

Géochimie des roches volcaniques et intrusives de la région des lacs Guyer et Nochet, Baie-James.

Daniel Bandyayera, Jean Goutier, Pénélope Burniaux

RP-2014-03

Mots clés : Sous-province de La Grande, roches volcaniques, Groupe de Guyer, intrusions, dykes mafiques.

Résumé

Cette étude constitue un survol des caractéristiques géochimiques des principales unités volcaniques et intrusives de la région des lacs Nochet et Guyer. Cette région est située dans la partie nord de la Baie-James (SNRC 33G et 33H). Elle comprend les roches archéennes appartenant à la Sous-province de La Grande, et des dykes néoarchéens et paléoprotérozoïques assignés aux essaims de Mistassini, du Lac Esprit et de Senneterre. Les séquences volcano-sédimentaires étudiées appartiennent au Groupe de Guyer et aux formations de Mintisch, de Corvette et de Keyano.

Le Groupe de Guyer est composé de komatiites, de basaltes komatiitiques, de basaltes et de volcanites intermédiaires à felsiques. Les laves komatiitiques ont été presque exclusivement observées dans le Groupe de Guyer. Leur composition géochimique est comparable à celle des komatiites non appauvries en Al de la Sous-province de l'Abitibi. Les basaltes tholéiitiques du Groupe de Guyer et de la Formation de Corvette ont été subdivisés en deux groupes. Le premier groupe (groupe I) est caractérisé par un appauvrissement en terres rares lourdes, tandis que le second groupe (groupe II) montre des spectres de terres rares plats. Les données lithogéochimiques des basaltes du groupe I sont similaires à celles des basaltes des rides médio-océaniques (N-MORB), tandis que les basaltes du groupe II ressemblent aux basaltes transitionnels. Les basaltes tholéiitiques de la Formation de Mintisch montrent des caractéristiques géochimiques similaires aux basaltes de type E-MORB. Les basaltes de la Formation de Keyano sont caractérisés par un enrichissement en terres rares légères et par de faibles anomalies négatives en Nb et en Ti. Ils représentent probablement des basaltes dont le magma parent a été contaminé par une composante crustale et générés dans des environnements d'arcs volcaniques.

Les volcanites intermédiaires et felsiques associées aux unités volcaniques sont représentées par des andésites calco-alcalines à transitionnelles, et par des rhyodacites et des rhyolites calco-alcalines. Ces volcanites sont caractérisées par des anomalies négatives Nb-Ta et Ti, suggérant un contexte de mise en place similaire à celui des arcs océaniques modernes.

Des intrusions mafiques et ultramafiques, associées aux séquences volcano-sédimentaires, présentent des spectres de terres rares parallèles à ceux des basaltes, suggérant que ces intrusions sont générées par la même source mantellique. Une de ces intrusions ultramafiques présente des niveaux de chromitite et de sulfures enrichis en Ni-Cu-Éléments du Groupe du Platine (ÉGP). Le potentiel économique de ces intrusions est rehaussé par leur association spatiale avec des bassins de roches sédimentaires.

Les plutons archéens (Granite du Vieux Comptoir, plutons de Nochet, de Fontay, de Moly, Suite de Bezier et une intrusion de syénite) sont comparés aux unités du socle du Complexe de Langelier et du Pluton de poste Le Moyne. L'utilisation simultanée des teneurs en oxydes majeurs et en éléments traces a permis de dégager des similitudes et des différences entre ces intrusions.

Une analyse détaillée des données géochimiques a permis de distinguer les différents essaims de dykes mafiques, en particulier avec les diagrammes La versus Th et V versus Ti/1000. L'Essaim de dykes de Mistassini est d'affinité calco-alcaline. À l'opposé, les Dykes de Senneterre sont d'affinité transitionnelle à calco-alcaline, et ils sont caractérisés par des concentrations élevées en MgO et en Cr ainsi que par de faibles teneurs en P₂O₅. Les Dykes du Lac Esprit, d'affinité tholéiitique à transitionnelle, montrent une composition chimique globale intermédiaire entre l'Essaim de dykes de Mistassini et les Dykes de Senneterre. Les spectres de terres rares et des éléments en traces, ainsi que les rapports des éléments incompatibles, suggèrent que les Dykes de Senneterre sont ceux qui ont subi la plus forte contamination crustale, tandis que les Dykes du Lac Esprit affichent le taux le plus faible de contamination crustale.

INTRODUCTION

La région des lacs Guyer et Nochet couvre la partie orientale du réservoir La Grande 3, et s'étend jusqu'au réservoir La Grande 4, à la Baie-James (figure 1). Elle se compose de roches archéennes des sous-provinces de La Grande et d'Opinaca, de bassins arénitiques et de dykes mafiques d'âge néoarchéen à paléoprotérozoïque (figure 2). Cette étude a pour objectif la caractérisation géochimique des unités volcaniques et intrusives de cette vaste région. Ce travail est complémentaire aux travaux de cartographie réalisés par Géologie Québec au cours des années 2000, 2009, 2010 et 2011 (figure 1).

La région d'étude comprend six unités volcano-sédimentaires archéennes : 1) la Formation de Mintisch (2846,5 ±6,5 Ma, David *et al.*, 2012); 2) le Groupe de Guyer (2820 à 2806 Ma, Goutier *et al.*, 2002; David *et al.*, 2012); 3) la Formation de Corvette (2726 ±8 Ma, Davis, en préparation); 4) la Formation de Keyano (2735 à 2710 Ma, Davis et Dion, 2012); 5) la Ceinture de Pie; et 6) la Ceinture de Griault. Ce traitement géochimique est basé sur les nouvelles analyses des éléments des terres rares et des éléments en traces immobiles (Zr, Y, Hf, Ta, Nb et Th). Il a pour but d'élaborer une classification plus précise des volcanites et des volcanoclastites et de préciser leur milieu tectonique d'épanchement, en les comparant avec les environnements géotectoniques modernes. Les ceintures de Pie et de Griault n'ont pas été traitées dans cette étude, par manque d'échantillons frais et représentatifs. Une attention particulière porte sur la comparaison des caractéristiques géochimiques des unités volcaniques des différentes formations. Cette comparaison permet d'associer des bandes volcano-sédimentaires non-datées à la formation lithostratigraphique correspondante, ou dans le cas échéant, de créer une nouvelle unité. Les laves ultramafiques et les intrusions ultramafiques présentes dans ces unités sont aussi étudiées.

Les différentes unités volcano-sédimentaires de la Sous-province de La Grande se sont déposées sur un socle archéen formé de gneiss tonalitiques et de tonalites, assignés au Complexe de Langelier (3360 Ma à 2788 Ma; Goutier *et al.*, 2002) et au Pluton de poste Le Moynes (2881 ±2 Ma; Goutier *et al.*, 2002). Les roches volcano-sédimentaires archéennes sont coupées par des intrusions tarditectoniques comprenant : l'Intrusion de Moly (tonalite et granodiorite, 2745,8 ±0,8 Ma et 2710,2 +4,3/-2,3 Ma; Chapon, 2011), la Suite de Coates (tonalite, 2742,9 +5,6/-3,8 Ma à 2716 +2,8/-1,9 Ma; Simard et Lafrance, 2011), le Pluton de Nochet (tonalite, 2726 ±7 Ma; Davis, en préparation), les Intrusions de Duncan (tonalite, monzodiorite et monzonite, 2716 à 2709 Ma; Goutier *et al.*, 2002), le Pluton de Radisson (monzodiorite quartzifère à granodiorite, 2712 ±3 Ma; Mortensen et Ciesielski, 1987), la Suite de Salleneuve (monzodiorite quartzifère et granodiorite, 2698,8 +3,5/-2,8 Ma; Simard et Lafrance, 2011), la Suite de Béziers (granodiorite à monzodiorite quartzifère, 2674 ±12 Ma; St-Seymour *et al.*, 1989),

le Pluton de Fontay (granite et granodiorite) et le Granite du Vieux Comptoir (granite et granodiorite, 2618 ±2 Ma, Goutier *et al.*, 2000). L'étude géochimique des roches intrusives vise à comparer les environnements géotectoniques des différents plutons néoarchéens avec celui du socle mésoarchéen. Une petite intrusion de syénite, localisée au nord-est de la région, a été intégrée dans cette étude. La Suite de Coates, le Pluton de Radisson et les Intrusions de Duncan n'ont pas été considérés dans cette étude, parce qu'ils ne sont pas représentatifs de la région étudiée.

La dernière partie de ce rapport traite des données géochimiques des différents essais de dykes mafiques néoarchéens et paléoprotérozoïques qui coupent l'ensemble des roches archéennes de la région. Les données recueillies touchent l'Essaim de dykes de Mistassini, les Dykes du Lac Esprit et les Dykes de Senneterre.

MÉTHODE DE TRAVAIL

Les échantillons de roches analysées ont été prélevés au cours des travaux de cartographie régionale durant les étés 2000, 2009, 2010 et 2011 (figure 1). Les résultats sont disponibles dans la banque de données du Système d'Information Géominière du Québec (SIGÉOM). Les échantillons de l'été 2000 ont été analysés par le COREM à Québec, tandis que les échantillons des étés 2009 à 2011 ont été envoyés à AcmeLabs, à Vancouver. Afin d'harmoniser les résultats d'analyse, les éléments en traces des échantillons de l'été 2000 ont été réanalysés par AcmeLabs en 2011 et 2012. Les éléments majeurs et les éléments en traces Ba, Cr et Sc des années 2009 à 2011 ont été analysés par ICP-AES; le C_{total} et le S_{total} ont été déterminés à l'aide d'un analyseur LEXO; l'ensemble des éléments Ag, As, Au, Ba, Bi, Cd, Co, Cs, Cu, Ga, Hf, Hg, Mo, Nb, Ni, Pb, Rb, Sb, Se, Sn, Sr, Ta, Th, V, W, Y, Zn, Zr et les terres rares ont été analysés par ICP-MS.

Les roches de la région ont subi plusieurs événements pré, syn et post-tectoniques (hydrothermalisme, métasomatisme, métamorphisme) qui ont pu affecter la mobilité des éléments. Le traitement géochimique des roches échantillonnées sera donc concentré sur les éléments fortement à modérément incompatibles (Hf, Zr, Y, Ta, Th, Nb) et les éléments des terres rares pour caractériser l'affinité magmatique et les environnements géotectoniques. Ces éléments sont considérés relativement immobiles pendant l'altération et le métamorphisme jusqu'au faciès des amphibolites (Ludden *et al.*, 1982; MacLean et Barrett, 1993). De plus, à l'exception des roches ultramafiques, les échantillons ayant des pertes au feu de plus de 3 % ont été omis de l'interprétation des données lithogéochimiques. Comme la déshydratation métamorphique entraîne une diminution de la concentration en volatiles en passant du faciès des schistes verts à celui des amphibolites, la perte au feu (PAF = H_2O+CO_2+S) qui sert d'indicateur du degré d'altération des roches volcano-sédimentaires faiblement métamorphisées ne peut pas être utilisée comme critère de sélection de roches fraîches. Il a été toutefois possible d'évaluer qualitativement l'intensité des

processus d'altération des roches volcaniques en se basant sur la mobilité relative des éléments majeurs (figure 3). À cet effet, nous avons utilisé l'indice d'altération IA d'Ishikawa ($IA = [(MgO+K_2O)/(MgO+K_2O+CaO+Na_2O)] \times 100$; Ishikawa *et al.*, 1976) et l'indice de peraluminosité IP ($IP = [Al_2O_{3mol}/(CaO_{mol} + Na_2O_{mol}+K_2O_{mol})]$; LaFlèche *et al.*, 1992; Camiré *et al.*, 1993; Richer-LaFlèche *et al.*, 2000). Une partie des échantillons du Groupe de Guyer et de la Formation de Corvette montre une corrélation positive entre les indices IA et IP, suggérant un lessivage en Na_2O et en CaO (figures 3a et 3b). Certaines roches sont albitisées ($IA < 20$), d'autres chloritisées ($IA > 50$). Ces roches altérées ont été retirées de ce traitement lithogéochimique. Cependant, la majorité des roches volcaniques de ces unités sont caractérisées par l'absence de corrélation entre les indices IA et IP, suggérant une absence ou un faible degré de lessivage d'éléments majeurs. Les indices IA et IP montrent également des valeurs comparables à celles de roches fraîches des basaltes médio-océaniques modernes, caractérisés par des valeurs de IA de 36 ± 4 et un indice de peraluminosité inférieur à l'unité (Richer-LaFlèche *et al.*, 2000).

Les échantillons des formations de Mintisch (figure 3c) et de Keyano (figure 3d) proviennent d'affleurements peu altérés. Cependant, leur dispersion et leur nombre restreint ne permettent pas d'en tirer une conclusion sur le degré d'altération régionale.

Finalement, sur les 237 analyses de roches volcaniques prélevées, 111 sont considérées comme provenant de roches fraîches et 126 de roches trop altérées. Parmi les analyses de roches fraîches, 56 proviennent du Groupe de Guyer, 39 de la Formation de Corvette, 8 de la Formation de Mintisch et 8 de la Formation de Keyano. Les roches volcaniques fraîches ont été divisées en quatre catégories selon le diagramme de classification de Winchester et Floyd (1977) et la légende du ministère des Ressources naturelles : 1) $MgO > 9\%$, basalte magnésien et komatiite; 2) $MgO < 9\%$ et $SiO_2 < 52\%$, basalte; 3) SiO_2 entre 52% et 63% , andésite basaltique et andésite; et 4) $SiO_2 > 63\%$, dacite, rhyodacite et rhyolite. Ces quatre catégories comprennent des laves et des volcanoclastites. L'ensemble des caractéristiques géochimiques des roches volcaniques est résumé dans le tableau 1.

Des intrusions ultramafiques sont spatialement associées aux unités volcano-sédimentaires de la région étudiée. Afin d'étudier leur relation génétique avec les roches encaissantes, ainsi que leur potentiel en minéralisations Ni-Cu-ÉGP, nous avons utilisé au total 40 analyses dont 22 proviennent d'intrusions associées au Groupe de Guyer, 4 à la Formation de Corvette, 9 à la Formation de Mintisch et 5 à la Formation de Keyano.

Les roches plutoniques de la région sont moins altérées. Au total, nous avons utilisé 57 analyses d'échantillons provenant du Complexe de Langelier (9), du Pluton de poste Le Moyne (2), de l'Intrusion de Moly (22), de la Suite de Bezier (9), du Pluton de Fontay (2), du Pluton de Nochet (5), de l'intrusion de syénite (2) et du Granite du Vieux Comptoir (6). Les données sur l'Intrusion de Moly (22 échantillons)

proviennent des travaux du mémoire de maîtrise de Chapon (2011), tandis que le reste des analyses de roches plutoniques provient des travaux de cartographie du Ministère.

Les dykes mafiques sont généralement peu altérés. Sur 23 échantillons traités, 6 proviennent de l'Essaim de dykes de Mistassini, 13 des Dykes du lac Esprit et 4 des Dykes de Senneterre. D'autres échantillons étudiés par Buchan *et al.* (2007) sont aussi présentés.

Les noms de roches intrusives felsiques ont été donnés suite aux résultats des analyses modales ou normatives des échantillons, en utilisant le diagramme de Le Maitre *et al.* (1989).

ROCHES VOLCANIQUES ARCHÉENNES

Les unités volcaniques (Groupe de Guyer, formations de Corvette, de Mintisch et de Keyano) qui font l'objet de cette étude sont décrites dans Goutier *et al.* (2002), Bandyayera *et al.* (2011 et 2013), et Goutier *et al.* (en préparation). Le Groupe de Guyer (2820 à 2806 Ma, Goutier *et al.*, 2002; David *et al.*, 2012) est la plus vaste unité volcanique de la Bande volcanique de la rivière La Grande (figures 1 et 2). Il s'étend sur plus de 125 km de longueur et occupe, d'est en ouest, la partie centrale de la région (figure 2). Il est constitué d'unités de basalte, de tuf felsique et intermédiaire, de formation de fer, de basalte magnésien, de komatiite et de wacke.

La Formation de Corvette (2726 \pm 8 Ma, Davis, en préparation), se trouve dans le coin sud-est de la région (figure 2) et représente la seconde unité en importance de la Bande volcanique de la rivière La Grande. Elle se compose de basalte, d'andésite, de tuf intermédiaire à felsique, de formation de fer, de rhyolite et de wacke feldspathique. La Formation de Mintisch (2846,5 \pm 6,5 Ma, David *et al.*, 2012) est localisée au nord-ouest de la région (figure 2) et comprend des unités constituées de basalte, de rhyolite et de paragneiss. Finalement, la Formation de Keyano (<2710 Ma, Davis et Dion, 2012) est localisée dans la partie nord-est de la région (figure 2) et se compose de paragneiss, de formation de fer, d'amphibolite dérivée de basalte et de conglomérat polygénique.

Dans cette section, nous nous concentrerons sur : 1) la composition et l'affinité magmatique des roches volcaniques et volcanoclastiques; 2) le comportement des terres rares et des éléments en trace; et 3) la comparaison des environnements volcaniques modernes avec ceux associés à la mise en place des volcanites de la région étudiée.

Composition et affinité magmatique

Nous avons utilisé le diagramme de Winchester et Floyd (1977; figures 4a, 4d, 5a et 5d) pour classer les roches volcaniques et le diagramme Ross et Bédard (2009; figures 4b, 4e, 5b et 5e) pour déterminer leur affinité magmatique.

Notez que le diagramme de Jensen (1976; figures 4c, 4f, 5c et 5f) qui utilise les éléments majeurs n'est pas approprié pour identifier l'affinité magmatique des roches archéennes altérées et métamorphisées. Toutefois, il est très pertinent pour caractériser la tendance de différenciation des suites tholéitiques et calco-alcalines. Le Mg# (*Mg-number*) est le ratio du magnésium molaire sur la somme du magnésium molaire et du fer molaire d'une roche ($Mg\# = 100 \times MgO / [MgO + FeO_{(total)}]$).

Le Groupe de Guyer se compose de laves ultramafiques (komatiites et basaltes komatiitiques; MgO = 16 à 38 % poids; Mg# = 70 à 87; SiO₂ = 43 à 47 % poids), de basaltes tholéitiques (MgO = 5 à 9 % poids; Mg# = 37 à 60; SiO₂ = 46 à 52 % poids; TiO₂ = 0,59 à 1,82 % poids; Zr = 26 à 78 ppm), d'andésites calco-alcalines (SiO₂ = 58 à 60 % poids; TiO₂ = 0,64 à 0,66 % poids; Zr = 114 à 122 ppm) et de rhyodacites et rhyolites calco-alcalines (SiO₂ = 67 à 76 % poids; TiO₂ = 0,14 à 0,64 % poids; Zr = 83 à 265 ppm; tableau 1 et figures 4a, b et c). Les rhyodacites et les rhyolites se distinguent des basaltes tholéitiques par des valeurs élevées en SiO₂ et en Zr, et des teneurs faibles en TiO₂.

La Formation de Corvette se distingue du Groupe de Guyer par la présence d'une suite volcanique continue de basalte à rhyodacite, une forte proportion de volcanites intermédiaires ainsi que par l'absence de volcanites ultramafiques et de rhyolite. La Formation de Corvette est constituée de basaltes tholéitiques magnésiens (MgO = 5 à 9,6 % poids; Mg# = 44 à 59; SiO₂ = 47 à 51 % poids; TiO₂ = 0,74 à 1,23 % poids; Zr = 34 à 73 ppm), d'andésites d'affinité calco-alcaline (SiO₂ = 54 à 60 % poids; TiO₂ = 0,66 à 1,24% poids; Zr = 95 à 189 ppm) et de dacites et rhyodacites d'affinité calco-alcaline (SiO₂ = 66 à 71 % poids; TiO₂ = 0,40 à 0,88 % poids; Zr = 124 à 274 ppm; tableau 1 et figures 4d, 4e et 4f). Sur le diagramme de Jensen (1976) (figure 4f), trois échantillons d'andésite se trouvent dans le champ des tholéites magnésiennes. Ces échantillons sont caractérisés par des concentrations élevées en MgO (6 à 7 % poids) et en SiO₂ (57 à 59 % poids) et moyennes en TiO₂ (0,66 à 0,93 % poids). Les autres échantillons d'andésite se distribuent principalement dans le champ des basaltes calco-alcalins, mais parfois dans celui des tholéites ferrifères et des dacites tholéitiques. Cette dispersion suggère que les andésites auraient subi une altération qui se manifeste par un enrichissement en magnésium, en fer et en silice.

La Formation de Mintisch est composée de basaltes tholéitiques magnésiens (MgO = 9 à 10 % poids; Mg# = 63 à 65; SiO₂ = 49 à 50 % poids; TiO₂ = 0,45 à 0,61 % poids; Zr = 20 à 28 ppm), d'andésites d'affinité transitionnelle à calco-alcaline (SiO₂ = 54 à 59 % poids; TiO₂ = 0,70 à 1,11 % poids; Zr = 67 à 125 ppm) et de volcanites felsiques d'affinité calco-alcaline (SiO₂ = 70 à 71 % poids; TiO₂ = 0,30 à 0,45 % poids; Zr = 98 à 274 ppm) (figures 5a, 5b et 5c; tableau 1).

Les unités volcaniques de la Formation de Keyano sont de composition basaltique à andésitique (figure 5d ; tableau 1). Leur affinité géochimique varie de tholéitique

à transitionnelle pour les basaltes, et de transitionnelle à calco-alcaline pour les andésites (figure 5e). Dans le diagramme de Jensen (1976), les andésites se situent plutôt dans le champ tholéitique (figure 5f) ce qui indique, comme mentionné plus haut, que ce diagramme est peu approprié pour déterminer l'affinité magmatique de ces roches. Il est aussi probable que l'altération et le métamorphisme aient joué un rôle dans la mobilité des éléments majeurs comme le magnésium et le fer.

Terres rares et éléments en trace

Groupe de Guyer

Les laves ultramafiques (komatiites et basaltes komatiitiques) du Groupe de Guyer sont caractérisées par des teneurs faibles (proches ou en dessous de la limite de détection) en éléments incompatibles à fort potentiel ionique (Zr, Th, Nb et Ta). Leurs rapports Zr/Y (2,4 à 3,6), Al₂O₃/TiO₂ (15 à 20) et Gd/Yb_{nm} (1,1 à 1,4) sont similaires à ceux des komatiites de l'Abitibi non appauvries en aluminium (Fan et Kerrich, 1997; Sproule *et al.*, 2002). Leurs teneurs en terres rares et en éléments traces montrent des profils plats (La/Yb_{nc} = 1,00 à 1,65; La/Sm_{nc} = 0,90 à 1,48) correspondant de 2 à 9 fois les chondrites (figures 6b et 6c; tableau 1).

Une analyse détaillée des spectres de terres rares montre que les basaltes du Groupe de Guyer forment deux groupes (figures 6a et 6b; tableau 1). Le premier groupe (groupe I) est caractérisé par un appauvrissement en terres rares légères par rapport aux terres rares lourdes et intermédiaires (La/Yb_{nc} = 0,54 à 0,87; La/Sm_{nc} = 0,53 à 0,94; Gd/Yb_{nc} = 0,87 à 1,12; Zr/Y = 1,8 à 2,5), correspondant de 7 à 9 fois les chondrites. Le second groupe (groupe II) provient d'un magma nettement plus évolué avec des spectres de terres rares plus enrichis que ceux du Groupe I, correspondant de 10 à 20 fois les chondrites. Ces spectres sont généralement plats (La/Yb_{nc} = 0,91 à 1,34; La/Sm_{nc} = 0,81 à 1,18; Gd/Yb_{nc} = 0,97 à 1,46; Zr/Y = 2,5 à 4,5). Le groupe II est caractérisé également par des teneurs plus élevées en TiO₂ (0,82 à 1,87 % poids) et en Zr (50 à 77 ppm) comparativement au groupe I (TiO₂ = 0,59 à 0,80 % et Zr = 26 à 44 ppm; tableau 1).

Sur le diagramme multiéléments (figure 6c), les profils des basaltes du Groupe de Guyer sont plats et se distinguent par l'absence d'anomalie négative en Nb-Ta. Certains échantillons du groupe II montrent cependant un faible enrichissement en Th. Les basaltes des deux groupes montrent des rapports Ti/Zr, Th/La_{nc} et Th/Hf relativement similaires (tableau 1), suggérant une même source mantellique relativement homogène et typique des tholéites des planchers océaniques (Fan et Kerrich, 1997).

Les andésites et les volcanites felsiques du Groupe de Guyer sont d'affinité calco-alcaline (figures 4b et 4c), ce qui se traduit par un net enrichissement en terres rares légères par rapport aux terres rares lourdes (La/Yb_{nc} = 4 à 32, La/Sm_{nc} = 2 à 7, Zr/Y = 6 à 19; figure 6b; tableau 1). Certains

échantillons de volcanites felsiques sont caractérisés par des anomalies négatives en Eu et sont nettement plus enrichis en terres rares lourdes que les andésites et les autres volcanites felsiques. Ces dernières montrent des spectres de terres rares lourdes plats, correspondant à moins de 10 fois les chondrites, nettement en dessous des spectres des basaltes. Dans le diagramme multiéléments, toutes les volcanites intermédiaires et felsiques sont caractérisées par des anomalies négatives prononcées en Nb-Ta, en Sm et en Ti ($\text{Th}/\text{La}_{\text{nc}} = 1,24$ à $2,51$; $\text{La}/\text{Sm}_{\text{nc}} = 2,60$ à 7 ; $\text{Ti}/\text{Zr} = 5$ à 34) et un plateau proéminent de Zr-Hf (figure 6c; tableau 1).

Formation de Corvette

Une analyse détaillée des spectres de terres rares montre que les basaltes de la Formation de Corvette forment deux groupes (figure 6d, tableau 1). Le premier groupe (groupe I) est appauvri en terres rares légères par rapport aux terres rares lourdes et intermédiaires ($\text{La}/\text{Yb}_{\text{nc}} = 0,57$ à $1,11$; $\text{La}/\text{Sm}_{\text{nc}} = 0,58$ à $0,91$; $\text{Gd}/\text{Yb}_{\text{nc}} = 0,99$ à $1,16$), correspondant de 6 à 10 fois les chondrites. Le second groupe (groupe II) montre un spectre de terres rares plat ($\text{La}/\text{Yb}_{\text{nc}} = 1,04$ à $1,78$; $\text{La}/\text{Sm}_{\text{nc}} = 0,93$ à $1,45$; $\text{Gd}/\text{Yb}_{\text{nc}} = 0,98$ à $1,49$), correspondant de 12 à 20 fois les chondrites. Dans l'ensemble, les basaltes du groupe II sont nettement plus enrichis en terres rares que ceux du groupe I. Cette différence est également observée au niveau des teneurs en TiO_2 et en Zr. Le second groupe est caractérisé par des teneurs plus élevées en TiO_2 (0,85 à 1,23 % poids) et en Zr (41 à 73 ppm) que celles du groupe I (TiO_2 de 0,74 à 0,81 % et Zr de 34 à 36 ppm).

Dans le diagramme multiéléments (figure 6f), le groupe I se distingue par l'absence d'anomalies en Nb-Ta, tandis que le groupe II montre de faibles anomalies négatives en Nb et en Ti, et un faible enrichissement en Th. Les basaltes des deux groupes montrent des rapports en éléments incompatibles Zr/Y, Ti/Zr, $\text{Th}/\text{La}_{\text{nc}}$ et Th/Hf relativement similaires (tableau 1).

Les andésites et les volcanites felsiques de la Formation de Corvette sont d'affinité calco-alkaline, ce qui se traduit par un important enrichissement en terres rares légères par rapport aux terres rares lourdes ($\text{La}/\text{Yb}_{\text{nc}} = 4$ à 20 ; $\text{Zr}/\text{Y} = 6$ à 12 ; figure 6e). Contrairement aux volcanites felsiques du Groupe de Guyer, celles de la Formation de Corvette ne montrent pas d'appauvrissement en terres lourdes par rapport aux basaltes et aux andésites. Dans le diagramme multiéléments (figure 6f), les andésites et les volcanites felsiques de la Formation de Corvette se caractérisent par de fortes anomalies négatives en Nb-Ta, en Sm et en Ti ($\text{Th}/\text{La}_{\text{nc}} = 0,84$ à $3,04$; $\text{La}/\text{Sm}_{\text{nc}} = 2,15$ à $4,69$; $\text{Ti}/\text{Zr} = 11$ à 48) et un plateau proéminent de Zr-Hf.

Formation de Mintisch

Les teneurs en terres rares des basaltes de la Formation de Mintisch montrent des profils faiblement appauvris en terres rares légères ($\text{La}/\text{Yb}_{\text{nc}} = 0,80$ à $0,91$; $\text{La}/\text{Sm}_{\text{nc}} = 0,86$

à $0,98$; $\text{Gd}/\text{Yb}_{\text{nc}} = 0,95$ à $0,99$), correspondant de 6 à 10 fois les chondrites (figures 7a et 7b). Ces basaltes sont également caractérisés par l'absence d'anomalies en Eu, en Ti et en Nb-Th (figure 7c).

Les andésites et les volcanites felsiques sont moyennement enrichies en terres rares légères par rapport aux terres rares lourdes ($\text{La}/\text{Yb}_{\text{nc}} = 3$ à 23 ; $\text{Zr}/\text{Y} = 4$ à 25 ; figure 7b). Dans le diagramme multiéléments (figure 7c), ces roches se caractérisent par des anomalies négatives en Nb-Ta, en Sm et en Ti ($\text{Th}/\text{La}_{\text{nc}} = 0,87$ à $1,53$; $\text{La}/\text{Sm}_{\text{nc}} = 2$ à 4 ; $\text{Ti}/\text{Zr} = 10$ à 65). Les volcanites felsiques se distinguent également par de petites anomalies en Eu et un plateau proéminent de Zr-Hf. L'échantillon de rhyodacite provenant de l'enceinte de l'indice Ouf (gîte de sulfures massifs volcanogènes) est caractérisé par le spectre le plus appauvri en terres rares lourdes de toutes les roches volcaniques du Mintisch, ainsi que par une anomalie négative Nb-Ta très prononcée, suggérant une mise en place dans un environnement d'arc océanique.

Formation de Keyano

Les basaltes de la Formation de Keyano sont nettement enrichis en terres rares légères (figures 7d et 7e) comparativement aux basaltes des autres unités volcaniques. Leurs profils sont caractérisés par une pente négative ($\text{La}/\text{Yb}_{\text{nc}} = 1,9$ à $3,2$; $\text{La}/\text{Sm}_{\text{nc}} = 1,3$ à 2 ; $\text{Gd}/\text{Yb}_{\text{nc}} = 1,3$) et l'absence d'anomalie en Eu. Leurs profils dans le diagramme multiéléments (figure 7f) montrent de faibles anomalies en Nb et en Ti ($\text{Th}/\text{La}_{\text{nc}} = 0,6$ à 1 ; $\text{Ti}/\text{Zr} = 76$ à 90).

Les andésites montrent un enrichissement en terres rares légères ($\text{La}/\text{Yb}_{\text{nc}} = 2$ à 9 ; $\text{Zr}/\text{Y} = 4$ à 10), un faible plateau de Zr-Hf et de fortes anomalies négatives en Nb-Ta et en Ti ($\text{Th}/\text{La}_{\text{nc}} = 1,04$ à 3 ; $\text{La}/\text{Sm}_{\text{nc}} = 1,6$ à 3 ; $\text{Ti}/\text{Zr} = 37$ à 57).

Comparaison avec les environnements géologiques modernes

Les komatiites du Groupe de Guyer sont classées parmi les komatiites non appauvries en aluminium. Ce type de komatiites est dérivé soit d'une faible profondeur, soit d'un degré de fusion partielle élevée (25 à 30 %) d'une péridotite à grenat (Sproule *et al.*, 2002). Leurs teneurs élevées en MgO (MgO = 16 à 38 % poids) suggèrent également qu'elles sont générées par une plume mantellique.

Toutes les données lithogéochimiques des basaltes du Groupe de Guyer sont similaires aux tholéiites des plateaux océaniques. Les figures 8a, 8b et 8c montrent clairement qu'une partie des basaltes (groupe I) du Groupe de Guyer occupe le domaine mantellique des basaltes de type N-MORB (basaltes médio-océaniques), tandis qu'une autre partie (groupe II) provient d'un magma parent qui a subi une contamination crustale lors de sa mise en place. Les rapports $\text{La}/\text{Yb}_{\text{nc}}$ (0,54 à 0,87) et $\text{La}/\text{Sm}_{\text{nc}}$ (0,53 à 0,94) des basaltes du groupe I sont également similaires à ceux des basaltes

associés aux rides océaniques éloignées des points chauds (type N-MORB, Sun et McDonough, 1989) tandis que les rapports La/Yb_{nc} (0,91 à 1,34) et La/Sm_{nc} (0,81 à 1,17) du groupe II sont intermédiaires entre les basaltes de type N-MORB et E-MORB (tholéiites enrichies dont la source a subi l'influence d'une plume mantellique). On en conclut que les basaltes du groupe I constituent un type de basaltes généralement générés par un degré élevé de fusion partielle d'une source mantellique appauvrie (Sun et McDonough, 1989; Viereck *et al.*, 1989; Richer-Lafleche *et al.*, 2000). Les basaltes du groupe II sont générés par un degré moins élevé de fusion partielle d'une source mantellique que celui à l'origine du groupe I. Ces deux types de basaltes sont présents dans la majorité des ceintures volcano-sédimentaires archéennes (Condie, 1994). En Abitibi, ils sont interstratifiés avec les laves komatiitiques (Desrochers *et al.*, 1993; Wyman *et al.*, 2002).

L'ensemble des variations en éléments en traces et de terres rares des volcanites intermédiaires et felsiques du Groupe de Guyer est similaire aux variations observées dans les environnements calco-alcalins des arcs océaniques modernes (figures 8b et 8c). Cette signature géochimique est caractéristique des zones de subduction et est associée à la contamination crustale des magmas parents (Winchester et Floyd, 1977; Wood, 1980; Pearce, 2007). En effet, les figures 8a, 8b et 8c montrent que le magma parent des volcanites intermédiaires et felsiques du Groupe de Guyer a subi une importante contamination crustale.

Les basaltes de la Formation de Corvette présentent des rapports Nb/Th, Th/Yb et Nb/Yb situés au dessus du champ mantellique indiquant une contamination crustale (figures 8d, 8e et 8f) du magma parent. La signature géochimique des volcanites intermédiaires et felsiques de la Formation de Corvette montre de fortes similitudes avec celle des volcanites et des volcanoclastites calco-alcalines des arcs océaniques modernes (figures 8d, 8e et 8f).

La Formation de Mintisch contient des basaltes tholéiitiques primitifs dont les caractéristiques lithogéochimiques sont similaires aux tholéiites des plateaux océaniques. Un des deux échantillons de basalte tombe dans le domaine mantellique occupé par les basaltes de type E-MORB, tandis que le deuxième échantillon montre une contamination crustale du magma parent (figures 9a, 9b et 9c). Les andésites et les volcanites felsiques du Mintisch montrent les mêmes variations que celles des arcs océaniques (figures 9b et 9c).

Les basaltes et les andésites de la Formation de Keyano montrent des rapports Nb/Th, Th/Yb et Nb/Yb situés au dessus du champ mantellique, indiquant une contamination crustale du magma parent (figures 9d, 9e et 9f). Les caractéristiques géochimiques de ces roches sont similaires à celles des volcanites et des volcanoclastites des arcs océaniques modernes (figures 9e et 9f).

ROCHES INTRUSIVES ARCHÉENNES

Intrusions ultramafiques

Des échantillons ont été prélevés sur les intrusions ultramafiques associées au Groupe de Guyer (22 échantillons), aux formations de Corvette (4 échantillons), de Mintisch (9 échantillons), et de Keyano (5 échantillons). Les roches analysées ont des teneurs élevées en MgO (16 à 38 % poids), en Cr_2O_3 (0,21 à 1,4 % poids), en Ni (250 à 2450 ppm), et leur Mg# varie de 70 à 88. La minéralogie normative et l'analyse des lames minces montrent que ces intrusions ultramafiques sont formées de harzburgite, de lherzolite et de webstérite. Les webstérites contiennent plus d'orthopyroxène (>50 %) que de clinopyroxène (<18 %), tandis que les harzburgites et les lherzolites contiennent de 26 à 43 % d'olivine normative. Dans le diagramme de classification de Jensen (1976; figure 10a), les intrusions ultramafiques occupent le champ des komatiites péridotitiques et des basaltes komatiitiques.

Les intrusions ultramafiques associées au Groupe de Guyer se caractérisent par un spectre de terres rares plat ($La/Yb_{nc} = 0,44$ à $1,79$; $La/Sm_{nc} = 0,51$ à $1,655$; $Gd/Yb_{nc} = 0,71$ à $1,54$), des anomalies négatives en Eu et une absence d'anomalies en Ti (figures 10b et 10c). Leurs spectres de terres rares et des éléments en traces sont presque parallèles à ceux des basaltes associés au groupe I du Groupe de Guyer, suggérant que ces roches ont été générées par la même plume mantellique qui a produit les magmas basaltiques. Il pourrait s'agir de filons-couches comagmatiques aux basaltes du Groupe de Guyer. Les anomalies négatives en Eu sont généralement interprétées comme reflétant la cristallisation et la séparation du plagioclase du magma parent. Cependant, dans ces roches ultramafiques, ces anomalies sont probablement associées à la mobilité de l'Eu lors de l'altération et non au fractionnement du plagioclase (Fan et Kerrich, 1997). En effet, les intrusions ultramafiques du Groupe de Guyer sont fortement altérées.

Les intrusions ultramafiques associées à la Formation de Corvette forment deux groupes (figures 10e et 10f) : le premier groupe est appauvri en terres rares et ne montre pas d'anomalies distinctives en Eu et le deuxième est exagérément enrichi en terres légères ($La/Yb_{nc} = 5$ à 10 ; $La/Sm_{nc} = 2,15$ à $2,50$; $Gd/Yb_{nc} = 1,76$ à $2,28$; $Zr/Y = 5,15$ à $5,75$). Il montre des anomalies négatives prononcées en Nb-Ta et en Ti suggérant une assimilation crustale et une signature d'arc insulaire. Ce dernier groupe s'injecte dans les amphibolites ou les paragneiss situés à proximité du contact entre l'Opinaca et le La Grande.

Les intrusions ultramafiques associées à la Formation de Mintisch montrent les mêmes caractéristiques géochimiques que celles des intrusions du Groupe de Guyer (figures 10b et 10c). Toutefois, certains échantillons montrent des anomalies positives en Eu qui suggèrent l'accumulation du

plagioclase. Ces roches sont également peu altérées.

Les intrusions ultramafiques associées à la Formation de Keyano ont des spectres en terres rares différents de ceux des autres intrusions (figures 10e et 10f). Ils sont caractérisés par un léger enrichissement en terres rares lourdes ($La/Yb_{nc} = 0,71$ à $1,01$; $La/Sm_{nc} = 0,58$ à $0,95$; $Gd/Yb_{nc} = 1,10$ à $1,27$), un enrichissement en La par rapport au Ce, et une absence d'anomalies en Eu et en Ti.

En comparaison avec les laves komatiitiques du Groupe de Guyer, toutes les intrusions ultramafiques étudiées sont appauvries en terres rares, mais leurs spectres sont subparallèles. L'ensemble des teneurs en terres rares se situe entre 7 et 15 fois les chondrites pour les laves komatiitiques et de 1 à 5 fois les chondrites pour les intrusions ultramafiques (figure 10b). Selon le diagramme d'environnements géotectoniques de Shervais (1982; figure 10d), l'ensemble des intrusions ultramafiques tombent dans le champ des arcs tholéiitiques. Les intrusions ultramafiques de la Formation de Corvette occupent à la fois le champ des MORB et des arcs tholéiitiques. Sur ce diagramme, les intrusions ultramafiques du Mintisch se distinguent par leur appauvrissement en Ti et en V, tandis que celles de Keyano sont les plus enrichies en ces éléments.

Le potentiel des intrusions ultramafiques en ÉGP (défini plus haut) peut être évalué en utilisant les rapports Cu/Pd et Cu/Pt (Barnes, *et al.*, 1993; figure 10g). L'avantage particulier du rapport Cu/Pd repose sur le fait que sa variation est très sensible à la ségrégation des sulfures, et qu'il n'est pas contrôlé par les oxydes ou les silicates. Les intrusions ultramafiques du Groupe de Guyer et de la Formation de Mintisch montrent des rapports Cu/Pd et Cu/Pt qui s'étendent sur l'ensemble des domaines enrichis et appauvris en ÉGP par rapport à ceux du manteau. Les intrusions associées aux formations de Corvette et de Keyano se projettent essentiellement dans le domaine appauvri, ce qui indique la ségrégation de sulfures et leur enrichissement subséquent en éléments chalcophiles tels le Ni, le Cu, le Co et en éléments du groupe du platine. La présence de certains échantillons dans le domaine enrichi suggère l'absence de ségrégation précoce de sulfures du magma parent lors de sa mise en place.

Deux échantillons appartenant à une intrusion ultramafique du Groupe de Guyer contenant des niveaux de chromitite ($Cr_2O_3 = 25\%$ poids) se situent dans le domaine appauvri du diagramme (figure 10g) et se distinguent par des rapports Cu/Pt (45500 à 49500) et Cu/Pd (11000 à 15000) parmi les plus élevés. Le potentiel de cette intrusion est également souligné par la présence de niveaux riches en sulfures ($S \sim 5\%$ poids) associés à des teneurs élevées en Cu (5938 ppm), en Ni (2178 ppm), en Au (3096 ppb), en Pd (1061 ppb) et en Pt (51 ppb) (numéro échantillon SGDAC : 2011053126 et 2011053127).

Le potentiel des intrusions ultramafiques pour les minéralisations en Ni-Cu-ÉGP, et plus particulièrement pour celles se situant dans le domaine appauvri, est rehaussé par leur association spatiale avec des bassins sédimentaires. Ces

derniers pourraient servir de source pour le soufre nécessaire à la saturation en sulfures du magma parent ultramafique. Certaines de ces intrusions montrent également une contamination crustale, un facteur qui influence positivement la saturation du magma parent en sulfures.

Complexe de Langelier et Pluton de poste Le Moyne

Le Complexe de Langelier (9 échantillons) et le Pluton de poste Le Moyne (2 échantillons) représentent une suite d'intrusions felsiques de type TTG (tonalite-trondhjemite-granodiorite) dominée par des tonalites. Des diagrammes binaires d'oxydes majeurs en fonction du SiO_2 (figures 11a, 11b, 11c, 11d, 11e et 11f) montrent qu'il s'agit d'une suite continue, dont la composition en MgO , en $Fe_2O_3^{Total}$, en TiO_2 , en K_2O , en CaO et en P_2O_5 est intermédiaire entre les intrusions felsiques tardives (Granite du Vieux Comptoir, Pluton de Fontay) riches en SiO_2 et les intrusions monzodioritiques et monzonitiques (Suite de Bezier) plus magnésiennes, plus ferrifères et généralement plus riches en TiO_2 . Les roches du complexe de Langelier et du Pluton de poste Le Moyne sont typiquement métalumineuses et de type I (figure 12a). Les diagrammes de classification paléotectonique suggèrent qu'elles correspondent aux granites d'arcs volcaniques générés le long des marges continentales actives ou dans les zones volcaniques intraplaques (figures 12b et 12c). Leurs rapports d'éléments fortement incompatibles (Th/Yb et Nb/Yb), situés au dessus du champ mantellique, suggèrent un apport d'une source crustale à différents degrés (figure 12d). Sur les diagrammes des terres rares et multi-éléments (figures 13a et 13b), la suite TTG du Complexe de Langelier montre des profils bien fractionnés, avec des maxima en Cs, des anomalies négatives en Nb-Ta, Sm et Ti, de faibles anomalies positives en Zr-Hf, ainsi qu'une absence d'anomalie en Eu. Comparativement au Complexe de Langelier, les tonalites du Pluton de poste Le Moyne sont nettement moins fractionnées, plus enrichies en terres lourdes et présentent des anomalies positives en Eu.

Intrusion de Moly

La tonalite (19 échantillons) et la granodiorite (4 échantillons) de l'Intrusion de Moly sont des roches métalumineuses à peralumineuses de type I, associées à des marges continentales actives ou à des zones volcaniques intraplaques (figures 12a, 12b, 12c et 12d). La granodiorite se distingue nettement de la tonalite par ses teneurs élevées en MgO , K_2O , TiO_2 et P_2O_5 (figures 11a, 11d et 11f). Alors que les teneurs en oxydes majeurs des tonalites et des granodiorites du Complexe de Langelier sont comparables à celles des tonalites et des granodiorites de l'Intrusion de Moly (figures 11a à 11f), l'ensemble des éléments de terres rares et des éléments en traces affichent des différences remarquables (figures 13a, 13b, 13c et 13d). Sur les diagrammes des terres

rare et multiéléments (figures 13c et 13d), les tonalites de l'Intrusion de Moly sont caractérisées par des anomalies négatives en Eu, Ti, Sm, Sr, Nb et Ba, et des spectres plats en terres rares lourdes et intermédiaires. Les granodiorites de l'Intrusion de Moly sont marquées par l'absence d'anomalies en Eu et par des anomalies positives en Sr.

Suite de Bezier

La Suite de Bezier (8 échantillons) est formée de monzodiorite quartzifère et de monzonite quartzifère formant une série magmatique évolutive différente de celle des TTG décrite ci-dessus dans le Complexe de Langelier. Ces roches sont généralement plus enrichies en MgO, Fe₂O_{3t}, TiO₂, K₂O, CaO et P₂O₅ (figures 11a, 11b, 11c, 11d, 11e et 11f) que celles du Complexe de Langelier ou de l'Intrusion de Moly. Il s'agit de roches métallumineuses (figure 12a). Les monzonites montrent des teneurs plus faibles en TiO₂ et Fe₂O_{3t} (TiO₂ < 0,6 %, Fe₂O_{3t} < 7 %; figures 11b et 11c) que les monzodiorites, ainsi que des rapports Al₂O₃/(Na₂O+K₂O) plus faibles (figure 12a).

Sur les diagrammes des terres rares et multiéléments, les monzodiorites quartzifères sont appauvries en terres rares légères par rapport aux monzonites quartzifères (figure 13e), et elles se distinguent par l'absence d'anomalie négative en Ti et par de faibles anomalies négatives en Nb-Ta (figure 13f), suggérant l'absence de contamination crustale. Les monzodiorites quartzifères sont comparables aux MORB enrichis ou légèrement contaminés par la croûte (E-MORB; figure 12d) et aux intrusions associées à des zones volcaniques intraplaques (figure 12c). Les monzonites quartzifères se distinguent par des anomalies négatives plus prononcées en Ti (figure 13f), ainsi que par des rapports Th/Yb situés au-dessus des valeurs mantelliques et interprétés comme étant le résultat d'une contamination crustale (figure 12d). Leurs rapports Th/Ta élevés (Th/Ta > 15; figure 12c) suggèrent également que les monzonites quartzifères de la Suite de Bezier sont associées aux marges continentales actives.

Intrusion de syénite

Une intrusion de syénite (2 échantillons) à feldspath alcalin est caractérisée par de fortes teneurs en MgO, en K₂O et en P₂O₅ (figures 11a, 11d et 11f). De toutes les roches intrusives analysées, c'est celle qui affiche les plus faibles rapports Al₂O₃/[Na₂O+K₂O] et Al₂O₃/[CaO+Na₂O+K₂O] (figure 12a) et les rapports Th/Ta parmi les plus élevés (figure 12c). Il s'agit de roches typiquement métallumineuses, générées dans un environnement similaire à celui des arcs océaniques ou dans les marges continentales actives modernes (figures 12a et 12c). La syénite partage plusieurs traits géochimiques avec les monzonites de la Suite de Bezier, autant au niveau des teneurs en oxydes majeurs qu'au niveau des teneurs en terres rares et en éléments en traces. La syénite affiche des spectres fortement enrichis en terres rares légères (figure 13e), tandis que les spectres

multiéléments montrent des anomalies négatives prononcées en Nb-Ta et en Ti (figure 13f), suggérant une contamination crustale et une mise en place dans un environnement d'arcs volcaniques.

Pluton de Fontay

Le Pluton de Fontay est formé de granite et de granodiorite, mais seul un échantillon de granite a été considéré dans l'étude. Il montre les mêmes caractéristiques géochimiques que les granites du Granite du Vieux Comptoir (voir plus bas), avec un rapport Th/Yb très élevé (figure 12d). L'échantillon se situe à la limite des champs des granites d'arcs volcaniques et des intrusions granitiques syncollisionnelles (figure 12b; Pearce *et al.*, 1984).

Pluton de Nochet

Le Pluton de Nochet (5 échantillons) est formé de granite et de granodiorite dont la composition en oxydes majeurs est comparable à celle des granites du Vieux Comptoir, très riches en SiO₂, mais fortement appauvris en MgO, Fe₂O_{3t}, TiO₂, CaO et P₂O₅ (figures 11a, 11b, 11c, 11e et 11f). Ces roches sont typiquement peralumineuses, de type I ou S, et associées aux marges continentales actives (figures 12a et 12c). Un des échantillons tombe dans le champ des granites syncollisionnels (figure 12b) et dans celui des granites de type S. Sur les diagrammes des terres rares et des multiéléments (figures 13g et 13h), le Pluton de Nochet est caractérisé par un profil des terres rares lourdes plat ou concave, un appauvrissement en terres rares lourdes, des anomalies positives en Eu et des anomalies négatives en Nb-Ta, en Sm et en Ti. Ces données lithogéochimiques permettent de distinguer clairement le Pluton de Nochet des autres intrusions granitiques de Fontay et du Vieux Comptoir.

Granite du Vieux Comptoir

Le Granite du Vieux Comptoir (6 échantillons) est formé de granite, de granite à feldspath alcalin, de trondhjémite et localement de granodiorite. Les diagrammes de la figure 11 montrent que ces roches sont parmi les plus riches en SiO₂ et les plus pauvres en MgO, Fe₂O_{3t}, TiO₂, CaO et P₂O₅. Elles sont peralumineuses et principalement de type S (figure 12a). Les diagrammes de discrimination paléotectonique montrent que ce type de granite est généré dans un environnement d'arcs volcaniques ou dans des zones volcaniques intraplaques (figures 12b et 12c). Ces roches montrent généralement des rapports Th/Yb et Nb/Yb très élevés (figure 12d). Sur les profils des terres rares et des multiéléments (figures 13g et 13h), le Granite du Vieux Comptoir se distingue par de fortes anomalies négatives en Eu, en Nb-Ta, en Sr et en Ti.

Un échantillon particulier de granite blanc à feldspath alcalin, présent sous forme de dykes ou de filons-couches au sein de la séquence basaltique du Groupe de Guyer, tombe

dans le champ des granites intraplaques (figure 12b), champ associé aux intrusions anorogéniques et aux zones d'extension. Cet échantillon tombe également dans le domaine mantellique des basaltes d'îles en arcs (OIB, figure 12d). Ceci suggère que ce type de granite blanc communément observé dans les roches volcano-sédimentaires est issu de la fusion d'une source mantellique enrichie.

DYKES MAFIQUES NÉOARCHÉENS ET PALÉOPROTÉROZOÏQUES

La région comprend l'Essaim de dykes de Mistassini (néoarchéen) et les dykes paléoprotérozoïques du Lac Esprit et de Senneterre. Historiquement, la nomenclature des dykes mafiques (communément appelés diabase) a été établie en fonction de leur orientation géographique, de leur paléomagnétisme et des datations U-Pb. Or, certains dykes d'âges différents peuvent avoir la même orientation. Ainsi, l'Essaim de dykes de Mistassini (2515 ±3 Ma; Hamilton, 2009) et les Dykes du Lac Esprit (2069 ±1 Ma; Hamilton *et al.*, 2001) sont d'orientation similaire, soit NW-SE à NNW-SSE. Les dykes orientés NE-SW sont assignés aux Dykes de Senneterre dont l'âge est estimé à 2216 +8/-4 Ma (Buchan *et al.*, 2007). La présente étude montre qu'une analyse géochimique détaillée permet de différencier ces trois essaïms de dykes mafiques sans recourir aux datations géochronologiques beaucoup plus coûteuses. Les analyses qui ont fait l'objet d'une étude par Buchan *et al.* (2007), dont celles des Dykes de Shpogan et l'Essaim de dykes de Matachewan présents dans la Sous-province de La Grande, sont également présentées à titre de comparaison.

L'Essaim de dykes de Mistassini (6 échantillons et 3 autres étudiés par Buchan *et al.*, 2007) est constitué de dykes de norite et de gabbronorite. Il se distingue nettement des essaïms de dykes paléoprotérozoïques par des concentrations élevées en TiO₂ (2 à 3,4 %), en P₂O₅ (0,34 à 0,97 %) et par de faibles valeurs en MgO (3,5 à 5 %) et en Cr (24 à 42 ppm; figures 14a, 14b, 14c et 14d). Cette distinction est également observée sur le diagramme V versus Ti/1000 (figure 14e) où seuls les échantillons de l'Essaim de dykes de Mistassini tombent dans le champ alcalin, avec des rapports Ti/V supérieurs à 50. L'Essaim de dykes de Mistassini affiche une affinité magmatique transitionnelle à calco-alcaline (figure 14g), avec des rapports Zr/Y et Th/Yb qui varient de 4,19 à 6,18, et de 0,38 à 1,33, respectivement. Toutefois, dans le diagramme de Jensen (1976, figure 14f), cet essaïm tombe dans le champ des tholéiites ferrifères, probablement à cause d'un enrichissement en FeO_t et TiO₂.

Les éléments en traces La et Th (figure 15a) et les rapports Th/Yb versus Nb/Yb (figure 15b) ont permis de faire une meilleure distinction entre les différents essaïms de dykes mafiques néoarchéens et paléoprotérozoïques. L'Essaim

de dykes de Mistassini est le plus enrichi en La par rapport au Th. Sur les profils multiéléments et les profils des terres rares, les dykes de l'Essaim de dykes de Mistassini sont caractérisés par le plus important enrichissement en terres rares légères (La/Yb_{nc} = 4,42 à 12,35) et en terres rares intermédiaires (Gd/Yb_{nc} = 1,51 à 2,74), et par de faibles anomalies négatives en Nb-Ta (figures 16a, 16b, 16e et 16f). Les anomalies en Ti sont absentes ou très faibles ce qui suggère une contamination crustale limitée ou absente. L'hypothèse et l'ampleur d'assimilation de matériel crustal peuvent être testées sur les diagrammes La versus Th et Th/Yb versus Nb/Yb (figures 15a et 15b). L'Essaim de dykes de Mistassini est proche du champ mantellique, entre les basaltes médio-océaniques enrichis (E-MORB) et les basaltes d'arcs insulaires (OIB; figure 15b). Ces diagrammes, ainsi que celui de Wood (1980) (figures 15c et 15d), indiquent que le degré de contamination crustale des dykes de l'Essaim de dykes de Mistassini est intermédiaire entre celui des Dykes de Senneterre (le plus élevé, associé au champ des roches différenciées calco-alcalines) et celui des Dykes du Lac Esprit (le plus faible, associé au champ des roches différenciées tholéiitiques ou des basaltes médio-océaniques de type « E » (E-MORB)).

Les Dykes de Senneterre (4 échantillons et 6 autres étudiés par Buchan *et al.*, 2007) sont formés de gabbronorite et de gabbro, d'affinité calco-alcaline (Zr/Y de 3,23 à 6,27; Th/Yb = 1,18 à 2,17; figure 14e). Les études lithogéochimiques de Buchan *et al.* (2007) permettent de subdiviser cet essaïm en deux groupes. Le groupe I est caractérisé par des concentrations élevées en MgO et en Cr, et très faibles en TiO₂ et en P₂O₅ (figures 14a, 14b, 14c et 14d). Le groupe II (un seul échantillon) montre des teneurs en éléments majeurs comparables à celles des Dykes du Lac Esprit (figures 14a, 14b, 14c, 14d, 14e et 14f). Il est toutefois nettement calco-alcalin, tout comme le groupe I, alors que les Dykes du Lac Esprit sont tholéiitiques à transitionnels (figures 14e et 14g). Les Dykes de Senneterre se distinguent également des dykes du Lac Esprit par un plus fort enrichissement en Th par rapport au La (figure 15a) et de tous les autres dykes mafiques par des rapports Th/Yb plus élevés (figure 15b).

Sur les profils multiéléments et des terres rares (figures 16c, 16d, 16g et 16h), le groupe I des Dykes de Senneterre est caractérisé par un profil plat des terres rares lourdes (Gd/Yb_{nc} = 0,93 à 0,97), un enrichissement en terres rares légères (La/Yb_{nc} = 2,56 à 2,82) et une anomalie négative prononcée en Eu. Le groupe II se distingue du premier par un enrichissement prononcé en terres lourdes (Gd/Yb_{nc} = 1,55 à 2,39) et en terres rares légères (La/Yb_{nc} = 3,75 à 7,17) et une faible anomalie négative en Eu.

Tous les échantillons des Dykes de Senneterre se distinguent par des anomalies négatives prononcées en Nb-Ta et en Ti (figures 16c, 16d, 16g et 16h). Il en résulte que les Dykes de Senneterre affichent les rapports Th/Yb (1,18 à 2,21; figure 15b), Th/Hf (0,79 à 1,58) et Th/La_{cn} (2,12 à 3,03) nettement plus élevés que ceux des autres dykes mafiques, tandis que ses rapports Nb/Th (1,20 à 2,93) sont

les plus faibles. À titre de comparaison, les rapports Th/Yb et Th/La_{cn} des échantillons des Dykes du Lac Esprit varient de 0,17 à 0,58, et de 0,32 à 0,87, respectivement. Pour l'Essaim de dykes de Mistassini, ces mêmes rapports varient de 0,36 à 1,28 de 0,48 à 0,80, respectivement. Ces résultats suggèrent que les Dykes de Senneterre sont ceux qui ont subi la plus forte contamination crustale. Cette contamination est également observée sur les diagrammes Th-Hf/3-Ta, où ces dykes occupent le champ des basaltes calco-alcalins (figures 15c et 15d).

Les Dykes du Lac Esprit (13 échantillons et 19 autres étudiés par Buchan *et al.*, 2007) sont exclusivement formés de gabbro-norite d'affinité tholéiitique à transitionnelle (Zr/Y = 2,65 à 4,84; Th/Yb = 0,17 à 0,59; figure 14g). Ils montrent une composition chimique globale (MgO = 4 à 8 %; TiO₂ = 1,2 à 2,9 %; Cr = 80 à 154 ppm; P₂O₅ = 0,07 à 0,68 %) intermédiaire entre la composition du groupe I fortement magnésien des Dykes de Senneterre et celle de l'Essaim de dykes de Mistassini (figures 14a, 14b, 14c, 14d et 14f). Les échantillons de Dykes du Lac Esprit sont également caractérisés par des rapports Ti/V situés entre 20 et 50 (figure 14e), qui les différencient nettement de ceux de l'Essaim de dykes de Mistassini dont les rapports Ti/V sont supérieurs à 50.

Les études lithogéochimiques de Buchan *et al.* (2007) permettent de subdiviser les Dykes du Lac Esprit en deux groupes. Le groupe I est d'affinité tholéiitique (Zr/Y = 2,65 à 2,95; Th/Yb = 0,17 à 0,20), tandis que le groupe II est d'affinité transitionnelle (Zr/Y = 3,26 à 4,84; Th/Yb = 0,27 à 0,59). Le groupe I est généralement plus riche en MgO et en Cr, et plus faible en TiO₂ et en P₂O₅ que le groupe II (figures 14a, 14b, 14c et 14d). Sur les profils multiéléments et les profils des terres rares (figures 16c, 16d, 16g et 16h), le premier groupe est caractérisé par un profil plat de terres rares (La/Yb_{nc} = 1,28 à 1,64), tandis que le groupe II est marqué par un enrichissement en terres rares légères (La/Yb_{nc} = 2,30 à 6,40).

Sur les profils multiéléments (figures 16c et 16g), tous les échantillons des Dykes du Lac Esprit sont caractérisés par l'absence d'anomalies en Nb-Ta et en Ti, suggérant l'absence de contamination crustale du magma parent. Les faibles rapports Th/Yb (0,17 à 0,58) sont également caractéristiques d'une absence ou d'une faible contamination crustale. Sur les diagrammes Th/Yb versus Nb/Yb et Th-Hf/3-Ta (figures 15b, 15c et 15d), la plupart des échantillons tombent dans le champ défini par les basaltes des rides médio-océaniques enrichis (E-MORB, figure 15b). Tous ces résultats suggèrent que les Dykes du Lac Esprit sont issus de la fusion partielle d'une source mantellique enrichie, reflétant une composante recyclée de sédiments ou de croûte océanique dans le manteau (Condie, 1997).

CONCLUSION

Cette étude a permis de mettre en évidence les principales caractéristiques géochimiques des principales unités volcaniques et intrusives de la région des lacs Guyer et Nochet. Les roches volcaniques mafiques du Groupe de Guyer et de la Formation de Corvette sont formées de deux groupes de basaltes tholéiitiques. Les groupes I de chacune de ces unités sont caractérisés par un appauvrissement en terres rares légères par rapport aux terres rares lourdes ainsi que de faibles teneurs en Ti et en Zr et se comparent aux basaltes des rides médio-océaniques de type N-MORB. Les groupes II montrent des spectres de terres rares plats, des teneurs plus élevées en Ti et en Zr et se comparent plutôt aux basaltes transitionnels des planchers océaniques modernes.

On observe une différence majeure entre l'ensemble des volcanites intermédiaires et felsiques du Groupe de Guyer et celui de la Formation de Corvette. Les volcanites intermédiaires sont rares dans le Groupe de Guyer, alors que dans la Formation de Corvette, elles forment plus de la moitié d'une suite continue de basalte à rhyodacite. Les volcanites intermédiaires et felsiques du Groupe de Guyer forment un ensemble fortement différencié et montrent des spectres de terres rares lourdes plats à concaves, dont les rapports sont souvent en dessous de ceux des basaltes. À l'opposé, celles de la Formation de Corvette montrent des spectres de terres rares lourdes plats, similaires à ceux des basaltes associés. Finalement, les volcanites intermédiaires et felsiques de ces deux unités affichent des anomalies négatives en Nb-Th et en Ti, suggérant une mise en place dans des environnements géotectoniques calco-alcalins comparables à ceux des arcs océaniques modernes, et où les processus de subduction seraient impliqués à différents degrés.

La Formation de Mintisch est essentiellement composée de tholéiites magnésiennes, d'andésites d'affinité transitionnelle à calco-alcaline, et de volcanites felsiques calco-alcalines. Les tholéiites magnésiennes sont comparables à celles des plateaux océaniques, tandis que les andésites et les volcanites felsiques sont générées dans des environnements d'arcs volcaniques. Certaines roches volcaniques felsiques contiennent des minéralisations de sulfures massifs volcanogènes. Il s'agit de roches fortement appauvries en terres rares lourdes et caractérisées par des anomalies négatives en Eu.

La Formation de Keyano contient des bandes de basaltes tholéiitiques à transitionnels et d'andésites transitionnelles à calco-alcalines dont le magma parent a subi une forte contamination crustale.

Plusieurs intrusions mafiques et ultramafiques, associées au Groupe de Guyer et à la Formation de Mintisch, présentent des spectres de terres rares parallèles à ceux

des basaltes, suggérant qu'elles représentent de possibles intrusions comagmatiques. Les intrusions ultramafiques associées à la Formation de Corvette forment deux groupes : le premier est comagmatique aux basaltes, et le second est fortement enrichi en terres rares légères et présente une signature d'arc insulaire.

Le potentiel économique de ces intrusions ultramafiques est rehaussé par leur association spatiale avec des bassins de roches sédimentaires. L'une d'elles, associée au Groupe de Guyer, présente des niveaux de chromitite et de sulfures enrichis en Ni-Cu-ÉGP.

Le Complexe de Langelier et le Pluton de poste Le Moyne sont composés d'une suite d'intrusions felsiques de type TTG (Tonalite-Trondhjemite-Granodiorite), peralumineuses à métalumineuses. L'Intrusion de Moly est formée de tonalite et de granodiorite métalumineuses à peralumineuses de type I, générées dans des environnements similaires à ceux des marges continentales actives ou dans des zones volcaniques intraplaques. La Suite de Bezier est constituée d'intrusions métalumineuses de composition intermédiaire (monzodiorite quartzifère et monzonite quartzifère), associées aux zones volcaniques intraplaques, et localement aux marges continentales actives. Le Pluton de Nochet se compose de granite et de granodiorite typiquement peralumineux, de type I ou S, associés aux marges continentales actives. L'intrusion de syénite est formée de roches métalumineuses associées à des environnements à la limite entre les arcs volcaniques et les marges continentales actives.

Le Granite du Vieux Comptoir se distingue nettement des autres intrusions de la région autant au niveau des oxydes majeurs que des éléments traces. Au niveau des terres rares, il est caractérisé par des anomalies négatives en Eu très prononcées. Le Granite du Vieux Comptoir est typiquement de type S, peralumineux à localement métalumineux. Il est généré dans des environnements similaires à ceux des arcs volcaniques ou dans des zones volcaniques intraplaques.

Le traitement lithogéochimique des dykes mafiques a permis de faire une distinction entre les différents essaïms de dykes néoarchéens à paléoproterozoïques de la région. L'Essaim de dykes de Mistassini, d'affinité calco-alkaline, se distingue par de faibles teneurs en MgO et des concentrations élevées en TiO₂ et P₂O₅. À l'opposé, les Dykes de Senneterre sont d'affinité transitionnelle à calco-alkaline. Ils sont caractérisés par des concentrations élevées en MgO et en Cr, et par de faibles teneurs en P₂O₅. Les Dykes du Lac Esprit, d'affinité tholéïitique à transitionnelle, montrent une composition chimique globale intermédiaire entre les dykes de Mistassini et ceux de Senneterre. Les rapports des éléments incompatibles (La versus Th, Th/Yb versus Nb/Yb) ont permis de faire une meilleure distinction entre les différents essaïms de dykes mafiques. L'Essaim de dykes de Mistassini est le plus enrichi en La par rapport au Th. À l'opposé, les Dykes de Senneterre se distinguent par un fort enrichissement en Th par rapport au La, et les rapports Th/Yb les plus élevés.

RÉFÉRENCES

- BARNES, S.-J. - COUTURE, J.-F. - POITRAS, A. - TREMBLAY, C., 1993 - Les éléments du groupe du platine dans la partie québécoise de la ceinture de roches vertes de l'Abitibi. Ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec; ET 91-04, 100 pages.
- BANDYAYERA, D. - BURNIAUX, P. - MORFIN, S., 2011 - Géologie de la région du lac Brune (33G07) et de la Baie Gavaudan (33G10). Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Québec; RP 2011-01, 25 pages, 2 cartes.
- BANDYAYERA, D. - BURNIAUX, P. - CHAPON, B., 2013 - Géologie de la région du lac Magin (33G09), de la colline Captel (33G15) et du lac Fontay (33G16), Baie-James, Québec. Ministère des Ressources naturelles, Québec; RP 2013-01, 32 pages, 3 cartes.
- BUCHAN, K.L. - GOUTIER, J. - HAMILTON, M.A. - ERNEST, R.E. - MATTHEWS, W.A., 2007 - Paleomagnetism, U-Pb geochronology, and geochemistry of Lac Esprit and other dyke swarms, James Bay area, Quebec, and implications for paleoproterozoic deformation of the Superior Province. *Canadian Journal of Earth Sciences*; volume 44, pages 643-664.
- CAMIRÉ, G.E. - LUDDEN, J.N. - LA FLÈCHE, M.R. - BURG, J.-P., 1993 - Mafic and ultramafic amphibolites from the north-western Pontiac Subprovince: chemical characterization and implications for tectonic setting. *Canadian Journal of Earth Sciences*; volume 30, pages 1110-1122.
- CHAPON, B., 2011 - Le porphyre archéen à Mo-Cu ± Au de Tilly, Baie-James, Québec. Université du Québec à Montréal, Québec; Mémoire présenté comme exigence partielle de la maîtrise en sciences de la terre, 112 pages.
- CHAPPELL, B.W. - WHITE, A.J.R., 1974 - Two Contrasting Granite Types. *Pacific Geology*; volume 8, pages 173-174.
- CONDIE, K.C., 1994 - Greenstone through time. *In: Archean crustal evolution*, (Condie K.C., editor). *Developments in Precambrian Geology*; volume 11, pages 85-120.
- CONDIE, K.C., 1997 - Sources of proterozoic mafic dyke swarms: constraints from Th/Ta and La/Yb ratios. *Precambrian research*; volume 81, pages 3-14.
- DAVID, J. - SIMARD, M. - BANDYAYERA, D. - GOUTIER, J. - HAMMOUCHE, H. - PILOTE, P. - LECLERC, F. - DION, C., 2012 - Datations U-Pb effectuées dans les provinces du Supérieur et de Churchill en 2010-2011. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Québec; RP 2012-01, 33 pages.
- DAVIS, D.W. - DION, C., 2012 - Datations LA-ICPMS d'échantillons recueillis en 2011-2012 par Géologie Québec. Ministère des Ressources naturelles, Québec; GM 66575, 49 pages.
- DAVIS, D.W., en préparation - Rapport intérimaire sur la datation LA-ICPMS de zircon des roches du Québec. Department of Earth Sciences, University of Toronto.
- DESROCHERS, J.-P. - HUBERT, C. - LUDDEN, J. - PILOTE, P., 1993 - Accretion of Archean oceanic plateau fragments in the Abitibi greenstone belt, Canada. *Geology*; volume 21, pages 451 à 454.
- FAN, J. - KERRICH, R., 1997 - Geochemical characteristics of aluminium depleted komatiites and HREE-enriched low-Ti tholeiites, western Abitibi greenstone belt: A heterogeneous mantle plume-convergent margin environment. *Geochemica et Cosmochimica Acta*; volume 61, pages 4723-4744.

- GOUTIER, J. - DION, C. - OUELLET, M.-C. - DAVID, J. - PARENT, M., 2000 - Géologie de la région des lacs Guilaumat et Sakami (33F/02 et 33F/07). Ministère des Ressources naturelles; RG99-15, 41 pages.
- GOUTIER, J. - DION, C. - OUELLET, M.-C. - DAVIS, D.W. - DAVID, J. - PARENT, M., 2002 - Géologie de la région du lac Guyer (33G/05, 33G/06 et 33G/11). Ministère des Ressources naturelles, Québec; RG 2001-15, 53 pages, 3 cartes.
- GOUTIER J. - BURNIAUX P. - DION, C. - GIGON J. - TALLA TAJAM, F. - CHARTIER-MONTREUIL, W. - BANDYAYERA, D. en préparation - Géologie de la région des lacs Nochet et Pelletan. Ministère des Ressources naturelles, Québec.
- HAMILTON, M.A., 2009 - Datation isotopique (U-Pb) d'un diabase de l'Essaim de dykes de Mistassini, Québec. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Québec; GM 65972, 13 pages.
- HAMILTON, M.A. - GOUTIER, J. - MATTHEWS, W.A., 2001 - U-Pb baddeleyite age for the paleoproterozoic Lac Esprit dyke swarm, James Bay region, Quebec. Geological Survey of Canada, Radiogenic and Isotopic Studies; Report 14, Current research, volume 2001-F5, pages 1-6.
- ISHIKAWA, Y. - SAWAGUCHI, T. - IWAYA, S. - HORIUCHI, M., 1976 - Delineation of prospecting targets for Kuroko deposits based in modes of volcanism of underlying dacite and alteration halos. Mining geology; volume 26, pages 105-117.
- JENSEN, L.S., 1976 - A New Cation Plot for Classifying Subalkalic Volcanic Rocks. Ontario Division of Mines; miscellaneous paper 66, 22 pages.
- LAFLÈCHE, M.R. - DUPUY, C. - BOUGAULT, H., 1992 - Geochemistry and petrogenesis of archean mafic volcanic rocks of the southern Abitibi Belt, Québec. Precambrian research; volume 57, pages 207-241.
- LE MAITRE, R.W. - BATEMAN, P. - DUDEK, A. - KELLER, J. - LAMEYRE, J. - LE BAS, M.J. - SABINE, P.A. - SCHMID, R. - SORENSEN, H. - STREKEISEN, A. - WOOLLEY, A.R. - ZANETTIN, B., 1989 - A classification of igneous rocks and glossary of terms: Recommendations of the International Union of Geological Sciences, subcommission on the Systematics of Igneous Rocks. Blackwell Scientific publications, Oxford, united kingdom; 193 pages.
- LUDDEN, J. - GÉLINAS, L. - TRUDEL, P., 1982 - Archean meta-volcanics from the Rouyn-Noranda district, Abitibi greenstone belt, Québec. Mobility of trace elements and petrogenetic constraints. Canadian Journal of Earth Sciences; volume 19, pages 2276-2287.
- MACLEAN, W.H. - BARRETT, T.J., 1993 - Litho-geochemical techniques using immobile elements. Journal of Geochemical Exploration; volume 48, pages 109-133.
- MANIAR, P.D. - PICCOLI, P.M., 1989 - Tectonic discrimination of granitoids. Geological Society of America Bulletin; volume 101, pages 635-643.
- MORTENSEN, J.K. - 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 Radiometric Age and Isotopic Studies: Rapport 1. Geological Survey of Canada; Paper 87-2, pages 129-134.
- PEARCE, J.A., 2007 - Geochemical fingerprinting of oceanic basalts with applications to ophiolite classification and the search for archean oceanic crust. Lithos; volume 100, pages 14-48.
- PEARCE, J.A. - HARRIS, B.W. - TINDLE, A.G., 1984 - Trace element discrimination diagram for tectonic interpretation of granitic rocks. Journal of Petrology; volume 25, pages 956-983.
- RICHER-LAFLÈCHE, M. - MOORHEAD, J. - GOUTIER, J. - FALLARA, F., 2000 - Géochimie des roches volcaniques et des formations de fer du Groupe de Yasinski, Sous-province de La Grande. Ministère des Ressources naturelles, Québec; MB 2000-13, 75 pages.
- ROSS, P.-S. - BÉDARD, J.H., 2009 - Magmatic affinity of modern and ancient subalkaline volcanic rocks determined from trace-element discriminant diagrams. Canadian Journal of Earth Sciences; volume 46, pages 823-839.
- SCHANDL, E.S. - GORTON, M.P., 2002 - Application of high field strength elements to discriminate tectonic settings in VMS environments. Economic Geology; volume 97, pages 629-642.
- SHAND, S.J., 1974 - Eruptive Rocks: Their Genesis, Composition, Classification, and their Relation to Ore-Deposits. John Wiley and Sons, New York; 488 pages
- SHERVAIS, J.W., 1982 - Ti-V plots and petrogenesis of modern and ophiolitic lavas. Earth and planetary Science Letters; volume 57, pages 101-118.
- SIMARD, M. - LAFRANCE, I., 2011 - Géologie de la région du lac Kinglet (SNRC 33J-33K01 et 33K02). Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Québec; RG 2011-05, 47 pages.
- SPROULE, R.A. - LESHNER, C.M. - AYER, J.A. - THURSTON, P.C. - HERZBERG, C.T., 2002 - Spatial and temporal variations in the geochemistry of komatiites and komatiitic basalts in the Abitibi greenstone belt. Precambrian research; volume 115, pages 153-186.
- ST. SEYMOUR, K. - TUREK, A. - DOIG, R. - KUMARAPALI, S. - FOGAL, R., 1989 - First U-Pb zircon ages of granitoid plutons from the La Grande greenstone belt, James Bay area, New Quebec. Canadian Journal of Earth Sciences; volume 26, pages 1068-1073.
- SUN, S.-S. - MCDONOUGH, W.F., 1989 - Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts : implications for mantle composition and processes. In: Magmatism in the ocean basins (A.D. Saunders and M.J. Norry, editors). Geological society of London. Special Publication ; volume 42, pages 313-345.
- VIERECK, L.G. - FLOER, M.F.J. - HERTOGEN, J. - SCHMICKÉ, H.V. - JENNER, G.A., 1989 - The genesis and significance of N-MORB sub-types. Contributions to Mineralogy and Petrology; volume 102, pages 112-126.
- WINCHESTER, J.A. - FLOYD, P.A., 1977 - Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. Chemical Geology; volume 20, pages 325-343.
- WOOD, D.A., 1980 - The application of a Th-Hf-Ta diagram to problems of tectonomagmatic classification and to establishing the nature of crustal contamination of basaltic lavas of the British Tertiary volcanic province. Earth and Planetary Science Letters; volume 50, pages 11-30.
- WYMAN, D.A. - KERRICH, R. - POLAT, A., 2002 - Assembly of archean cratonic mantle lithosphere and crust: plume-arc interaction in the Abitibi-Wawa subduction-accretion complex. Precambrian research; volume 115, pages 37-62.

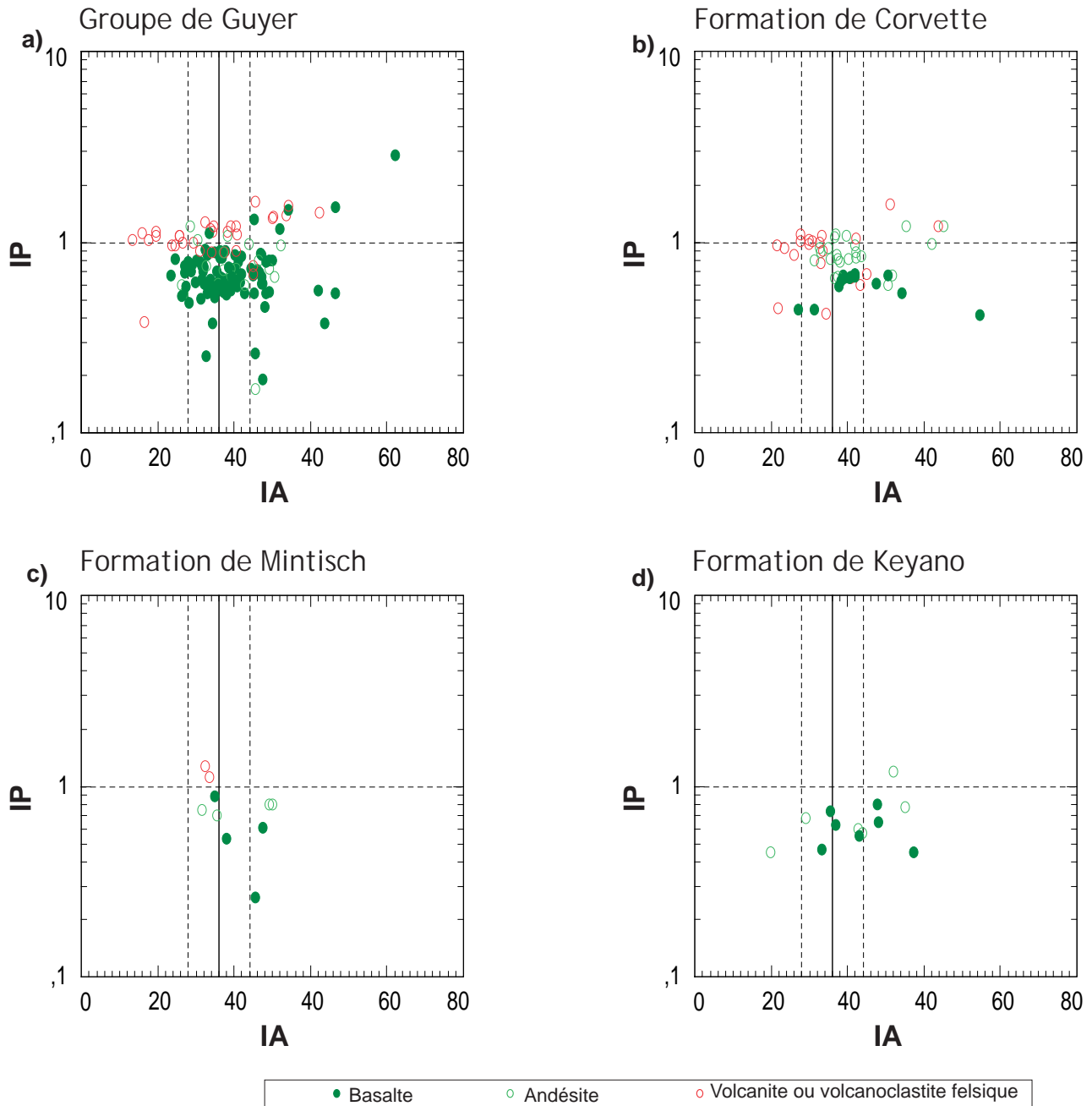
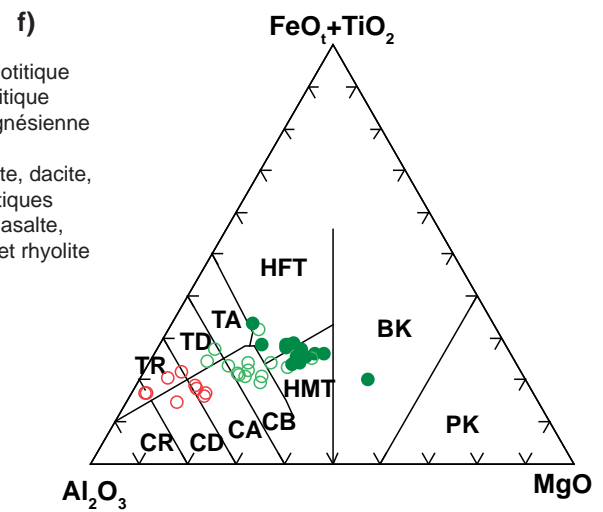
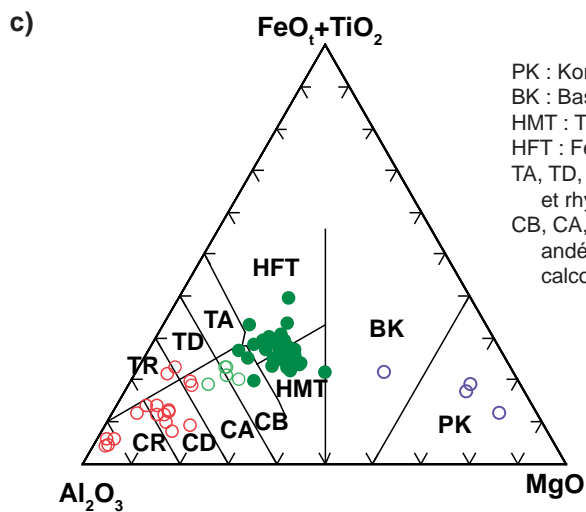
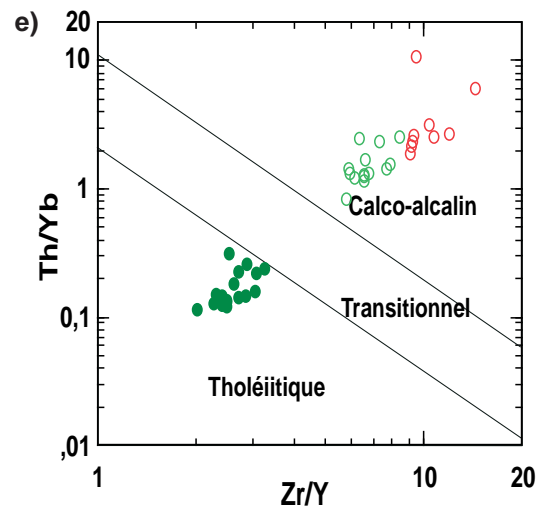
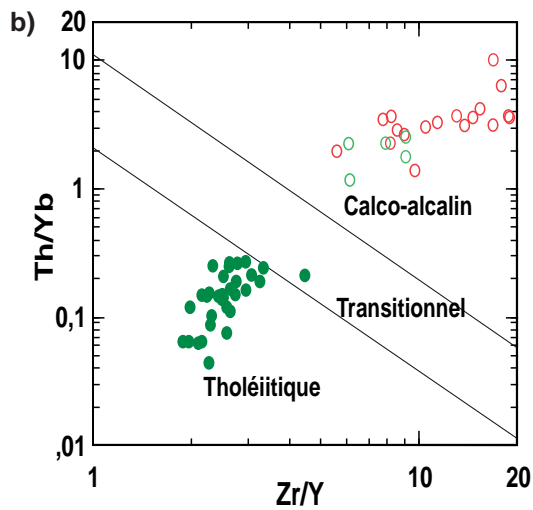
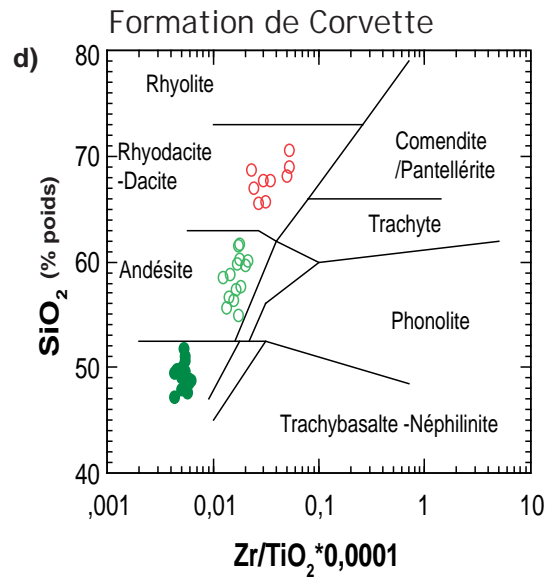
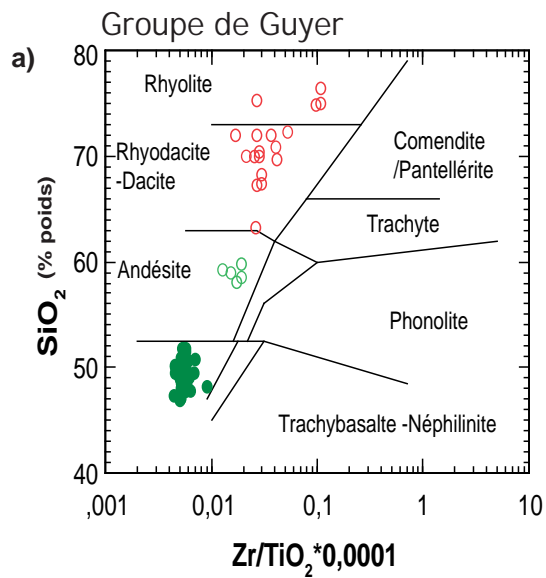


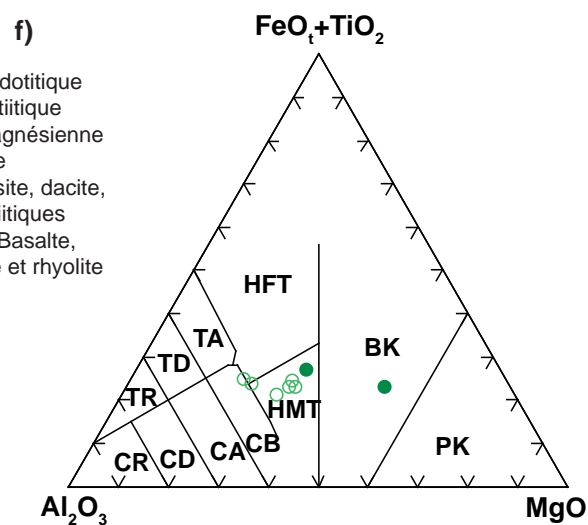
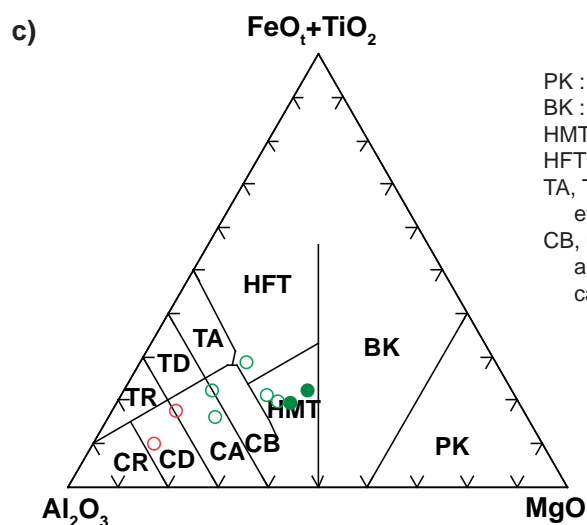
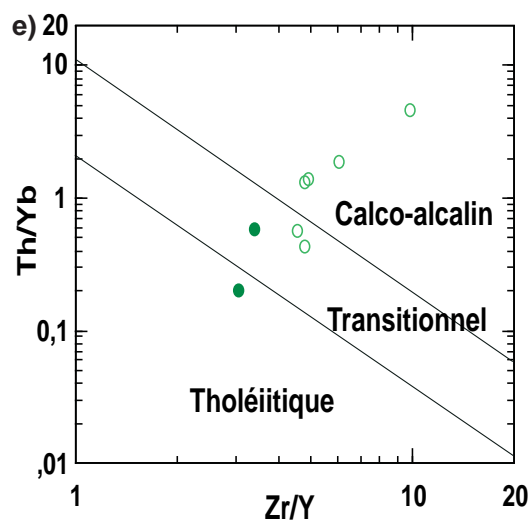
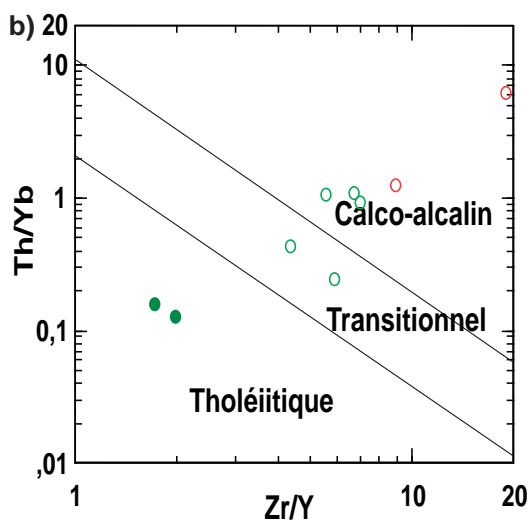
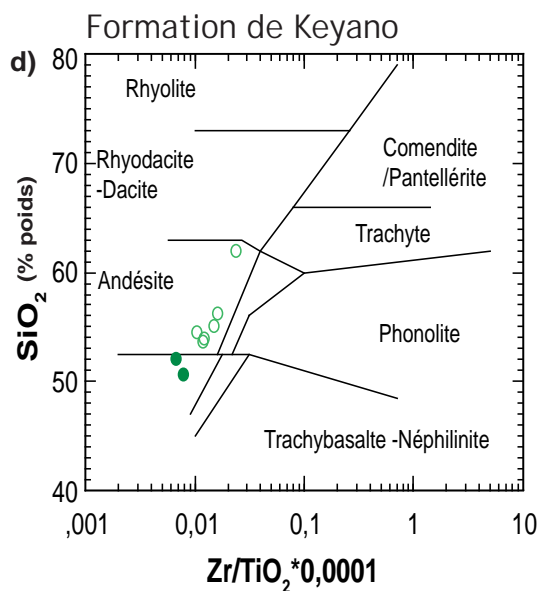
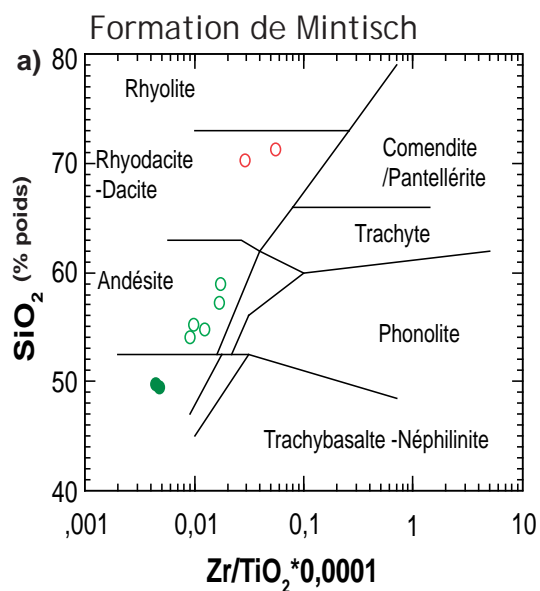
FIGURE 3 – Indice de peraluminosité (IP) en fonction de l'indice d'altération (IA) pour les roches volcaniques des unités suivantes: **a)** Groupe de Guyer, **b)** Formation de Corvette, **c)** Formation de Mintisch et **d)** Formation de Keyano. $IP = Al_2O_3 / (CaO + Na_2O + K_2O)$, en proportions molaires; $IA = [(MgO + K_2O) / (MgO + K_2O + CaO + Na_2O)] \times 100$. Les droites verticales correspondent à la moyenne et à l'écart-type (2σ) des valeurs rapportées pour les basaltes frais de type N-MORB (Richer-Laflièche *et al.*, 2000).



PK : Komatiite péridotitique
 BK : Basalte komatiitique
 HMT : Tholéiite magnésienne
 HFT : Ferrotholéiite
 TA, TD, TR : Andésite, dacite,
 et rhyolite tholéitiques
 CB, CA, CR, CR : Basalte,
 andésite, dacite et rhyolite
 calco-alcalins

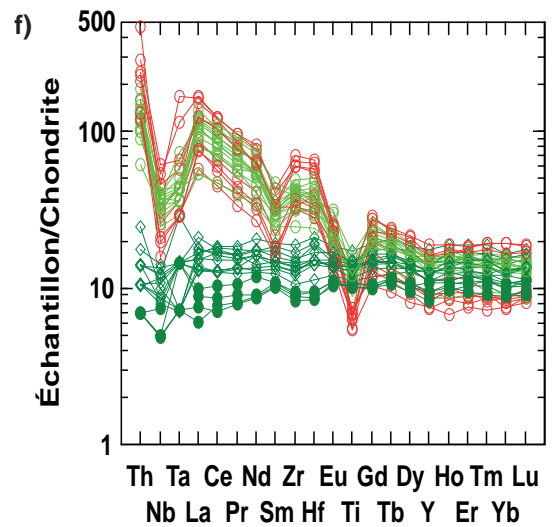
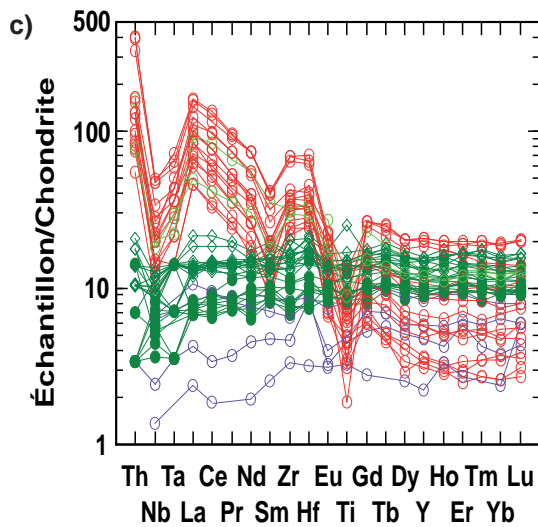
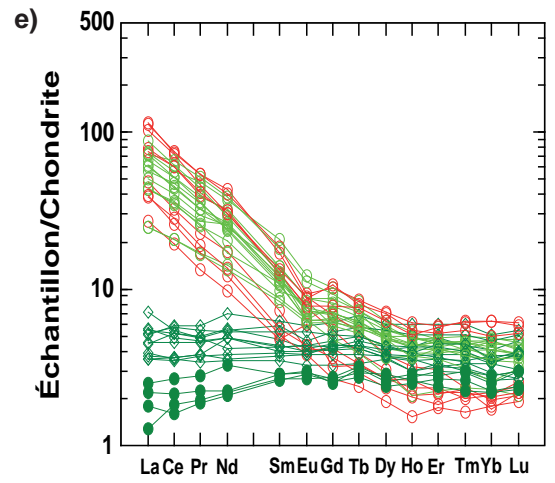
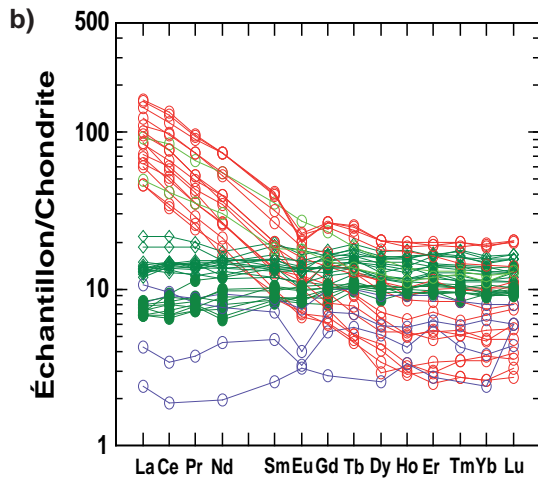
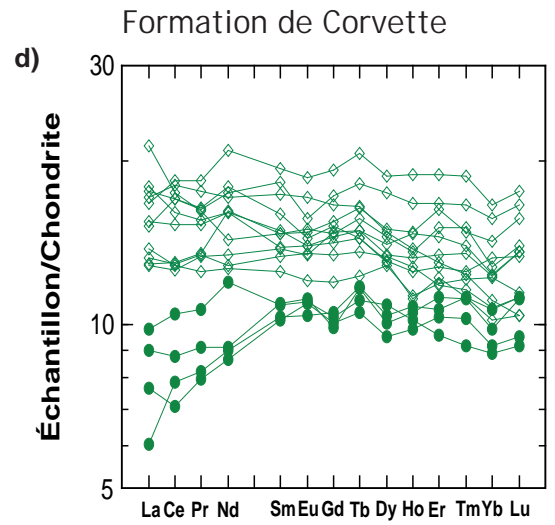
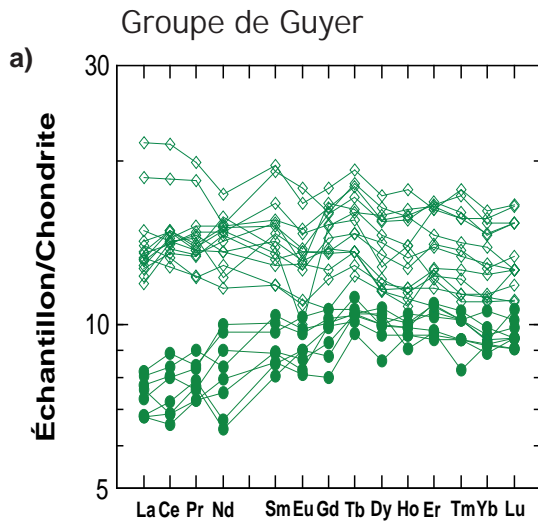
● Basalte ● Andésite ● Volcanite ou volcanoclastite felsique ● Laves ultramafiques

FIGURE 4 – Diagrammes de caractérisation géochimique de roches volcaniques du Groupe de Guyer et de la Formation de Corvette : **a)** et **d)** diagrammes de classification SiO_2 vs $\text{Zr}/\text{TiO}_2 \times 0,0001$ (Winchester et Floyd, 1977); **b)** et **e)** diagrammes d'affinité magmatique (Ross et Bédard, 2009); **c)** et **f)** diagrammes ternaires cationiques $(\text{FeO} + \text{TiO}_2) - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{MgO}$ (Jensen, 1976).



PK : Komatiite péridotitique
 BK : Basalte komatiitique
 HMT : Tholéiite magnésienne
 HFT : Ferrotholéiite
 TA, TD, TR : Andésite, dacite, et rhyolite tholéitiques
 CB, CA, CR, CR : Basalte, andésite, dacite et rhyolite calco-alcalins

FIGURE 5 – Diagrammes de caractérisation géochimique de roches volcaniques des formations Mintisch et Keyano : a) et d) diagrammes de classification SiO_2 vs $\text{Zr/TiO}_2 \times 0,0001$ (Winchester et Floyd, 1977); b) et e) diagrammes d'affinité magmatique (Ross et Bédard, 2009); c) et f) diagrammes ternaires cationiques ($\text{FeOt} + \text{TiO}_2$) - Al_2O_3 - MgO (Jensen, 1976).



● Basalte groupe I ◇ Basalte groupe II ○ Andésite ○ Volcanite ou volcanoclastite felsique ○ Laves ultramafiques

FIGURE 6 – Diagrammes des éléments des terres rares et multiéléments normalisés aux valeurs des chondrites C1 de Sun et McDonough (1989) : a), b) et c) Groupe de Guyer; d), e) et f) Formation de Corvette.

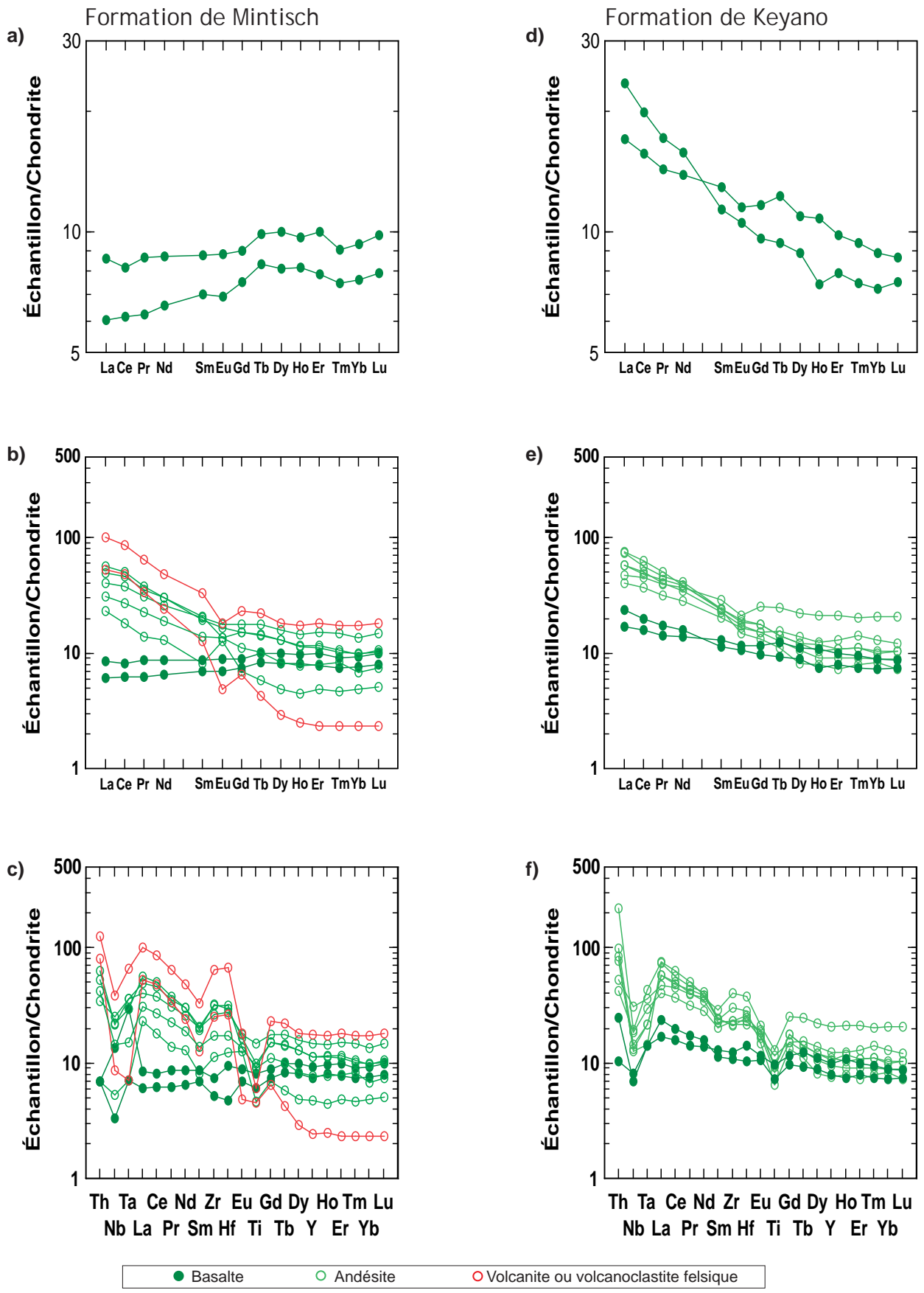


FIGURE 7 – Diagrammes des éléments des terres rares et multiéléments normalisés aux valeurs des chondrites C1 de Sun et McDonough (1989) : a), b) et c) Formation de Mintisch; d), e) et f) Formation de Keyano

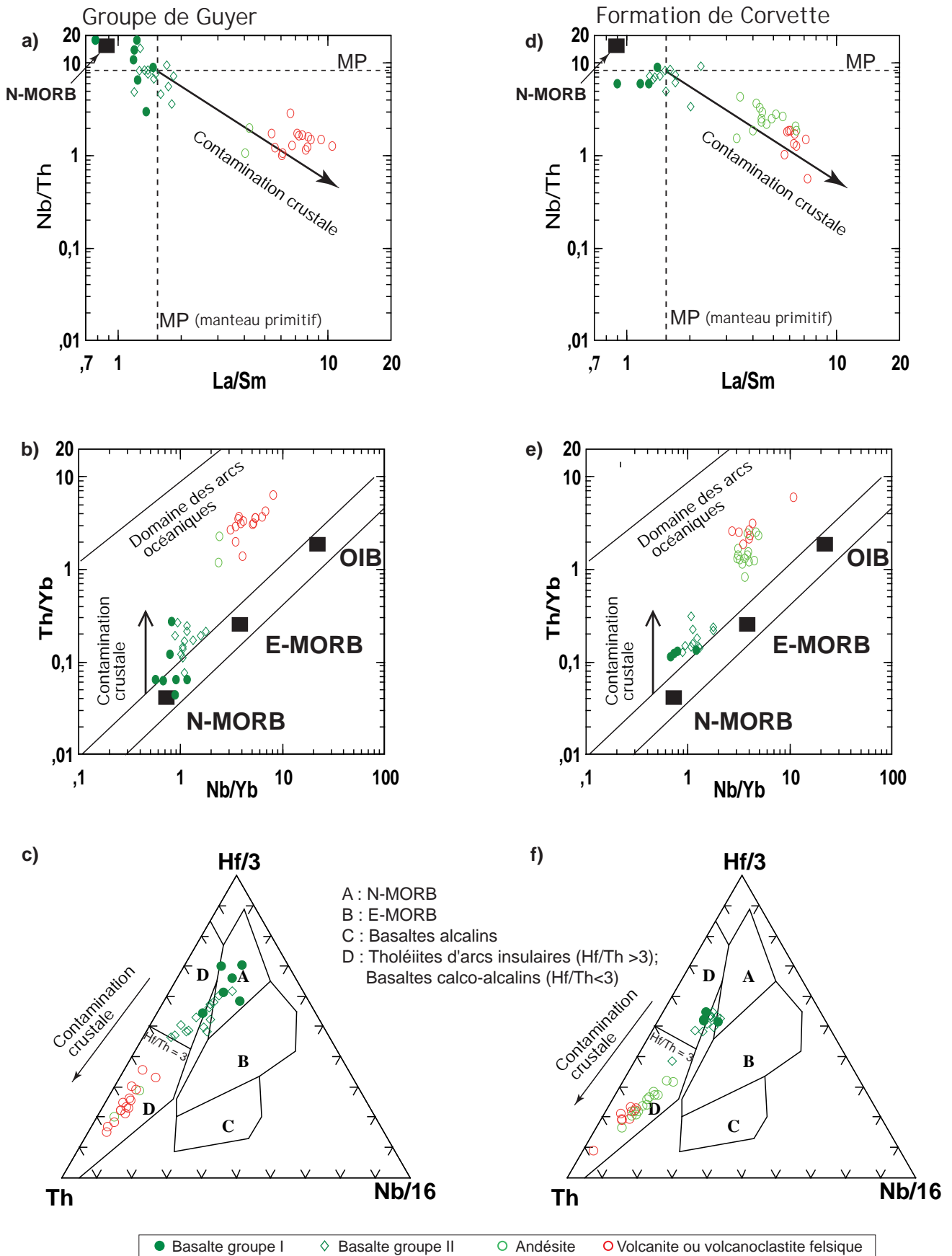


FIGURE 8 – Diagrammes de discrimination et d’environnements géotectoniques pour les roches volcaniques du Groupe de Guyer et de la Formation de Corvette : a) et d) Nb/Th versus La/Sm; b) et e) Th/Yb vs Nb/Yb (Pearce, 2007); c) et f) Th-Hf/3-Nb/16 (Wood, 1980).

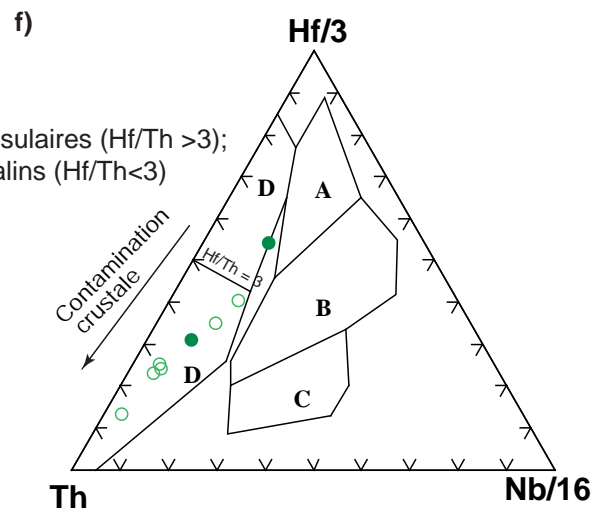
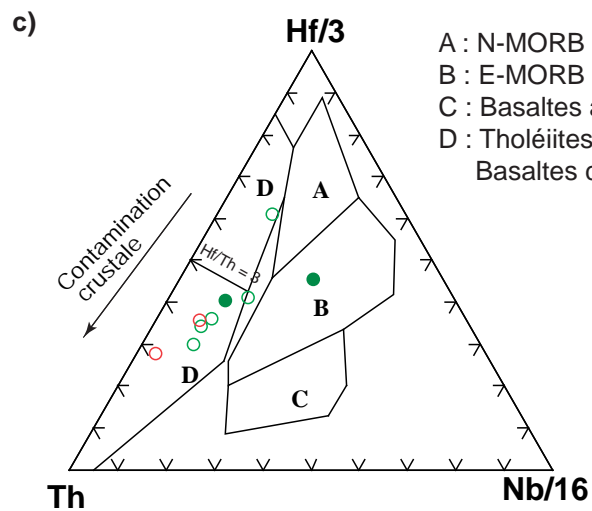
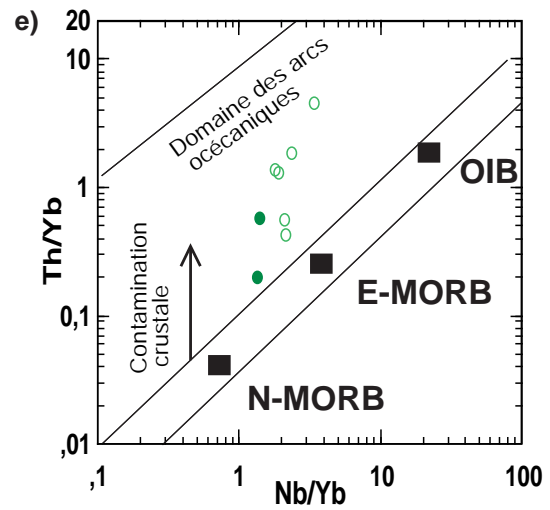
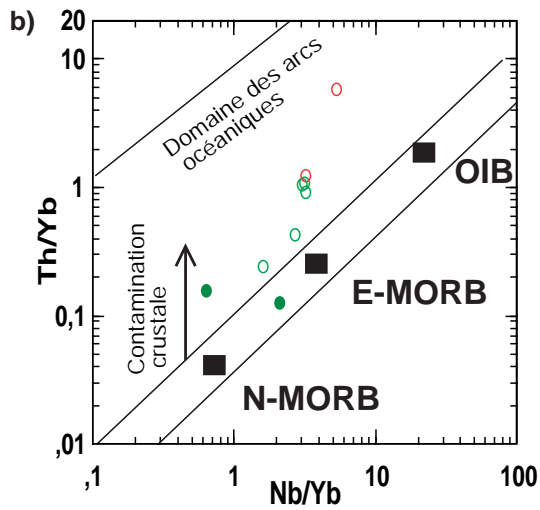
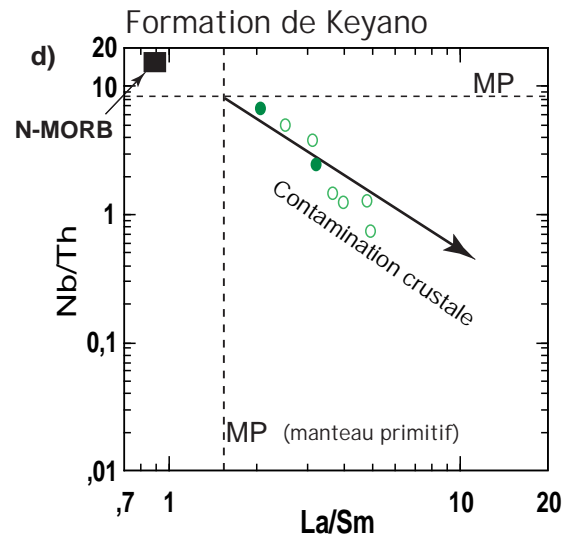
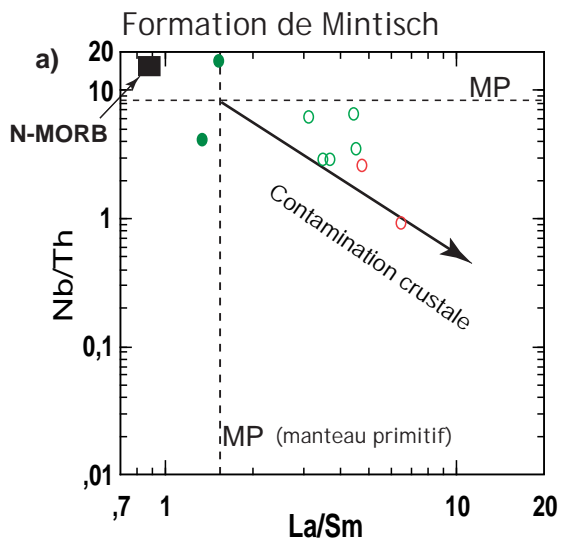


FIGURE 9 – Diagrammes de discrimination et d’environnements géotectoniques pour les roches volcaniques des formations de Mintisch et de Keyano : a) et d) Nb/Th versus La/Sm ; b) et e) Th/Yb vs Nb/Yb (Pearce, 2007); c) et f) $Th-Hf/3-Nb/16$ (Wood, 1980).

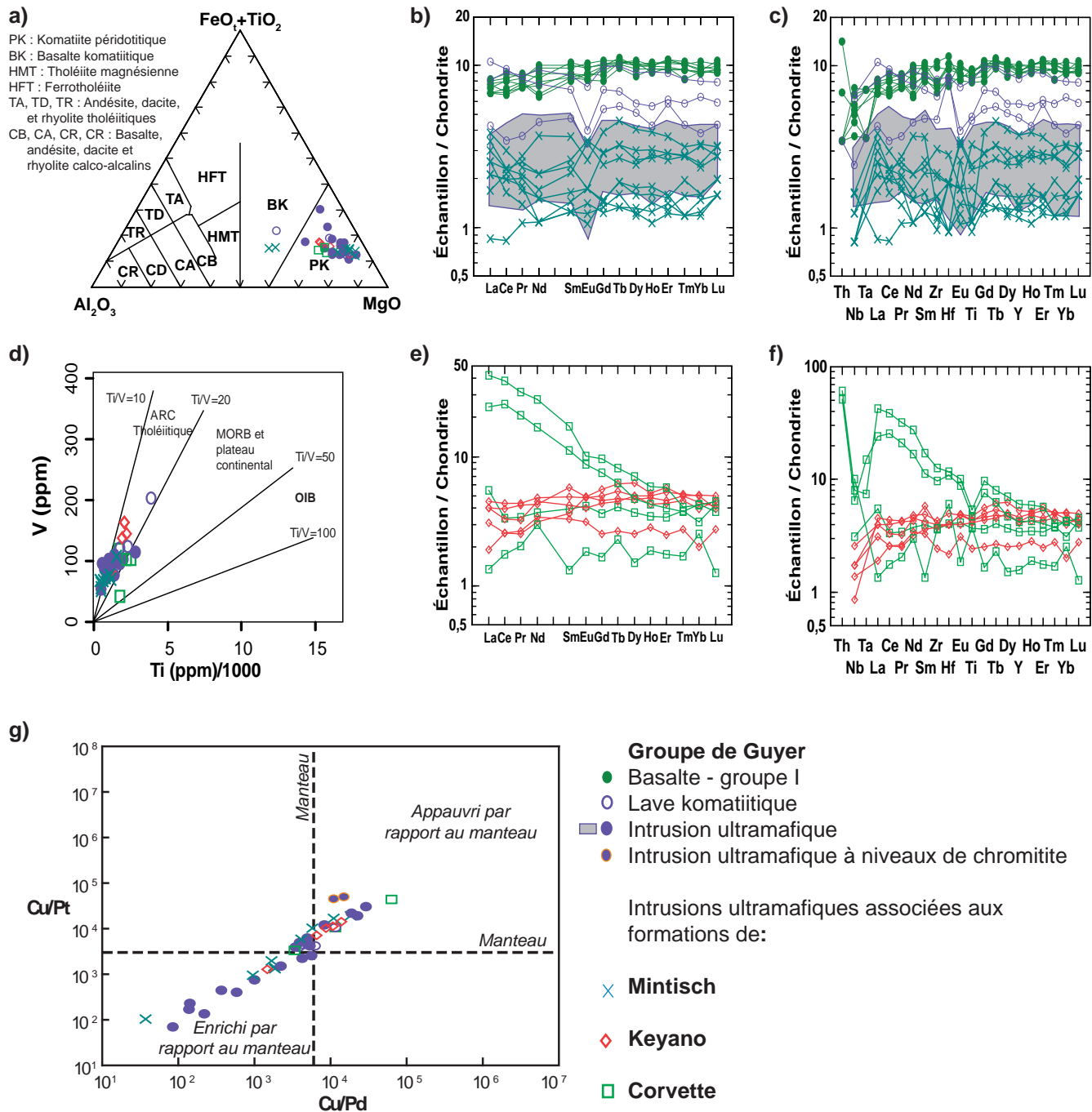


FIGURE 10 – Caractéristiques géochimiques des intrusions ultramafiques associées au Groupe de Guyer et aux formations de Corvette, Mintisch et Keyano dans les diagrammes : **a)** de Jensen (1976); **b), c), e)** et **f)** des éléments des terres rares et multiéléments normalisés aux valeurs des chondrites C1 de Sun et McDonough (1989); **d)** de Shervais (1982); et **g)** Cu/Pt versus Cu/Pd (Barnes *et al.*, 1993).

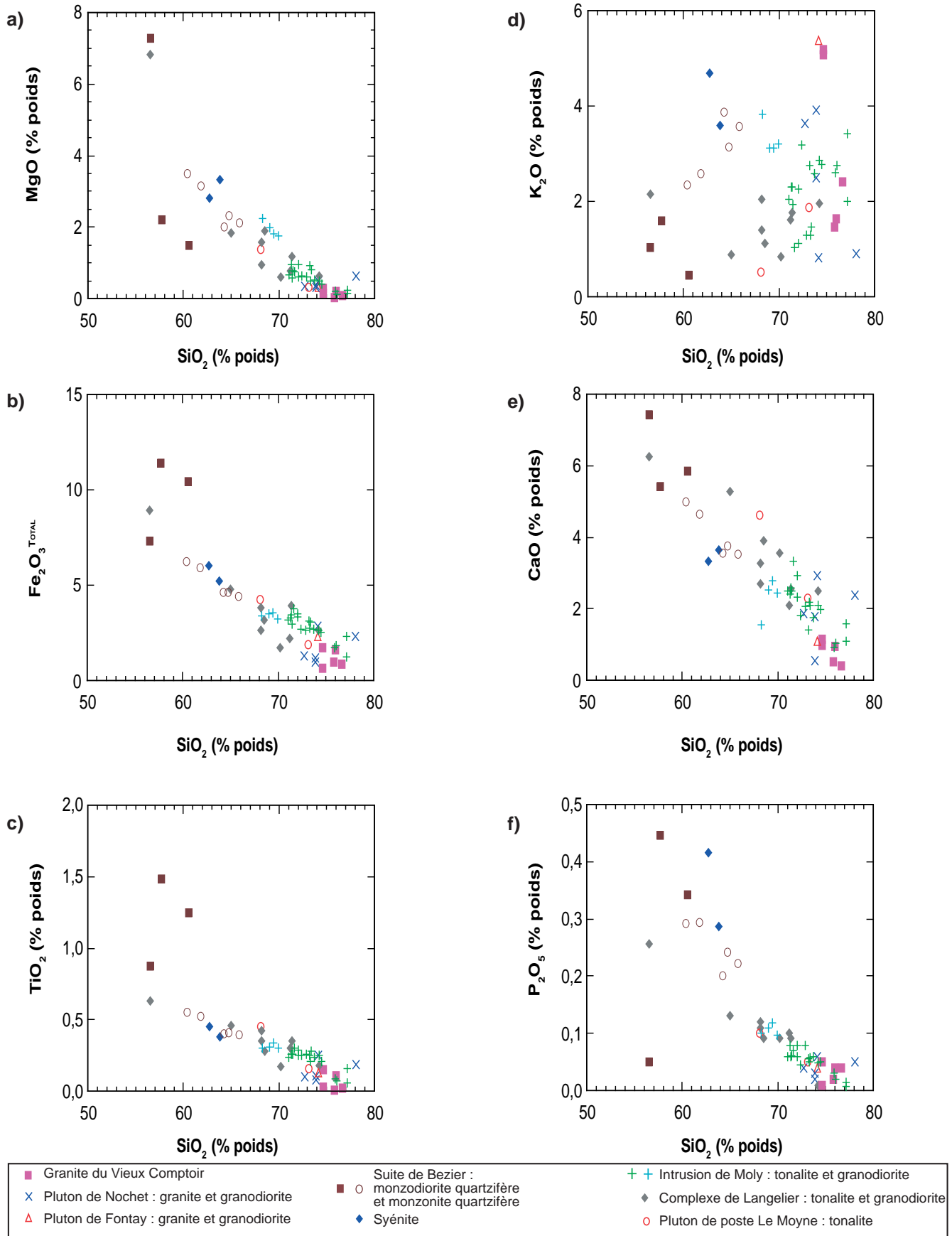


FIGURE 11 – Diagrammes binaires des éléments majeurs en fonction de SiO₂ pour les unités intrusives felsiques : **a)** SiO₂ versus MgO; **b)** SiO₂ versus Fe₂O₃; **c)** SiO₂ versus TiO₂; **d)** SiO₂ versus K₂O; **e)** SiO₂ versus CaO; **f)** SiO₂ versus P₂O₅.

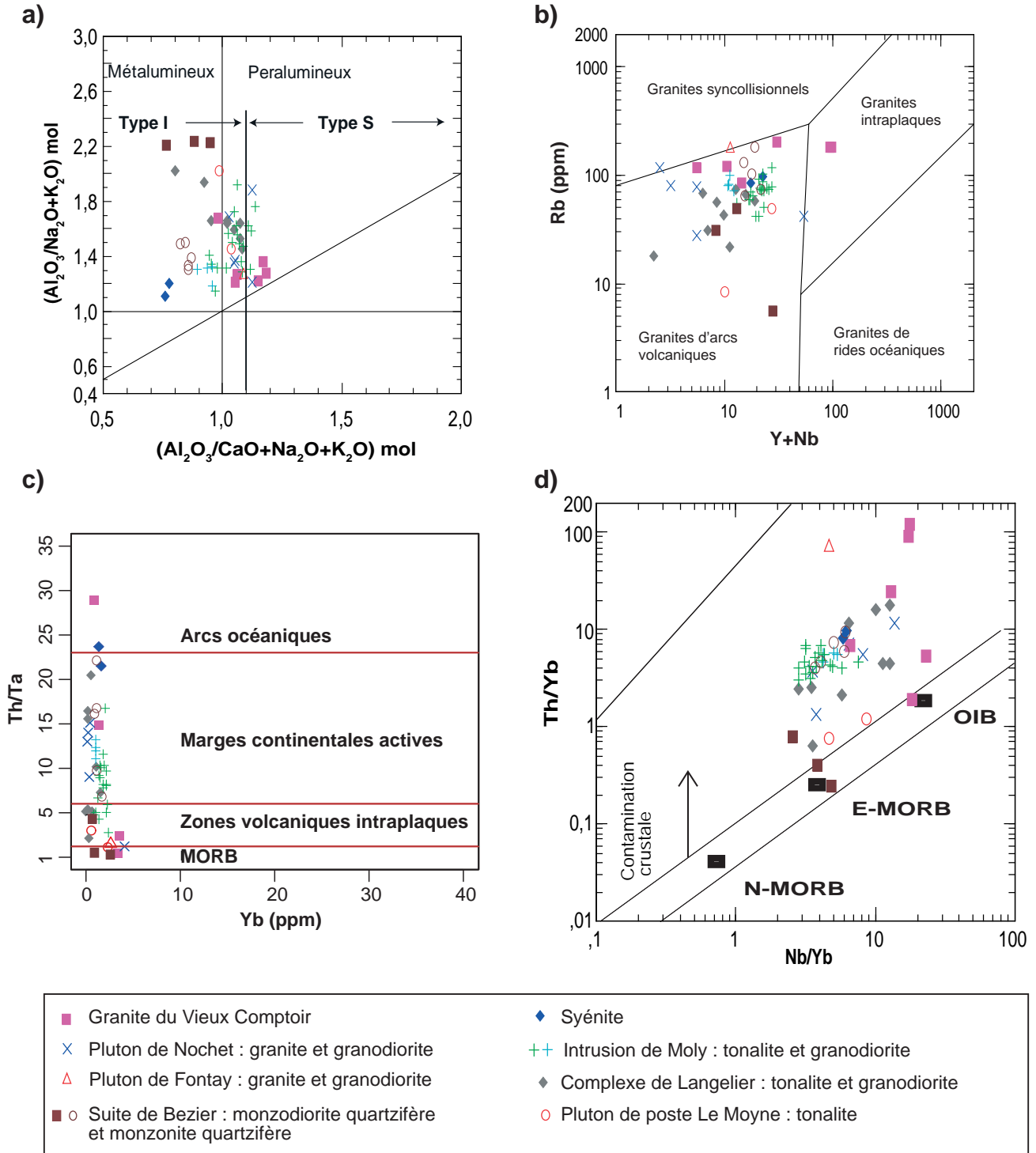


FIGURE 12 – Diagrammes de caractérisation géochimique et de discrimination géotectonique des roches intrusives : a) A/NK versus A/CNK (Maniar et Picolli, 1989; Shand, 1974; Chappel et White, 1974); b) Rb versus Y+Nb (Pearce *et al.*, 1984); c) Th/Ta versus Yb (Schandl et Gorton, 2002); d) Th/Yb versus Nb/Yb (Pearce, 2007).

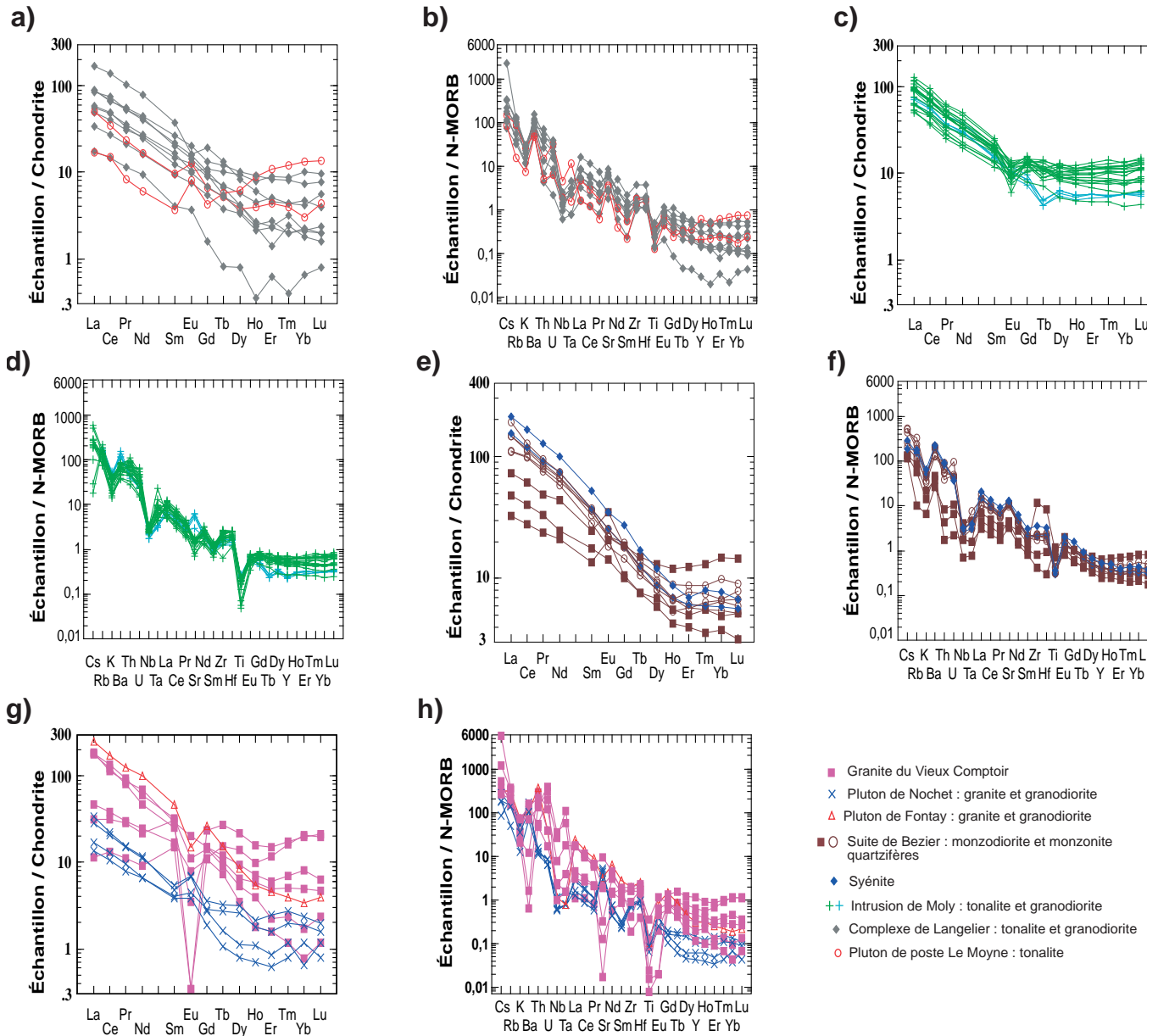


FIGURE 13 – Diagrammes des éléments des terres rares normalisés aux chondrites et diagrammes multiéléments normalisés aux N-MORB (Sun et McDonough, 1989) : **a)** et **b)** Complexe de Langelier et Pluton de poste Le Moyne; **c)** et **d)** Intrusion de Moly; **e)** et **f)** Suite de Bezier et syénite; **g)** et **h)** Granite du Vieux Comptoir et plutons de Nochet et de Fontay.

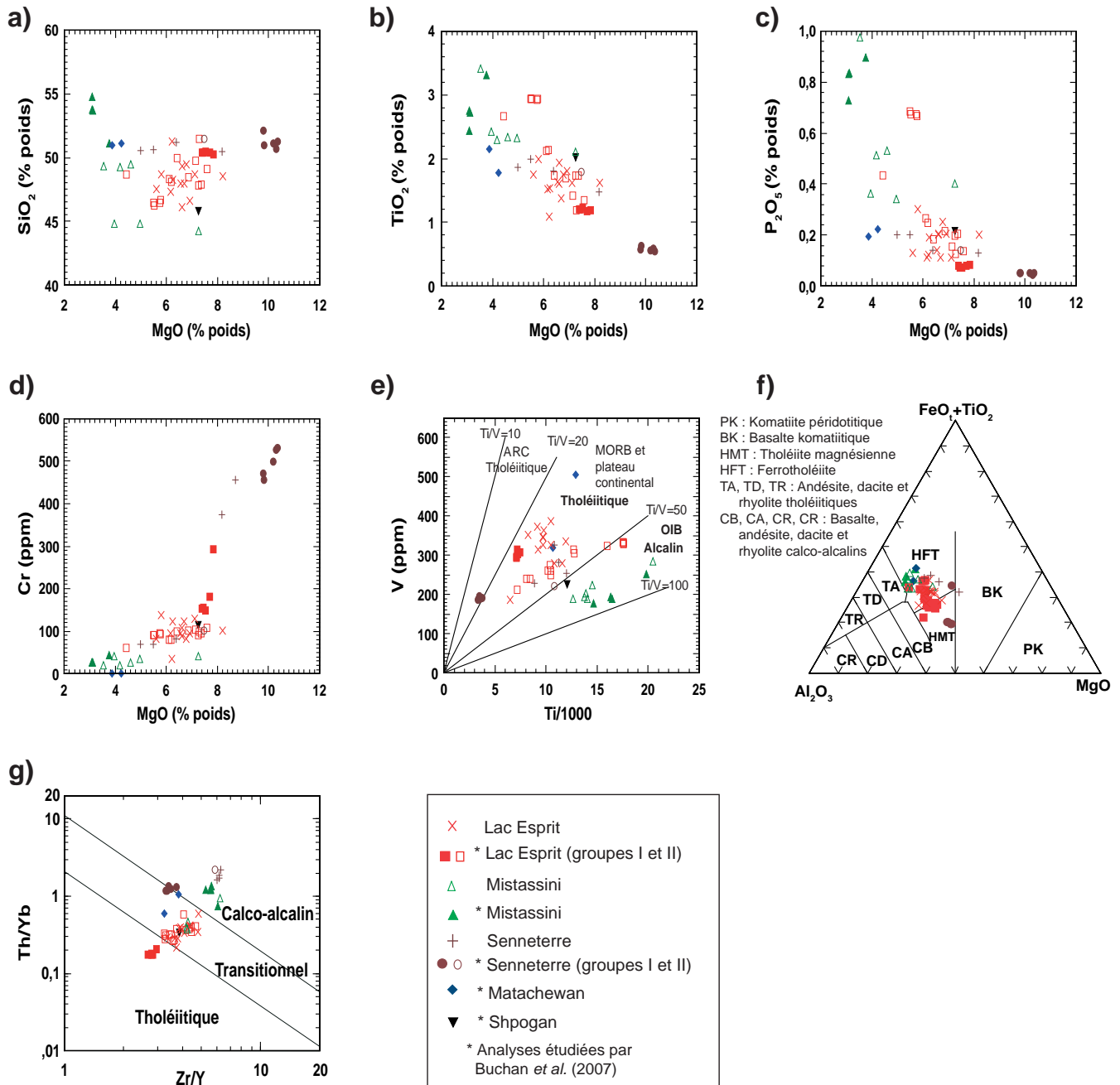


FIGURE 14 – Diagrammes de caractérisation géochimique des dykes mafiques néoarchéens et paléoprotozoïques: **a)**, **b)**, **c)** et **d)** des éléments majeurs SiO₂, TiO₂, P₂O₅ et Cr en fonction de MgO; **e)** de Shervais (1982); **f)** de Jensen (1976); **g)** de Ross et Bédard (2009).

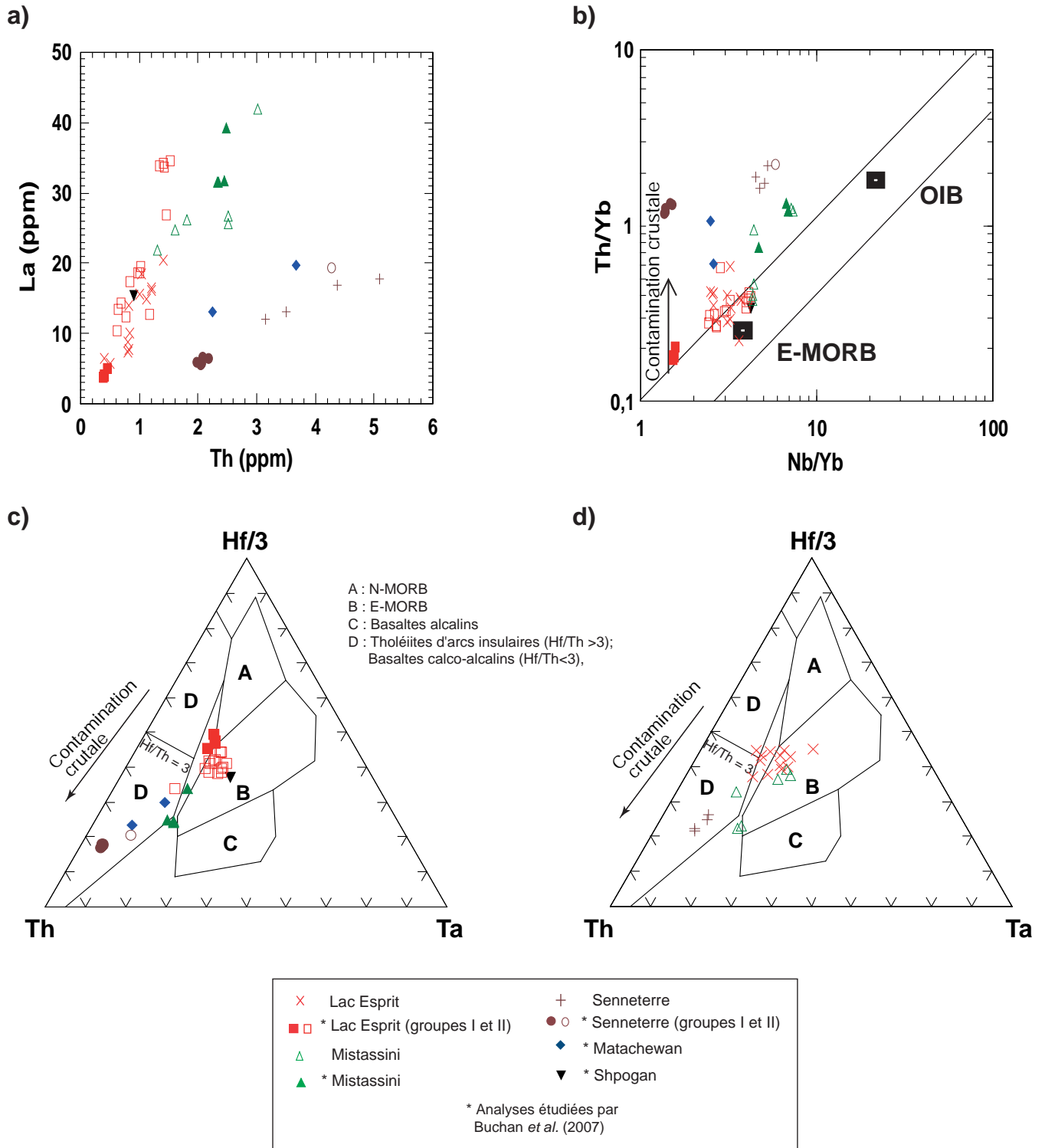


FIGURE 15 – Diagrammes de caractérisation géochimique des dykes mafiques néoarchéens et paléoprotérozoïques : **a)** La versus Th; **b)** Th/Yb versus Nb/Yb (Pearce, 2007); **c)** et **d)** Th-Hf/3-Ta (Wood, 1980).

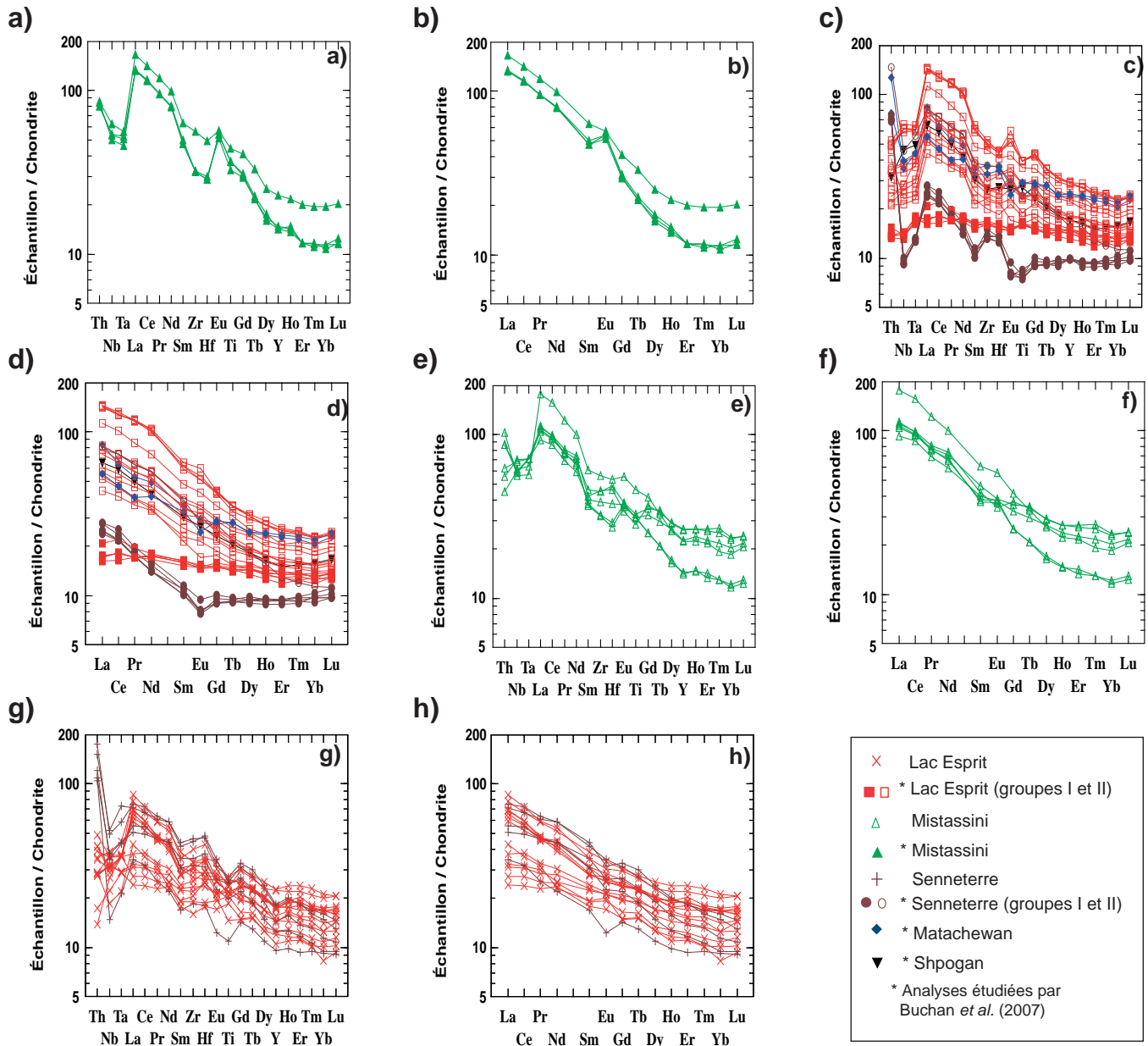


FIGURE 16 – Diagrammes des éléments des terres rares et multiéléments normalisés aux chondrites (Sun et McDonough, 1989) : a), b), e) et f) de l’Essaim de dykes de Mistassini; c), d), g) et h) des dykes du Lac Esprit, de Senneterre, de Shpogan et de Matachewan.

TABLEAU 1 – Synthèse des caractéristiques géochimiques des volcanites du Groupe de Guyer et des formations de Corvette, de Mintisch et de Keyano.

Unité stratigraphique	Groupe de Guyer					Formation de Corvette	
	4	12	23	5	18	4	13
Type de roche	Komatiite	Basalte Groupe I	Basalte Groupe II	Andésite	Volcanite felsique	Basalte Groupe I	Basalte Groupe II
SiO ₂ (% poids)	43 - 47	47 - 51	46 - 52	58 - 60	67 - 76	47 - 49	47 - 51
MgO (% poids)	16 - 38	6 - 8	5 - 9	3 - 4	0,30 - 2,36	7 - 8	5 - 9
TiO ₂ (% poids)	0,24 - 0,60	0,59 - 0,80	0,82 - 1,87	0,64 - 0,66	0,14 - 0,64	0,74 - 0,81	0,85 - 1,23
Zr (ppm)	12 - 32	26 - 44	50 - 78	114 - 122	83 - 265	34 - 36	41 - 73
Mg#	70 - 87	47 - 60	37 - 59	48 - 49	26 - 57	55 - 58	44 - 59
Zr/Y	2,4 - 3,6	1,8 - 2,5	2,5 - 4,5	6 - 9	8 - 19	2,0 - 2,5	2,2 - 3,06
Ti/Zr	86 - 112	104 - 134	65 - 179	31 - 34	5 - 23	131 - 138	100 - 120
Th/Hf	20	0,06 - 0,33	0,16 - 0,28	0,73 - 1,25	0,57 - 1,74	0,20 - 0,22	0,19 - 0,44
La/Yb _{nc}	1 - 1,65	0,54 - 0,87	0,91 - 1,34	4,40 - 7,57	8 - 32	0,57 - 1,11	0,91 - 1,54
La/Sm _{nc}	0,90 - 1,48	0,53 - 0,94	0,81 - 1,18	2,60 - 2,70	4 - 7	0,58 - 0,91	0,83 - 1,45
Gd/Yb _{nc}	1,1 - 1,4	0,87 - 1,12	0,97 - 1,46	1,35 - 1,92	1 - 2	0,99 - 1,16	0,98 - 1,49
Th/La _{nc}	4	0,43 - 1,82	0,48 - 1,75	1,58 - 1,74	1,24 - 2,51	0,71 - 1,17	0,80 - 1,36

Unité stratigraphique	Formatin de Corvette (suite)		Formation de Mintisch			Formation de Keyano	
	14	9	2	4	2	2	6
Type de roche	Andésite	Volcanite felsique	Basalte	Andésite	Volcanite felsique	Basalte	Andésite
SiO ₂ (% poids)	54 - 62	66 - 71	49 - 50	54 - 59	70 - 71	52	53 - 62
MgO (% poids)	2 - 7	0,4 - 3	9 - 10	4 - 8	2	8 - 14	5 - 8
TiO ₂ (% poids)	0,66 - 1,24	0,4 - 0,8	0,45 - 61	0,7 - 1,1	0,3 - 0,45	0,5 - 0,7	0,61 - 0,96
Zr (ppm)	95 - 189	124 - 274	20 - 28	67 - 125	98 - 247	42 - 47	89 - 154
Mg#	32 - 59	16 - 51	63 - 65	44 - 63	44 - 58	57 - 67	49 - 61
Zr/Y	6 - 8	9 - 12	1,72 - 1,99	4 - 7	9 - 25	3	4 - 10
Ti/Zr	29 - 48	11 - 26	126 - 135	34 - 65	10 - 20	76 - 90	37 - 57
Th/Hf	0,56 - 1,52	0,99 - 3,24	0,20	0,34 - 0,67	0,51 - 0,82	0,20 - 0,64	0,38 - 2,1
La/Yb _{nc}	4 - 11	6 - 20	0,80 - 0,91	2,93 - 5,74	5,74 - 23	1,92 - 3,24	2 - 9
La/Sm _{nc}	2,15 - 4,18	3,8 - 4,69	0,86 - 0,98	2,00 - 2,90	3 - 4	1,32 - 2,06	1,61 - 3,16
Gd/Yb _{nc}	1,30 - 1,96	1,18 - 2,55	0,95 - 0,99	1,31 - 1,61	1,33 - 1,78	1,31 - 1,33	1,18 - 1,80
Th/La _{nc}	0,84 - 1,46	1,38 - 3,04	0,82	0,87 - 1,28	1,26 - 1,53	0,61 - 1,04	1,04 - 2,96

Mg# = 100 x (MgO / (MgO + FeO_{total})) où MgO et FeO sont exprimés en % molaires; nc = normalisé par rapport aux chondrites.