bt9
172	0.103	0.601	0.000	10.490	14.917	36.629	13.466	5.686	0.005	0.003	15.742	0.199	97.841	4087Ac1-Bt10
173	0.136	0.771	0.001	10.593	12.094	37.294	15.118	5.838	0.002	0.027	15.826	0.280	97.98	4087Ac2-Bt1
174	0.093	0.894	0.003	10.124	12.549	36.508	15.289	5.652	0.015	0.000	15.729	0.259	97.115	4087Ac2-Bt2
175	0.058	0.595	0.000	10.041	14.299	36.763	13.801	6.048	0.030	0.020	15.391	0.234	97.28	4087Ac2-Bt3
176	0.079	0.730	0.000	10.452	13.199	36.719	14.639	5.376	0.001	0.013	15.646	0.227	97.081	4087Ac2-Bt5
177	0.046	0.735	0.006	10.524	13.198	36.545	14.509	5.149	0.000	0.014	15.607	0.218	96.551	4087Ac2-Bt6
178	0.077	0.693	0.002	10.572	13.915	36.474	14.094	5.940	0.000	0.038	15.611	0.229	97.645	4087Ac2-Bt7
179	0.114	0.741	0.000	10.549	13.410	36.461	14.467	5.340	0.023	0.000	15.665	0.279	97.049	4087Ac2-Bt8
180	0.096	0.793	0.000	10.372	13.521	36.662	14.499	5.366	0.004	0.000	15.593	0.229	97.135	4087Ac2-Bt9
181	0.088	0.745	0.003	10.221	12.925	36.617	14.916	5.351	0.015	0.017	15.487	0.196	96.581	4087Ac4-Bt1
182	0.085	0.714	0.000	10.452	12.663	37.042	15.015	5.856	0.033	0.000	15.771	0.227	97.858	4087Ac4-Bt2
183	0.084	0.745	0.001	10.555	13.087	37.040	14.629	6.069	0.008	0.009	15.593	0.169	97.989	4087Ac4-Bt3
184	0.054	0.692	0.000	10.558	13.235	36.824	14.554	6.268	0.000	0.012	15.605	0.190	97.992	4087Ac4-Bt4
185	0.086	0.709	0.000	10.545	13.287	36.649	14.711	5.955	0.019	0.034	15.645	0.274	97.914	4087Ac4-Bt5
186	0.113	0.733	0.022	9.249	13.465	37.081	14.839	4.768	0.102	0.012	15.002	0.183	95.569	4087Ac4-Bt6
187	0.080	0.601	0.002	10.500	13.304	36.601	14.091	6.207	0.020	0.003	15.932	0.184	97.525	4091Ac1-Bt1
188	0.111	0.643	0.002	10.339	12.983	36.803	13.967	6.278	0.010	0.012	15.872	0.226	97.246	4091Ac1-Bt2



189	0.079	0.596	0.001	10.383	13.173	36.644	13.431	5.933	0.030	0.008	15.776	0.196	96.25	4091Ac1-Bt3
190	0.059	0.635	0.002	10.573	12.367	36.749	14.177	6.392	0.000	0.005	15.805	0.137	96.901	4091Ac1-Bt4
191	0.065	0.630	0.001	10.254	13.291	36.361	13.957	6.287	0.031	0.014	15.504	0.130	96.525	4091Ac1-Bt5
192	0.086	0.552	0.000	10.605	13.162	36.549	13.625	6.404	0.006	0.015	15.650	0.208	96.862	4091Ac1-Bt6
193	0.119	0.667	0.008	10.397	12.803	37.253	14.453	5.714	0.024	0.000	16.114	0.186	97.738	4091Ac1-Bt7
194	0.072	0.543	0.002	10.638	13.283	36.510	13.632	6.592	0.000	0.014	15.780	0.185	97.251	4091Ac1-Bt8
195	0.049	0.659	0.002	10.451	13.452	35.644	13.061	6.860	0.000	0.035	15.542	0.233	95.988	4091Ac1-Bt9
196	0.065	0.482	0.003	10.338	14.770	36.401	12.780	6.051	0.002	0.030	15.880	0.201	97.003	4091Ac1-Bt10
197	0.097	0.560	0.000	10.456	14.906	36.631	12.709	6.386	0.000	0.028	16.038	0.227	98.038	4091Ac1-Bt11
198	0.067	0.625	0.000	9.447	14.283	35.773	13.460	6.117	0.507	0.064	15.546	0.224	96.113	4091Ac5-Bt1
199	0.084	0.577	0.000	10.595	13.977	36.588	12.732	6.705	0.000	0.023	15.753	0.208	97.242	4091Ac5-Bt2
200	0.101	0.697	0.032	10.184	13.731	35.448	12.747	6.716	0.019	0.003	15.644	0.154	95.476	4091Ac5-Bt3
201	0.079	0.466	0.001	10.462	14.351	36.467	12.288	6.957	0.000	0.000	15.775	0.247	97.093	4091Ac5-Bt4
202	0.121	0.711	0.004	10.661	13.167	36.655	13.049	6.814	0.000	0.004	15.867	0.187	97.24	4091Ac5-Bt5
203	0.075	0.517	0.007	10.575	14.099	36.558	12.846	6.866	0.000	0.027	15.904	0.192	97.666	4091Ac5-Bt7
204	0.077	0.583	0.000	10.507	13.993	36.201	12.997	6.622	0.015	0.000	15.769	0.300	97.064	4091Ac5-Bt8
205	0.079	0.523	0.000	10.585	13.358	36.959	13.504	6.716	0.000	0.045	15.848	0.227	97.844	4091Ac5-Bt9
206	0.093	0.650	0.000	9.906	15.021	36.012	13.174	6.187	0.034	0.043	15.660	0.211	96.991	4091Ac5-Bt10
207	0.064	0.664	0.000	9.964	15.110	36.382	13.117	5.483	0.233	0.039	15.722	0.227	97.005	4091Ac5-Bt11
208	0.076	0.448	0.007	10.293	14.834	36.396	12.426	6.511	0.058	0.041	15.958	0.252	97.3	4091Ac5-Bt12
209	0.091	0.537	0.003	10.471	15.208	36.633	12.337	6.800	0.000	0.033	15.705	0.271	98.089	4091Ac5-Bt13
210	0.094	0.597	0.003	10.514	14.683	36.426	12.377	6.350	0.004	0.012	15.740	0.291	97.091	4091Ac5-Bt14
211	0.088	0.562	0.001	10.308	16.412	35.648	11.917	6.558	0.019	0.025	15.528	0.240	97.306	4091Ac5-Bt15
212	0.128	0.671	0.013	9.737	16.482	36.048	12.392	5.476	0.015	0.013	15.253	0.263	96.491	4164Ac3-Bt1
213	0.104	0.663	0.019	9.865	16.066	35.826	12.255	5.175	0.000	0.016	15.018	0.204	95.211	4164Ac3-Bt2
214	0.107	0.758	0.019	9.714	16.411	35.931	12.221	5.214	0.000	0.017	15.048	0.190	95.63	4164Ac3-Bt4
215	0.133	0.642	0.016	9.726	16.308	35.737	12.359	5.111	0.000	0.028	14.843	0.172	95.075	4164Ac3-Bt5
216	0.089	0.607	0.010	9.824	17.453	35.713	11.822	5.267	0.000	0.047	14.966	0.182	95.98	4164Ac3-Bt6
217	0.113	0.711	0.014	9.870	16.555	35.930	12.111	5.632	0.016	0.010	15.287	0.213	96.462	4164Ac3-Bt7
218	0.154	0.704	0.012	9.701	16.867	36.080	11.968	5.527	0.000	0.027	15.112	0.180	96.332	4164Ac3-Bt8
219	0.187	0.635	0.014	9.714	16.751	36.047	12.295	5.059	0.021	0.002	14.861	0.198	95.784	4164Ac3-Bt9
220	0.201	0.710	0.014	9.710	15.961	36.043	12.282	4.996	0.007	0.016	15.139	0.177	95.256	4164Ac3-Bt10
221	0.180	0.699	0.012	9.546	17.342	35.716	11.716	5.294	0.030	0.027	15.228	0.171	95.961	4164Ac3-Bt11
222	0.258	0.720	0.093	9.875	16.442	36.100	11.963	5.641	0.020	0.037	15.197	0.213	96.559	4164Ac3d-Bt1
223	0.197	0.582	0.013	9.897	16.544	36.118	11.887	5.474	0.000	0.042	15.033	0.202	95.989	4164Ac3d-Bt2
224	0.118	0.650	0.014	9.869	16.844	36.103	11.698	5.567	0.000	0.005	15.127	0.205	96.2	4164Ac3d-Bt3
225	0.174	0.669	0.020	9.918	16.433	36.139	12.035	5.482	0.000	0.005	15.059	0.183	96.117	4164Ac3d-Bt4
226	0.161	0.618	0.039	9.845	17.595	35.917	11.705	5.183	0.000	0.016	15.055	0.214	96.348	4164Ac3d-Bt5
227	0.189	0.680	0.023	9.677	15.597	35.989	12.317	5.386	0.000	0.018	15.033	0.221	95.13	4164Ac3d-Bt6
228	0.179	0.674	0.021	9.904	16.434	36.222	12.150	5.551	0.000	0.022	15.104	0.207	96.468	4164Ac3d-Bt7
229	0.261	0.785	0.045	9.954	16.639	36.115	11.791	5.567	0.001	0.046	15.124	0.199	96.527	4164Ac3d-Bt8
230	0.147	0.734	0.017	9.964	17.289	36.120	11.658	5.463	0.024	0.046	15.064	0.189	96.715	4164Ac3n-Bt1
231	0.127	0.697	0.017	9.816	16.794	35.972	12.074	5.155	0.000	0.007	15.145	0.198	96.002	4164Ac3n-Bt2
232	0.102	0.705	0.016	9.623	17.267	35.707	11.875	5.139	0.002	0.037	15.029	0.170	95.672	4164Ac3n-Bt3
233	0.128	0.629	0.013	9.807	15.984	35.761	11.842	5.528	0.000	0.010	15.101	0.189	94.992	4164Ac3n-Bt4
234	0.150	0.763	0.014	9.780	15.636	35.856	12.442	5.237	0.018	0.007	15.295	0.178	95.376	4164Ac3n-Bt5
235	0.127	0.667	0.012	10.006	16.388	35.970	11.747	5.814	0.001	0.001	15.111	0.246	96.09	4164Ac3n-Bt6
236	0.111	0.704	0.018	9.966	16.607	36.186	12.008	5.688	0.000	0.008	15.215	0.219	96.73	4164Ac3n-Bt7
237	0.074	0.640	0.016	8.489	18.750	35.041	11.870	4.676	0.008	0.038	14.931	0.134	94.667	4164Ac3n-Bt8
238	0.148	0.692	0.017	9.627	17.119	35.960	11.693	5.609	0.022	0.022	15.461	0.233	96.603	4164Ac3n-Bt9
239	0.103	0.849	0.009	9.969	15.965	36.471	13.069	5.122	0.004	0.014	15.202	0.210	96.987	4164Ac5-Bt1
240	0.068	0.950	0.016	9.658	15.123	36.324	14.058	4.497	0.006	0.000	15.120	0.150	95.97	4164Ac5-Bt2
241	0.061	0.827	0.015	8.789	15.265	35.345	13.982	5.772	0.043	0.000	15.056	0.135	95.29	4164Ac5-Bt3
242	0.112	0.916	0.011	9.781	14.738	36.290	13.775	4.564	0.000	0.025	14.946	0.123	95.281	4164Ac5-Bt4
243	0.134	0.956	0.014	9.751	14.286	36.344	13.906	4.841	0.000	0.032	15.200	0.103	95.567	4164Ac5-Bt5
244	0.124	1.016	0.015	9.753	14.387	36.431	13.903	4.683	0.000	0.000	15.324	0.103	95.739	4164Ac5-Bt6
245	0.113	0.904	0.016	9.832	14.368	35.356	13.409	5.034	0.006	0.000	14.727	0.138	93.903	4164Ac5-Bt7
246	0.125	0.896	0.013	9.929	15.435	36.601	13.398	5.289	0.024	0.035	15.304	0.132	97.181	4164Ac5-Bt8
247	0.108	0.907	0.014	9.884	14.258	36.504	14.159	4.473	0.000	0.025	15.399	0.145	95.876	4164Ac5-Bt9
248	0.058	1.041	0.008	9.519	10.267	37.883	17.975	4.522	0.035	0.025	13.525	0.491	95.349	4163Ac1-Bt1
249	0.059	1.129	0.002	9.453	11.627	37.510	17.765	4.380	0.045	0.031	13.560	0.473	96.034	4163Ac1-Bt2
250	0.058	1.144	0.000	9.917	9.780	38.303	18.288	4.468	0.015	0.024	13.422	0.459	95.878	4163Ac1-Bt3
251	0.066	1.040	0.000	9.928	9.586	38.320	18.126	4.655	0.028	0.050	13.339	0.566	95.704	4163Ac1-Bt4
252	0.058	1.194	0.000	9.876	9.526	38.579	18.422	4.545	0.005	0.050	13.569	0.485	96.309	4163Ac1-Bt5

253	0.057	1.141	0.010	9.970	10.043	38.415	18.123	4.742	0.066	0.000	13.257	0.481	96.305	4163Ac1a-Bt1
254	0.057	1.069	0.004	9.968	9.729	38.141	18.059	4.657	0.005	0.021	13.626	0.486	95.822	4163Ac1a-Bt2
255	0.046	1.214	0.010	9.761	9.819	38.338	18.233	4.658	0.020	0.025	13.911	0.527	96.562	4163Ac1a-Bt3
256	0.049	1.037	0.000	9.924	10.045	38.366	18.031	4.584	0.000	0.042	13.661	0.562	96.301	4163Ac1a-Bt4
257	0.041	1.237	0.002	10.022	9.325	38.673	18.729	4.308	0.014	0.018	13.536	0.488	96.393	4163Ac1a-Bt5
258	0.048	1.139	0.003	9.980	9.392	38.334	18.584	4.417	0.000	0.035	13.835	0.513	96.28	4163Ac1a-Bt6
259	0.042	1.192	0.003	10.209	9.193	38.557	18.619	4.431	0.000	0.031	13.447	0.543	96.267	4163Ac1a-Bt7
260	0.035	1.278	0.001	10.087	9.168	38.360	18.770	4.386	0.017	0.000	13.567	0.491	96.16	4163Ac3-Bt1
261	0.061	1.238	0.000	10.042	9.480	38.283	18.502	4.614	0.000	0.025	13.317	0.447	96.009	4163Ac3-Bt2
262	0.048	1.256	0.005	9.765	9.393	38.212	18.412	4.573	0.039	0.039	13.445	0.497	95.684	4163Ac3-Bt3
263	0.051	1.202	0.004	9.989	9.289	38.459	18.563	4.479	0.007	0.043	13.547	0.487	96.12	4163Ac3-Bt4
260	0.174	0.848	0.006	9.843	13.388	36.658	15.385	4.837	0.023	0.038	15.166	0.193	96.559	4186A2c12-Bt1
261	0.182	0.684	0.008	9.790	13.427	36.686	15.050	5.233	0.023	0.000	14.843	0.193	96.119	4186A2c12-Bt2
262	0.122	0.802	0.008	9.744	13.569	36.626	15.213	5.085	0.009	0.011	15.158	0.188	96.535	4186A2c12-Bt3
263	0.186	0.842	0.017	9.905	12.971	36.933	15.554	4.632	0.033	0.007	14.958	0.165	96.203	4186A2c12-Bt4
264	0.170	0.828	0.018	9.807	13.408	36.598	15.288	5.046	0.052	0.000	14.995	0.131	96.341	4186A2c12-Bt5
265	0.179	0.734	0.012	9.990	13.219	36.593	14.678	5.251	0.000	0.003	15.481	0.180	96.32	4186A2c12-Bt6
266	0.171	0.708	0.008	10.009	13.279	36.494	14.825	5.008	0.000	0.000	15.443	0.184	96.129	4186A2c12-Bt7
267	0.127	0.561	0.007	9.782	13.925	36.091	12.989	5.525	0.015	0.031	15.804	0.182	95.039	4189A2c1-Bt1
268	0.092	0.642	0.011	10.118	14.624	36.485	13.575	5.121	0.000	0.015	15.697	0.184	96.564	4189A2c1-Bt2
269	0.094	0.459	0.006	10.059	15.878	35.829	12.252	5.954	0.000	0.048	15.517	0.255	96.351	4189A2c1-Bt3
270	0.100	0.430	0.012	9.914	16.986	35.971	12.068	5.266	0.000	0.023	15.534	0.192	96.496	4189A2c1-Bt4
271	0.075	0.540	0.003	9.868	14.814	36.037	13.360	5.264	0.039	0.031	15.704	0.210	95.945	4189A2c1-Bt5
272	0.105	0.521	0.008	9.380	16.346	35.227	12.853	4.570	0.122	0.030	15.309	0.238	94.709	4189A2c2e-Bt1
273	0.097	0.623	0.002	9.772	16.416	36.242	12.953	4.120	0.020	0.071	15.837	0.199	96.352	4189A2c2e-Bt2
274	0.066	0.477	0.010	9.705	16.866	36.022	11.523	5.367	0.046	0.074	15.793	0.224	96.173	4189A2c2e-Bt3
275	0.057	0.444	0.003	9.727	17.072	36.078	11.636	5.566	0.000	0.048	15.563	0.286	96.48	4189A2c2e-Bt4
276	0.080	0.389	0.006	9.776	17.348	35.873	11.582	5.458	0.000	0.023	15.650	0.273	96.458	4189A2c2e-Bt5
277	0.090	0.599	0.011	9.912	16.610	36.284	12.455	4.506	0.007	0.036	15.781	0.245	96.536	4189A2c2e-Bt6
278	0.089	0.507	0.002	9.890	15.895	36.224	12.840	4.608	0.013	0.037	15.764	0.182	96.051	4189A2c5-Bt3
279	0.042	0.441	0.010	9.569	16.849	35.787	12.221	4.802	0.017	0.011	15.726	0.184	95.659	4189A2c5-Bt4
280	0.083	0.441	0.009	9.831	15.596	36.190	12.555	5.197	0.013	0.007	15.485	0.205	95.612	4189A2c5-Bt5
281	0.062	0.554	0.005	9.529	14.913	36.257	13.931	4.527	0.000	0.003	15.665	0.123	95.569	4189A2c5-Bt6
282	0.072	0.414	0.005	9.807	15.444	36.161	12.859	4.893	0.005	0.018	15.710	0.203	95.591	4189A2c5-Bt7
283	0.110	0.341	0.015	10.274	13.914	34.952	14.051	2.456	0.037	0.001	18.200	0.105	94.456	4155A2c2-Bt1
284	0.205	0.397	0.010	10.492	13.954	35.315	14.153	2.546	0.013	0.021	18.561	0.116	95.783	4155A2c2-Bt2
285	0.180	0.359	0.015	10.240	13.519	35.659	14.523	2.465	0.021	0.019	18.770	0.076	95.846	4155A2c2-Bt3
286	0.157	0.332	0.017	10.443	13.595	35.171	14.099	2.506	0.000	0.004	18.423	0.119	94.866	4155A2c2-Bt4
287	0.179	0.318	0.015	10.487	13.494	35.674	14.297	2.623	0.000	0.005	18.446	0.104	95.642	4155A2c2-Bt5
288	0.148	0.363	0.012	10.206	13.468	35.252	14.026	2.523	0.013	0.020	18.448	0.097	94.576	4155A2c2-Bt6
289	0.093	0.362	0.007	10.115	13.717	34.888	14.542	2.397	0.028	0.009	18.454	0.104	94.716	4155A2c2-Bt7
290	0.162	0.280	0.014	10.313	13.481	35.198	14.029	2.441	0.000	0.002	18.355	0.104	94.379	4155A2c2-Bt8
291	0.141	0.282	0.013	10.274	13.578	35.320	14.336	2.473	0.000	0.010	18.526	0.084	95.037	4155A2c2-Bt9
292	0.181	0.360	0.007	10.208	13.951	35.243	13.801	2.557	0.000	0.029	18.507	0.086	94.93	4155A2c2-Bt10
293	0.170	0.317	0.014	10.264	13.874	35.541	13.810	2.576	0.000	0.002	18.677	0.119	95.364	4155A2c2-Bt11
294	0.190	0.328	0.011	10.369	13.557	35.840	14.013	2.547	0.016	0.021	18.623	0.114	95.629	4155A2c2-Bt12
295	0.172	0.346	0.011	10.315	13.771	35.396	13.879	2.543	0.017	0.012	18.573	0.137	95.172	4155A2c2-Bt13
296	0.180	0.329	0.011	10.302	14.071	35.469	13.958	2.603	0.015	0.007	18.547	0.126	95.618	4155A2c2-Bt14
297	0.212	0.324	0.011	10.521	13.122	35.410	13.953	2.392	0.008	0.000	18.748	0.087	94.788	4155A2c2a-Bt1
298	0.140	0.383	0.008	10.537	13.835	35.666	13.752	2.506	0.003	0.003	18.773	0.063	95.669	4155A2c2a-Bt2
299	0.230	0.303	0.018	10.187	13.494	35.320	14.004	2.448	0.000	0.014	18.770	0.089	94.877	4155A2c2a-Bt3
300	0.224	0.427	0.014	10.540	13.495	35.722	14.039	2.487	0.000	0.000	18.780	0.078	95.806	4155A2c2a-Bt4
301	0.227	0.367	0.016	10.261	13.535	35.631	13.952	2.492	0.021	0.000	18.496	0.084	95.082	4155A2c2a-Bt5
302	0.242	0.419	0.014	10.362	13.720	35.692	13.927	2.494	0.016	0.037	18.757	0.108	95.788	4155A2c2a-Bt6
303	0.197	0.348	0.014	10.413	13.302	35.594	14.002	2.523	0.012	0.029	18.632	0.096	95.162	4155A2c2a-Bt7
304	0.178	0.262	0.014	10.443	13.891	35.545	13.938	2.516	0.009	0.019	18.618	0.100	95.533	4155A2c2a-Bt8
305	0.183	0.328	0.017	10.481	13.797	35.320	13.759	2.559	0.020	0.018	18.774	0.077	95.333	4155A2c2a-Bt9
306	0.210	0.368	0.010	10.386	13.705	35.751	13.855	2.516	0.000	0.011	18.863	0.080	95.755	4155A2c2a-Bt10
307	0.164	0.317	0.011	10.301	13.087	35.681	14.814	2.624	0.000	0.009	19.002	0.065	96.075	4155A2c2a-Bt11
308	0.359	0.330	0.014	10.159	11.149	35.528	15.639	2.515	0.000	0.000	19.416	0.058	95.167	4155A2c3-Bt1
309	0.336	0.355	0.021	10.060	10.885	35.549	15.927	2.519	0.037	0.007	19.498	0.040	95.234	4155A2c3-Bt2
310	0.252	0.457	0.011	10.238	11.363	35.785	16.066	2.635	0.026	0.005	18.524	0.029	95.391	4155A2c3-Bt4
311	0.271	0.440	0.013	10.364	11.261	36.034	16.286	2.578	0.011	0.007	18.659	0.058	95.982	4155A2c3-Bt5
312	0.226	0.396	0.013	10.296	11.474	35.617	15.870	2.506	0.000	0.000	18.323	0.075	94.796	4155A2c3-Bt6

313	0.245	0.308	0.012	10.385	11.099	35.911	15.837	2.541	0.000	0.017	18.445	0.019	94.819	4155A2c3-Bt8
314	0.219	0.334	0.011	10.287	11.333	35.778	15.515	2.477	0.006	0.020	18.675	0.082	94.737	4155A2c3-Bt9
315	0.215	0.295	0.013	10.325	11.264	35.802	15.559	2.579	0.000	0.000	18.615	0.064	94.731	4155A2c3-Bt10
316	0.233	0.386	0.009	10.462	11.378	35.928	15.462	2.547	0.000	0.027	18.670	0.051	95.153	4155A2c3-Bt11
317	0.150	0.359	0.011	10.083	13.551	35.159	14.346	2.704	0.000	0.036	18.489	0.070	94.958	4155A2c3-Bt12
318	0.256	0.367	0.011	10.376	12.840	35.674	14.397	2.554	0.000	0.000	18.632	0.099	95.206	4155A2c3-Bt13
319	0.200	0.358	0.016	10.548	12.963	35.969	14.611	2.420	0.001	0.000	18.667	0.075	95.828	4155A2c3-Bt14
320	0.209	0.261	0.013	10.433	13.271	35.628	14.290	2.575	0.015	0.023	18.593	0.089	95.4	4155A2c3-Bt15
321	0.134	0.293	0.014	10.540	14.003	35.654	13.863	2.571	0.000	0.005	18.442	0.106	95.625	4155A2c3-Bt16
322	0.182	0.399	0.013	10.392	13.078	36.056	14.633	2.532	0.029	0.013	18.951	0.060	96.338	4155A2c3-Bt17
323	0.216	0.382	0.012	10.358	13.034	35.751	14.429	2.438	0.010	0.000	18.590	0.090	95.31	4155A2c3-Bt18
324	0.183	0.397	0.011	10.586	11.727	35.623	15.079	2.432	0.000	0.003	18.692	0.070	94.803	4155A2c3-Bt19
325	0.160	0.271	0.009	10.485	11.517	35.735	15.441	2.426	0.000	0.044	18.722	0.077	94.887	4155A2c3-Bt20
326	0.133	0.414	0.015	10.142	14.689	36.278	14.236	2.983	0.047	0.036	16.369	0.170	95.512	4155A1c3-Bt1
327	0.119	0.373	0.009	10.510	16.179	36.072	13.227	2.663	0.033	0.013	16.520	0.156	95.874	4155A1c3-Bt2
328	0.139	0.337	0.012	10.488	16.237	36.327	13.049	2.683	0.000	0.000	16.308	0.176	95.756	4155A1c3-Bt3
329	0.094	0.395	0.006	10.333	15.618	36.496	13.221	2.736	0.003	0.040	16.663	0.182	95.787	4155A1c3-Bt4
330	0.144	0.360	0.006	10.471	15.947	36.635	13.388	2.640	0.020	0.022	16.643	0.166	96.442	4155A1c3-Bt5
331	0.048	0.338	0.011	10.112	17.389	35.913	12.715	2.664	0.000	0.062	16.066	0.146	95.464	4155A1c3-Bt6
332	0.120	0.259	0.014	9.949	16.454	36.005	13.438	2.569	0.015	0.033	16.400	0.171	95.427	4155A1c3-Bt7
333	0.134	0.401	0.015	10.296	15.761	36.419	13.673	2.673	0.019	0.054	16.572	0.153	96.17	4155A1c3-Bt8
334	0.108	0.394	0.012	10.336	15.759	36.275	13.476	2.296	0.016	0.050	16.214	0.166	95.102	4155A1c3-Bt9
335	0.131	0.371	0.010	9.997	16.039	36.070	13.507	2.361	0.027	0.029	16.262	0.196	95	4155A1c3-Bt10
336	0.097	0.321	0.011	10.410	16.094	36.247	13.227	2.722	0.009	0.042	16.595	0.172	95.947	4155A1c3-Bt11
337	0.113	0.335	0.011	10.258	16.198	36.108	13.105	2.616	0.013	0.022	16.642	0.179	95.6	4155A1c3-Bt12
338	0.087	0.349	0.006	10.405	15.974	36.080	13.177	2.515	0.000	0.007	16.469	0.187	95.256	4155A1c3-Bt13
339	0.130	0.432	0.015	10.341	16.259	36.301	13.552	2.534	0.043	0.018	16.319	0.181	96.125	4155A1c3-Bt14
340	0.104	0.315	0.011	10.302	16.088	36.315	13.342	2.606	0.012	0.030	16.425	0.134	95.684	4155A1c3-Bt15
341	0.158	0.402	0.020	10.251	15.857	36.573	13.565	2.465	0.005	0.055	16.628	0.162	96.141	4155A1c3-Bt16
342	0.091	0.384	0.015	9.007	17.524	35.995	13.042	2.132	0.055	0.070	16.748	0.131	95.194	4155A1c3-Bt17
343	0.133	0.416	0.010	9.184	16.935	35.985	13.507	2.300	0.054	0.013	16.441	0.133	95.111	4155A1c3-Bt18
344	0.104	0.314	0.007	10.585	15.921	36.362	13.134	2.712	0.006	0.045	16.552	0.173	95.915	4155A1c3-Bt19
345	0.114	0.492	0.018	10.331	16.184	36.427	13.025	2.677	0.061	0.033	16.773	0.165	96.3	4155A1c3-Bt20
346	0.093	0.285	0.011	10.448	15.913	36.739	13.145	2.620	0.021	0.019	16.831	0.185	96.31	4155A1c3-Bt21
347	0.080	0.315	0.005	10.266	15.828	36.037	13.102	2.649	0.022	0.019	16.701	0.208	95.232	4155A1c3-Bt22
348	0.290	0.439	0.013	9.853	14.639	37.004	14.050	2.643	0.000	0.107	17.206	0.000	96.244	4193A12c2-Bt1
349	0.343	0.472	0.005	9.762	14.420	36.936	14.267	2.528	0.002	0.073	17.204	0.021	96.033	4193A12c2-Bt2
350	0.285	0.415	0.006	8.900	14.723	36.096	14.785	2.402	0.020	0.070	17.560	0.019	95.281	4193A12c2-Bt3
351	0.308	0.312	0.011	9.743	14.374	36.579	14.250	2.497	0.011	0.085	17.387	0.026	95.583	4193A12c2-Bt4
352	0.247	0.438	0.012	9.419	12.129	37.473	16.527	1.463	0.009	0.041	17.806	0.016	95.58	4193A12c2-Bt5
353	0.267	0.362	0.008	9.623	13.589	36.352	14.175	2.281	0.000	0.094	17.579	0.026	94.356	4193A12c2-Bt6
354	0.267	0.363	0.014	9.169	14.610	36.231	14.515	2.243	0.000	0.088	17.683	0.022	95.205	4193A12c2-Bt7
355	0.300	0.430	0.011	9.875	13.962	36.372	14.063	2.728	0.016	0.063	17.372	0.046	95.238	4193A12c2-Bt8
356	0.186	0.370	0.010	8.331	14.736	35.519	14.966	1.747	0.000	0.108	17.835	0.032	93.84	4193A12c2-Bt9
357	0.113	0.653	0.005	10.436	14.007	36.517	13.615	4.212	0.013	0.021	16.171	0.053	95.816	4174A1c1-Bt1
358	0.102	0.483	0.004	10.325	14.656	36.744	13.830	4.619	0.002	0.028	15.730	0.051	96.574	4174A1c1-Bt2
359	0.097	0.659	0.006	10.409	14.725	36.480	13.932	4.439	0.005	0.012	15.720	0.050	96.534	4174A1c1-Bt3
360	0.087	0.599	0.003	10.553	14.424	36.844	13.719	4.422	0.004	0.035	16.074	0.057	96.821	4174A1c1-Bt4
361	0.068	0.652	0.000	10.573	15.054	36.729	13.739	4.376	0.004	0.049	15.995	0.054	97.293	4174A1c1-Bt5
362	0.122	0.676	0.002	10.324	14.191	36.576	14.495	4.241	0.000	0.060	15.682	0.025	96.394	4174A1c1-Bt6
363	0.115	0.623	0.001	10.303	14.546	36.533	14.118	4.398	0.022	0.021	15.747	0.058	96.485	4174A1c1-Bt7
364	0.135	0.715	0.001	10.391	14.379	36.751	14.776	4.057	0.008	0.031	15.748	0.065	97.057	4174A1c1-Bt8
365	0.090	0.594	0.008	10.410	14.669	36.613	13.777	4.375	0.000	0.023	15.919	0.066	96.544	4174A1c1-Bt9
366	0.062	0.578	0.006	9.710	14.538	36.456	13.315	4.501	0.000	0.024	16.106	0.070	95.366	4174A1c1-Bt10
367	0.048	0.712	0.004	10.059	14.559	36.108	13.664	4.094	0.715	0.026	15.723	0.032	95.744	4174A1c1-Bt11
368	0.123	0.599	0.000	10.097	16.672	35.645	13.310	3.993	0.000	0.040	15.905	0.052	96.436	4174A1c1-Bt12
369	0.111	0.651	0.008	10.495	14.915	36.402	13.561	4.385	0.016	0.001	15.944	0.056	96.545	4174A1c1-Bt13
370	0.096	0.509	0.001	10.409	16.621	36.035	11.894	5.545	0.000	0.013	15.510	0.165	96.798	4174A1c2-Bt1
371	0.061	0.466	0.003	10.470	16.434	36.002	11.897	5.541	0.003	0.006	15.520	0.149	96.552	4174A1c2-Bt2
372	0.076	0.493	0.000	10.502	16.565	35.478	11.821	5.697	0.000	0.053	15.359	0.180	96.224	4174A1c2-Bt3
373	0.081	0.410	0.002	10.402	15.456	36.106	12.718	5.589	0.015	0.000	15.662	0.158	96.599	4174A1c2-Bt4
374	0.059	0.508	0.000	10.498	16.501	35.779	11.397	5.739	0.010	0.038	15.760	0.156	96.445	4174A1c2-Bt5
375	0.053	0.581	0.005	10.478	16.666	35.763	11.609	5.487	0.014	0.031	15.803	0.143	96.633	4174A1c2-Bt6
376	0.099	0.447	0.009	10.214	17.257	35.471	11.286	5.481	0.040	0.016	15.299	0.181	95.8	4174A1c2-Bt7

377	0.060	0.423	0.005	10.256	16.975	35.857	11.514	5.654	0.000	0.043	15.700	0.182	96.669	4174A1c2-Bt8
378	0.058	0.471	0.003	10.552	16.856	35.890	11.492	5.493	0.000	0.055	15.515	0.128	96.513	4174A1c2-Bt9
379	0.058	0.500	0.004	10.540	16.845	35.944	11.487	5.500	0.000	0.016	15.644	0.204	96.742	4174A1c2-Bt10
380	0.063	0.521	0.007	10.500	17.292	35.353	11.853	4.562	0.024	0.054	15.598	0.126	95.953	4174A1c5-Bt1
381	0.030	0.491	0.002	10.418	16.996	35.682	11.833	4.606	0.000	0.017	15.918	0.104	96.097	4174A1c5-Bt2
382	0.052	0.510	0.002	10.561	17.113	35.575	11.755	4.776	0.000	0.036	15.638	0.125	96.143	4174A1c5-Bt3
383	0.056	0.466	0.002	10.179	17.429	35.566	11.578	4.776	0.000	0.041	15.975	0.128	96.196	4174A1c5-Bt4
384	0.081	0.503	0.003	10.430	17.024	35.919	11.552	4.833	0.000	0.026	15.767	0.109	96.247	4174A1c5-Bt5
385	0.068	0.529	0.003	10.558	17.268	35.946	11.790	4.723	0.000	0.041	15.967	0.097	96.99	4174A1c5-Bt6
386	0.073	0.539	0.010	10.428	17.322	35.861	11.637	4.788	0.000	0.037	15.770	0.114	96.579	4174A1c5-Bt7
387	0.077	0.418	0.008	10.422	17.192	35.539	11.698	4.730	0.013	0.031	15.697	0.133	95.958	4174A1c5-Bt8
388	0.062	0.613	0.004	10.595	16.909	35.406	11.762	4.649	0.000	0.013	15.708	0.128	95.849	4174A1c5-Bt9
389	0.072	0.594	0.004	10.546	16.894	35.933	11.754	4.675	0.003	0.029	15.857	0.122	96.483	4174A1c5-Bt10
390	0.105	0.388	0.009	10.470	14.891	35.946	12.850	3.937	0.000	0.033	16.400	0.177	95.206	4147A2c4Bt1
391	0.067	0.315	0.003	10.356	14.808	35.782	13.001	3.947	0.000	0.006	16.384	0.164	94.833	4147A2c4Bt2
392	0.080	0.282	0.004	10.232	14.914	35.507	12.853	4.018	0.018	0.028	16.454	0.175	94.565	4147A2c4Bt3
393	0.075	0.381	0.003	10.473	14.780	35.935	12.966	3.779	0.013	0.033	16.486	0.152	95.076	4147A2c4Bt4
394	0.140	0.383	0.003	10.218	16.422	35.313	11.201	2.485	0.000	0.031	19.242	0.148	95.586	4123Ac2Bt1
395	0.094	0.427	0.006	10.112	16.281	35.547	11.146	2.529	0.000	0.017	19.194	0.138	95.491	4123Ac2Bt2
396	0.150	0.356	0.003	10.213	15.967	35.502	11.209	2.432	0.002	0.009	19.525	0.161	95.529	4123Ac2Bt3
397	0.099	0.346	0.004	10.234	16.193	34.833	11.041	2.431	0.008	0.042	18.998	0.148	94.377	4123Ac2Bt4
398	0.113	0.280	0.001	10.251	15.847	35.488	10.970	2.367	0.010	0.027	19.626	0.156	95.136	4123Ac2Bt5
399	0.116	0.257	0.003	9.290	15.768	35.448	10.716	1.964	0.011	0.032	20.490	0.121	94.216	4123Ac2aBt1
400	0.114	0.323	0.003	10.168	15.924	35.445	11.445	2.101	0.000	0.040	19.384	0.102	95.049	4123Ac2aBt2
401	0.099	0.261	0.000	10.109	16.355	35.675	11.240	2.130	0.000	0.037	19.403	0.132	95.441	4123Ac2aBt3
402	0.127	0.355	0.002	10.154	15.839	34.962	10.902	2.160	0.010	0.011	19.667	0.152	94.341	4123Ac2aBt4
403	0.153	0.322	0.000	9.878	16.841	34.740	11.190	1.988	0.004	0.045	18.945	0.067	94.173	4123Ac3Bt1
404	0.134	0.378	0.002	9.961	15.528	34.648	10.895	2.200	0.011	0.014	19.031	0.149	92.951	4123Ac3Bt2
405	0.112	0.259	0.002	10.176	15.729	35.103	10.857	2.309	0.021	0.040	19.432	0.148	94.188	4123Ac3Bt3
406	0.132	0.306	0.007	9.976	16.129	35.189	10.660	2.235	0.000	0.015	19.318	0.127	94.094	4123Ac3Bt4
407	0.146	0.378	0.000	10.097	16.375	35.441	11.164	2.006	0.000	0.010	19.364	0.134	95.115	4123Ac3Bt5
408	0.140	0.412	0.002	10.196	16.186	35.359	11.237	2.036	0.000	0.027	19.403	0.124	95.122	4123Ac3Bt6
409	0.154	0.365	0.000	10.127	15.427	35.523	11.122	2.012	0.006	0.059	19.869	0.116	94.78	4123Ac3Bt7
410	0.069	0.211	0.079	10.088	21.214	34.735	9.449	4.524	0.009	0.016	15.844	0.112	96.35	12a2-Bt1
411	0.060	0.123	0.075	10.098	21.361	34.631	9.344	4.670	0.023	0.025	15.902	0.135	96.447	12a2-Bt2
412	0.115	0.215	0.111	10.155	20.756	34.666	9.816	4.275	0.000	0.041	15.867	0.159	96.176	12a2-Bt3
413	0.093	0.124	0.080	10.136	20.692	34.603	9.679	4.693	0.046	0.017	16.008	0.065	96.236	12a2-Bt4
414	0.055	0.155	0.075	10.033	21.053	34.585	9.718	4.500	0.000	0.029	15.874	0.199	96.276	12a2-Bt5
415	0.067	0.074	0.075	9.720	21.196	34.517	9.409	4.727	0.000	0.019	16.230	0.163	96.197	12a2-Bt6
416	0.063	0.135	0.072	10.037	21.371	34.305	9.311	5.002	0.000	0.021	15.588	0.175	96.08	12a2-Bt7
417	0.070	0.108	0.100	9.397	20.016	32.585	8.994	4.645	0.042	0.027	15.043	0.061	91.088	12a2c3-Bt1
418	0.052	0.121	0.086	9.540	21.291	34.257	9.674	4.742	0.051	0.008	15.555	0.074	95.451	12a2c3-Bt2
419	0.044	0.114	0.101	10.001	20.696	34.073	9.369	4.967	0.020	0.025	15.893	0.183	95.486	12a2c3-Bt3
420	0.058	0.137	0.093	10.104	20.583	34.596	9.432	5.051	0.000	0.005	15.987	0.181	96.227	12a2c3-Bt4
421	0.065	0.094	0.096	9.979	20.649	34.952	9.182	5.184	0.000	0.000	15.927	0.201	96.329	12a2c3-Bt5
422	0.183	0.196	0.003	9.923	15.026	35.338	12.060	3.528	0.000	0.017	18.090	0.340	94.704	4184ac2-Bt1
423	0.151	0.058	0.001	9.846	15.358	35.583	11.942	3.597	0.003	0.010	17.998	0.309	94.856	4184ac2-Bt2
424	0.150	0.121	0.005	9.955	15.913	35.778	12.536	2.855	0.001	0.000	18.309	0.206	95.829	4184ac2-Bt3
425	0.170	0.128	0.001	10.086	15.650	35.652	12.450	2.874	0.004	0.039	18.347	0.152	95.553	4184ac2-Bt4
426	0.219	0.124	0.005	9.797	15.704	35.825	12.570	2.861	0.021	0.000	18.566	0.192	95.884	4184ac2-Bt5
427	0.167	0.121	0.006	9.968	16.096	35.617	12.751	2.752	0.017	0.009	18.360	0.184	96.048	4184ac2-Bt6
428	0.124	0.193	0.006	10.064	15.505	35.694	12.921	2.538	0.007	0.030	18.703	0.158	95.943	4184ac2-Bt7
429	0.193	0.145	0.008	9.781	15.994	35.765	12.780	2.626	0.039	0.061	18.630	0.154	96.176	4184ac2-Bt8
430	0.254	0.132	0.059	9.851	15.587	35.741	12.629	2.700	0.080	0.022	18.835	0.175	96.065	4184ac2-Bt9
431	0.279	0.183	0.092	9.673	15.476	35.866	12.745	2.677	0.099	0.039	18.739	0.192	96.06	4184ac2-Bt10
432	0.128	0.195	0.006	10.042	15.723	35.698	12.810	2.594	0.000	0.022	18.622	0.172	96.012	4184ac2-Bt11
1	0.207	0.491	0.022	10.417	14.018	36.280	14.586	4.360	0.016	0.028	15.887	0.190	96.502	1046c1-Bt1
2	0.193	0.440	0.020	10.491	15.116	36.106	13.327	5.062	0.000	0.015	16.323	0.210	97.303	1046c1-Bt2
3	0.141	0.408	0.027	10.789	14.740	36.234	13.830	4.666	0.015	0.028	15.782	0.160	96.82	1046c1-Bt3
4	0.238	0.328	0.018	10.716	14.326	36.282	13.452	4.961	0.004	0.031	16.649	0.205	97.21	1046c1-Bt4
5	0.147	0.426	0.021	10.476	16.541	36.449	13.640	3.198	0.011	0.025	16.087	0.165	97.186	1046c1-Bt5
6	0.143	0.432	0.016	9.917	17.938	35.633	12.354	3.387	0.015	0.106	15.746	0.148	95.835	1046c2-Bt6
7	0.185	0.428	0.013	10.569	17.412	35.800	12.759	4.046	0.003	0.038	16.086	0.136	97.475	1046c2-Bt7

8	0.199	0.423	0.018	10.328	17.634	35.819	12.233	4.257	0.042	0.044	16.091	0.143	97.231	1046c2-Bt8
9	0.119	0.571	0.002	10.566	15.699	35.973	12.696	5.596	0.029	0.064	15.775	0.182	97.272	1029c2-Bt1
10	0.087	0.575	0.005	10.721	15.250	36.115	13.052	5.810	0.003	0.038	15.896	0.219	97.771	1029c2-Bt2
11	0.116	0.444	0.002	10.505	16.654	35.561	11.949	6.079	0.022	0.026	15.469	0.170	96.997	1029c2-Bt3
12	0.088	0.656	0.001	10.695	16.313	35.392	11.906	6.068	0.018	0.000	15.615	0.180	96.932	1029c2-Bt4
13	0.145	0.895	0.004	10.612	11.107	36.627	15.659	6.972	0.008	0.002	15.326	0.132	97.489	1029OPX-Bt5
14	0.133	0.934	0.001	10.668	10.654	36.616	17.621	5.245	0.010	0.009	15.413	0.119	97.423	1029OPX-Bt6
15	0.142	0.751	0.009	10.521	12.055	36.258	15.379	5.432	0.000	0.007	15.650	0.275	96.479	1029OPX-Bt7
16	0.129	0.787	0.004	10.790	11.490	36.477	15.913	5.265	0.000	0.022	15.978	0.287	97.142	1029OPX-Bt8
17	0.069	1.223	0.007	10.834	13.341	36.220	15.376	4.793	0.000	0.045	15.670	0.229	97.807	1044c2-Bt1
18	0.122	1.092	0.000	10.518	13.043	36.744	15.847	4.295	0.025	0.001	15.971	0.203	97.861	1044c2-Bt2
19	0.131	0.988	0.006	10.521	13.418	36.501	14.851	5.911	0.006	0.029	15.716	0.230	98.308	1044c2-Bt3
20	0.103	1.136	0.031	10.789	12.886	36.753	14.873	6.046	0.000	0.031	15.721	0.222	98.591	1044c2-Bt4
21	0.113	1.004	0.004	10.549	13.630	36.110	14.674	5.468	0.015	0.002	15.832	0.229	97.63	1044c1-Bt5
22	0.065	0.806	0.006	10.791	14.690	36.261	13.647	5.796	0.000	0.047	15.460	0.302	97.871	1044c1-Bt6
23	0.137	0.898	0.084	10.618	14.571	36.059	13.776	6.103	0.032	0.041	15.637	0.313	98.269	1044c1-Bt7
24	0.107	0.831	0.008	10.809	14.137	35.872	14.030	6.449	0.027	0.041	15.584	0.220	98.115	1044c1-Bt8
25	0.066	0.644	0.003	10.631	12.507	36.403	15.275	5.759	0.022	0.016	15.518	0.210	97.054	25Ac1-Bt1
26	0.078	0.709	0.008	10.786	11.779	37.300	16.258	5.354	0.004	0.002	16.538	0.181	98.997	25Ac1-Bt2
27	0.118	0.694	0.003	10.718	11.911	36.373	15.481	5.323	0.034	0.020	15.905	0.158	96.738	25Ac1-Bt3
28	0.072	0.661	0.017	10.695	13.261	36.645	14.341	5.866	0.010	0.062	16.521	0.165	98.316	25Ac1-Bt4
29	0.031	0.691	0.001	10.663	15.535	35.877	13.302	5.593	0.000	0.020	15.883	0.184	97.78	2117A-c1-Bt1
30	0.075	0.690	0.002	10.751	14.984	35.804	13.529	5.714	0.022	0.016	15.958	0.164	97.709	2117A-c1-Bt2
31	0.067	0.701	0.006	10.736	14.254	35.727	13.938	5.367	0.000	0.047	16.046	0.140	97.029	2117A-c1-Bt3
32	0.086	0.628	0.007	10.626	13.818	36.194	14.142	5.360	0.011	0.022	15.967	0.084	96.945	2117A-c1-Bt4
33	0.097	0.696	0.003	10.640	13.723	36.474	14.250	5.453	0.010	0.008	15.884	0.135	97.373	2117A-c1-Bt5
34	0.069	0.841	0.006	10.830	11.501	36.450	15.759	5.992	0.010	0.022	16.085	0.122	97.687	2117A-c1-Bt6
35	0.073	0.964	0.000	10.719	11.080	36.706	16.438	4.696	0.000	0.002	16.347	0.114	97.139	2117A-c1-Bt7
36	0.228	0.704	0.068	10.634	14.151	35.456	14.237	5.131	0.020	0.042	15.923	0.161	96.755	2117A-c2-Bt8
37	0.083	0.705	0.000	10.612	14.643	35.967	13.770	5.486	0.037	0.038	15.859	0.165	97.365	2117A-c2-Bt9
38	0.083	0.673	0.007	10.766	14.679	36.393	13.755	5.396	0.015	0.040	15.763	0.186	97.756	2117A-c2-Bt10
39	0.100	0.523	0.003	10.684	14.717	35.828	13.292	6.185	0.005	0.044	16.037	0.159	97.577	2117A-c2-Bt11
40	0.341	0.481	0.121	10.654	14.340	35.590	13.092	6.281	0.023	0.000	16.125	0.115	97.163	2117A-c2-Bt12
41	0.065	0.797	0.003	10.797	14.329	35.836	14.168	5.293	0.016	0.053	16.061	0.140	97.558	2117A-c2-Bt13
42	0.163	0.315	0.009	10.135	17.066	35.472	12.410	3.592	0.052	0.049	16.600	0.128	95.991	4154-c2-Bt1
43	0.193	0.370	0.009	9.767	17.146	35.450	12.693	3.201	0.053	0.040	17.035	0.151	96.108	4154-c2-Bt2
44	0.089	0.257	0.000	10.455	16.798	35.406	11.944	4.643	0.025	0.014	16.652	0.121	96.404	4154-c2-Bt3
45	0.132	0.309	0.009	10.184	17.560	35.322	12.105	3.939	0.018	0.051	16.573	0.158	96.36	4154-c2-Bt4
46	0.056	0.397	0.001	10.529	16.500	36.091	12.746	3.398	0.006	0.028	16.697	0.127	96.576	4154-c2-Bt5
47	0.114	0.289	0.005	10.045	17.057	35.842	12.594	3.697	0.050	0.035	16.642	0.123	96.493	4154-c2-Bt6
48	0.081	0.266	0.001	10.504	17.405	35.688	11.959	4.276	0.010	0.046	16.639	0.218	97.093	4154-c2-Bt7
49	0.088	0.315	0.000	10.250	17.712	35.653	12.005	3.993	0.073	0.055	16.452	0.140	96.736	4154-c2-Bt8
50	0.126	0.447	0.014	9.878	15.943	35.243	13.060	3.469	0.060	0.000	16.766	0.158	95.164	4154-c3-Bt9
51	0.126	0.492	0.007	10.209	16.418	35.952	13.065	3.703	0.022	0.045	17.072	0.136	97.247	4154-c3-Bt10
52	0.078	0.313	0.005	10.509	16.459	35.116	13.180	3.525	0.001	0.024	16.921	0.156	96.287	4154-c3-Bt11
53	0.109	0.490	0.003	10.365	16.287	36.420	13.450	3.602	0.025	0.012	16.860	0.165	97.788	4154-c3-Bt12
54	0.105	0.370	0.003	10.234	17.123	35.417	12.294	3.924	0.050	0.029	16.565	0.116	96.23	4154-c3-Bt13
55	0.087	0.465	0.008	10.498	15.907	35.621	13.175	3.666	0.048	0.015	17.048	0.148	96.686	4154-c3-Bt14
56	0.063	0.434	0.005	10.384	15.672	36.106	12.949	4.845	0.009	0.010	16.368	0.157	97.002	4154-c3-Bt15
57	0.169	0.334	0.006	9.804	16.672	35.434	12.577	3.836	0.045	0.019	16.604	0.133	95.633	4154-c4-Bt16
58	0.150	0.293	0.008	10.339	16.346	35.186	12.441	4.451	0.042	0.015	17.087	0.185	96.543	4154-c4-Bt17
59	0.086	0.298	0.000	10.558	16.361	35.989	12.238	4.569	0.021	0.000	16.545	0.154	96.819	4154-c4-Bt18
60	0.059	0.546	0.001	10.668	13.816	36.063	13.791	4.860	0.000	0.008	16.706	0.094	96.612	4154-c4-Bt19
61	0.065	0.371	0.005	10.593	14.408	35.518	13.883	4.581	0.002	0.010	16.664	0.098	96.198	4154-c4-Bt20
62	0.066	0.423	0.010	10.603	13.465	36.025	14.514	4.378	0.000	0.016	16.424	0.089	96.013	4154-c4-Bt21
63	0.093	0.478	0.005	10.593	14.498	35.857	13.949	4.856	0.018	0.005	16.632	0.124	97.108	4154-c4-Bt22
64	0.109	0.437	0.012	10.300	14.177	35.930	14.391	4.304	0.083	0.000	16.909	0.074	96.726	4154-c4-Bt23
65	0.067	0.389	0.001	10.692	16.750	35.357	12.349	1.978	0.000	0.018	16.194	0.146	93.941	3036A-c1-Bt1
66	0.037	0.343	0.000	10.665	16.685	35.872	12.193	0.000	0.000	0.032	15.981	0.162	91.97	3036A-c1-Bt2
67	0.019	0.347	0.003	10.693	15.871	35.481	12.769	4.841	0.000	0.040	16.192	0.138	96.394	3036A-c1-Bt4
68	0.032	0.426	0.003	10.752	17.102	35.613	12.319	4.692	0.013	0.058	16.075	0.185	97.27	3036A-c1-Bt5
69	0.033	0.371	0.000	10.597	17.717	35.485	12.017	3.588	0.000	0.038	16.644	0.117	96.607	3036A-c2-Bt6
70	0.010	0.371	0.007	10.814	17.371	35.767	12.267	3.840	0.009	0.045	16.600	0.143	97.244	3036A-c2-Bt7
71	0.053	0.390	0.000	10.623	17.837	35.545	11.718	4.105	0.013	0.049	16.505	0.202	97.04	3036A-c2-Bt8

72	0.098	0.567	0.006	10.079	17.262	35.523	13.645	2.947	0.051	0.049	16.358	0.137	96.722	3036A-c2-Bt9
73	0.028	0.531	0.001	10.594	16.237	35.912	13.567	2.997	0.000	0.039	16.441	0.080	96.427	3036A-c2-Bt10
74	0.092	0.372	0.004	10.450	17.853	35.185	11.803	4.167	0.038	0.042	16.836	0.165	97.007	3036A-c2-Bt11
75	0.189	0.788	0.008	10.470	12.474	36.669	14.748	5.442	0.012	0.011	16.420	0.208	97.439	2121A-c2-Bt1
76	0.182	0.824	0.004	10.528	12.479	37.130	14.832	5.421	0.000	0.015	16.314	0.160	97.889	2121A-c2-Bt2
77	0.133	0.734	0.008	10.645	14.702	35.496	12.573	6.259	0.000	0.006	16.070	0.191	96.817	2121A-c2-Bt3
78	0.166	0.911	0.002	10.511	11.625	37.121	16.113	5.279	0.014	0.010	16.048	0.117	97.917	2121A-c2-Bt4
79	0.170	0.827	0.004	10.729	11.362	37.359	15.651	5.658	0.006	0.008	16.454	0.128	98.356	2121A-c2-Bt5
80	0.152	0.609	0.000	10.661	15.220	36.168	12.382	6.298	0.007	0.038	16.310	0.195	98.04	2121A-c2-Bt6
81	0.167	0.747	0.007	10.675	14.665	36.657	12.884	6.057	0.002	0.039	15.928	0.201	98.029	2121A-c2-Bt7
82	0.189	0.648	0.007	10.638	14.840	36.508	12.968	5.680	0.000	0.020	16.304	0.170	97.972	2121A-c2-Bt8
83	0.171	0.530	0.009	10.459	15.307	36.154	12.473	6.330	0.031	0.011	16.233	0.160	97.868	2121A-c2-Bt9
84	0.143	0.602	0.001	10.628	14.934	36.491	13.081	5.629	0.012	0.039	16.343	0.178	98.081	2121A-c2-Bt10
85	0.080	0.576	0.003	10.901	14.132	35.693	13.018	7.095	0.018	0.000	15.970	0.177	97.663	2121A-c3-Bt11
86	0.061	0.643	0.001	10.727	13.717	36.617	13.480	6.621	0.000	0.005	16.029	0.122	98.023	2121A-c3-Bt12
87	0.167	0.567	0.009	10.362	14.945	36.170	12.649	6.510	0.056	0.000	16.129	0.182	97.746	2121A-c3-Bt13
88	0.187	0.919	0.002	10.317	11.561	37.386	15.323	4.932	0.071	0.026	16.759	0.202	97.685	2121A-c3-Bt14
89	0.117	0.733	0.005	10.704	13.869	36.585	13.839	5.907	0.000	0.000	15.461	0.114	97.334	2121A-c4-Bt15
90	0.080	0.757	0.008	10.782	13.542	36.295	14.594	5.250	0.000	0.035	16.167	0.106	97.616	2121A-c4-Bt16
91	0.038	0.776	0.010	10.782	13.951	36.627	14.425	5.278	0.017	0.003	15.793	0.118	97.818	2121A-c4-Bt17
92	0.115	0.792	0.007	10.575	13.948	36.634	14.292	5.191	0.018	0.024	15.969	0.139	97.704	2121A-c4-Bt18
93	0.116	0.646	0.004	10.525	15.194	35.900	13.202	5.383	0.027	0.005	15.953	0.105	97.06	2121A-c4-Bt19
94	0.128	0.744	0.006	10.845	13.709	36.410	13.820	5.383	0.000	0.016	15.960	0.135	97.156	2121A-c4-Bt20
1	0.149	1.231	0.040	10.151	9.100	36.457	16.970	1.970	0.048	0.071	19.417	0.018	95.622	3251ngc2a-Bt1
2	0.169	1.168	0.032	10.306	9.207	36.296	16.899	2.347	0.033	0.048	18.742	0.000	95.247	3251ngc2a-Bt2
3	0.174	1.090	0.040	10.228	9.600	35.706	16.567	2.746	0.065	0.056	18.818	0.000	95.09	3251ngc2a-Bt3
4	0.196	0.986	0.045	10.271	10.088	35.850	16.185	2.726	0.046	0.054	18.925	0.000	95.372	3251ngc3-Bt1
5	0.144	1.300	0.037	10.502	9.789	36.447	16.835	2.319	0.042	0.030	19.008	0.018	96.471	3251ngc3-Bt2
6	0.155	1.239	0.030	10.697	9.925	36.262	16.797	2.806	0.002	0.072	18.477	0.000	96.462	3251ngc3-Bt4
7	0.174	1.325	0.030	10.561	10.097	36.747	16.867	2.777	0.016	0.046	18.860	0.013	97.513	3251ngc3-Bt5
8	0.147	1.245	0.031	10.332	9.984	36.598	16.305	3.037	0.058	0.010	18.605	0.000	96.352	3251ngc3-Bt6
9	0.229	1.184	0.034	10.402	9.795	36.271	16.531	2.889	0.051	0.064	18.592	0.012	96.054	3251ngc3-Bt7
10	0.200	1.146	0.039	10.341	9.563	36.161	16.248	2.839	0.066	0.054	18.690	0.008	95.355	3251ngc3-Bt8
11	0.136	1.184	0.021	10.582	9.646	35.542	16.371	2.627	0.038	0.049	18.822	0.000	95.018	3251ngc1-Bt1
12	0.154	1.193	0.035	10.521	9.398	35.405	16.478	2.729	0.020	0.035	18.859	0.028	94.855	3251ngc1-Bt2
13	0.110	1.077	0.032	10.470	9.618	35.761	15.938	3.379	0.041	0.046	18.852	0.000	95.324	3251ngc1-Bt3
14	0.146	0.936	0.033	10.524	9.696	35.341	15.548	3.557	0.038	0.066	18.503	0.033	94.421	3251ngc1-Bt4

## **APPENDICE VIII**

### **ANALYSES MICROSONDE DE LA SAPHIRINE**

Lames minces # 3251: xénolithe métasédimentaire à saphirine du Domaine de Douglas-Harbour.

Abréviations minérales selon Kretz (1983) (appendice III): Spr: saphirine.



	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	TiO <sub>2</sub>	CaO	FeO	SiO <sub>2</sub>	ZnO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	TOTAL	# de la lame et localisation des points analysés
	(wt%)	(wt%)	(wt%)	(wt%)	(wt%)	(wt%)	(wt%)	(wt%)	(wt%)	(wt%)	
#											
1	64.615	15.224	0.006	0.020	8.175	11.522	0.000	0.008	0.167	99.737	3251Sprc2-1
2	64.851	15.450	0.000	0.022	8.362	11.660	0.018	0.000	0.138	100.501	3251Sprc2-2
3	65.067	15.408	0.037	0.015	8.110	11.557	0.070	0.000	0.138	100.402	3251Sprc2-3
4	65.618	15.025	0.001	0.001	8.107	11.114	0.034	0.028	0.129	100.057	3251Sprc2-4
5	65.558	15.285	0.024	0.032	7.834	11.276	0.016	0.000	0.121	100.146	3251Sprc2-5
6	65.739	14.827	0.021	0.020	7.821	11.406	0.048	0.000	0.170	100.052	3251Sprc2-6
7	65.029	15.316	0.054	0.018	8.075	11.554	0.028	0.000	0.163	100.237	3251Sprc2-7
8	64.722	15.247	0.011	0.011	8.319	11.427	0.000	0.000	0.180	99.917	3251Sprc2-8
9	65.146	15.184	0.000	0.003	8.072	11.582	0.020	0.000	0.187	100.194	3251Sprc2-9
10	64.861	15.446	0.021	0.020	8.145	11.541	0.000	0.000	0.152	100.186	3251Sprc2-10
11	65.272	15.144	0.018	0.019	7.920	11.350	0.000	0.011	0.145	99.879	3251Sprc2-11
12	64.879	15.291	0.026	0.011	8.038	11.439	0.017	0.021	0.146	99.868	3251Sprc2-12
13	64.838	15.432	0.000	0.026	8.030	11.485	0.027	0.000	0.176	100.014	3251Sprc2-13
14	64.453	15.219	0.028	0.009	8.500	11.765	0.007	0.000	0.188	100.169	3251c2a-Spr1
15	64.678	15.061	0.017	0.002	8.308	11.604	0.003	0.000	0.176	99.849	3251c2a-Spr2
16	64.319	15.251	0.049	0.003	8.494	11.624	0.026	0.000	0.170	99.936	3251c2a-Spr3
17	65.301	15.192	0.005	0.016	8.324	11.352	0.000	0.000	0.143	100.333	3251c2a-Spr4
18	64.340	15.356	0.021	0.000	8.341	11.951	0.000	0.000	0.153	100.162	3251c2a-Spr5
19	63.738	15.228	0.000	0.014	7.467	12.080	0.032	0.019	0.160	98.738	3251c2a-Spr6
20	64.588	15.157	0.000	0.011	8.211	11.485	0.000	0.007	0.179	99.638	3251c2a-Spr7
21	66.274	15.167	0.004	0.000	8.096	11.215	0.047	0.000	0.176	100.979	3251c2a-Spr8
22	64.724	14.026	0.000	0.000	21.896	0.000	0.178	0.003	0.302	101.129	3251c2a-Spr9
23	64.670	14.981	0.032	0.015	8.259	11.452	0.036	0.003	0.164	99.612	3251c2a-Spr10
24	66.948	14.545	0.000	0.001	9.497	8.896	0.027	0.000	0.136	100.05	3251c2a-Spr11
25	64.088	15.159	0.000	0.016	8.730	11.879	0.000	0.000	0.181	100.053	3251c3a-Spr1
26	63.875	15.277	0.026	0.002	8.740	11.822	0.000	0.000	0.133	99.875	3251c3a-Spr2
27	63.697	15.300	0.026	0.033	8.843	11.956	0.000	0.000	0.190	100.045	3251c3a-Spr3
28	64.503	15.171	0.001	0.000	8.350	11.473	0.055	0.000	0.146	99.699	3251c3a-Spr4
29	65.410	14.732	0.012	0.012	8.177	11.264	0.000	0.000	0.163	99.77	3251c3a-Spr5
30	64.371	15.235	0.008	0.009	8.690	11.637	0.021	0.000	0.123	100.094	3251c3a-Spr6
31	64.705	15.187	0.026	0.002	8.529	11.488	0.000	0.019	0.142	100.098	3251c3a-Spr7
32	64.802	14.985	0.000	0.000	8.690	11.511	0.000	0.008	0.134	100.13	3251c3a-Spr8
33	61.079	16.233	0.000	0.009	8.505	12.900	0.018	0.000	0.144	98.888	3251c3a-Spr9
34	65.337	14.950	0.010	0.006	8.500	11.318	0.000	0.040	0.140	100.301	3251c3a-Spr10
35	64.439	15.172	0.025	0.021	8.743	11.641	0.027	0.000	0.133	100.201	3251c3a-Spr11
36	64.654	14.994	0.000	0.010	8.503	11.465	0.000	0.000	0.141	99.767	3251c3a-Spr12
37	64.490	15.020	0.030	0.000	8.516	11.769	0.000	0.012	0.166	100.003	3251c3a-Spr13
38	64.778	15.139	0.037	0.000	8.397	11.519	0.053	0.000	0.161	100.084	3251c3a-Spr14
39	64.563	15.128	0.000	0.020	8.533	11.722	0.011	0.005	0.160	100.142	3251c3a-Spr15
40	64.891	15.077	0.036	0.000	8.569	11.427	0.047	0.000	0.126	100.173	3251c3a-Spr16
41	64.398	14.591	0.029	0.000	8.527	11.766	0.021	0.000	0.139	99.471	3251c3a-Spr17
42	65.813	13.930	0.030	0.023	7.607	13.353	0.000	0.000	0.140	100.896	3251c3a-Spr18
43	65.417	14.656	0.005	0.025	8.026	11.231	0.021	0.000	0.168	99.549	3251c1-Spr1



<b>44</b>	64.945	15.097	0.000	0.029	8.281	11.674	0.028	0.019	0.164	100.237	<b>3251c1-Spr2</b>
<b>45</b>	65.529	14.945	0.000	0.016	7.925	11.257	0.017	0.000	0.159	99.848	<b>3251c1-Spr3</b>
<b>46</b>	63.395	14.762	0.013	0.012	8.214	12.103	0.032	0.000	0.139	98.67	<b>3251c1-Spr4</b>
<b>47</b>	63.552	14.124	0.000	0.041	8.111	12.223	0.000	0.000	0.139	98.19	<b>3251c1-Spr5</b>
<b>48</b>	64.487	14.996	0.015	0.000	8.350	11.548	0.000	0.000	0.158	99.554	<b>3251c1-Spr6</b>
<b>49</b>	64.511	15.085	0.011	0.009	8.442	11.690	0.002	0.000	0.153	99.903	<b>3251c1-Spr7</b>
<b>50</b>	65.064	15.203	0.020	0.004	8.443	11.482	0.000	0.000	0.195	100.411	<b>3251c1-Spr8</b>
<b>51</b>	65.111	15.089	0.008	0.029	8.294	11.187	0.000	0.000	0.171	99.889	<b>3251c1-Spr9</b>
<b>52</b>	65.123	14.948	0.000	0.033	8.107	11.436	0.000	0.000	0.152	99.799	<b>3251c1-Spr10</b>
<b>53</b>	64.760	15.073	0.052	0.030	8.323	11.422	0.006	0.000	0.175	99.841	<b>3251c1-Spr11</b>
<b>54</b>	65.091	14.794	0.027	0.015	8.337	11.037	0.008	0.000	0.141	99.45	<b>3251c1-Spr12</b>
<b>55</b>	64.101	14.682	0.000	0.070	8.172	11.432	0.000	0.000	0.154	98.611	<b>3251c1-Spr13</b>
<b>56</b>	65.220	15.342	0.044	0.019	8.239	11.487	0.027	0.000	0.175	100.553	<b>3251c1-Spr14</b>
<b>57</b>	64.815	14.953	0.003	0.053	8.125	11.614	0.004	0.000	0.162	99.729	<b>3251c1-Spr15</b>
<b>58</b>	65.066	15.303	0.012	0.028	8.123	11.481	0.000	0.010	0.140	100.163	<b>3251c1-Spr16</b>
<b>59</b>	63.857	15.068	0.000	0.005	8.310	11.676	0.039	0.038	0.114	99.107	<b>3251c1-Spr17</b>
<b>60</b>	65.030	15.265	0.008	0.029	8.361	11.516	0.000	0.013	0.150	100.372	<b>3251c1-Spr18</b>

## **APPENDICE IX**

### **ANALYSES MICROSONDE DES SPINELLES**

Lames minces # 4155A2 et 4184: métasédiments de la sous-province de l'Opinaca.

Lames minces # 3251: xénolithe métasédimentaire à saphirine du Domaine de Douglas-Harbour.

Abréviations minérales selon Kretz (1983) (appendice I): Spl: spinelle.

	Al2O3	MgO	TiO2	CaO	FeO	SiO2	ZnO	Cr2O3	MnO	Total	# de la lame et localisation des points analysés
	(wt%)	(wt%)	(wt%)	(wt%)	(wt%)	(wt%)	(wt%)	(wt%)	(wt%)	(wt%)	
#											
1	60.296	6.147	0.000	0.000	26.657	0.000	6.468	1.635	0.041	101.244	4155A2c2-Spl1
2	60.598	6.123	0.000	0.009	26.640	0.000	6.677	1.650	0.036	101.733	4155A2c2-Spl2
3	60.498	6.225	0.000	0.016	26.766	0.000	6.630	1.672	0.061	101.868	4155A2c2-Spl3
4	60.245	6.144	0.000	0.000	26.427	0.000	6.454	1.602	0.046	100.918	4155A2c2-Spl4
5	60.434	6.039	0.000	0.000	26.970	0.000	6.430	1.693	0.058	101.624	4155A2c2-Spl5
6	60.511	6.181	0.000	0.000	26.478	0.000	6.524	1.595	0.041	101.33	4155A2c2-Spl6
7	60.707	6.258	0.000	0.000	26.286	0.000	6.404	1.554	0.033	101.242	4155A2c2-Spl7
8	61.034	6.264	0.000	0.000	26.631	0.000	6.557	1.588	0.027	102.101	4155A2c2-Spl8
9	60.773	6.271	0.000	0.005	26.767	0.000	6.602	1.498	0.056	101.972	4155A2c2-Spl9
10	60.498	6.255	0.014	0.003	26.381	0.000	6.460	1.537	0.016	101.164	4155A2c2-Spl10
11	60.848	6.285	0.000	0.000	26.702	0.000	6.702	1.561	0.071	102.169	4155A2c2-Spl11
12	60.724	6.273	0.000	0.014	26.386	0.000	6.566	1.512	0.027	101.502	4155A2c2-Spl12
13	60.708	6.196	0.000	0.000	26.765	0.000	6.711	1.575	0.013	101.968	4155A2c2-Spl13
14	60.528	6.150	0.000	0.011	26.519	0.000	6.337	1.565	0.051	101.161	4155A2c2-Spl14
15	60.762	6.177	0.000	0.000	26.592	0.000	6.549	1.456	0.037	101.573	4155A2c2-Spl15
16	60.066	6.107	0.008	0.007	27.105	0.031	6.705	1.542	0.029	101.6	4155A2c2-Spl16
17	60.533	6.142	0.007	0.017	26.585	0.000	6.621	1.443	0.066	101.414	4155A2c2-Spl17
18	60.463	6.104	0.004	0.002	26.735	0.000	6.339	1.497	0.046	101.19	4155A2c2-Spl18
19	60.520	5.814	0.000	0.000	27.044	0.000	6.784	1.565	0.027	101.754	4155A2c2-Spl20
20	60.613	6.248	0.000	0.000	26.411	0.007	6.702	1.479	0.060	101.52	4155A2c2-Spl21
21	60.505	6.215	0.216	0.052	25.748	0.049	6.499	1.636	0.045	100.965	4155A2c2-Spl22
22	60.809	6.200	0.000	0.030	26.007	0.000	6.628	1.703	0.056	101.433	4155A2c2-Spl23
23	61.184	6.200	0.000	0.024	26.613	0.000	5.981	1.244	0.042	101.288	4155A2c2a-Spl1
24	61.310	6.385	0.000	0.000	26.785	0.000	6.134	1.190	0.070	101.874	4155A2c2a-Spl2
25	61.533	6.488	0.000	0.016	26.461	0.000	6.219	1.145	0.054	101.916	4155A2c2a-Spl3
26	61.356	6.380	0.000	0.007	26.801	0.000	6.333	1.223	0.046	102.146	4155A2c2a-Spl4
27	61.479	6.242	0.000	0.003	26.789	0.000	6.088	1.326	0.039	101.966	4155A2c2a-Spl5
28	60.962	6.341	0.000	0.000	26.836	0.000	6.288	1.228	0.030	101.685	4155A2c2a-Spl6
29	60.983	6.327	0.018	0.001	27.184	0.000	6.080	1.330	0.046	101.969	4155A2c2a-Spl7
30	61.021	6.275	0.000	0.000	26.967	0.000	6.241	1.347	0.072	101.923	4155A2c2a-Spl8
31	61.020	6.203	0.000	0.009	27.212	0.000	6.150	1.279	0.057	101.93	4155A2c2a-Spl9
32	60.888	5.921	0.000	0.000	27.017	0.000	6.009	1.263	0.053	101.151	4155A2c2a-Spl10
33	61.048	6.136	0.004	0.001	26.762	0.000	6.151	1.298	0.042	101.442	4155A2c2a-Spl11
34	61.088	6.357	0.002	0.003	27.191	0.000	6.088	1.263	0.012	102.004	4155A2c2a-Spl12
35	61.285	6.239	0.026	0.000	26.701	0.000	6.191	1.324	0.040	101.806	4155A2c2a-Spl13
36	61.168	6.102	0.006	0.000	27.037	0.000	6.289	1.416	0.052	102.07	4155A2c2a-Spl14
37	62.742	8.366	0.000	0.014	25.325	0.000	5.025	0.771	0.033	102.276	4155A2c3-Spl1
38	62.627	8.387	0.000	0.002	25.154	0.000	5.045	0.828	0.000	102.043	4155A2c3-Spl2
39	62.265	8.478	0.001	0.000	25.400	0.000	5.049	0.819	0.021	102.033	4155A2c3-Spl3
40	62.564	8.428	0.000	0.014	25.322	0.007	5.068	0.857	0.018	102.278	4155A2c3-Spl4
41	62.189	8.370	0.000	0.013	25.071	0.006	5.092	0.799	0.040	101.58	4155A2c3-Spl5
42	62.230	8.384	0.023	0.000	25.223	0.000	4.954	0.830	0.000	101.644	4155A2c3-Spl6
43	62.940	8.468	0.000	0.011	25.297	0.000	5.093	0.850	0.025	102.684	4155A2c3-Spl7
44	62.452	8.356	0.000	0.017	25.493	0.000	5.082	0.812	0.046	102.258	4155A2c3-Spl8
45	62.471	8.483	0.000	0.018	25.335	0.000	4.925	0.656	0.017	101.905	4155A2c3-Spl9
46	62.955	8.334	0.003	0.008	25.626	0.000	5.039	0.617	0.017	102.599	4155A2c3-Spl10
47	62.442	8.358	0.000	0.023	25.536	0.000	5.065	0.654	0.016	102.094	4155A2c3-Spl11
48	19.363	11.543	3.261	0.017	16.444	34.925	0.015	0.264	0.030	85.862	4184ac1-Spl1
49	62.964	0.018	0.000	0.007	0.180	36.213	0.014	0.050	0.006	99.452	4184ac1-Spl2
50	57.563	4.752	0.000	0.000	29.143	0.000	5.571	3.632	0.092	100.753	4184ac1-Spl4
51	58.696	1.108	0.283	0.007	2.115	36.047	0.000	0.114	0.000	98.37	4184ac1-Spl5
52	57.580	4.833	0.000	0.002	28.922	0.264	5.184	4.308	0.075	101.168	4184ac2-Spl1
1	63.532	12.051	0.005	0.000	24.364	0.021	0.273	0.048	0.332	100.626	3251 c1-Spl1
2	65.289	13.168	0.000	0.000	21.623	0.025	0.285	0.012	0.264	100.666	3251 c1-Spl2
3	64.859	13.505	0.000	0.000	21.814	0.030	0.212	0.036	0.146	100.602	3251 c1-Spl3

4	65.110	12.971	0.000	0.000	22.694	0.017	0.290	0.000	0.253	101.335	3251 c1-Spl4
5	63.230	12.631	0.000	0.008	25.244	0.000	0.142	0.000	0.301	101.556	3251c2a-Spl1
6	63.381	12.965	0.000	0.000	24.469	0.000	0.155	0.024	0.337	101.331	3251c2a-Spl2
7	63.436	12.705	0.000	0.008	24.784	0.000	0.129	0.000	0.307	101.369	3251c2a-Spl3
8	63.650	13.278	0.001	0.000	23.694	0.000	0.150	0.038	0.287	101.098	3251c2a-Spl4
9	62.131	13.709	0.000	0.027	25.389	0.000	0.164	0.031	0.256	101.707	3251c2a-Spl5
10	63.831	13.110	0.000	0.000	24.443	0.000	0.194	0.000	0.325	101.903	3251c2a-Spl6
11	65.045	14.182	0.000	0.000	21.808	0.000	0.140	0.000	0.315	101.49	3251c2a-Spl7
12	64.668	14.122	0.000	0.001	22.182	0.000	0.211	0.019	0.294	101.497	3251c2a-Spl8
13	67.151	13.961	0.000	0.010	14.955	4.810	0.124	0.000	0.188	101.199	3251c2a-Spl9
14	63.066	12.708	0.000	0.001	24.704	0.000	0.172	0.047	0.303	101.001	3251c2a-Spl10
15	62.978	12.580	0.000	0.000	25.409	0.000	0.240	0.027	0.241	101.475	3251c3a-Spl1
16	62.859	12.252	0.000	0.000	25.740	0.000	0.227	0.000	0.292	101.37	3251c3a-Spl2
17	63.428	12.525	0.000	0.000	25.325	0.000	0.220	0.028	0.252	101.778	3251c3a-Spl3
18	62.995	12.337	0.011	0.000	25.532	0.000	0.211	0.004	0.243	101.333	3251c3a-Spl4
19	63.323	12.381	0.001	0.014	25.086	0.000	0.273	0.000	0.267	101.345	3251c3a-Spl5
20	64.636	12.987	0.022	0.000	23.977	0.000	0.279	0.004	0.276	102.181	3251c3a-Spl6
21	64.886	12.801	0.000	0.000	23.718	0.000	0.251	0.000	0.270	101.926	3251c3a-Spl7
22	64.779	13.147	0.000	0.010	23.158	0.000	0.272	0.000	0.231	101.597	3251c3a-Spl8
23	61.850	12.830	0.014	0.006	26.560	0.000	0.290	0.014	0.253	101.817	3251c3a-Spl9
24	65.102	13.116	0.006	0.013	23.076	0.000	0.353	0.028	0.273	101.967	3251c3a-Spl20
25	59.758	12.685	0.027	0.018	28.794	0.000	0.302	0.000	0.203	101.787	3251c3a-Spl21
26	63.827	12.446	0.000	0.000	22.661	0.087	0.486	0.047	0.324	99.878	3251 c4-Spl1
27	63.783	11.985	0.000	0.000	24.448	0.052	0.445	0.050	0.328	101.091	3251 c4-Spl2
28	63.708	12.137	0.000	0.000	23.976	0.007	0.490	0.029	0.398	100.745	3251 c4-Spl3

## **APPENDICE X**

### **ANALYSES MICROSONDE DES FELDSPATHS- PLAGIOCLASES**

Lames minces # 4084, 4118, 4020, 4146, 4134, 4134A, 4093, 4124, 4100, 4083, 4087, 4091, 4164, 4163, 4186, 4189, 4155A2, 4155A1, 4193, 4174, 4147, 4123, 12, et 4184: métasédiments de la sous-province de l'Opinaca.

Lames minces # 1046, 1029, 1044, 25, 2117, 4154, 3036, et 2121: xénolithes métasédimentaires du Complexe d'Ashuanipi.

Lames minces # 3251: xénolithe métasédimentaire à saphirine du Domaine de Douglas-Harbour.

Abréviations minérales selon Kretz (1983) (appendice I): Kfs: feldspath, Pl: plagioclase.

	Na2O	MgO	K2O	FeO	SiO2	Al2O3	CaO	TOTAL	# de la lame et localisation des points analysés
	(wt%)	(wt%)	(wt%)	(wt%)	(wt%)	(wt%)	(wt%)	(wt%)	
#									
1	1.266	0.004	15.383	0.087	64.430	18.724	0.355	100.249	4084c1-Kfs1
2	0.594	0.000	16.343	0.168	64.527	18.372	0.050	100.054	4084c1-Kfs3
3	8.384	0.000	0.393	0.089	61.993	23.518	5.534	99.911	4084c1-Pl10
4	8.457	0.012	0.188	0.046	61.888	24.105	5.869	100.565	4084c1-Pl6
5	8.808	0.000	0.268	0.036	62.669	23.720	5.311	100.812	4084c1-Pl7
6	0.577	0.000	16.400	0.008	64.593	18.426	0.061	100.065	4084c1-Kfs8
7	1.045	0.001	15.676	0.216	64.893	18.507	0.069	100.407	4084c1-Kfs9
8	1.425	0.011	15.362	0.033	64.675	18.510	0.064	100.08	4084c2-Kfs5
9	0.606	0.002	16.449	0.002	63.935	18.516	0.095	99.605	4084c2-Kfs6
10	1.269	0.000	15.029	0.065	64.565	18.881	0.467	100.276	4084c2-Kfs9
11	0.685	0.000	16.359	0.000	64.715	18.551	0.073	100.383	4084c2-Kfs10
12	6.841	0.000	3.428	0.075	61.176	23.513	4.805	99.838	4084c3-Pl3
13	8.512	0.002	0.247	0.121	61.804	24.116	5.702	100.504	4084c7-Pl1
14	8.254	0.000	0.544	0.065	61.747	24.056	5.555	100.221	4084c7-Pl2
15	8.159	0.000	0.625	0.096	61.575	24.184	5.649	100.288	4084c7-Pl3
16	8.097	0.000	0.500	0.077	61.963	24.272	5.793	100.702	4084c7-Pl4
17	0.880	0.009	15.962	0.182	64.415	18.757	0.061	100.266	4084c5-Kfs1
18	8.352	0.010	0.299	0.133	61.605	24.098	5.612	100.109	4084c5-Pl2
19	8.595	0.013	0.282	0.132	62.506	24.092	5.626	101.246	4084c5-Pl3
20	8.349	0.000	0.442	0.205	61.989	24.022	5.661	100.668	4084c5-Pl4
21	8.156	0.000	0.718	0.104	61.815	23.987	5.564	100.344	4084c5-Pl5
22	8.484	0.008	0.411	0.015	61.965	23.445	5.141	99.469	4118c1-Pl1
23	8.482	0.000	0.341	0.038	61.641	23.667	5.261	99.43	4118c1-Pl2
24	8.572	0.003	0.299	0.000	62.364	23.681	5.162	100.081	4118c1-Pl3
25	8.400	0.000	0.310	0.090	61.660	23.736	5.368	99.564	4118c2-Pl1
26	8.614	0.009	0.323	0.032	61.451	23.625	5.086	99.14	4118c2-Pl2
27	8.482	0.000	0.307	0.076	61.505	23.646	5.342	99.358	4118c2-Pl3
28	8.631	0.000	0.347	0.047	61.802	23.387	5.067	99.281	4118c2-Pl4
29	8.781	0.004	0.238	0.063	61.721	23.441	5.150	99.398	4118c3-Pl1
30	8.978	0.008	0.188	0.047	62.090	23.599	4.944	99.854	4118c3-Pl2
31	8.645	0.001	0.216	0.101	61.951	23.943	5.384	100.241	4118c3-Pl3
32	8.241	0.001	0.347	0.046	61.489	24.303	6.018	100.445	4020c2-Pl1
33	7.848	0.019	0.203	0.117	60.854	25.257	6.731	101.029	4020c2-Pl2
34	8.179	0.000	0.410	0.020	61.451	24.439	5.892	100.391	4020c2-Pl3
35	8.350	0.000	0.181	0.069	61.557	24.514	5.935	100.606	4020c1-Pl1
36	7.349	0.001	0.138	0.024	59.880	24.713	6.474	98.579	4020c1-Pl2
37	8.114	0.000	0.228	0.081	60.862	24.627	6.189	100.101	4020c1-Pl3
38	8.368	0.008	0.283	0.001	61.477	24.443	5.894	100.474	4020c1-Pl4
39	8.167	0.011	0.239	0.096	61.270	24.870	6.202	100.855	4020c1-Pl5
40	1.260	0.003	14.560	0.016	63.762	18.991	0.885	99.477	4020c4-Kfs1
41	0.382	0.001	16.417	0.022	63.426	18.511	0.139	98.898	4020c4-Kfs2
42	8.408	0.000	0.104	0.000	61.264	24.218	5.710	99.704	4146c1-Pl2
43	8.783	0.006	0.088	0.032	61.895	24.346	5.414	100.564	4146c16Pl1
44	8.669	0.000	0.088	0.017	61.832	24.151	5.423	100.18	4146c16Pl2
45	8.619	0.000	0.090	0.107	61.691	24.313	5.547	100.367	4146c5-Pl1
46	8.627	0.010	0.048	0.020	61.703	24.278	5.536	100.222	4146c5-Pl2
47	8.567	0.001	0.533	0.028	62.878	23.266	4.589	99.862	4134c1-Pl1
48	8.712	0.015	0.207	0.097	62.271	23.212	4.317	98.831	4134c1-Pl2
49	8.663	0.002	0.483	0.013	63.038	22.988	4.404	99.591	4134c1-Pl3
50	8.705	0.008	0.383	0.186	63.256	23.226	4.622	100.386	4134c1-Pl5
51	8.729	0.000	0.329	0.223	63.243	23.366	4.639	100.529	4134c1-Pl6
52	8.819	0.001	0.421	0.000	63.544	23.149	4.390	100.324	4134c1-Pl7
53	8.629	0.000	0.430	0.019	63.308	23.201	4.437	100.024	4134c1-Pl8
54	8.676	0.011	0.303	0.091	62.505	23.251	4.580	99.417	4134c1-Pl9
55	8.861	0.000	0.266	0.057	63.565	23.303	4.390	100.442	4134c2-Pl1
56	8.768	0.000	0.300	0.036	63.372	23.091	4.444	100.011	4134c2-Pl2

57	9.040	0.040	0.192	0.078	63.514	23.057	4.098	100.019	4134c2-PI3
58	8.835	0.010	0.248	0.040	63.433	22.973	4.228	99.767	4134c2-PI4
59	8.676	0.001	0.314	0.090	63.536	22.964	4.345	99.926	4134c2-PI5
60	8.761	0.016	0.279	0.041	63.478	23.135	4.321	100.031	4134c2-PI6
61	8.689	0.000	0.397	0.018	63.316	23.252	4.328	100	4134c3-PI1
62	8.539	0.000	0.477	0.041	62.820	23.061	4.455	99.393	4134c3-PI2
63	8.340	0.356	0.400	0.287	62.789	23.214	4.292	99.678	4134c3-PI3
64	8.580	0.008	0.407	0.000	63.071	22.997	4.329	99.392	4134c3-PI4
65	8.658	0.000	0.333	0.012	62.807	22.959	4.349	99.118	4134c3-PI5
66	8.541	0.004	0.444	0.163	63.028	23.184	4.487	99.851	4134c3-PI6
67	8.641	0.186	0.527	1.027	62.095	23.150	3.683	99.309	4134c3-PI7
68	8.604	0.018	0.242	0.083	62.003	23.193	4.475	98.618	4134c6-PI1
69	8.822	0.000	0.215	0.042	62.448	23.228	4.577	99.332	4134c6-PI2
70	8.601	0.000	0.258	0.015	62.324	23.336	4.482	99.016	4134c6-PI3
71	8.847	0.014	0.160	0.015	63.126	23.029	4.367	99.558	4134c6-PI4
72	8.398	0.000	0.569	0.096	62.482	23.194	4.470	99.209	4134c6-PI5
73	8.239	0.013	0.234	0.080	60.532	22.682	4.357	96.137	4134c6-PI7
74	8.612	0.000	0.302	0.133	63.554	23.139	4.491	100.231	4134c6-PI8
75	8.699	0.007	0.312	0.192	63.277	23.136	4.485	100.108	4134c6-PI9
76	8.531	0.000	0.411	0.076	63.251	22.968	4.394	99.631	4134c6-PI10
77	8.826	0.000	0.212	0.105	63.456	23.172	4.574	100.345	4134c8-PI1
78	8.566	0.005	0.130	0.329	62.706	23.540	4.899	100.175	4134c8-PI2
79	8.844	0.000	0.118	0.147	62.580	23.057	4.341	99.087	4134c8-PI3
80	8.767	0.000	0.192	0.112	62.552	23.126	4.408	99.157	4134c8-PI4
81	6.791	0.049	4.696	0.094	63.318	21.582	2.946	99.476	4134c8-PI6
82	8.766	0.000	0.200	0.334	62.631	23.444	4.779	100.154	4134c8-PI7
83	8.708	0.000	0.257	0.131	62.669	23.426	4.508	99.699	4134c8-PI8
84	8.664	0.008	0.136	0.156	62.604	23.854	5.100	100.522	4134c8-PI9
85	8.704	0.007	0.274	0.041	62.945	23.061	4.480	99.512	4134c5-PI1
86	8.722	0.002	0.237	0.046	62.268	23.002	4.296	98.573	4134c5-PI2
87	8.641	0.003	0.309	0.062	62.199	23.200	4.485	98.899	4134c5-PI3
88	8.645	0.002	0.279	0.090	62.851	23.140	4.469	99.476	4134c5-PI4
89	8.754	0.000	0.273	0.143	62.851	23.215	4.312	99.548	4134c5-PI5
90	8.747	0.001	0.138	0.167	62.282	23.378	4.707	99.42	4134c5-PI6
91	0.552	0.000	15.956	0.096	63.002	18.526	0.000	98.132	4134c5-Kfs7
92	8.687	0.000	0.317	0.064	62.603	23.143	4.373	99.187	4134c5-PI8
93	8.760	0.000	0.306	0.112	62.499	23.388	4.606	99.671	4134c5-PI9
94	8.763	0.003	0.156	0.039	62.107	22.834	4.244	98.146	4134c7-PI1
95	8.731	0.008	0.161	0.118	62.322	23.121	4.355	98.816	4134c7-PI2
96	8.745	0.017	0.174	0.099	62.786	22.978	4.318	99.117	4134c7-PI3
97	8.758	0.008	0.183	0.094	62.394	23.199	4.605	99.241	4134c7-PI4
98	8.861	0.000	0.149	0.125	62.497	23.006	4.448	99.086	4134c7-PI5
99	8.712	0.000	0.087	0.132	62.550	23.102	4.419	99.002	4134c7-PI6
100	8.527	0.000	0.084	0.062	62.395	23.376	4.639	99.083	4134c7-PI7
101	8.718	0.012	0.158	0.214	62.179	23.364	4.423	99.068	4134c7-PI8
102	8.954	0.002	0.147	0.036	63.291	23.057	4.247	99.734	4134c7-PI9
103	8.760	0.000	0.280	0.064	62.493	23.137	4.332	99.066	4134c7-PI10
104	8.792	0.000	0.307	0.048	61.762	23.157	4.408	98.474	4134c7-PI11
105	8.740	0.008	0.319	0.019	61.963	23.216	4.375	98.64	4134c7-PI12
106	8.620	0.002	0.412	0.084	61.755	23.061	4.360	98.294	4134c7-PI13
107	7.505	0.000	0.548	0.074	59.329	25.046	6.345	98.847	4093A1c1-PI4
108	7.542	0.006	0.383	0.067	59.886	24.893	6.284	99.061	4093A1c1-PI6
109	7.395	0.009	0.550	0.029	60.220	24.711	6.132	99.046	4093A1c1-PI11
110	7.773	0.008	0.401	0.099	60.960	24.681	5.893	99.815	4093A1c1-PI12
111	7.449	0.000	0.558	0.073	60.237	24.760	6.286	99.363	4093A1c1-PI13
112	7.528	0.000	0.414	0.037	60.159	24.884	6.306	99.328	4093A1c1-PI14
113	7.280	0.000	0.170	0.100	59.904	25.055	6.764	99.273	4093A1c4-PI1
114	7.498	0.000	0.471	0.071	60.503	24.634	6.206	99.383	4093A1c4-PI2
115	7.720	0.171	0.350	0.533	60.747	24.497	5.638	99.656	4093A1c4-PI3
116	7.353	0.000	0.524	0.155	60.156	24.810	6.436	99.434	4093A1c4-PI4

117	7.670	0.003	0.341	0.034	60.607	24.855	6.257	99.767	4093A1c4-PI5
118	7.641	0.000	0.545	0.054	60.501	24.863	6.129	99.733	4093A1c4-PI6
119	7.517	0.000	0.418	0.063	60.574	24.764	6.194	99.53	4093A1c4-PI7
120	7.490	0.000	0.553	0.072	60.243	25.084	6.212	99.654	4093A1c4-PI8
121	7.490	0.000	0.313	0.142	58.895	24.877	6.406	98.123	4093A1c4-PI9
122	7.536	0.004	0.437	0.038	59.538	24.750	6.247	98.55	4093A1c4-PI10
123	8.580	0.000	0.191	0.000	61.253	23.391	4.806	98.221	4134A1c4-PI1
124	4.532	0.019	9.304	0.068	62.786	19.803	1.663	98.175	4134A1c4-PI2
125	8.927	0.005	0.126	0.009	61.656	22.862	4.240	97.825	4134A1c4-PI3
126	8.947	0.000	0.106	0.115	62.760	23.255	4.322	99.505	4134A1c4-PI4
127	8.627	0.006	0.105	0.180	62.019	23.682	4.903	99.522	4134A1c4-PI5
128	8.447	0.016	0.176	0.120	62.335	23.838	5.028	99.96	4134A1c4-PI6
129	8.969	0.006	0.132	0.089	62.690	23.055	4.279	99.22	4134A1c4-PI7
130	0.646	0.007	16.883	0.014	63.857	18.518	0.000	99.925	4134A1c4-Kfs8
131	8.821	0.000	0.175	0.037	63.186	22.948	4.305	99.472	4134A1c4-PI9
132	8.799	0.003	0.291	0.084	62.972	23.071	4.381	99.601	4134A1c4-PI10
133	8.689	0.000	0.244	0.107	62.226	23.337	4.437	99.04	4134A1c4-PI12
134	8.766	0.007	0.266	0.111	62.577	23.272	4.529	99.528	4134A1c4-PI13
135	8.797	0.003	0.188	0.122	62.589	23.277	4.521	99.497	4134A1c4-PI14
136	8.467	0.006	0.262	0.252	62.001	23.463	4.794	99.245	4134A1c4-PI15
137	8.688	0.000	0.269	0.088	62.931	23.126	4.196	99.298	4134A1c4-PI16
138	8.727	0.000	0.270	0.223	63.071	23.144	4.482	99.917	4134A1c4-PI17
139	8.925	0.131	0.144	0.327	62.592	23.014	4.173	99.306	4134A1c4-PI18
140	8.695	0.002	0.298	0.089	63.693	23.348	4.499	100.624	4134A1opx-PI20
141	8.699	0.000	0.176	0.061	63.380	23.588	4.786	100.69	4134A1opx-PI21
142	8.844	0.003	0.218	0.186	63.152	23.362	4.567	100.332	4134A1opx-PI22
143	8.509	0.011	0.143	0.160	62.979	23.962	5.100	100.864	4134A1opx-PI24
144	8.767	0.003	0.304	0.119	63.598	23.765	4.699	101.255	4134A1opx-PI25
145	8.326	0.000	0.369	0.026	62.954	24.018	5.330	101.023	4124Ac1-PI1
146	8.429	0.009	0.318	0.014	62.127	23.842	5.130	99.869	4124Ac1-PI2
147	8.429	0.005	0.276	0.046	62.749	24.179	5.294	100.978	4124Ac1-PI3
148	8.343	0.000	0.240	0.035	62.615	24.180	5.395	100.808	4124Ac1-PI4
149	8.456	0.004	0.214	0.032	62.431	23.979	5.264	100.38	4124Ac1-PI5
150	8.108	0.002	0.418	0.170	62.308	24.315	5.730	101.051	4124Ac1-PI6
151	8.197	0.003	0.148	0.158	61.649	24.138	5.484	99.777	4124Ac1-PI8
152	8.441	0.000	0.174	0.124	62.610	24.224	5.360	100.933	4124Ac1-PI9
153	7.896	0.000	1.018	0.127	62.226	23.854	5.358	100.479	4124Ac1-PI10
154	8.469	0.000	0.325	0.040	62.586	24.117	5.203	100.74	4124Ac1-PI11
155	8.328	0.006	0.317	0.082	61.319	23.985	5.354	99.391	4124Ac1-PI12
156	8.227	0.028	0.321	0.136	61.642	23.994	5.333	99.681	4124Ac1-PI13
157	8.166	0.009	0.523	0.140	61.934	24.150	5.321	100.243	4124Ac1-PI14
158	7.982	0.000	0.378	0.544	60.235	23.642	5.174	97.955	4124Ac1-PI15
159	8.356	0.003	0.241	0.036	61.645	24.074	5.388	99.743	4124Ac1-PI16
160	8.277	0.000	0.286	0.059	61.680	24.165	5.501	99.968	4124Ac1-PI17
161	8.290	0.000	0.342	0.118	62.222	24.275	5.490	100.737	4124Ac1-PI18
162	8.430	0.001	0.240	0.045	62.505	24.240	5.321	100.782	4124Ac1-PI19
163	8.344	0.000	0.216	0.059	62.172	24.425	5.542	100.758	4124Ac1-PI20
164	8.169	0.014	0.389	0.075	62.914	24.288	5.379	101.228	4124Ac5-PI1
165	8.436	0.000	0.363	0.059	62.950	24.241	5.286	101.335	4124Ac5-PI2
166	8.223	0.000	0.303	0.015	62.810	24.441	5.586	101.378	4124Ac5-PI3
167	8.328	0.013	0.196	0.060	63.090	24.413	5.468	101.568	4124Ac5-PI4
168	8.486	0.000	0.298	0.008	63.218	24.043	5.146	101.199	4124Ac5-PI5
169	8.329	0.008	0.266	0.220	62.613	24.373	5.610	101.419	4124Ac5-PI6
170	8.163	0.013	0.251	0.078	62.257	24.392	5.646	100.8	4124Ac5-PI7
171	8.273	0.004	0.316	0.071	62.690	24.478	5.479	101.311	4124Ac5-PI8
172	8.394	0.004	0.217	0.037	62.528	24.434	5.687	101.301	4124Ac5-PI9
173	8.557	0.001	0.235	0.049	63.051	24.137	5.200	101.23	4124Ac5-PI10
174	8.352	0.000	0.386	0.069	62.828	24.324	5.413	101.372	4124Ac5-PI11
175	8.398	0.002	0.380	0.043	61.943	24.181	5.348	100.295	4124Ac5-PI12
176	8.330	0.000	0.341	0.033	62.387	24.162	5.261	100.514	4124Ac5-PI13



177	8.316	0.000	0.350	0.024	62.200	24.135	5.496	100.521	4124Ac5-PI14
178	8.329	0.000	0.190	0.030	61.853	24.369	5.542	100.313	4124Ac5-PI15
179	8.483	0.000	0.306	0.034	62.812	24.237	5.439	101.311	4124Ac5-PI16
180	6.765	0.003	0.679	0.105	59.949	25.700	7.419	100.62	4100A-PI1
181	6.314	0.002	0.555	0.071	58.652	26.553	8.323	100.47	4100A-PI2
182	6.816	0.000	0.398	0.091	59.852	25.682	7.482	100.321	4100A-PI3
183	6.722	0.000	0.337	0.068	59.586	25.785	7.571	100.069	4100A-PI4
184	6.845	0.000	0.488	0.021	60.112	25.791	7.478	100.735	4100A-PI5
185	6.730	0.017	0.194	0.267	58.337	26.096	8.066	99.707	4100A-PI6
186	6.833	0.002	0.453	0.013	59.911	25.852	7.521	100.585	4100A-PI7
187	6.435	0.038	0.406	0.080	59.155	25.964	7.657	99.735	4100A-PI8
188	6.811	0.007	0.401	0.039	59.854	25.963	7.625	100.7	4100A-PI9
189	6.717	0.008	0.436	0.038	60.207	25.780	7.490	100.676	4100A-PI10
190	6.815	0.000	0.537	0.039	59.716	25.722	7.414	100.243	4100Ac5-PI1
191	6.737	0.005	0.496	0.005	58.877	25.813	7.561	99.494	4100Ac5-PI2
192	6.816	0.000	0.531	0.050	59.737	25.703	7.314	100.151	4100Ac5-PI3
193	6.783	0.004	0.736	0.039	59.793	25.639	7.429	100.423	4100Ac5-PI4
194	6.937	0.010	0.564	0.065	60.184	25.460	7.406	100.626	4100Ac5-PI5
195	5.395	0.014	3.793	0.077	58.740	25.173	7.210	100.402	4100Ac2-PI1
196	6.888	0.002	0.430	0.089	58.648	25.800	7.402	99.259	4100Ac2-PI2
197	6.710	0.004	0.459	0.028	59.473	25.922	7.590	100.186	4100Ac2-PI3
198	6.804	0.004	0.415	0.009	59.777	25.889	7.398	100.296	4100Ac2-PI4
199	6.727	0.000	0.411	0.207	59.383	25.941	7.545	100.214	4100Ac2-PI5
200	6.938	0.000	0.442	0.195	60.045	25.869	7.567	101.056	4100Ac2-PI6
201	6.793	0.009	0.472	0.046	59.854	25.906	7.548	100.628	4100Ac2-PI7
202	6.859	0.003	0.398	0.027	59.736	25.547	7.539	100.109	4100Ac2-PI8
203	6.934	0.003	0.354	0.096	59.898	25.882	7.624	100.791	4100Ac2-PI9
204	6.678	0.000	0.498	0.066	59.808	25.706	7.431	100.187	4100Ac2-PI10
205	6.793	0.013	0.427	0.048	59.492	25.741	7.528	100.042	4100Ac2-PI11
206	6.924	0.010	0.549	0.034	60.015	25.419	7.239	100.19	4100Ac2-PI12
207	6.629	0.004	0.450	0.013	59.660	25.598	7.372	99.726	4100Ac2-PI13
208	6.760	0.003	0.518	0.048	59.668	25.626	7.313	99.936	4100Ac2-PI14
209	7.914	0.000	0.469	0.085	62.219	24.257	5.525	100.469	4083A1c1-PI1
210	7.796	0.007	0.543	0.183	62.378	24.215	5.510	100.632	4083A1c1-PI2
211	8.178	0.001	0.333	0.013	62.412	24.185	5.364	100.486	4083A1c1-PI3
212	8.159	0.000	0.310	0.017	61.820	24.337	5.399	100.042	4083A1c1-PI4
213	8.080	0.000	0.289	0.033	62.026	24.366	5.424	100.218	4083A1c1-PI5
214	7.925	0.001	0.291	0.065	61.699	24.264	5.458	99.703	4083A1c1-PI6
215	8.107	0.009	0.189	0.085	61.020	24.273	5.565	99.248	4083A1c1-PI7
216	8.074	0.001	0.232	0.027	61.138	24.228	5.371	99.071	4083A1c1-PI8
217	8.089	0.012	0.096	0.033	61.765	24.355	5.583	99.933	4083A1c1-PI9
218	7.780	0.076	1.107	0.153	61.589	24.427	4.440	99.572	4083A1c1-PI10
219	8.072	0.000	0.224	0.204	61.938	24.150	5.388	99.976	4083A1c1-PI11
220	8.138	0.000	0.211	0.080	61.572	24.271	5.566	99.838	4083A1c1-PI12
221	7.743	0.109	0.433	0.176	61.830	24.379	5.841	100.511	4087Ac1-PI1
222	7.626	0.003	0.343	0.082	61.349	24.776	6.196	100.375	4087Ac1-PI2
223	7.678	0.005	0.411	0.051	61.045	24.727	6.199	100.116	4087Ac1-PI3
224	7.545	0.000	0.389	0.037	61.560	24.688	6.131	100.35	4087Ac1-PI4
225	7.550	0.009	0.405	0.085	61.658	24.724	6.197	100.628	4087Ac1-PI5
226	7.530	0.000	0.425	0.028	61.107	24.650	6.270	100.01	4087Ac1-PI6
227	7.502	0.005	0.418	0.043	60.908	24.528	6.156	99.56	4087Ac1-PI7
228	7.552	0.000	0.348	0.045	61.327	24.694	6.068	100.034	4087Ac1-PI8
229	7.679	0.000	0.388	0.000	61.571	24.682	6.016	100.336	4087Ac1-PI9
230	7.473	0.000	0.300	0.093	61.082	25.040	6.377	100.365	4087Ac2-PI1
231	7.468	0.005	0.292	0.098	60.697	24.960	6.503	100.023	4087Ac2-PI2
232	7.638	0.007	0.330	0.064	61.302	24.856	6.323	100.52	4087Ac2-PI3
233	7.549	0.000	0.468	0.205	60.591	24.855	6.252	99.92	4087Ac2-PI4
234	7.677	0.000	0.298	0.127	60.730	24.879	6.382	100.093	4087Ac2-PI5
235	7.719	0.004	0.336	0.048	60.839	25.000	6.277	100.223	4087Ac2-PI6
236	7.619	0.005	0.207	0.063	60.735	25.004	6.463	100.096	4087Ac2-PI7

237	7.670	0.000	0.272	0.099	60.970	25.049	6.374	100.434	4087Ac2-P18
238	7.733	0.000	0.155	0.065	61.005	25.038	6.487	100.483	4087Ac2-P19
239	7.517	0.000	0.216	0.050	60.778	24.665	6.320	99.546	4087Ac2-P110
240	7.744	0.004	0.328	0.054	61.016	24.961	6.449	100.556	4087Ac2-P111
241	7.722	0.017	0.236	0.059	61.431	24.801	6.193	100.459	4087Ac4-P11
242	7.588	0.006	0.264	0.062	60.605	24.730	6.303	99.558	4087Ac4-P12
243	7.614	0.002	0.281	0.013	61.349	24.802	6.084	100.145	4087Ac4-P13
244	7.720	0.002	0.315	0.035	61.488	24.536	6.064	100.16	4087Ac4-P14
245	7.505	0.009	0.282	0.113	61.018	25.074	6.259	100.26	4087Ac4-P15
246	7.704	0.000	0.273	0.062	60.880	24.760	6.255	99.934	4087Ac4-P16
247	7.524	0.000	0.305	0.111	60.587	24.924	6.319	99.77	4087Ac4-P17
248	7.767	0.000	0.255	0.111	61.149	24.858	6.262	100.402	4087Ac4-P18
249	7.646	0.000	0.254	0.145	61.151	25.002	6.293	100.491	4087Ac4-P19
250	7.656	0.000	0.301	0.075	61.187	24.682	6.170	100.071	4087Ac4-P110
251	7.778	0.004	0.221	0.040	61.005	24.711	6.016	99.775	4087Ac4-P111
252	7.671	0.000	0.146	0.071	60.627	24.913	6.328	99.756	4087Ac4-P112
253	7.286	0.235	0.263	1.230	59.404	24.649	6.257	99.324	4087Ac4-P113
254	7.466	0.000	0.259	0.046	60.591	24.542	6.046	98.95	4091Ac1-P11
255	7.618	0.007	0.417	0.053	61.283	24.956	6.247	100.581	4091Ac1-P12
256	7.789	0.000	0.260	0.006	61.477	24.523	5.907	99.962	4091Ac1-P13
257	7.573	0.003	0.491	0.053	61.086	24.649	6.146	100.001	4091Ac1-P14
258	7.523	0.000	0.631	0.103	60.629	24.741	6.138	99.765	4091Ac1-P15
259	7.513	0.000	0.685	0.088	61.191	24.799	6.132	100.408	4091Ac1-P16
260	7.695	0.005	0.411	0.069	61.154	24.651	6.060	100.045	4091Ac1-P17
261	7.639	0.003	0.432	0.062	61.660	24.592	6.194	100.582	4091Ac1-P18
262	7.391	0.005	0.446	0.049	60.777	24.514	6.100	99.282	4091Ac1-P19
263	7.656	0.000	0.238	0.036	61.234	25.181	6.468	100.813	4091Ac1-P110
264	7.447	0.000	0.428	0.057	60.638	24.602	6.088	99.26	4091Ac1-P111
265	7.291	0.000	0.470	0.064	60.402	24.395	6.135	98.757	4091Ac1-P112
266	7.577	0.000	0.489	0.057	60.476	24.497	6.140	99.236	4091Ac1-P113
267	7.584	0.003	0.491	0.107	61.266	24.654	6.097	100.202	4091Ac1-P114
268	7.763	0.000	0.493	0.031	61.369	24.650	6.141	100.447	4091Ac5-P11
269	7.712	0.005	0.447	0.000	61.396	24.774	6.137	100.471	4091Ac5-P12
270	7.677	0.000	0.424	0.021	61.594	24.781	6.036	100.533	4091Ac5-P13
271	7.665	0.002	0.148	0.101	60.207	25.111	6.430	99.664	4091Ac5-P14
272	7.583	0.003	0.350	0.145	60.670	24.517	5.923	99.191	4091Ac5-P15
273	7.712	0.000	0.361	0.000	61.333	25.029	6.407	100.842	4091Ac5-P16
274	7.552	0.007	0.286	0.031	60.622	24.994	6.556	100.048	4091Ac5-P17
275	7.667	0.000	0.398	0.382	61.296	24.324	6.088	100.155	4091Ac5-P18
276	7.771	0.010	0.393	0.086	61.491	24.897	6.117	100.765	4091Ac5-P19
277	7.528	0.012	0.563	0.094	61.239	24.640	6.267	100.343	4091Ac5-P110
278	7.576	0.013	0.601	0.089	60.872	24.707	6.219	100.077	4091Ac5-P111
279	7.695	0.012	0.483	0.092	61.408	24.870	6.151	100.711	4091Ac5-P112
280	7.595	0.000	0.508	0.088	61.688	24.901	6.137	100.917	4091Ac5-P113
281	7.644	0.002	0.365	0.051	61.462	24.675	6.203	100.402	4091Ac5-P114
282	7.384	0.000	0.497	0.039	61.130	24.815	6.278	100.143	4091Ac5-P115
283	8.069	0.000	0.280	0.082	60.715	24.196	5.666	99.008	4164Ac3-P11
284	8.024	0.000	0.305	0.073	61.029	24.271	5.594	99.296	4164Ac3-P12
285	8.132	0.000	0.331	0.073	60.804	24.279	5.729	99.348	4164Ac3-P13
286	8.143	0.000	0.260	0.093	61.308	24.266	5.763	99.833	4164Ac3-P14
287	8.035	0.001	0.254	0.207	60.548	24.223	5.767	99.035	4164Ac3-P15
288	7.967	0.000	0.357	0.195	60.668	24.142	5.746	99.075	4164Ac3-P16
289	8.041	0.015	0.227	0.160	60.483	24.340	5.685	98.951	4164Ac3-P17
290	8.159	0.013	0.268	0.075	60.948	24.115	5.706	99.284	4164Ac3-P18
291	8.226	0.001	0.291	0.046	60.384	24.009	5.512	98.469	4164Ac3-P19
292	8.209	0.005	0.219	0.096	61.259	24.172	5.630	99.59	4164Ac3-P110
293	7.460	0.353	1.814	0.798	59.703	24.943	3.656	98.727	4164Ac3-P111
294	8.226	0.002	0.195	0.140	60.688	24.269	5.687	99.207	4164Ac3-P112
295	8.111	0.000	0.260	0.031	61.817	24.316	5.727	100.262	4164Ac3d-P11
296	8.036	0.006	0.271	0.036	61.174	24.175	5.659	99.357	4164Ac3d-P12

297	8.098	0.005	0.303	0.147	61.670	24.282	5.774	100.279	4164Ac3d-P13
298	8.169	0.000	0.232	0.033	60.674	24.071	5.512	98.691	4164Ac3d-P14
299	8.158	0.001	0.301	0.040	61.854	24.118	5.492	99.964	4164Ac3d-P15
300	8.064	0.000	0.210	0.106	61.588	24.286	5.762	100.016	4164Ac3d-P16
301	7.987	0.000	0.289	0.024	61.437	24.337	5.968	100.042	4164Ac3d-P17
302	7.865	0.000	0.295	0.136	61.737	24.210	5.801	100.044	4164Ac3d-P18
303	8.111	0.014	0.270	0.071	61.564	24.155	5.754	99.939	4164Ac3d-P19
304	8.085	0.003	0.246	0.052	61.715	24.088	5.722	99.911	4164Ac3n-P11
305	7.936	0.392	0.317	1.186	60.774	23.689	5.406	99.7	4164Ac3n-P12
306	8.033	0.005	0.320	0.044	61.400	24.226	5.795	99.823	4164Ac3n-P13
307	8.023	0.002	0.263	0.042	61.270	24.249	5.808	99.657	4164Ac3n-P14
308	7.996	0.002	0.244	0.065	61.534	24.196	5.755	99.792	4164Ac3n-P15
309	8.091	0.000	0.296	0.127	61.650	24.417	5.733	100.314	4164Ac3n-P16
310	7.981	0.000	0.394	0.016	61.578	24.159	5.610	99.738	4164Ac3n-P17
311	8.005	0.000	0.264	0.052	61.525	24.204	5.769	99.819	4164Ac3n-P18
312	8.091	0.000	0.319	0.049	61.686	24.180	5.713	100.038	4164Ac3n-P19
313	8.058	0.000	0.323	0.114	61.777	24.341	5.747	100.36	4164Ac3n-P110
314	8.025	0.009	0.239	0.086	61.690	24.048	5.679	99.776	4164Ac3n-P111
315	8.117	0.000	0.307	0.077	61.437	24.073	5.597	99.608	4164Ac5-P11
316	8.082	0.000	0.417	0.062	61.828	24.017	5.692	100.098	4164Ac5-P12
317	7.900	0.000	0.384	0.083	61.653	24.110	5.724	99.854	4164Ac5-P13
318	7.818	0.000	0.495	0.037	61.869	24.086	5.741	100.046	4164Ac5-P14
319	7.872	0.000	0.470	0.018	61.544	24.246	5.753	99.903	4164Ac5-P15
320	8.047	0.000	0.382	0.038	61.900	24.232	5.789	100.388	4164Ac5-P16
321	7.886	0.005	0.443	0.066	61.632	24.165	5.858	100.055	4164Ac5-P17
322	8.069	0.000	0.362	0.143	61.579	24.461	5.912	100.526	4164Ac5-P18
323	7.854	0.000	0.461	0.051	61.473	24.215	5.829	99.883	4164Ac5-P19
324	7.999	0.000	0.327	0.040	62.102	24.337	5.722	100.527	4164Ac5-P110
325	5.897	0.005	0.231	0.063	57.111	27.319	9.612	100.238	4163Ac1-P11
326	5.824	0.007	0.314	0.082	57.125	27.072	9.436	99.86	4163Ac1-P12
327	5.857	0.018	0.362	0.106	57.031	27.169	9.430	99.973	4163Ac1-P13
328	5.871	0.000	0.289	0.149	56.867	27.146	9.512	99.834	4163Ac1-P14
329	5.774	0.000	0.348	0.096	56.937	27.305	9.566	100.026	4163Ac1-P15
330	5.783	0.006	0.410	0.086	57.121	27.325	9.500	100.231	4163Ac1-P16
331	5.863	0.000	0.280	0.063	56.915	27.112	9.536	99.769	4163Ac1-P17
332	5.754	0.005	0.312	0.112	56.997	27.242	9.514	99.936	4163Ac1-P18
333	5.849	0.000	0.322	0.074	56.931	27.243	9.488	99.907	4163Ac1a-P11
334	5.814	0.016	0.325	0.079	57.038	27.140	9.395	99.807	4163Ac1a-P12
335	0.012	0.004	0.008	0.369	100.122	0.005	0.000	100.52	4163Ac1a-P13
336	5.817	0.022	0.291	0.124	57.175	27.164	9.363	99.956	4163Ac1a-P14
337	5.956	0.011	0.260	0.144	56.923	27.203	9.495	99.992	4163Ac1a-P15
338	5.868	0.010	0.275	0.138	56.955	27.224	9.455	99.925	4163Ac1a-P16
339	5.918	0.008	0.274	0.157	57.193	27.306	9.624	100.48	4163Ac1a-P17
340	5.852	0.140	0.247	0.296	56.701	26.985	9.143	99.364	4163Ac1a-P18
341	5.805	0.010	0.352	0.093	56.780	27.280	9.513	99.833	4163Ac3-P11
342	5.890	0.004	0.275	0.092	56.911	27.317	9.551	100.04	4163Ac3-P12
343	5.830	0.025	0.346	0.156	56.748	27.013	9.370	99.488	4163Ac3-P13
344	5.718	0.089	0.287	0.598	56.378	26.899	9.346	99.315	4163Ac3-P14
345	5.910	0.000	0.266	0.070	56.775	27.004	9.393	99.418	4163Ac3-P15
346	5.755	0.002	0.276	0.072	56.693	27.131	9.375	99.304	4163Ac3-P16
347	5.894	0.005	0.276	0.158	56.483	27.061	9.499	99.376	4163Ac3-P17
348	5.931	0.012	0.314	0.125	56.998	27.008	9.461	99.849	4163Ac3-P18
349	5.885	0.003	0.259	0.105	56.574	27.158	9.698	99.682	4163Ac3-P19
350	8.166	0.003	0.179	0.037	61.772	24.035	5.568	99.76	4186A2c3-P11
351	8.313	0.000	0.169	0.000	61.669	24.292	5.804	100.247	4186A2c3-P12
352	8.149	0.003	0.214	0.044	61.728	24.154	5.675	99.967	4186A2c3-P13
353	8.004	0.000	0.143	0.049	60.375	23.763	5.595	97.929	4186A2c3-P14
354	8.027	0.002	0.189	0.022	60.944	23.714	5.612	98.51	4186A2c3-P15
355	8.221	0.000	0.101	0.035	61.130	24.328	5.758	99.573	4186A2c3-P16
356	7.747	0.000	0.551	0.050	61.768	24.194	5.778	100.088	4189A2c1-P11

357	7.734	0.000	0.523	0.123	61.627	24.199	5.990	100.196	4189A2c1-P12
358	7.881	0.000	0.584	0.096	61.448	23.973	5.654	99.636	4189A2c1-P13
359	7.794	0.006	0.486	0.088	61.669	23.991	5.923	99.957	4189A2c1-P14
360	7.895	0.005	0.406	0.120	61.835	24.107	5.834	100.202	4189A2c1-P15
361	7.965	0.009	0.398	0.071	62.044	23.833	5.700	100.02	4189A2c1-P16
362	7.926	0.001	0.453	0.031	62.015	23.944	5.612	99.982	4189A2c1-P17
363	8.013	0.000	0.412	0.093	61.708	24.038	5.698	99.962	4189A2c1-P18
364	7.953	0.000	0.443	0.042	62.012	23.925	5.731	100.106	4189A2c1-P19
365	7.825	0.000	0.529	0.003	62.036	23.947	5.631	99.971	4189A2c1-P110
366	7.871	0.000	0.504	0.063	61.847	24.073	5.776	100.134	4189A2c1-P111
367	7.951	0.000	0.464	0.031	61.597	23.997	5.758	99.798	4189A2c1-P112
368	7.630	0.000	0.517	0.083	60.485	23.682	5.785	98.182	4189A2c2e-P11
369	8.072	0.005	0.456	0.060	61.803	23.952	5.615	99.963	4189A2c2e-P12
370	8.062	0.006	0.492	0.045	61.833	23.930	5.521	99.889	4189A2c2e-P13
371	7.816	0.000	0.459	0.048	61.744	23.961	5.640	99.668	4189A2c2e-P14
372	7.830	0.001	0.505	0.163	61.458	24.096	5.887	99.94	4189A2c2e-P15
373	7.772	0.000	0.476	0.079	61.464	23.955	5.908	99.654	4189A2c2e-P16
374	7.820	0.000	0.632	0.036	61.578	23.811	5.632	99.509	4189A2c2e-P17
375	7.799	0.000	0.703	0.050	61.701	23.820	5.768	99.841	4189A2c2e-P18
376	7.672	0.000	0.650	0.140	61.686	24.090	5.828	100.066	4189A2c2e-P19
377	7.882	0.000	0.419	0.072	60.946	24.234	5.807	99.36	4189A2c5-P11
378	7.917	0.003	0.438	0.059	61.713	24.012	5.756	99.898	4189A2c5-P12
379	7.813	0.001	0.287	0.079	61.129	24.081	6.042	99.432	4189A2c5-P13
380	7.903	0.000	0.355	0.107	61.791	23.883	5.689	99.728	4189A2c5-P14
381	8.029	0.000	0.455	0.067	62.029	24.001	5.637	100.218	4189A2c5-P15
382	7.877	0.013	0.423	0.087	60.969	24.023	5.958	99.35	4189A2c5-P16
383	7.989	0.000	0.435	0.064	61.038	23.650	5.584	98.76	4189A2c5-P17
384	7.771	0.000	0.442	0.118	61.448	24.181	5.944	99.904	4189A2c5-P18
385	7.848	0.000	0.422	0.054	61.225	24.317	5.964	99.83	4189A2c5-P19
386	6.944	0.000	0.159	0.095	58.605	26.200	8.040	100.043	4155A2c2-P11
387	6.999	0.011	0.174	0.293	58.665	26.182	7.781	100.105	4155A2c2-P12
388	6.967	0.003	0.158	0.095	58.464	25.952	7.888	99.527	4155A2c2-P13
389	6.856	0.000	0.171	0.115	58.419	25.877	7.748	99.186	4155A2c2-P14
390	6.974	0.000	0.230	0.097	58.582	26.046	7.791	99.72	4155A2c2-P15
391	6.976	0.000	0.209	0.076	58.823	25.948	7.678	99.71	4155A2c2-P16
392	6.907	0.000	0.222	0.135	58.237	25.795	7.718	99.014	4155A2c2-P17
393	6.968	0.005	0.175	0.219	58.887	26.290	7.935	100.479	4155A2c2-P18
394	7.053	0.000	0.205	0.036	58.991	26.017	7.819	100.121	4155A2c2-P19
395	7.016	0.000	0.168	0.091	59.366	26.201	7.870	100.712	4155A2c2-P110
396	7.009	0.004	0.170	0.110	59.044	26.175	7.921	100.433	4155A2c2-P111
397	5.472	0.217	5.920	0.624	57.245	27.823	0.992	98.293	4155A2c2-P112
398	9.505	0.030	0.923	0.137	64.803	22.251	2.045	99.694	4155A2c2-P113
399	5.950	0.208	5.298	0.756	58.078	26.829	1.206	98.325	4155A2c2-P114
400	5.373	0.225	5.895	0.688	56.568	27.635	0.939	97.323	4155A2c2-P115
401	6.391	0.133	4.561	0.305	58.518	26.640	1.739	98.287	4155A2c2-P116
402	6.975	0.007	0.190	0.038	58.622	26.005	7.696	99.533	4155A2c2-P117
403	6.895	0.000	0.162	0.071	58.427	25.945	8.008	99.508	4155A2c2-P118
404	6.954	0.000	0.208	0.162	58.774	26.172	7.911	100.181	4155A2c2a-P11
405	7.002	0.006	0.164	0.110	58.874	26.042	7.855	100.053	4155A2c2a-P12
406	7.036	0.008	0.146	0.173	58.686	26.012	8.002	100.063	4155A2c2a-P13
407	6.899	0.000	0.195	0.167	59.004	26.192	7.858	100.315	4155A2c2a-P14
408	7.015	0.000	0.189	0.128	59.269	26.198	7.976	100.775	4155A2c2a-P15
409	6.871	0.032	1.082	0.194	59.238	26.081	6.180	99.678	4155A2c2a-P16
410	6.964	0.006	0.180	0.101	58.922	26.004	7.950	100.127	4155A2c2a-P17
411	6.801	0.007	0.202	0.098	58.552	26.141	8.035	99.836	4155A2c2a-P18
412	7.015	0.000	0.189	0.303	58.843	26.018	7.976	100.344	4155A2c2a-P19
413	6.976	0.000	0.198	0.614	58.618	26.179	7.966	100.551	4155A2c2a-P110
414	6.952	0.000	0.171	0.116	58.896	26.217	7.940	100.292	4155A2c2a-P111
415	7.097	0.000	0.194	0.118	59.148	26.177	7.756	100.49	4155A2c2a-P112
416	6.882	0.003	0.203	0.103	58.323	26.014	8.099	99.627	4155A2c2a-P113

417	7.031	0.000	0.263	0.079	58.866	25.798	7.825	99.862	4155A2c3-PI1
418	7.096	0.002	0.322	0.032	58.814	25.816	7.756	99.838	4155A2c3-PI2
419	7.043	0.000	0.280	0.042	59.002	25.964	7.737	100.068	4155A2c3-PI3
420	7.108	0.011	0.254	0.106	58.733	25.859	7.778	99.849	4155A2c3-PI4
421	7.203	0.004	0.262	0.032	58.971	25.887	7.585	99.944	4155A2c3-PI5
422	6.974	0.002	0.195	0.094	58.669	25.939	7.940	99.813	4155A2c3-PI6
423	6.923	0.000	0.167	0.066	58.831	26.142	7.931	100.06	4155A2c3-PI7
424	7.008	0.002	0.221	0.086	58.724	25.972	7.947	99.96	4155A2c3-PI8
425	7.185	0.001	0.173	0.073	59.185	25.907	7.774	100.298	4155A2c3-PI9
426	6.975	0.001	0.199	0.141	58.778	26.072	7.922	100.088	4155A2c3-PI10
427	7.045	0.000	0.211	0.002	58.896	26.000	7.944	100.098	4155A2c3-PI11
428	7.099	0.002	0.171	0.090	59.206	26.087	7.743	100.398	4155A2c3-PI12
429	7.014	0.000	0.284	0.111	58.833	25.895	7.719	99.856	4155A2c3-PI13
430	6.900	0.006	0.437	0.155	59.144	26.058	7.698	100.398	4155A2c3-PI14
431	8.446	0.003	0.374	0.086	62.800	23.562	5.158	100.429	4155A1c3-PI1
432	8.363	0.008	0.471	0.032	62.733	23.599	5.096	100.302	4155A1c3-PI2
433	8.359	0.013	0.431	0.011	62.632	23.454	5.234	100.134	4155A1c3-PI3
434	8.280	0.000	0.335	0.095	61.874	23.367	5.031	98.982	4155A1c3-PI4
435	8.276	0.000	0.502	0.024	62.539	23.729	5.299	100.369	4155A1c3-PI5
436	8.287	0.014	0.462	0.067	62.724	23.706	5.291	100.551	4155A1c3-PI6
437	8.273	0.006	0.427	0.062	62.447	23.696	5.170	100.081	4155A1c3-PI7
438	8.326	0.000	0.519	0.045	62.616	23.493	5.137	100.136	4155A1c3-PI8
439	8.335	0.000	0.491	0.025	62.646	23.671	5.118	100.286	4155A1c3-PI9
440	8.453	0.000	0.377	0.020	63.117	23.510	5.019	100.496	4155A1c3-PI10
441	8.315	0.002	0.397	0.041	62.356	23.570	5.245	99.926	4155A1c3-PI11
442	8.353	0.000	0.445	0.068	62.418	23.673	5.164	100.121	4155A1c3-PI12
443	8.346	0.000	0.478	0.091	62.586	23.553	5.200	100.254	4155A1c3-PI13
444	8.180	0.000	0.443	0.063	62.392	23.632	5.308	100.018	4155A1c3-PI14
445	8.336	0.012	0.412	0.099	62.541	23.606	5.162	100.168	4155A1c3-PI15
446	8.434	0.016	0.351	0.157	62.563	23.852	5.390	100.763	4155A1c3-PI16
447	8.284	0.006	0.430	0.067	62.545	23.348	5.284	99.964	4155A1c3-PI17
448	8.418	0.005	0.414	0.021	62.451	23.518	5.134	99.961	4155A1c3-PI18
449	8.305	0.002	0.417	0.052	62.290	23.361	5.126	99.553	4155A1c3-PI19
450	8.288	0.000	0.360	0.053	62.326	23.560	5.169	99.756	4155A1c3-PI20
451	8.263	0.000	0.461	0.081	62.091	23.629	5.273	99.798	4155A1c3-PI21
452	7.905	0.007	0.095	0.017	60.760	24.629	6.331	99.744	4193A12c2-PI1
453	7.923	0.000	0.082	0.026	60.598	24.570	6.491	99.69	4193A12c2-PI2
454	7.872	0.000	0.066	0.026	60.669	24.811	6.468	99.912	4193A12c2-PI3
455	7.954	0.001	0.086	0.058	60.963	24.812	6.532	100.406	4193A12c2-PI4
456	7.878	0.000	0.125	0.021	60.329	24.498	6.411	99.262	4193A12c2-PI5
457	7.934	0.013	0.146	0.042	60.908	24.572	6.496	100.111	4193A12c2-PI6
458	7.902	0.002	0.083	0.028	60.660	24.781	6.409	99.865	4193A12c2-PI7
459	7.859	0.000	0.090	0.059	60.685	24.812	6.529	100.034	4193A12c2-PI8
460	7.793	0.004	0.104	0.079	60.458	24.875	6.689	100.002	4193A12c2-PI9
461	7.944	0.000	0.089	0.034	61.000	24.705	6.410	100.182	4193A12c2-PI10
462	7.661	0.007	0.094	0.094	60.259	24.793	6.785	99.693	4193A12c2-PI11
463	7.825	0.000	0.065	0.045	60.811	24.975	6.749	100.47	4193A12c2-PI12
464	7.803	0.003	0.056	0.022	60.570	24.879	6.592	99.925	4193A12c2-PI13
465	7.732	0.000	0.079	0.035	60.379	24.839	6.614	99.678	4193A12c2-PI14
466	7.839	0.002	0.091	0.033	60.648	25.064	6.633	100.31	4193A12c2-PI15
467	7.863	0.002	0.351	0.075	61.198	24.379	6.031	99.899	4174A1c1-PI1
468	8.160	0.002	0.336	0.057	61.747	24.146	5.826	100.274	4174A1c1-PI2
469	8.084	0.006	0.264	0.065	61.807	23.997	5.743	99.966	4174A1c1-PI3
470	8.095	0.002	0.333	0.077	61.848	24.005	5.614	99.974	4174A1c1-PI4
471	8.138	0.000	0.358	0.039	61.817	23.926	5.712	99.99	4174A1c1-PI5
472	8.140	0.009	0.371	0.002	61.888	24.060	5.734	100.204	4174A1c1-PI6
473	8.132	0.004	0.328	0.035	61.970	24.019	5.751	100.239	4174A1c1-PI7
474	8.421	0.017	1.476	0.069	61.494	22.987	4.509	98.973	4174A1c2-PI1
475	8.115	0.009	0.255	0.067	61.645	24.147	5.876	100.114	4174A1c2-PI2
476	8.093	0.000	0.364	0.049	61.988	24.139	5.840	100.473	4174A1c2-PI3

477	7.984	0.016	0.325	0.092	61.813	24.200	5.875	100.305	4174A1c2-PI4
478	7.980	0.002	0.442	0.060	61.624	24.103	5.869	100.08	4174A1c2-PI5
479	7.999	0.000	0.677	0.050	61.748	23.937	5.526	99.937	4174A1c2-PI6
480	8.018	0.000	0.454	0.043	61.362	24.183	5.724	99.784	4174A1c2-PI7
481	7.885	0.000	0.522	0.040	61.633	23.961	5.823	99.864	4174A1c2-PI8
482	8.072	0.000	0.462	0.067	61.913	23.896	5.719	100.129	4174A1c2-PI9
483	8.105	0.000	0.375	0.011	62.110	23.970	5.583	100.154	4174A1c2-PI10
484	8.143	0.000	0.318	0.065	61.651	24.152	5.740	100.069	4174A1c2-PI11
485	8.129	0.005	0.331	0.056	61.588	23.977	5.739	99.825	4174A1c2-PI12
486	8.055	0.000	0.286	0.056	61.515	24.284	5.906	100.102	4174A1c2-PI13
487	8.003	0.000	0.479	0.056	61.861	24.002	5.736	100.137	4174A1c2-PI14
488	7.981	0.000	0.464	0.043	61.944	23.870	5.697	99.999	4174A1c5-PI1
489	8.080	0.010	0.408	0.086	61.987	24.071	5.622	100.264	4174A1c5-PI2
490	8.069	0.000	0.309	0.053	61.813	24.119	5.826	100.189	4174A1c5-PI3
491	7.944	0.000	0.525	0.028	61.652	23.905	5.805	99.859	4174A1c5-PI4
492	7.753	0.000	0.354	0.030	60.394	24.521	6.024	99.076	4147A2c4PI1
493	7.694	0.000	0.453	0.037	60.744	24.552	5.895	99.375	4147A2c4PI2
494	7.622	0.007	0.446	0.055	60.339	24.619	5.925	99.013	4147A2c4PI3
495	7.686	0.002	0.386	0.010	60.409	24.506	5.994	98.993	4147A2c4PI4
496	7.683	0.000	0.417	0.017	60.796	24.373	6.055	99.341	4147A2c4PI5
497	7.648	0.000	0.516	0.000	60.647	24.461	5.944	99.216	4147A2c4PI6
498	8.766	0.004	0.197	0.075	62.667	23.382	4.332	99.423	4123Ac2PI1
499	8.706	0.000	0.250	0.000	63.243	23.296	4.483	99.978	4123Ac2PI2
500	8.684	0.000	0.176	0.061	62.905	23.339	4.425	99.59	4123Ac2PI3
501	8.656	0.000	0.269	0.016	62.808	23.169	4.330	99.248	4123Ac2PI4
502	8.714	0.005	0.273	0.018	62.674	23.324	4.291	99.299	4123Ac2PI5
503	8.604	0.007	0.160	0.245	61.639	23.261	4.492	98.408	4123Ac2aPI1
504	8.685	0.000	0.261	0.009	62.585	23.366	4.389	99.295	4123Ac2aPI2
505	8.571	0.000	0.226	0.019	62.744	23.391	4.407	99.358	4123Ac2aPI3
506	8.567	0.000	0.257	0.036	62.612	23.395	4.550	99.417	4123Ac2aPI4
507	8.622	0.013	0.195	0.022	62.283	23.482	4.457	99.074	4123Ac3PI1
508	8.760	0.000	0.124	0.090	62.304	23.311	4.398	98.987	4123Ac3PI2
509	8.704	0.000	0.179	0.020	62.405	23.523	4.475	99.306	4123Ac3PI3
510	8.655	0.000	0.213	0.009	62.390	23.355	4.592	99.214	4123Ac3PI4
511	8.641	0.000	0.152	0.035	62.146	23.368	4.461	98.803	4123Ac3PI5
512	8.740	0.000	0.220	0.041	62.204	23.495	4.506	99.206	4123Ac3PI6
513	8.803	0.000	0.272	0.027	61.935	23.328	4.483	98.848	4123Ac3PI7
514	8.691	0.000	0.257	0.044	62.270	23.345	4.476	99.083	4123Ac3PI8
515	6.945	0.002	0.329	0.122	58.971	26.155	7.749	100.286	12a2-PI1
516	6.997	0.003	0.330	0.089	59.093	25.959	7.623	100.094	12a2-PI2
517	7.133	0.011	0.354	0.095	59.447	25.963	7.568	100.576	12a2-PI3
518	7.009	0.000	0.360	0.082	59.161	25.990	7.557	100.177	12a2-PI4
519	7.055	0.003	0.385	0.173	59.353	25.923	7.780	100.713	12a2-PI5
520	6.885	0.004	0.414	0.105	58.983	26.004	7.794	100.204	12a2-PI6
521	7.060	0.000	0.370	0.059	59.712	25.744	7.403	100.348	12a2-PI7
522	6.891	0.000	0.480	0.110	59.556	25.821	7.570	100.429	12a2-PI8
523	6.848	0.000	0.154	0.071	58.714	26.265	7.960	100.049	12a2c3-PI1
524	6.940	0.025	0.248	0.221	58.931	26.329	8.055	100.749	12a2c3-PI2
525	6.914	0.001	0.207	0.116	59.145	26.092	7.906	100.389	12a2c3-PI3
526	6.630	0.005	0.233	0.063	58.784	26.513	8.387	100.619	12a2c3-PI4
527	6.988	0.007	0.315	0.080	59.542	26.043	7.894	100.883	12a2c3-PI5
528	7.887	0.008	0.241	0.000	60.869	25.077	6.460	100.542	4184ac2-PI1
529	7.852	0.001	0.292	0.006	61.126	24.689	6.322	100.291	4184ac2-PI2
530	7.970	0.000	0.352	0.000	61.250	24.616	5.982	100.177	4184ac2-PI3
531	7.886	0.000	0.403	0.000	60.892	24.865	6.221	100.267	4184ac2-PI4
532	7.819	0.000	0.245	0.022	61.131	24.696	6.117	100.06	4184ac2-PI5
1	8.331	0.000	0.296	0.109	62.526	23.872	5.249	100.402	1046c1-PI1
2	8.270	0.010	0.386	0.056	62.548	23.579	5.234	100.088	1046c1-PI2
3	0.994	0.011	16.696	0.023	64.762	18.567	0.073	101.149	1046c2-Kfs3

4	8.342	0.009	0.277	0.016	62.389	23.687	5.300	100.037	1046c2-Pl4
5	8.313	0.002	0.330	0.042	62.369	23.700	5.373	100.155	1046c2-Pl5
6	7.297	0.000	0.426	0.023	60.246	24.795	6.786	99.607	1046c2-Pl6
7	7.182	0.010	0.568	0.098	59.795	24.997	7.017	99.68	1046c2-Pl7
8	7.173	0.000	0.502	0.058	59.861	24.892	6.929	99.436	1046c2-Pl8
9	7.169	0.000	0.494	0.096	59.687	24.913	6.947	99.313	1046c2-Pl9
10	7.182	0.001	0.518	0.074	60.117	24.804	6.922	99.638	1046c2-Pl10
11	0.749	0.000	16.702	0.020	63.599	18.617	0.172	99.892	1029AOPX-Kfs6
12	1.402	0.000	15.403	0.024	63.520	18.476	0.122	98.996	1029AOPX-Kfs7
13	7.471	0.000	0.332	0.145	59.813	25.124	6.838	99.723	1029AOPX-Pl8
14	7.257	0.005	0.236	0.085	59.600	25.206	7.080	99.495	1029AOPX-Pl9
15	7.572	0.000	0.282	0.000	59.900	24.774	6.695	99.232	1029AOPX-Pl10
16	7.887	0.000	0.453	0.149	61.034	24.178	5.926	99.664	1044c2-Pl1
17	7.727	0.003	0.624	0.087	61.451	24.087	5.775	99.776	1044c2-Pl2
18	7.725	0.003	0.519	0.086	61.742	24.136	5.970	100.181	1044c2-Pl3
19	7.713	0.000	0.484	0.059	61.395	24.128	5.929	99.708	1044c2-Pl4
20	7.612	0.000	1.036	0.115	61.629	24.322	5.863	100.607	1044c2-Pl5
21	7.922	0.001	0.510	0.006	61.944	24.030	5.670	100.083	1044c2-Pl6
22	7.761	0.000	0.594	0.033	61.503	24.022	5.796	99.716	1044c1-Pl7
23	0.472	0.009	17.173	0.071	63.832	18.640	0.023	100.227	1044c1-Kfs8
24	8.016	0.000	0.530	0.096	60.962	24.240	5.705	99.556	1044c1-Pl9
25	7.723	0.000	0.354	0.081	61.183	23.879	5.781	99.049	1044c1-Pl10
26	7.747	0.004	0.366	0.054	61.181	24.116	6.032	99.5	1044c1-Pl11
27	0.510	0.008	17.006	0.055	63.612	18.581	0.061	99.88	1044c1-Kfs12
28	7.873	0.009	0.493	0.005	61.188	23.935	5.921	99.438	25Ac1-Pl1
29	7.820	0.000	0.256	0.149	61.485	24.164	5.921	99.797	25Ac1-Pl2
30	7.103	0.001	1.575	0.040	61.713	24.364	5.279	100.079	25Ac1-Pl3
31	8.003	0.000	0.370	0.009	61.291	24.156	5.776	99.605	25Ac1-Pl4
32	7.843	0.000	0.540	0.030	61.496	23.936	5.750	99.625	25Ac1-Pl5
33	7.978	0.000	0.472	0.072	61.333	24.019	5.854	99.728	25Ac1-Pl6
34	7.861	0.000	0.666	0.034	61.154	24.077	5.929	99.722	25Ac1-Pl7
35	8.135	0.000	0.458	0.013	61.580	24.223	5.751	100.178	25Ac1-Pl8
36	7.862	0.000	0.486	0.097	61.250	24.290	5.890	99.892	25Ac1-Pl9
37	7.903	0.000	0.309	0.055	61.345	24.289	5.693	99.597	2117Ac1-Pl1
38	7.787	0.006	0.399	0.036	61.693	24.099	5.552	99.572	2117Ac1-Pl2
39	1.051	0.000	16.024	0.000	63.900	18.916	0.436	100.384	2117Ac1-Kfs3
40	7.975	0.000	0.286	0.050	61.881	24.201	5.575	99.996	2117Ac1-Pl4
41	7.913	0.000	0.593	0.118	61.482	24.317	5.498	99.921	2117Ac1-Pl5
42	7.838	0.000	0.380	0.059	61.044	24.547	6.042	99.949	2117Ac1-Pl6
43	7.996	0.000	0.574	0.021	61.614	24.237	5.580	100.026	2117Ac1-Pl7
44	7.966	0.000	0.385	0.112	62.002	24.345	5.586	100.396	2117Ac2-Pl8
45	8.058	0.013	0.603	0.041	61.953	23.891	5.505	100.064	2117Ac2-Pl9
46	7.777	0.006	0.515	0.103	61.416	24.229	5.660	99.706	2117Ac2-Pl10
47	7.874	0.000	0.417	0.206	61.011	24.151	5.715	99.386	2117Ac2-Pl11
48	7.643	0.003	0.499	0.201	60.988	24.988	6.281	100.604	2117Ac2-Pl12
49	7.704	0.015	0.543	0.094	61.068	24.375	5.542	99.379	2117Ac2-Pl13
50	0.895	0.004	16.508	0.000	63.973	18.653	0.146	100.215	2117Ac2-Kfs14
51	0.361	0.450	16.712	1.088	63.127	18.657	0.064	100.479	2117Ac2-Kfs15
52	7.586	0.000	0.367	0.016	61.282	24.494	5.948	99.697	4154Ac2-Pl1
53	7.682	0.000	0.414	0.099	61.243	24.440	5.954	99.832	4154Ac2-Pl2
54	7.590	0.000	0.387	0.162	61.029	24.668	6.334	100.17	4154Ac2-Pl3
55	7.745	0.000	0.422	0.056	61.448	24.289	5.922	99.885	4154Ac2-Pl4
56	7.738	0.003	0.441	0.074	61.195	24.295	5.971	99.718	4154Ac2-Pl5
57	7.828	0.000	0.382	0.030	61.622	24.203	5.823	99.916	4154Ac2-Pl6
58	7.750	0.005	0.325	0.158	61.640	24.427	5.977	100.288	4154Ac2-Pl7
59	7.715	0.001	0.350	0.037	61.319	24.475	5.892	99.807	4154Ac3-Pl8
60	7.759	0.003	0.371	0.170	61.493	24.341	5.929	100.135	4154Ac3-Pl9
61	7.800	0.004	0.319	0.179	61.728	24.683	5.832	100.564	4154Ac3-Pl10
62	7.777	0.000	0.499	0.055	61.365	24.678	6.059	100.454	4154Ac3-Pl11
63	7.812	0.008	0.416	0.055	61.420	24.411	6.013	100.14	4154Ac3-Pl12

64	7.823	0.000	0.305	0.069	61.487	24.512	5.874	100.075	4154Ac3-PI13
65	7.783	0.001	0.412	0.079	61.169	24.195	5.827	99.47	4154Ac3-PI14
66	7.888	0.009	0.465	0.060	61.340	24.193	5.868	99.828	4154Ac4-PI15
67	8.023	0.000	0.324	0.084	61.438	24.463	6.091	100.441	4154Ac4-PI16
68	1.278	0.000	15.954	0.002	63.736	18.860	0.076	99.95	4154Ac4-PI17
69	7.808	0.014	0.471	0.072	61.605	24.473	5.869	100.338	4154Ac4-PI18
70	7.808	0.000	0.453	0.074	61.234	24.393	5.932	99.9	4154Ac4-PI19
71	7.724	0.007	0.570	0.057	61.339	24.517	5.942	100.169	4154Ac4-PI20
72	6.800	0.000	1.843	0.061	60.562	24.597	6.146	100.019	4154Ac4-PI21
73	7.903	0.000	0.366	0.064	61.336	24.417	5.882	99.97	4154Ac4-PI22
74	7.822	0.001	0.483	0.058	61.047	24.369	5.783	99.563	4154Ac4-PI23
75	7.941	0.003	0.369	0.032	61.319	24.250	5.861	99.777	4154Ac4-PI24
76	7.806	0.000	0.477	0.033	61.247	24.318	5.916	99.798	4154Ac4-PI25
77	7.411	0.000	0.424	0.106	60.893	24.904	6.378	100.119	3036Ac1-PI1
78	7.466	0.000	0.473	0.160	60.513	24.927	6.446	99.988	3036Ac1-PI2
79	7.543	0.000	0.429	0.098	60.787	25.102	6.551	100.534	3036Ac1-PI3
80	7.373	0.000	0.553	0.096	60.376	24.924	6.618	99.955	3036Ac1-PI4
81	7.239	0.000	0.374	0.035	60.438	24.859	4.766	97.716	3036Ac1-PI5
82	7.415	0.002	0.565	0.062	60.614	24.889	6.351	99.923	3036Ac1-PI6
83	7.582	0.000	0.432	0.089	60.858	24.888	6.355	100.217	3036Ac2-PI7
84	7.567	0.000	0.427	0.063	60.887	24.773	6.485	100.22	3036Ac2-PI8
85	7.403	0.005	0.450	0.025	60.692	24.734	6.360	99.696	3036Ac2-PI9
86	7.402	0.000	0.527	0.099	60.844	24.374	6.383	99.64	3036Ac2-PI10
87	7.408	0.000	0.464	0.056	60.852	24.923	6.528	100.251	3036Ac2-PI11
88	7.731	0.012	0.224	0.068	61.314	24.747	6.146	100.248	2121Ac2-PI1
89	7.769	0.001	0.247	0.024	61.417	24.578	6.023	100.084	2121Ac2-PI2
90	7.861	0.000	0.327	0.032	60.869	24.700	5.959	99.773	2121Ac2-PI3
91	7.493	0.000	0.347	0.297	60.643	25.143	6.522	100.464	2121Ac2-PI4
92	7.819	0.003	0.286	0.035	61.264	24.741	6.102	100.269	2121Ac2-PI5
93	7.773	0.000	0.286	0.062	60.968	24.612	6.128	99.831	2121Ac2-PI6
94	7.768	0.000	0.235	0.041	61.095	24.876	6.315	100.34	2121Ac2-PI7
95	7.612	0.000	0.203	0.104	61.111	24.819	6.322	100.2	2121Ac2-PI8
96	7.765	0.000	0.298	0.277	61.106	25.132	6.379	100.971	2121Ac2-PI9
97	7.711	0.000	0.318	0.039	61.003	24.792	6.090	99.992	2121Ac2-PI10
98	7.907	0.000	0.231	0.031	61.224	24.836	6.021	100.265	2121Ac2-PI11
99	1.616	0.000	15.418	0.050	64.391	18.973	0.231	100.756	2121Ac2-Kfs13
100	7.919	0.000	0.313	0.024	61.112	24.770	6.094	100.232	2121Ac2-PI14
101	7.779	0.000	0.299	0.000	61.227	25.006	6.077	100.392	2121Ac2-PI15
102	7.777	0.000	0.213	0.001	61.420	24.805	6.255	100.479	2121Ac2-PI16
103	7.654	0.005	0.406	0.088	60.957	24.959	6.244	100.315	2121Ac3-PI17
104	7.733	0.001	0.508	0.007	61.002	24.746	6.085	100.113	2121Ac3-PI18
105	7.869	0.013	0.265	0.097	61.006	24.572	6.053	99.92	2121Ac3-PI19
106	7.658	0.007	0.492	0.044	60.983	24.794	6.276	100.283	2121Ac3-PI20
107	7.528	0.000	0.454	0.085	61.313	24.540	6.151	100.071	2121Ac3-PI21
108	7.658	0.001	0.493	0.189	60.906	24.737	6.189	100.19	2121Ac3-PI22
109	7.787	0.007	0.431	0.011	61.067	24.637	6.106	100.071	2121Ac3-PI23
110	7.495	0.001	0.580	0.284	60.493	25.020	6.358	100.249	2121Ac4-PI24
111	7.547	0.000	0.534	0.043	60.812	24.587	6.182	99.726	2121Ac4-PI25
112	7.350	0.003	0.698	0.112	60.675	24.760	6.276	99.877	2121Ac4-PI26
113	7.705	0.000	0.400	0.053	61.002	24.905	6.208	100.273	2121Ac4-PI27
114	7.468	0.000	0.642	0.165	60.638	24.652	6.161	99.73	2121Ac4-PI28
115	7.472	0.009	0.566	0.048	60.821	24.817	6.264	100.019	2121Ac4-PI29
116	7.601	0.000	0.607	0.109	61.125	24.793	6.334	100.571	2121Ac4-PI30
1	6.906	0.123	0.153	0.195	58.382	26.276	6.939	98.977	3251ngPlc2-1
2	7.349	0.002	0.133	0.204	59.240	25.902	7.369	100.218	3251ngPlc2-2
3	7.447	0.000	0.063	0.165	59.480	25.739	7.513	100.417	3251ngPlc2-3
4	7.445	0.014	0.100	0.111	59.380	26.024	7.687	100.769	3251ngPlc2-4
5	7.027	0.810	0.399	0.573	58.081	26.150	7.081	100.156	3251ngPlc2-5
6	7.813	0.000	0.069	0.173	60.348	25.506	6.825	100.734	3251ngPlc2-6



7	7.363	0.000	0.148	0.161	59.543	26.062	7.550	100.841	3251ngPlc2-7
8	7.172	0.000	0.142	0.156	59.091	25.809	7.704	100.106	3251ngPlc2-8
9	7.300	0.000	0.077	0.126	59.817	25.693	7.404	100.435	3251ngPlc2-9
10	7.404	0.000	0.074	0.138	59.762	25.840	7.489	100.715	3251ngPlc2-10
11	7.429	0.000	0.073	0.053	59.577	26.089	7.679	100.918	3251ngPlc2-11
12	7.322	0.000	0.090	0.010	59.166	26.167	7.691	100.465	3251ngPlc2-12
13	7.446	0.053	0.076	0.275	59.535	25.674	7.250	100.313	3251ngPlc2-13
14	7.234	0.000	0.153	0.248	59.422	25.974	7.622	100.671	3251ngPlc2-14
15	7.304	0.000	0.156	0.177	59.113	25.941	7.574	100.279	3251ngPlc2-15
16	0.886	0.009	15.862	0.158	63.936	18.765	0.097	99.741	3251ngc2a-Kfs1
17	1.925	0.017	14.293	0.155	64.245	18.941	0.252	99.858	3251ngc2a-Kfs2
18	2.676	0.002	13.305	0.093	64.488	18.918	0.107	99.629	3251ngc2a-Kfs3
19	2.889	0.000	12.858	0.159	64.991	18.977	0.128	100.042	3251ngc2a-Kfs4
20	2.776	0.003	13.430	0.115	64.821	19.025	0.253	100.461	3251ngc2a-Kfs5
21	3.610	0.000	11.831	0.090	65.279	19.135	0.294	100.254	3251ngc2a-Kfs6
22	2.095	0.004	14.082	0.089	64.414	19.021	0.139	99.866	3251ngc2a-Kfs7
23	1.723	0.006	14.829	0.103	64.423	19.001	0.104	100.23	3251ngc2a-Kfs8
24	3.104	0.009	12.862	0.109	64.628	19.069	0.115	99.931	3251ngc2a-Kfs9
25	2.787	0.024	12.901	0.093	64.321	18.950	0.266	99.389	3251ngc2a-Kfs10
26	2.183	0.184	13.614	0.271	63.746	19.141	0.394	99.546	3251ngc2a-Kfs11
27	2.485	0.000	13.621	0.124	64.352	18.849	0.203	99.674	3251ngc2a-Kfs12
28	1.861	0.000	14.710	0.094	64.685	18.927	0.272	100.625	3251ngc3a-Kfs1
29	3.678	0.010	11.718	0.243	65.227	19.140	0.187	100.221	3251ngc3a-Kfs2
30	2.494	0.008	13.604	0.106	64.603	18.867	0.127	99.851	3251ngc3a-Kfs3
31	2.050	0.001	13.988	0.119	64.580	19.021	0.358	100.138	3251ngc3a-Kfs4
32	1.363	0.004	15.452	0.043	64.297	18.856	0.339	100.354	3251ngc3a-Kfs5
33	1.592	0.010	15.155	0.058	64.416	18.827	0.251	100.355	3251ngc3a-Kfs6
34	3.137	0.000	12.664	0.193	64.949	19.186	0.166	100.32	3251ngc3a-Kfs7
35	2.325	0.582	13.918	0.411	63.881	19.105	0.121	100.357	3251ngc3a-Kfs8
36	1.456	0.015	15.225	0.389	64.486	18.972	0.114	100.678	3251ngc3a-Kfs9
37	1.111	0.000	15.757	0.232	64.856	18.732	0.158	100.864	3251ngc3a-Kfs10
38	1.544	0.000	15.198	0.207	63.943	18.918	0.110	99.993	3251ngc3a-Kfs11
39	0.973	0.000	15.965	0.290	64.660	18.787	0.045	100.73	3251ngc3a-Kfs12
40	2.480	0.000	13.877	0.112	65.244	18.896	0.088	100.719	3251ngc3a-Kfs13
41	0.982	0.007	16.059	0.236	64.560	18.843	0.072	100.777	3251ngc3a-Kfs14
42	2.368	0.000	13.910	0.147	64.954	18.973	0.167	100.55	3251ngc3a-Kfs15
43	2.389	0.001	13.946	0.175	65.029	18.918	0.178	100.683	3251ngc3a-Kfs15a
44	1.767	0.010	14.838	0.091	64.383	18.795	0.196	100.14	3251ngc3a-Kfs16
45	1.947	0.000	14.754	0.162	64.685	18.874	0.153	100.631	3251ngc3a-Kfs17
46	1.602	0.000	15.072	0.041	64.909	18.848	0.188	100.696	3251ngc3a-Kfs18
47	2.043	0.002	14.368	0.172	64.909	18.999	0.257	100.758	3251ngc3a-Kfs19
48	6.136	0.001	0.148	0.026	56.674	27.673	9.627	100.297	3251ngc1-PI1
49	7.092	0.000	0.159	0.028	58.838	26.509	8.046	100.685	3251ngc1-PI2
50	6.823	0.000	0.195	0.025	58.410	26.711	8.362	100.528	3251ngc1-PI3
51	6.773	0.000	0.118	0.024	58.114	26.601	8.247	99.892	3251ngc1-PI4
52	6.139	0.000	0.143	0.002	56.875	27.580	9.430	100.169	3251ngc1-PI5
53	7.003	0.200	0.098	0.112	58.538	26.026	7.853	99.844	3251ngc1-PI6
54	5.787	0.000	0.213	0.003	56.498	27.721	9.815	100.037	3251ngc1-PI7
55	1.623	0.039	15.198	0.124	64.263	18.622	0.067	99.942	3251ngc1-Kfs1
56	1.651	0.010	14.922	0.078	64.308	18.728	0.202	99.954	3251ngc1-Kfs2
57	1.545	0.000	15.067	0.080	63.954	18.713	0.220	99.633	3251ngc1-Kfs3
58	1.864	0.000	14.773	0.134	64.850	18.722	0.050	100.393	3251ngc1-Kfs4
59	2.146	0.002	14.206	0.065	64.546	18.696	0.145	99.841	3251ngc1-Kfs5
60	1.709	0.017	14.752	0.141	64.304	18.775	0.115	99.814	3251ngc1-Kfs6
61	2.139	0.003	14.056	0.062	64.393	18.847	0.285	99.785	3251ngc1-Kfs7
62	1.997	0.000	14.302	0.045	64.549	18.667	0.094	99.686	3251ngc1-Kfs8
63	7.032	0.000	0.171	0.030	58.979	26.084	7.789	100.103	3251ngc1-PI9
64	7.311	0.018	0.098	0.034	59.312	25.941	7.543	100.257	3251ngc1-PI9
65	7.155	0.000	0.199	0.016	59.166	25.894	7.659	100.089	3251ngc1-PI10
66	7.319	0.007	0.170	0.183	58.964	26.019	7.458	100.124	3251ngc1-PI11

<b>67</b>	7.254	0.000	0.092	0.172	59.063	25.810	7.566	99.957	<b>3251ngc1-Pl12</b>
<b>68</b>	7.303	0.000	0.179	0.155	59.181	25.931	7.510	100.259	<b>3251ngc1-Pl13</b>
<b>69</b>	7.379	0.004	0.130	0.217	59.512	25.810	7.466	100.524	<b>3251ngc1-Pl14</b>
<b>70</b>	7.249	0.000	0.183	0.219	59.249	25.831	7.546	100.296	<b>3251ngc1-Pl15</b>
<b>71</b>	7.200	0.000	0.128	0.139	59.125	25.842	7.434	99.887	<b>3251ngc1-Pl16</b>
<b>72</b>	7.324	0.000	0.161	0.177	59.152	25.760	7.528	100.116	<b>3251ngc1-Pl17</b>

## RÉFÉRENCES

**Aranovitch, L. Y. and Berman, R. G.** 1996. Optimized standart and mixing properties of minerals. II. Comparisons, predictions, and applications. *Contributions to Mineralogy and Petrology*. 126, 25-37.

**Aranovitch, L. Y. and Berman, R. G.** 1997. A new garnet-orthopyroxene thermometer based on reversed  $\text{Al}_2\text{O}_3$  solubility in  $\text{FeO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$  orthopyroxene. *American Mineralogist*. 82, 345-353.

**Arima, M. and Barnett, R. L.** 1984. Sapphirine bearing granulites from the Sipiwesk Lake area of the late Archean Pikwitonei Granulite terrain, Manitoba, Canada. *Contributions to Mineralogy and Petrology*. 88, 102-112.

**Ashwall, L. D., Morgan, P., and Hoisch, T. D.** 1992. Tectonics and heat sources for granulite metamorphism of supracrustal-bearing terranes. *Precambrian Research*. 55, 525-538.

**Ayres, L. D. and Thurston, P. C.** 1985. Archean supracrustal sequences in the Canadian Shield - an overview. *In*. LD Ayres, PC Thurston, KD Card, W Weber (Eds), Geological Association of Canada, Special Paper. 28, 343-370.

**Ballèvre, M., Hensen, B. J., and Reynard, B.** 1997. Orthopyroxene-andalousite symplectites replacing cordierite in granulites from the Strangways range (Arunta block, central Australia). A new twist to the pressure-temperature history. *Geology*. 25, 215-218.

**Beausoleil, C.** 1997. Étude métamorphique de la région du lac Yasinski, Baie James. Mémoire de fin de baccalauréat, Université du Québec à Montréal, Montréal, Canada.

**Bédard, J.H.** 2002. Mineral-chemical and thermobarometric constraints on the tectono-metamorphic evolution of Archean felsic plutons and supracrustal rocks of the Minto Block, northern Superior Province; *Journal of Geology*. (*in press*).

**Bédard, J.H., Madore, L., Brouillette, P. and Berclaz, A.** 2002. Archean tonalites, trondhjemites, enderbites, and greenstones of the Douglas Harbour domain, Minto Block, Superior Province. *Precambrian Research*. (*submitted*).

**Bégin, N. J, and Pattison, D. R. M.** 1994. Metamorphic evolution of granulites in the Minto Block, northern Québec. extraction of peak P-T conditions taking account of late Fe-Mg exchange. *Journal of metamorphic Geology*. 12, 411-428.

**Benn, K., Sawyer, E. W., and Bouchez, J. L.** 1992. Orogen parallel and transverse shearing in the Opatika belt. Quebec. implications for the structure of the Abitibi Subprovince. *Canadian Journal of Earth Sciences*. 29, 2429-2444.

**Berclaz, A., Cadieux, A.-M., Sharma, K. N. M., Parent, M. et Leclair, A.** 2001. Géologie de la région du Lac Aigneau (SNRC 24E and 24F04). Ministère des Ressources Naturelles du Québec, Rapport Géologique. RG 2001-01, 49p.

**Berman, R.G.** 1988. Internally-consistent thermodynamic data for stoichiometric minerals in the system  $\text{Na}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{MgO}-\text{FeO}-\text{Fe}_2\text{O}_3-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{TiO}_2-\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$ . *Journal of Petrology*. 29, 445-522.

**Berman, R.G.** 1990. Mixing properties of Ca-Mg-Fe-Mn garnets. *The American Mineralogist*. 75, 328-344.

**Berman, R. G.** 1991. Thermobarometry using multi-equilibrium calculations. a new technique with petrologic applications. *The Canadian Mineralogist*. 29, 833-855.

**Berman, R. G., and Aranovich, L. Y.** 1996. Optimized standard state and mixing properties of minerals. I. Model calibration for olivine, orthopyroxene, cordierite, garnet, and ilmenite in the system FeO-MgO-CaO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-TiO<sub>2</sub>-SiO<sub>2</sub>. Contributions to Mineralogy and Petrology. 126, 1-24.

**Berman, R. G. and Bostock, H. H.** 1997. Metamorphism in the northern Taltson magmatic zone, Northwest Territories. The Canadian Mineralogist. 35, 1069-1091.

**Berman, R. G., Aranovich, L. Y. and Pattison D. R. M.** 1995. Reanalysis of the garnet-clinopyroxene Fe-Mg exchange thermometer. II. Thermodynamic analysis. Contributions to Mineralogy and Petrology. 119, 30-42.

**Bertrand, P., Ellis, D. J. and Green, D. H.** 1991. The stability of sapphirine-quartz and hypersthene-sillimanite-quartz assemblages. an experimental investigation in the system FeO-MgO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub> under H<sub>2</sub>O and CO<sub>2</sub> conditions. Contributions to Mineralogy and Petrology. 108, 55-71.

**Bohlen, S. R.** 1987. Pressure-temperature-time paths and a tectonic model for the evolution of granulites. Journal of Geology. 25, 617-632.

Bohlen, S. R., 1991. On the formation of granulites. Journal of metamorphic Geology. 9, 223-229.

**Boily, M.** 1999. Géochimie et tectonique des volcanites du segment de Frotet-Troilus et de la bande de la rivière Eastmain. Ministère des Ressources Naturelles, Québec, MB 99-11.

Boily, M. 2000. Géochimie des volcanites des ceintures volcano-sédimentaires de Frotet-Evans (CVFE) et de la Moyenne-Eastmain. Ministères des Ressources Naturelles, Québec, MB 2000-12.

**Breaks, F. W., Bond, W. D., and Stone, D.** 1979. Preliminary geological synthesis of the English River subprovince, northwestern Ontario, and its bearing upon mineral exploration. Ontario Geological Survey, Miscellaneous Paper. 72, 55 p.

**Brown, M.** 1983. The petrogenesis of some migmatites from the Presqu'île de Rhyus, southern Brittany, France. In. Atherton, M. P. and Gribble, C. D. (eds), *Migmatites, Melting and Metamorphism*. Nantwich, Cheshire. Shiva, 174-200.

**Cadéron, S., Goulet, N. and Lamothe, D.** 1998. Tectono-metamorphic study of the Ashuanipi complex, Northern Quebec. Geological Association of Canada-Mineralogical Association of Canada, Program with Abstracts. 23, p. A26.

**Cadéron, S., Goulet, N. and Lamothe, D.** 1999. The La Grande, Opinaca and Ashuanipi Subprovinces, eastern Superior Province. Common Tectonic Features and Metamorphic Evolution, north-central Quebec. Geological Association of Canada-Mineralogical Association of Canada, Program with Abstracts. 24, p.18.

**Cadéron, S., Goulet, N. and Lamothe, D.** 2000. Tectonometamorphic interpretation of the Opinaca Subprovince, southeast part of the Superior Province, Quebec. Geological Association of Canada-Mineralogical Association of Canada, Program with Abstracts. CD conference. #76.

**Cadéron, S., Goulet, N., Lamothe, D., and Trzcienski, W. E. Jr.** 2002a. The Opinaca Subprovince. A « polygranulitic » and polyphased intracontinental Archean basin in the southeastern part of the Superior Province, Quebec. *Precambrian Research*. (*submitted*).

**Cadéron, S., Goulet, N., Trzcienski, W. E., and Lamothe, D.** 2002b. The Ashuanipi Subprovince. A stage of the cyclic tectonothermal evolution of the Opinaca subprovince; A 65 Ma of granulite metamorphism in the southeastern part of the Superior Province, Quebec, Canada. (*In progress*).

**Calvert, A. J., Sawyer, E. W., Davis, W. J. and Ludden, J. N.** 1995. Archean subduction inferred from seismic images of a mantle suture in the Superior Province. *Nature*. 375, 670-674.

**Cameroun, W. E.** 1976. Coexisting sillimanite and mullite. *Geological Magazine*. 113, 497-513.

**Card, K. D.** 1990. A review of the Superior Province of the Canadian Shield, a product of Archean accretion. *Precambrian Research*. 48, 99-156.

**Card, K. D. and Ciesielski, A.** 1986. Subdivisions of the Superior Province of the Canadian Shield. *Geoscience Canada*. 13, 5-13.

**Card, K. D. and King, J. E.** 1992. The tectonic evolution of the Superior and Slave provinces of the Canadian Shield. introduction. *Canadian Journal of Earth Sciences*. 29, 2059-2065.

**Chartrand, F., Gauthier, M.** 1995. Cadre géologique et potentiel minéral des roches archéennes du bassin de La Grande Rivière, Baie-James. Ministère des Ressources Naturelles, PRO 95-06.

**Chevé, S. R. and Brouillette, P.** 1992. Reconnaissance géologique et métallogénique au NW de Schefferville: région des lacs Weeks (1/2E) et Paillerault (1/2W) (Territoire du Nouveau-Québec). Ministère des Ressources naturelles, Québec; MB 92-12, 215 p.

**Chevé, S. R. and Brouillette, P.** 1995. Géologie et métallogénie de la partie nord-est de la sous-province d'Ashuanipi (Nouveau-Québec). Ministère des Ressources Naturelles du Québec, MM 95-01.

**Ciesielski, A.** 1978. Les migmatites de la rivière Broadback à la hauteur des lacs Evans et Giffard, Baie James, Québec. Thèse de 3ième cycle. Université Pierre et Marie Curie, Paris.

**Clemens, J. D.** 1990. The granulite-granite connexion. In. Vielzeuf, D. and Vidal, P. (eds), *Granulites and Crustal Evolution*. Dordrecht. Kluwer, 25-36.

**Collins, W. J., Kranendonk, M. J. and Teyssier, C.** 1998. Partial convective overturn of Archean crust in the east Pilbara Craton, Western Australia. driving mechanisms and tectonic implications. *Journal of Structural Geology*. 20, 1405-1424.

**Conrad, W. K., Nicholls, I. A. and Wall, V. J.** 1988. Water-saturated and -undersaturated melting and metaluminous and peraluminous crustal compositions at 10 kb. evidence for the origin of silicic magmas in the Taupo volcanic zone, New Zealand, and other occurrences. *Journal of Petrology*. 29, 765-803.

**Cunningham, W. D., Windley, B. F., Owen, L. A., Barry, T., Dorjnamjaa, D., Badamgarav, J.** 1997. Geometry and style of partitioned deformation within a late Cenozoic transpressional zone in the eastern Gobi Altai Mountains, Mongolia. *Tectonophysics*. 277, 285-306.

**David, J.** 1996. Géochronologie du Moyen-Nord. GEOTOP, Université du Québec à Montréal, rapport interne.



- David, J. et Parent, M.** 1997. Géochronologie U-Pb du projet Moyen-Nord. GEOTOP, rapport interne soumis au Ministère des Ressources Naturelles, 88 p.
- Davis, W. J., Gariépy, C., Sawyer, E. W.** 1994. Pre-2.8 Ga crust in the Opatika gneiss belt. A potential source of detrital zircons in the Abitibi and Pontiac subprovinces, Superior Province, Canada. *Geology*. 22, 1111-1114.
- Davis, W. J., Machado, N., Gariépy, C., Sawyer, E. W., Benn, K.** 1995. U-Pb geochronology of the Opatika tonalite-gneiss belt and its relationship to the Abitibi greenstone belt, Superior Province, Quebec. *Canadian Journal of Earth Sciences*. 32, 113-127.
- Davis, D. W., Pezzutto, F., Ojakangas, R. W.** 1990. The age and provenance of metasedimentary rocks in the Quetico Subprovince, Ontario, from single zircon analyses: implications for Archean sedimentation and tectonics in the Superior Province. *Earth and Planetary Science Letters*. 99, 195-205.
- Dimroth, E., Imreh, L., Rocheleau, M., Goulet, N.** 1982. Evolution of the south-central part of the Archean Abitibi belt, Quebec. Part I. Stratigraphy and paleogeographic model. *Canadian Journal of Earth Sciences*. 19, 1729-1758.
- Droop, G. T. R.** 1989. Reaction history of garnet-sapphirine granulites and conditions of Archean high-pressure granulite-facies metamorphism in the central Limpopo mobile belt, Zimbabwe. *Journal of Metamorphic Geology*. 7, 383-403.
- Droop, G. T. R. and Bucher-Nurminen, K.** 1984. Reaction textures and metamorphic evolution of sapphirine-bearing granulites from the Gruf complex, Italian central Alps. *Journal of Petrology*. 25, 766-803.

**Eade, K. E.** 1966. Fort George River and Kaniapiscaw River (west half) Map-areas, New Quebec. Geological Survey of Canada. Memoir 339, 84 p.

**Eckert, J. O., Newton, R. C., and Kleppa, O. J.** 1991. The  $\Delta H$  of reaction and recalibration of garnet-pyroxene-plagioclase-quartz geobarometers in the CMAS system by solution calorimetry. *The American Mineralogist*. 76, 148-160.

**England, P.C., and Thompson, A.B.** 1984. Pressure-Temperature-Time Paths of Regional Metamorphism I. Heat Transfer during the Evolution of Regions of Thickened Continental Crust. *Journal of Petrology*. 25, 894-928.

**England, P.C., and Thompson, A.B.** 1986. Some thermal and tectonic models for crustal melting in continental collision belts. In. *Collisions Tectonics*, M.P. Coward and A.C. Reis (Eds). Geological Society of London, pp. 83-94.

**Essene, E. J.** 1989. The current status of thermobarometry in metamorphic rocks. In. *Evolution of Metamorphic Belts*, Daly, J. S., Cliff, R. A. & Yardley, B. W. D (Eds.). Geological Society of London Special Publication. 43, 1-44.

**Farhig, W. F.** 1967. Shabogamo Lake map-area, Newfoundland-Labrador and Quebec 23G and E (east half). Geological Survey of Canada. Memoir 354, 23 p.

**Fouques, J. P. and Schumaker, F.** 1979. Rapport de synthèse des travaux réalisés depuis 1974 jusqu'au 31 décembre 1978 sur le permis SES, Ministère des Ressources Naturelles (Eds). GM-37017, 177 p.

**Franconi, A.** 1978. La bande volcanosédimentaire de la rivière Eatmain inférieure. Ministère des Ressources Naturelles du Québec. DPV-754, 177 p.

**Friend, C. R. L., and Nutman, A. P.** 1994. Two Archean granulite-facies metamorphic events in the Nuuk-Maniitsoq region, southern West Greenland. correlation with the Saglek block, Labrador. *Journal of the Geological Society of London*. 151, 421-424.

**Fuhrman, M.L. and Lindsley, D.H.** 1988. Ternary-feldspar modeling and thermometry. *The American Mineralogist*. 73, 201-216.

**Gauthier, M.** 1996. Géologie de la région du lac Sauvolles. Ministère des Ressources Naturelles, Québec, MB 96-27.

**Gauthier, M.** 2000. Styles et répartition des gîtes métallifères du territoire de la Baie James (Québec). *Chronique de la Recherche Minière*. 539, 17-61.

**Gauthier, M. et Larocque, M.** 1998. Cadre géologique, style et répartition des minéralisations métalliques de la basse et de la moyenne Eastmain, Territoire de la Baie-James. Ministère des Ressources Naturelles, Québec, MB 98-10.

**Gauthier, M., Chartrand, F., et Larocque, M.** 1996a. Géologie de la région du lac de la Frégate (SNRC 33G), Territoire de la Baie James. Ministère des Ressources Naturelles du Québec. MB 96-04, une carte annotée.

**Gauthier, M., Chartrand, F., et Larocque, M.** 1996b. Géologie de la région du lac Sauvolles (SNRC 33H) et de Nitchequon (SNRC 23E-1/8 Ouest). Territoire de la Baie James. Ministère des Ressources Naturelles du Québec. MB 96-27, une carte annotée.

**Gauthier, M., Chartrand, F., et Larocque, M.** 1997. Cadre géologique, style et répartition des minéralisations métalliques de la Grande Rivière, Territoire de la Baie James. Ministère des Ressources Naturelles du Québec. MB 97-30, 69 p.

**Goulet, N.** 2000. Cartographie au 1:20.000ième de la région du lac Courcy (23C), Québec. Université du Québec à Montréal, technical report.

**Goulet, N. et Cadéron, S.** 2000. Évolution tectono-métamorphique du Domaine de Douglas-Harbour, nord-est de la Province du Supérieur. Ministère des Ressources Naturelles, projet de cartographie Grand-Nord.

**Goutier, J., Doucet, P., Dion, C., Beausoleil, C., David, J., Parent, M., et Dion, D. J.** 1998. Géologie de la région du lac Kowskatehkakmow. Ministère des Ressources Naturelles du Québec. RG 98-16, 48 p.

**Harley, S. L.** 1986. A sapphirine-cordierite-garnet-sillimanite granulite from Enderby Land, Antarctica. implications for FMAS petrogenetic grids in the granulite facies. *Contributions to Mineralogy and Petrology*. 94, 452-460.

**Harley, S. L.** 1998. Ultrahigh temperature granulite metamorphism (1050 °C, 12 kbar) and decompression in garnet (Mg70)-orthopyroxene-sillimanite gneisses from the Rauer Group, East Antarctica. *Journal of Metamorphic Geology*. 16, 541-562.

**Harley, S. L. and Christy, A. G.** 1995. Titanium-bearing sapphirine in a partially melted aluminous granulite xenolith, Vestfold Hills, Antarctica; geological and mineralogical implications. *European Journal of Mineralogy*. 7, 637-653.

**Harley, S. L. and Hensen, B. J.** 1990. Archean and Proterozoic high-grade terranes of East Antarctica (40-80°E). a case study of diversity in granulite facies metamorphism. In: J. R. Ashworth and M. Brown (eds), *High-temperature Metamorphism and Crustal Anatexis*. Mineralogical Society Series, 2. Unwin Hyman, London, 320-370.

- Harley, S. L. and Motoyoshi, Y.** 2000. Al zoning in orthopyroxene in a sapphirine quartzite; evidence for >1120 °C UHT. *Contributon to Mineralogy and Petrology*. 138, 293-307.
- Harley, S. L.** 1989. The origins of granulites. a metamorphic perspective. *Geological Magazine*. 126, 215-247.
- Hensen, B. J.** 1987. *P-T* grids for silica-undersaturated granulites in the system MAS (n+4) and FMAS (n+3)-tools for the derivation of *P-T* paths and metamorphism. *Journal of Metamorphic Geology*. 5, 255-271.
- Hensen, B. J. and Harley, S. L.** 1990. Graphical analysis of *P-T-X* relations in granulite facies metapelites. *In*. High Temperature Metamorphism and Crustal Anatexis. Asworth, J. R. & Brown, M. (Eds). Unwin-Hyman, London, 19-56.
- Herd, R. K.** 1991. An update on the occurrence of sapphirine-bearing assemblages in Canada, with comments on their tectonic signifiance. *Geological Association of Canada - Mineralogical Association of Canada, Program Abstr.* 16, 54.
- Hocq, M.** 1985. Géologie des lacs Campan et Cadieux, Territoire Du Nouveau Québec. Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec. ET 83-05, 178 p.
- Hocq, M.** 1994. La Province du Supérieur. *In*. La Géologie du Québec, Ministère des Ressources Naturelles du Québec (Eds). MM 94-01, pp. 7-20.
- James, D. T.** 1993. Geology of the Ashuanipi Complex in western Labrador. Newfoundland Departement of Mines and Energy, Open File Maps 93-17 and 93-18.

**James, D. T.** 1997. Geology of the Archean Ashuanipi Complex, Western Labrador Newfoundland Department of Mines and Energy. Report 97-2, 27 p.

**Jamieson, R. A.** 1991. P-T-t paths of collisional orogens. *Geologische Rundschau*. 80/2, 321-332.

**Jiasheng, Z., Dirks, P. H. G. M., and Passchier, C. W.** 1994. Extensional collapse and uplift in a polymetamorphic terrain in the Archean and Palaeoproterozoic of north China. *Precambrian Research*, 67, 37-57.

**Koesterer, M. E., Frost, C. D., Frost, B. R., Hulsebosch, T. P., Bridgwater, D. and Worl, R. G.** 1987. Development of the Archean crust in the Medina Mountain area, Wind River Mountains, Wyoming (U. S. A.). *Precambrian Research*. 37, 287-304.

**Kretz, R.** 1983. Symbols for rock-forming minerals. *The American Mineralogist*, 68. 277-279.

**Labbé, J. Y., Bélanger, M.** 1998. Géologie de la région du lac Thier (SNRC 33H09). Ministère des Ressources Naturelles du Québec. RG 97-13, 21 p.

**Lamothe, D., Leclair, A. D. et Choinière, J.** 1998. Géologie de la région du lac Vallard (SNRC 23C). Ministère des Ressources Naturelles, Québec. RG 98-13, 31 pp.

**Lamothe, D., Thériault, R. et Leclair, A. D.** 2000. Géologie de la région du lac Nitchequon (SNRC 23E). Ministère des Ressources Naturelles, Québec. RG 99-14, 43 pp.

**Lapointe, B.** 1985. Reconnaissance géologique de la région du lac Paillerault, Territoire du Nouveau Québec. Ministère des Richesses Naturelles du Québec. MB 85-73, 22 p.

**Lapointe, B.** 1989. Géologie de la région du lac Lillois. Ministère des Ressources Naturelles du Québec, ET 88-11, 38 p.

**Le Corre, C; Bouloton, J.** 1987. The west-central Jebilet (Hercynian Belt, Morocco); a ductile transgressive flower structure. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Série 2, Mécanique, Physique, Chimie, Sciences de l'Univers, Sciences de la Terre.* 304, 13, 751-755.

**Leclair, A. D., Lamothe, D., Choinière, J. et Parent, M.** 1998. Géologie de la région du lac Bermen (SNRC 23F). Ministère des Ressources Naturelles, Québec. RG 97-11, 40 pp.

**Madore, L. and Larbi, Y.** 2000. Géologie de la région du Lac Arnaud (SNRC 25D) et des régions littorales adjacentes (SNRC 25C, 25E and 25F). Ministère des Ressources Naturelles, Rapport Géologique. RG 2000-05, 37p.

**Madore, L., Bandyayera, D., Bédard, J. H., Brouillette, P., Sharma, K. N. M., Beaumier, M. et David, J.** 1999. Géologie de la région du Lac Peters (SNRC 24M). Ministère des Ressources Naturelles du Québec, Rapport Géologique. RG 99-07, 41p.

**Madore, L., Larbi, Y., Labbé, J.-Y., Lacoste, P., David, J., Brousseau, K. et Hocq, M.** 2001. Géologie du Lac Klotz (SNRC 35A) et du Cratère du Nouveau Québec (1/2 sud de SNRC 35H). Ministère des Ressources Naturelles du Québec, Rapport Géologique. RG 200-09, 44p.

**Markl, G, Jürgen, B., and Grujic D.** 2000. Metamorphic evolution of Pan-African granulite facies metapelites from Southern Madagascar. *Precambrian Research.* 102, 47-68.

**Martignole, J.** 1992. Exhumation of high-grade terranes-a review. *Canadian Journal of Earth Sciences.* 29, 737-745.

**McClay, K., and Dooley, T.** 1995. Analogue models of pull-apart basins. *Geology* (Boulder). 23, 711-714.

**McDonough, M. R., McNicoll, V. J., Schetselaar, E. M., and Grover, W. T.** 2000. Geochronological and kinematic constraints on crustal shortening and escape in a two-sided oblique-slip collisional and magmatic orogen, Paleoproterozoic Taltson magmatic zone, northeastern Alberta. *Canadian Journal of earth Sciences*. 37, 1549-1573.

**Mohan, A. and Windley, B. F.** 1993. Crustal trajectory of sapphirine-bearing granulites from Ganguvarpatti, South India; evidence for an isothermal decompression path. *Journal of Metamorphic Geology*. 11, 867-878.

**Mortensen, J. K., and Ciesielski, A.** 1987. U-Pb zircon and sphene geochronology of Archean plutonic and orthogneiss rocks of the James Bay region and Bienville Domain, Quebec. In. *Radiogenic Age and Isotopic Studies*, Geological Survey of Canada (Eds). Report 1, Paper 87-2, 129-134.

**Mortensen, J. K., and Percival, J. A.** 1987. Reconnaissance U-Pb zircon and monazite geochronology of the lac Clairambault area, Ashuanipi complex, Quebec. In *Radiogenic Age and Isotopic Studies*. Geological Survey of Canada. Report 1, Paper 87-2, pp. 153-142.

**Mueller, W., and Donaldson, J. A.** 1992. development of sedimentary basins in the Archean Abitibi belt, Canada. an overview. *Canadian Journal of Earth Sciences*. 29, 2249-2265.

**Muhling, J. R.** 1990. The Narryer gneiss complex of the Yilgarn Block, Western Australia. a segment of Archean lower crust uplifted during Proterozoic orogeny. *Journal of Metamorphic Geology*. 8, 47-64.



**Myers, J. S.** 1993. Precambrian history of the west Australian craton and adjacent orogens. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*. 21, 453-485.

**Nemes, F., Neubauer, F., Cloetingh, S., and Genser, J.** 1997. The Klagenfurt Basin in the Eastern Alps; an intra-orogenic decoupled flexural basin?. In. *Structural controls on sedimentary basin formation*, Cloetingh, S., Fernandez, M., Munoz, J. A., Sassi, W., Horvath, F., (Eds.). *Tectonophysics*. 282, 189-203. 1997.

**Nichols, G. T., Berry, R. F. and Green, D. H.** 1992. Internally consistent gahnitic spinel-cordierite-garnet equilibria in the FMASHZn system. geothermobarometry and applications. *Contributions to Mineralogy and Petrology*. 111, 362-377.

**Nijland, T. G., Touret, J. L. R. and Diederik, V.** 1998. Anomalous Low Temperature Orthopyroxene, Spinel, and Sapphirine Occurrences in Metasediments from the Bamble Amphibolite-to-Granulite Facies Transition Zone (South Norway). Possible Evidence for Localized Action of Saline Fluids. *Journal of Geology*. 106, 575-590.

**Owen, J. V. and Greenough, J. D.** 1991. An empirical sapphirine-spinel Mg-Fe exchange thermometer and its application to high grade xenoliths in the Popes Harbour dyke, Nova Scotia, Canada. *Lithos*. 26, 317-332.

**Paquette, L., et Gauthier, M.** 1997. Séquences archéennes du lac Sakami. Ministère des Ressources Naturelles du Québec. MB 97-02, 34 p.

**Parent, M.** 1998. Géochronologie U-Pb du projet Moyen-Nord, Phase II. GEOTOP, Rapport interne soumis au Ministère des Ressources Naturelles, 61 p.

**Pattison, D. R. M. and Bégin, N. J.** 1994. Zoning patterns in orthopyroxene and garnet in granulites. implications for geothermometry. *Journal of metamorphic Geology*. 12, 387-410.

**Percival, J. A.** 1987. Geology of the Ashuanipi granulite complex in the Schefferville area, Quebec. In. *Current Research, Geological Survey of Canada (Eds). Part A, Paper 87-1A*, pp. 1-10.

**Percival, J. A.** 1989a. A regional perspective of the Quetico metasedimentary belt, Superior Province. *Canadian Journal of Earth Sciences*. 26, 677-693.

**Percival, J. A.** 1989b. Granulite Terranes and the Lower Crust of the Superior Province. In. *International Union of Geodesy and Geophysics and American Geophysical Union, L. D. Ayres, P. C. Thurston, K. D. Card and W. Weber (Eds)*, pp. 301-310.

**Percival, J. A.** 1990. Archean Tectonic Setting of Granulite Terranes of the Superior Province, Canada. A View from the Bottom. In. *Granulites and Crustal Evolution, D. Vielzeuf and Ph. Vidal (Eds)*, pp. 171-193.

**Percival, J. A.** 1991a. Orthopyroxene-poikilitic tonalites of the Desliens igneous suite, Ashuanipi granulite complex, Labrador-Quebec, Canada. *Canadian Journal of Earth Sciences*. 28, 743-753.

**Percival, J. A.** 1991b. Granulite-Facies Metamorphism and Crustal Magmatism in the Ashuanipi Complex, Quebec-Labrador, Canada. *Journal of Petrology*. 32, 1261-1297.

**Percival, J. A.** 1992. Archean High-Grade Metamorphism. In. *Vielzeuf, D. and Vidal, P. (eds), Granulites and Crustal Evolution. Dordrecht. Kluwer*, 357-410.

**Percival, J. A.** 1993. Géologie, complexe d'Ashuanipi, région de Schefferville, Terre-Neuve-Québec. Geological Survey of Canada, Carte 1785A.

**Percival, J. A.** 1994. Archean high-grade metamorphism. *Developments in Precambrian Geology*. 11, 357-410.

**Percival, J. A., and Girard, R.** 1988. Structural character and history of the Ashuanipi complex in the Schefferville area, Quebec-Labrador. *In Current Research, Part C*. Geological Survey of Canada. Paper 88-1C, pp. 51-60.

**Percival, J. A., and Mortensen, J. K.** 2002. Water-deficient calc-alkaline plutonic rocks of northeastern Superior Province, Canada. Significance of charnockitic magmatism. *Journal of Petrology*. (*submitted*).

**Percival, J. A., and Skulski, T.** 2000. Tectonothermal evolution of the northern Minto block, Superior Province, Quebec, Canada. *The Canadian Mineralogist*. 38, 345-378.

**Percival, J. A., and Sullivan, R. W.** 1988. Age constraints on the evolution of the Quetico Belt, Superior Province, Ontario. *In Radiogenic and Isotopic Studies*, Geological Survey of Canada (Eds). Report 2, Paper 88-2, 97-107.

**Percival, J. A., and Williams, H. R.** 1989. Late Archean Quetico accretionary complex, Superior Province, Canada. *Geology*. 17, 23-25.

**Percival, J. A., Skulski, T. and Nadeau, L.** 1997a. Reconnaissance geology of the Pelican-Nantais Belt, Northeastern Superior Province, Quebec. Geological Survey of Canada, Open File Map 3525 (scale 1:250,000).

**Percival, J. A., Skulski, T. and Nadeau, L.** 1997b. Granite-greenstone terranes of the northern Minto Block, northeastern Quebec. Pelican-Nantais, Faribault-Leridon and Duquet belts. *In*. Current Research, Geological Survey of Canada, Paper. 1997-C, 211-221.

**Percival, J. A., Stern, R. A. and Rayner, N.** 2003. Archean adakites from the Ashuanipi complex, eastern Superior Province, Canada: geochemistry, geochronology and tectonic significance. *Contributions to Mineralogy and Petrology*. Published online in April 2003, 28p.

**Percival, J. A., Stern, R. A. and Skulski, T.** 2001. Crustal growth through successive arc magmatism. Reconnaissance U-Pb SHRIMP data from the northeastern Superior Province, Canada. *Precambrian Research*. 109, 203-238.

**Percival, J. A., Card, K. D., Stern, R. A. and Bégin, N. J.** 1990. A geological transect of northeastern Superior Province, Ungava Peninsula, Quebec. The Lake Minto area. Geological Survey of Canada, Paper. 90-1C, 133-141.

**Percival, J. A., Card, K. D., Stern, R. A. and Bégin, N. J.** 1991. A geologic transect of the Leaf River area, northeastern Superior Province, Ungava Peninsula, Quebec. *Current Research, Geological Survey of Canada, Paper*. 91-1C, 55-63.

**Percival J. A., Mortensen, J. K., Stern, R. A., Card, K. D. and Bégin, N. J.** 1992. Giant granulite terranes of the Northeastern Superior Province. The Ashuanipi Complex and Minto block. *Canadian Journal of Earth Sciences*. 29, 2287-2308.

**Percival, J. A., Stern, R. A., Skulski, T., Card, K. D., Mortensen, J. K. and Bégin, N. J.** 1994. Minto block, Superior Province. missing link in deciphering assembly of the craton at 2.7 Ga. *Geology*. 22, 839-842.

**Perkins, D., Chipera, S. J.** 1985. Garnet-orthopyroxene-plagioclase-quartz barometry. refinement and application to the English River subprovince and the Minnesota River Valley. *Contributions to Mineralogy and Petrology*. 89, 69-80.

**Peterson, J. W. and Newton, R. C.** 1989. Reversed experiments on biotite-quartz-feldspar melting in the system KMASH. implications for crustal anatexis. *Journal of Geology*. 97, 465-485.

**Peterson, J. W. and Newton, R. C.** 1990. Experimental biotite-quartz melting in the KMASH-CO<sub>2</sub> system and the role of CO<sub>2</sub> in the petrogenesis of granites and related rocks. *American Mineralogist*. 75, 1029-1042.

**Podlesskii, K. K. and Kurdyukov, Y. B.** 1992. The association sapphirine + quartz in the Chogor and Sharyzhgaysk complexes, east Siberia. *International Geology Review*. 34, 611-616.

**Powell, R. and Sandiford, M.** 1988. Sapphirine and spinel phase relationships in the system FeO-MgO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>-TiO<sub>2</sub>-O<sub>2</sub> in the presence of quartz and hypersthene. *Contributions to Mineralogy and Petrology*. 98, 64-71.

**Rosen, O. M., Condie, K. C., Natapov, L. M. and Nozhkin, A. D.** 1994. Precambrian tectonic development of the Siberian Plate. A preliminary assessment. In: K. C. Condie (ed.), *Archean Crustal Evolution*, 411-459.

**Saunders, A., D., Tarney, J., and Weaver, S. D.** 1980. Transverse geochemical variations across the Antarctic Peninsula. implications for the genesis of calc-alkaline magmas. *Earth and Planetary Science Letters*. 46, 344-360.

**Sawyer, E. W.** 1997. The paragneiss-migmatite-granite transition in the Ashuanipi Province, Quebec. Significance of diatexites. Ministère des Ressources Naturelles, Rapport interne.

**Sawyer, E. W.** 1998. Formation and Evolution of Granite Magmas During Crustal Reworking. the Significance of Diatexites. *Journal of Petrology*. 39, 1147-1167.

**Sawyer, E. W., and Benn, K.** 1993. Structure of the high-grade Opatika belt and adjacent low-grade Abitibi Subprovince. an Archean mountain front. *Journal of Structural Geology*. 15, 1443-1458.

**Sawyer, E. W., and Barnes, S.-J.** 1988. Temporal and compositional differences between subsolidus and anatectic migmatite leucosomes from the Quetico metasedimentary belt, Canada. *Journal of Metamorphic Geology*. 6, 437-450.

**Schau, M.** 1982. Two sapphirine localities in the Kramanitu Complex, Baker Lake region, District of Keewatin. Geological Survey of Canada, Paper. 82-1C, 99-102.

**Sen, S. K., and Battacharya, A.** 1984. An orthopyroxene-granet thermometer and its application to the Madras charnockites, *Contributions to Mineralogy and petrology*. 88, 64-71.

**Sharma, K. N. M.** 1978. Région de La Grande Rivière (Projet 1977). Ministère des Richesses Naturelles du Québec. DPV-558, 32 p.

**Sharma, K. N. M.** 1977a. La Grande Rivière Area (1976 Project). Ministère des Richesses Naturelles du Québec. DPV-493, 318 p.

**Sharma, K. N. M.** 1977b. Région de La Grande Rivière. Ministère des Richesses Naturelles. RG-184, 75 p.

**Sharma, K. N. M., et Dubé, C. Y.** 1980. Région des lacs Caniapiscau-Clairambault. Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec. DPV-755, 13 p.

**Simard, M., et Gosselin, C.** 1998. Géologie de la région du lac Lichteneger (33B). Ministère des Ressources Naturelles du Québec. RG 98-15, 24 p.

**Spear, F. S.** 1993. Metamorphic Phase Equilibria and Pressure-Temperature-Time Paths. Mineralogical Society of America, Washington, D. C.

**Stern, R. A., Percival, J. A. and Mortensen, J. K.** 1994. Geochemical evolution of the Minto block. a 2.7 Ga continental magmatic arc built on the Superior craton. Precambrian Research. 65, 115-153.

**Stevenson, I. M.** 1964. Lac La Jannaye, Quebec and Newfoundland. Geological Survey of Canada. Paper 64-8 (Report and Map 1-1964), 5p.

**Stüwe, K., Sandiford, M., and Powell, R.** 1993. Episodic metamorphism and deformation in low-pressure, high-temperature terranes. Geology. 21, 829-832.

**Thomas, A., Culshaw, N. G. and Currie, K. L.** 1994. Geology of the Lac Ghyvelde-Lac Long area, Labrador and Quebec. Geological Survey of Canada, Bulletin.

**Thompson, A. B.** 1990. Heat, fluids and melting in the granulites facies. In. Vielzeuf, D. and Vidal, P. (eds), Granulites and Crustal Evolution. Dordrecht. Kluwer, 37-57.

**Thompson, A. B., and England, P. C.** 1984. Pressure-Temperature-Time Paths of Regional Metamorphism II. Their Inference and Interpretation using Mineral Assemblages in Metamorphic Rocks. *Journal of Petrology*. 25, 929-955.

**Tracy, R. J.** 1982. Compositional zoning and inclusion in metamorphic minerals. In. *Characterization of Metamorphism Through Mineral Equilibria*, J. M. Ferry (Ed). *Reviews in Mineralogy*. 10, 355-397.

**Vielzeuf, D.** 1983. The Spinel and Quartz Associations in the High Grade Xenoliths from Tallante (S.E. Spain) and Their Potential Use in Geothermometry and Barometry. *Contributions to Mineralogy and Petrology*. 82, 301-311.

**Vielzeuf, D. and Holloway, J. R.** 1988. Experimental determination of the fluid-absent melting relations in the pelitic system. Consequences for crustal differentiation. *Contributions to Mineralogy and Petrology*. 98, 257-276.

**Vielzeuf, D., and Montel, J. M.** 1994. Partial melting of metagreywackes. Part I. Fluid-absent experiments and phase relationships. *Contributions to Mineralogy and Petrology*. 117, 375-393.

**Vielzeuf, D., Clemens, J. D., Pin, C. and Moinet, E.** 1990. Granites, granulites and crustal differentiation. In. Vielzeuf, D. and Vidal, P. (eds), *Granulites and Crustal Evolution*. Dordrecht. Kluwer, 59-85.

**Wasteneay, H. A., Clark, A. H., Farrar, E., Langridge, R. J.** 1995. Grenvillian granulite-facies metamorphism in the Arequipa Massif, Peru. a Laurentian-Gonwana link. *Earth and Planetary Science Letters*. 132, 63-73.



**Woodicka, N.** 2000. Géochronologie du projet Moyen-Nord. Rapport préliminaire soumis au Ministère des Ressources Naturelles du Québec.



