

# Pétrologie et géochimie d'indices de Ni-Cu-EGP dans le Domaine de Portneuf-Mauricie

Anne-Aurélié Sappin<sup>1</sup>, Marc Constantin<sup>1</sup>, Thomas Clark<sup>2</sup>

**RP 2005-05**

**Mots-clés** : Ni-Cu-EGP, gabbro, roche ultramafique, Portneuf-Mauricie, Grenville, Protérozoïque

## Résumé

Le Domaine de Portneuf-Mauricie est situé principalement dans les feuillets SNRC 31I et 31P. Il est composé des métasédiments et des métatufs du Groupe de Montauban, recoupés par les plutons du Complexe de La Bostonnais. Cette séquence a été injectée d'intrusions mafiques-ultramafiques différenciées contenant plusieurs indices de Ni-Cu±EGP.

Les minéralisations du Domaine de Portneuf-Mauricie qui font l'objet de cette étude présentent de nombreuses caractéristiques communes. Les corps intrusifs contenant les minéralisations sont constitués de roches gabbroïques, de pyroxénites et de péridotites. Ces minéralisations sont composées de sulfures principalement disséminés présentant un degré d'enrichissement élevé en Ni et en Cu. Les sulfures des indices Lac Nadeau et Rousseau sont les seuls à présenter un enrichissement en métaux précieux. Les roches gabbroïques porteuses ou non de minéralisation ont des signatures géochimiques typiques des environnements d'arc magmatique. L'indice Rousseau possède cependant une composition distincte qui ressemble à la signature des magmas de type E-MORB. Quelles que soient les minéralisations considérées, le soufre impliqué dans la formation des sulfures provient d'une source crustale, du moins en partie.

À terme, ce projet contribuera à expliquer la formation et la signification des intrusions et de la minéralisation en Ni-Cu-EGP dans l'évolution du Domaine de Portneuf-Mauricie et de la Province de Grenville dans son ensemble. Il permettra également de mieux estimer le potentiel minier de la Province géologique de Grenville.

<sup>1</sup> - Université Laval

<sup>2</sup> - Ministère des Ressources naturelles et de la Faune



## INTRODUCTION

---

Le Domaine de Portneuf-Mauricie est situé à environ 100 km à l'ouest de Québec, principalement dans les feuillets SNRC 31I et 31P (figure 1). Ce domaine comporte plusieurs indices minéralisés en Ni-Cu-EGP. Le potentiel en Ni-Cu-EGP de la région est attesté par la présence d'un gisement qui fut exploité dans les années 1970 au lac Édouard. Ce projet de recherche, réalisé conjointement entre le Ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec et l'Université Laval, vise à comprendre la genèse de plusieurs indices du Domaine de Portneuf-Mauricie et des roches plutoniques encaissantes afin d'en dégager les implications métallogéniques, pétrologiques et géodynamiques. Il s'agit, du nord au sud, de l'indice Lac Matte, de l'indice Lac Kennedy, de la mine du lac Édouard, de l'indice Rousseau et de l'indice Lac Nadeau. L'objectif ultime de ce projet est de présenter un modèle génétique expliquant la formation et la signification des intrusions et de la minéralisation dans l'évolution du Domaine de Portneuf-Mauricie et de la Province de Grenville dans son ensemble (Sappin *et al.*, 2004).

## GÉOLOGIE RÉGIONALE

---

Le Domaine de Portneuf-Mauricie se situe dans la région centre-sud de la Ceinture allochtone polycyclique de la Province de Grenville (Rivers *et al.*, 1989). Il est composé des métasédiments et des métatufs du Groupe de Montauban et des roches intrusives du Complexe de La Bostonnais (Nadeau et van Breemen, 1994; Corrigan et van Breemen, 1997).

### Groupe de Montauban

Le Groupe de Montauban (1,45 Ga; Nadeau et van Breemen, 1994) contient principalement des roches volcaniques et volcanoclastiques métamorphisées, incluant des gneiss quartzofeldspathiques. Il renferme aussi des quantités mineures de quartzite et d'amphibolite, dont des metabasaltes, en coussins par endroits, et des tufs à lapilli, ainsi que de rares marbres et roches calco-silicatées (Nadeau *et al.*, 1999; Rondot, 1978). Cette association lithologique indique que le Groupe de Montauban s'est formé en milieu sous-marin peu profond, au stade tardif d'un cycle volcanique andésitique à felsique (Nadeau *et al.*, 1999). Ces conditions ainsi que l'absence de forte variation des compositions pétrologiques sont typiques des environnements matures d'arc insulaire et de bassin d'arrière-arc (Nadeau *et al.*, 1999).

## Complexe de La Bostonnais

Le Complexe de La Bostonnais (1,40 Ga; Nadeau et van Breemen, 1994) comprend des roches intrusives calco-alcalines aussi bien massives que gneissiques ou migmatitiques. Ce complexe est dominé par des diorites quartzifères et des tonalites, mais les lithologies varient d'ultramafiques à granitiques (Perreault, 1993; Hébert et Nadeau, 1995; Corrigan et van Breemen, 1997; Rivers, 1997; Nadeau et van Breemen, 2001). La signature géochimique des éléments en traces de ces roches intrusives intermédiaires à felsiques semble indiquer un environnement de mise en place typique des arcs magmatiques océaniques (Gautier, 1993).

Les roches du Complexe de La Bostonnais recoupent les paragneiss et les amphibolites plissés et métamorphisés du Groupe de Montauban, suggérant que ce dernier a été déformé et métamorphisé avant ou durant la mise en place des roches du Complexe de La Bostonnais (Nadeau et Corrigan, 1991; Hébert et Nadeau, 1995; Corrigan et van Breemen, 1997; Rivers, 1997; Nadeau et van Breemen, 2001). Les roches intrusives du Complexe de la Bostonnais ont été injectés par des intrusions mafiques-ultramafiques différenciées contenant plusieurs minéralisations de sulfures massifs et disséminés de Ni-Cu±EGP qui font l'objet de cette étude (Clark, 2000; Corrigan et van Breemen, 1997; Corrigan et Hanmer, 1997).

## GÉOLOGIE LOCALE

---

### Indice Lac Matte (SNRC 31P15, UTM NAD83, zone 18, 663160 mE 5291765 mN)

#### Contexte géologique

Le corps minéralisé de l'indice Lac Matte est de forme ovale et orienté NNE, avec des dimensions de 1,3 km de longueur par 750 m de largeur. Il est contenu dans une intrusion mafique-ultramafique injectée dans des gneiss granitiques. Cette intrusion est concordante avec la foliation de l'encaissant gneissique. Elle est constituée de pyroxénite ( $\pm$  plagioclase  $\pm$  olivine), de gabbronorite ( $\pm$  quartz), de norite et d'un peu de wehrlite. Les gabbronorites et norites se retrouvent localement sous forme de poche ou d'enclave dans les pyroxénites et les autres roches gabbroïques. Un faciès de brèche est caractérisé par la présence d'enclaves centimétriques à décimétriques de composition pyroxénitique dans une matrice gabbroïque ( $\pm$  quartz).

### **Contexte métallogénique**

L'indice Lac Matte contient jusqu'à 8 % de sulfures disséminés dont la taille des grains varie de 0,5 à 5 mm. Il est situé dans la partie nord-est de l'intrusion mafique-ultramafique et est contenu dans des pyroxénites ( $\pm$  plagioclase) et des norites. Cet indice est caractérisé par la présence d'agrégats de sulfures composés, par ordre d'importance, de pyrrhotite, de chalcopryrite et de pyrite.

### **Indice Lac Kennedy (SNRC 31P10, UTM NAD83, zone 18, 663516 mE, 5286335 mN)**

### **Contexte géologique**

L'indice situé à proximité du lac Kennedy est encaissé dans des gneiss quartzofeldspathiques et des migmatites. D'après les observations de Poirier (1988) et nos travaux de cartographie effectués à l'été 2004, l'intrusion forme un filon-couche mafique-ultramafique concordant avec la foliation locale de direction WNW et de pendage moyen NNE. Le filon-couche mesure 1 km de longueur par 500 m de largeur. Cette intrusion est différenciée (Poirier, 1988). Elle est composée d'une unité de péridotite et d'une unité contenant des roches gabbroïques méso- à mélanocrates et des pyroxénites ( $\pm$  plagioclase). Le passage des faciès pyroxénitiques à gabbroïques est localement transitionnel. Un faciès de brèche gabbroïque est présent dans le filon-couche. Des enclaves de norite (centimétriques à décimétriques) sont contenues dans une matrice amphibolitisée.

### **Contexte métallogénique**

L'indice Lac Kennedy est localisé dans le secteur centre-ouest du complexe gabbroïque-pyroxénitique. Il est situé dans un assemblage de gabbronorite et de pyroxénite et contient de 1 à 2 % de sulfures. Une autre occurrence minéralisée est située dans la partie sud-est du complexe gabbroïque-pyroxénitique. Elle possède un encaissant de pyroxénite ( $\pm$  plagioclase) et contient également jusqu'à 2 % de sulfures. Les sulfures de ces deux zones minéralisées se présentent sous forme disséminée, avec principalement de la pyrrhotite, de la chalcopryrite et accessoirement de la magnétite. La taille des grains de sulfures varie entre 0,5 et 1 mm.

### **Mine du lac Édouard (SNRC 31P09, UTM NAD83, zone 18, 696967 mE, 5281637mN)**

### **Contexte géologique**

Le corps intrusif mafique-ultramafique contenant la mine du lac Édouard semble former un synclinal serré de 300 m de largeur, plongeant vers le NNE, avec un plan axial vertical de direction NNE (Poirier, 1988). Cette intrusion est bordée à

l'est par les diorites massives, gneissiques et migmatitiques du Complexe de La Bostonnais. Elle est limitée au nord, à l'ouest et au sud par des diorites, des granodiorites, et des monzodiorites quartzifères présentant des structures massives, gneissiques et migmatitiques. L'intrusion hôte de la minéralisation contient des péridotites à sa base. Les niveaux sommitaux sont composés de pyroxénite ( $\pm$  olivine  $\pm$  plagioclase) et de gabbro mélanocrate. La lithologie dominante est la pyroxénite à olivine.

Un faciès de brèche situé à 500 m au sud de la mine est enclavé dans les diorites du lac Édouard. De dimensions de 100 m par 200 m, ce faciès est composé d'enclaves centimétriques à décimétriques de leuconorite, de norite mélanocrate et de pyroxénite contenues dans une matrice amphibolitique correspondant peut-être à une norite métamorphisée. Cette brèche suggère l'injection de plusieurs magmas mafiques avant la mise en place des unités dioritiques.

### **Contexte métallogénique**

La minéralisation se présente sous forme de lentilles de sulfures massifs à semi-massifs contenues dans les péridotites et les pyroxénites ( $\pm$  olivine) basales, au niveau de la charnière du synclinal (Poirier, 1988; Kiddie, 1999). Les sulfures sont également disséminés dans les pyroxénites sus-jacentes (1 à 7 % de sulfures) et présentent localement des textures en filet. La taille des grains de sulfures varie de 0,5 à 1 mm. Le minerai se compose de pyrrhotite, de pentlandite et de chalcopryrite, avec un peu de pyrite et de magnétite.

### **Indice Rousseau (SNRC 31I16, UTM NAD83, zone 18, 703130 mE, 5202017mN)**

### **Contexte géologique**

L'indice Rousseau est inclus dans l'intrusion du Lac à la Vase, une masse de roches plutoniques mafiques et ultramafiques orientée E-W et mesurant environ 3 km de longueur par 1,5 km de largeur. Cette intrusion contient majoritairement une bordure mafique constituée de norite et de gabbronorite ( $\pm$  olivine). Le coeur de l'intrusion à dominance ultramafique mesure environ 1,7 km de longueur par 50 à 400 m de largeur. Ce coeur est caractérisé par la présence d'olivine et est localement minéralisé. Les roches ultramafiques incluent des lherzolites ( $\pm$  plagioclase), des webstérites ( $\pm$  plagioclase,  $\pm$  olivine) et des clinopyroxénites à plagioclase.

Dans toutes ces unités, les textures primaires de type cumulat sont généralement bien conservées. L'intrusion du lac à la Vase est bordée au nord, au sud et à l'est par une unité constituée de gneiss granitique dont la foliation est orientée N-S. Le contact sud est une faille mineure qui se prolonge vers le NE. Finalement, la limite ouest est constituée par un massif de granite à hornblende. Les observations de

terrain n'ont pas permis d'appuyer les suggestions de Poirier (1988) concernant la nature litée de cette intrusion.

### Contexte métallogénique

L'indice Rousseau est localisé dans le secteur ouest de l'intrusion du lac à la Vase, au contact entre les roches mafiques et ultramafiques. Il est inclus dans une orthopyroxénite à plagioclase et contient de 2 à 3 % de sulfures. Les sulfures se présentent généralement en position interstitielle, sous forme disséminée. Localement, ils forment des agrégats disséminés. Les principaux constituants sont la pyrrhotite, la chalcopyrite, la pyrite. Les grains de sulfures sont très petits (de 0,2 à 0,5 mm).

### Indice Lac Nadeau (SNRC 31I16, UTM NAD83, zone 18, 716149 mE, 5192304 mN)

### Contexte géologique

Le secteur du lac Nadeau comprend trois zones minéralisées : 1) la zone minéralisée Ouest correspondant à l'indice Lac Nadeau, 2) la zone minéralisée Est et 3) la zone minéralisée Kéno. Ces minéralisations sont situées dans trois corps de roches mafiques à ultramafiques, séparés en surface par des roches encaissantes. Le corps mafiques-ultramafiques a été daté à 1396 ± 6/-5 Ma (Sappin *et al.*, 2004). Contrairement aux suggestions de Poirier (1988), ces intrusions ne présentent pas de structure interne tabulaire. Elles sont composées de lherzolite, de pyroxénite et de gabbro-gabbrobronite. Les roches gabbroïques constituent la majorité du volume total des intrusions. Le corps intrusif de la zone Ouest mesure 290 m par 150 m. La composition de l'unité porteuse de la minéralisation varie entre celle d'une pyroxénite et celle d'un mélagabbro riche en olivine. Cette unité est bordée de part et d'autre par du gabbro localement minéralisé. Le corps intrusif de la zone Est qui mesure moins de 600 m par 300 m contient des lherzolites et des brèches gabbroïques d'origine magmatique et probablement aussi tectonique. Ces roches sont faiblement minéralisées. Finalement, la zone Kéno présente une minéralisation encaissée dans une masse plutonique de 150 m de largeur et d'une longueur inconnue, composée de pyroxénite et de brèche gabbroïque. L'encaissant immédiat des trois corps intrusifs mafiques-ultramafiques minéralisés est constitué par trois ensembles lithologiques distincts, soit une unité intrusive dominée par des granodiorites et des diorites, une unité riche en granite leucocrate et une unité composée essentiellement de paragneiss à biotite et de quartzites dans laquelle s'injectent des unités ignées.

On observe la présence de zones de cisaillement NW-SE au contact entre les différentes intrusions et les roches encaissantes, ainsi qu'au sein même des intrusions. De plus, il semblerait qu'une faille régionale senestre orientée NNW coïncide avec le lac Long (Rondot, 1978; Corrigan et van Breemen, 1997)

### Contexte métallogénique

L'abondance des sulfures dans les différentes zones minéralisées varie entre < 1 % et 10 %. La taille des grains est très variable et peut localement atteindre 1 cm. Il s'agit essentiellement de pyrrhotite, de chalcopyrite et de pentlandite disséminées aussi bien dans les roches gabbroïques que dans les roches ultramafiques. La zone Ouest présente le plus grand nombre d'affleurements minéralisés et donne les meilleures teneurs en métaux usuels et précieux. Des paragneiss situés à proximité de la zone Est contiennent de la pyrite et de la chalcopyrite.

## GÉOCHIMIE

---

### Analyses géochimiques

L'analyse des éléments majeurs, des sulfures et des métaux a été effectuée par le laboratoire ACME *Analytical Laboratories Ltd.* à Vancouver (Colombie-Britannique) et au département de géologie et de génie géologique de l'Université Laval. Les éléments majeurs ont été analysés par ICP-AES sur des échantillons de roche totale ayant subi une fusion avec un fondant au borate de lithium suivie d'une digestion à l'acide nitrique. Les sulfures (pour les métaux Ag, Al, Co, Cr, Cu, Fe, Mg, Mn, Ni, Pb, Sr, W, Zn) ont été analysés par ICP-AES après l'attaque des échantillons par quatre acides. Les teneurs en métaux précieux Pt, Pd et Au ont été déterminées par ICP-MS après une pré-concentration sur bouton de sulfure de plomb (essai pyrognostique; *fire-assay*). Pour la majorité des échantillons, l'analyse de plus de 30 éléments en traces (dont As, Au, Cr, Ir, Ni, Sb, Se, lanthanides) a été réalisée au laboratoire d'analyse par activation neutronique de l'Université Laval (Constantin, 2006; <http://www.ggl.ulaval.ca/contenu-fra/neutronique.html>). Pour les autres échantillons, certains éléments en traces (dont Zn, Zr, lanthanides) ont été analysés au laboratoire ACME par ICP-MS avec fusion au LiBO<sub>2</sub> et digestion à l'eau régale.

Les résultats d'analyses chimiques représentatives des principales lithologies observées aux alentours de la mine du lac Édouard et des indices Rousseau, Lac Kennedy, et Lac Matte sont présentées au tableau 1. Les analyses chimiques concernant le secteur du lac Nadeau ont été présentées dans le tableau 1 du rapport préliminaire de Sappin *et al.* (2004). Les analyses chimiques concernant les différentes localités étudiées sont également disponibles dans la base de données du SIGEOM.

### Chimie des sulfures

Nous avons effectué le calcul du degré d'enrichissement en Ni, Cu, EGP et Au à 100 % de sulfures pour plusieurs échantillons représentatifs prélevés dans les indices Lac Matte, Lac Kennedy, Lac Nadeau, Rousseau et la mine du

lac Édouard (tableau 2). La méthode utilisée pour le Cu et le Ni est celle proposée par Kerr (2001 et 2003). Les échantillons présentant des valeurs en soufre inférieures à 5 % font l'objet d'une correction pour les métaux contenus dans les minéraux silicatés. Le contenu en métaux dans les sulfures est corrigé à l'aide des analyses en Cu et Ni dans les roches hôtes de composition analogue mais non minéralisées. Lorsque ces données sont indisponibles, des valeurs représentatives pour des roches de composition mafique sont utilisées (Cu=100 ppm et Ni=100 ppm). La méthode préconisée pour les calculs du degré d'enrichissement en EGP et Au à 100% de sulfures est celle de Naldrett *et al.* (2000).

De manière générale, il apparaît que les sulfures associés aux indices Lac Matte, Lac Kennedy, Lac Nadeau et Rousseau ainsi qu'à la mine du lac Édouard ont un fort enrichissement en Ni et en Cu. Cependant seuls les sulfures de l'indice Lac Nadeau et, à un moindre degré, ceux de l'indice Rousseau montrent un enrichissement en métaux précieux.

### Réservoirs magmatiques

Des diagrammes d'éléments de terres rares normalisés aux chondrites (Palme et Jones, 2004) ainsi que des diagrammes multiéléments normalisés au manteau primitif (Palme et O'Neill, 2004) ont été effectués pour des roches gabbroïques porteuses ou non de minéralisation et provenant des différentes zones d'étude (figures 2 et 3). De manière générale, deux groupes de profils se distinguent : le *groupe 1* qui regroupe les roches gabbroïques des secteurs du lac Matte, du lac Kennedy, du lac Nadeau et de la mine du lac Édouard et le *groupe 2* qui regroupe les roches gabbroïques associées à l'indice Rousseau.

La géochimie des roches gabbroïques nous permet donc de suggérer que les corps intrusifs mafiques associés aux indices Lac Matte, Lac Kennedy, Lac Nadeau et à la mine du lac Édouard proviennent de sources mantelliques identiques. Les magmas à l'origine des roches gabbroïques associées à l'indice Rousseau semblent provenir d'une source qui diffère de celle des corps mafiques précédents.

Les profils d'éléments de terres rares du groupe 1 montrent une pente légèrement négative, témoignant d'un enrichissement faible en terres rares légères par rapport aux terres rares lourdes (figure 2). Sur le diagramme multi-éléments, dans le cas des roches gabbroïques du groupe 1, tous les spectres d'éléments normalisés au manteau primitif présentent des anomalies négatives en Ta et Zr (figure 3). Toutes les roches gabbroïques du groupe 1 présentent également une anomalie négative en Ti, excepté celles associées à l'indice Lac Matte. Enfin, seules les roches mafiques du groupe 1 associées aux indices Lac Kennedy et à la mine du lac Édouard présentent une anomalie négative en Hf. Ces anomalies négatives en éléments à forte électronégativité (HFSE) par rapport aux terres rares sont typiques des magmas mis en place dans les environnements d'arc magmatique (Kelemen *et al.*, 2004).

Les profils d'éléments de terres rares de même que les spectres multiéléments des gabbros du groupe 2 sont plats,

hormis la présence de légères anomalies positives en Eu et Ti. On note ainsi l'absence de fractionnement en terres rares légères et en terres rares lourdes. Ces caractéristiques sont typiques des sources magmatiques de type E-MORB.

### Origine du soufre

Les roches mafiques et ultramafiques qui contiennent les minéralisations étudiées présentent des valeurs du ratio  $^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$  relatif à celui d'un standard ( $\delta^{34}\text{S}$ ) comprises entre +0,5 et +3,8 ‰ (tableau 3). La faible gamme de valeurs en  $\delta^{34}\text{S}$  indique une source de soufre unique. Les compositions isotopiques du soufre contenu dans les minéralisations et leur encaissant sont comparables (les valeurs pour les encaissants varient de -0,3 ‰ à +5,5 ‰). Les compositions des encaissants sont également typiques des roches d'origine mantellique. Les valeurs obtenues ne permettent donc pas de déterminer si le soufre provient du manteau ou de l'encaissant.

L'étude des ratios sélénium/soufre obtenus des analyses pour des roches prélevées dans les trois zones minéralisées du lac Nadeau donne une large gamme de valeurs (tableau 3). Ces valeurs sont toutes supérieures aux valeurs du ratio (Se/S)  $\times 10^6$  typiques des roches mantelliques qui sont comprises entre 230 et 350 (Eckstrand *et al.*, 1989). Les ratios Se/S provenant des analyses de roches minéralisées prélevées dans les secteurs des lacs Matte, Kennedy et Édouard ont des valeurs sensiblement similaires qui sont inférieures ou égales aux valeurs typiques des roches mantelliques (tableau 3). Ces ratios nous permettent de retracer l'origine du soufre. Ils indiquent que les magmas qui sont à l'origine des minéralisations de Ni-Cu-Co présentes dans le Domaine de Portneuf-Mauricie auraient été contaminés par une source de soufre d'origine crustale, du moins en partie.

### Composition des olivines

Le diagramme de la figure 4a représente, pour différents corps intrusifs mafiques-ultramafiques, la teneur en MnO des olivines en fonction de leur contenu en forstérite. Ce diagramme nous indique une augmentation presque linéaire de la teneur en MnO en fonction du degré de différenciation magmatique (figure 4a). Le Mn est, en effet, un élément incompatible dans les systèmes magmatiques qui tend à se concentrer préférentiellement dans le liquide. Ce diagramme témoigne donc de l'évolution normale de la cristallisation fractionnée des magmas qui sont à l'origine des minéralisations étudiées.

Le diagramme de la figure 4b représente la teneur en NiO des olivines versus leur contenu en forstérite. Sur ce diagramme, on peut voir que dans le secteur de la mine du lac Édouard, les olivines contenues dans les pyroxénites minéralisées ont des valeurs en NiO beaucoup plus faibles que les olivines appartenant aux roches minéralisées ou non minéralisées prélevées aux autres localités. Contrairement au Mn, le Ni est compatible dans les olivines. Ainsi, plus un magma est différencié, plus sa concentration en Ni est faible.

Étant donné le degré de différenciation (% Fo) des roches de l'intrusion mafique-ultramafique contenant la mine du lac Édouard, la teneur attendue en NiO des olivines des roches minéralisées de ce secteur devrait être plus importante que ce que nous observons. Cette anomalie est le reflet du caractère fortement chalcophile du Ni. En présence de sulfures, le Ni s'associe à ces derniers lors de sa cristallisation, entraînant ainsi une diminution de la quantité de Ni disponible pour les olivines. L'ensemble de ces observations suggère que dans le cas de l'intrusion contenant la mine du lac Édouard, les sulfures ont cristallisé avant ou pendant la cristallisation des olivines.

## CONCLUSION

---

Les minéralisations du Domaine de Portneuf-Mauricie qui font l'objet de cette étude présentent de nombreuses caractéristiques communes. Les corps intrusifs contenant les minéralisations sont constitués de roches gabbroïques ( $\pm$  olivine  $\pm$  quartz), de pyroxénites ( $\pm$  olivine  $\pm$  plagioclase), et de péridotites. Cette minéralisation est composée de sulfures principalement disséminés, sauf pour la mine du lac Édouard qui contient également des sulfures matriciels jusqu'à des sulfures massifs. Les sulfures de la minéralisation du lac Édouard présentent d'ailleurs la particularité de s'être formés avant ou durant la cristallisation des olivines. Globalement, les sulfures des indices étudiés présentent un degré d'enrichissement élevé en Ni et en Cu. L'indice Lac Nadeau et, à un moindre degré, l'indice Rousseau sont les seuls à présenter des sulfures enrichis en métaux précieux. Du point de vue géochimique, les roches gabbroïques porteuses ou non de minéralisation présentent des signatures typiques des environnements d'arc magmatique. Les roches mafiques associées à l'indice Rousseau présentent cependant une composition distincte, qui ressemble à la signature des magmas de type E-MORB. Quelles que soient les minéralisations considérées, le soufre impliqué dans la formation des sulfures présente une origine crustale, du moins en partie.

La campagne de terrain de 2004 a permis d'effectuer des travaux d'échantillonnage et de cartographie des corps mafiques-ultramafiques contenant les indices Lac Matte, Lac Kennedy, Rousseau et la mine du lac Édouard. Des travaux sur le terrain concernant des aspects plus régionaux sont envisagés pour 2005. À terme, ce projet contribuera à expliquer la formation et la signification des intrusions et de la minéralisation en Ni-Cu-EGP dans l'évolution du Domaine de Portneuf-Mauricie et de la Province de Grenville dans son ensemble. Il permettra également de mieux estimer le potentiel minier de ce secteur.

## REMERCIEMENTS

---

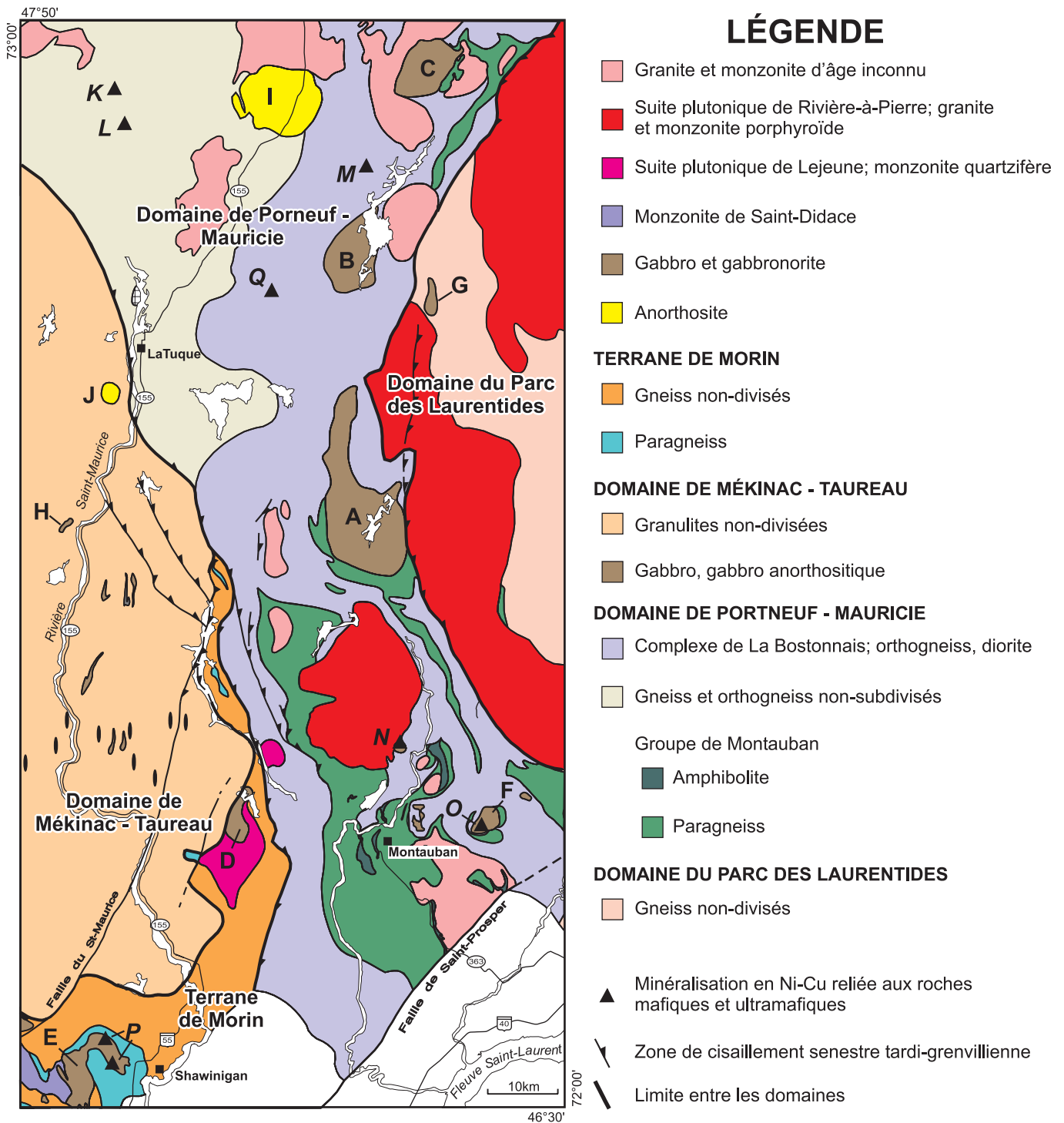
Nous tenons à remercier Monsieur Luc Laperrière (Université Laval) pour son assistance lors de la campagne de terrain et des travaux de laboratoire de l'été 2004 et de l'automne 2004. Ces travaux ont bénéficié du soutien financier du réseau DIVEX de Valorisation Recherche Québec (M. Constantin) ainsi que de Géologie Québec.

## RÉFÉRENCES

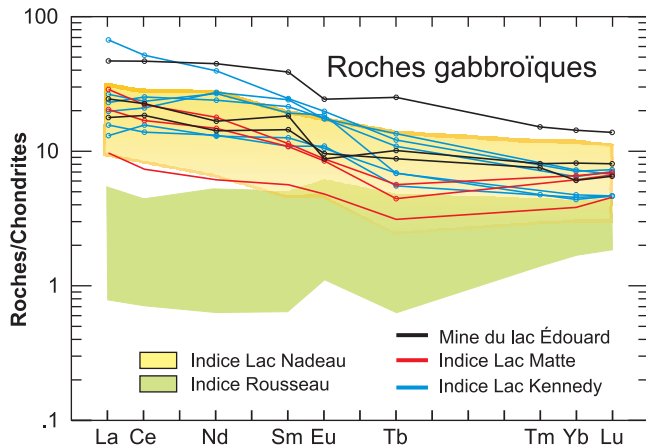
---

- CLARK, T., 2000 – Le potentiel en Cu-Ni $\pm$ Co $\pm$ EGP du Grenville québécois : exemple de minéralisations magmatiques et remobilisées. *Chronique de la Recherche Minière*; volume 539, pages 85-100.
- CONSTANTIN, M., 2006 – Determination of Au, Ir and thirty-two other elements in twelve geochemical reference materials by instrumental neutron activation analysis. *Journal of Radioanalytical & Nuclear Chemistry*, volume 267, numéro 2, sous presse.
- CORRIGAN, D. – HANMER, S., 1997 – Anorthosites and related granitoids in the Grenville orogen: A product of convective thinning of the lithosphere?. *Geology*; volume 25, numéro 1, pages 61-64.
- CORRIGAN, D. – VAN BREEMEN, O., 1997 – U-Pb age constraints for the lithotectonic evolution of the Grenville Province along the Mauricie transect, Quebec. *Canadian Journal of Earth Sciences*; volume 34, pages 299-316.
- ECKSTRAND, O.R. – GRINENKO, L.N. – KROUSE, H.R. – PAKTUNE, A.D. – SCHWANN, P.L. – SCOATES, R.F.J., 1989 – Preliminary data on sulphur isotopes and Se/S ratios, and the source of sulphur in magmatic sulphides from the Fox River Sill, Molson Dykes and Thompson nickel deposits, northern Manitoba. *Geological Survey of Canada; Current Research, Part C, paper 89-1C*, pages 235-242.
- GAUTIER, E., 1993 – Géochimie et pétrologie du Complexe de La Bostonnais et du gabbro du Lac Lapeyrère. Université Laval; Thèse de maîtrise, 129 pages.
- HÉBERT, C. – NADEAU L., 1995 – Géologie de la région de Talbot, Portneuf. Ministère des Ressources naturelles, Québec; ET 95-01, 10 pages.
- KELEMEN, P.B. – HANGHØJ, K. – GREENE, A.R., 2004 – One view of the geochemistry of subduction-related magmatic arcs, with an emphasis on primitive andesite and lower crust. Dans : *Treatise on Geochemistry* (H. D. Holland and K. K. Turekian, editors), The crust; volume 3, pages 593-659.
- KERR, A., 2001 – The calculation and use of sulphide metal contents in the study of magmatic ore deposits: A methodological analysis. *Exploration and Mining Geology*; volume 10, pages 289-301.

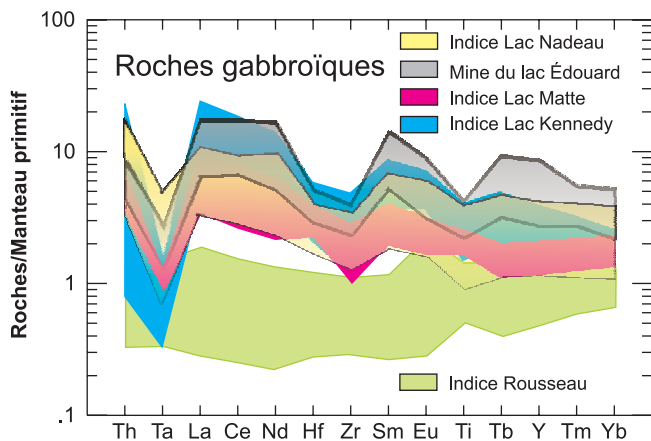
- KERR, A., 2003 – Guidelines for the calculation and use of sulphide metal contents in research and mineral exploration. Newfoundland Department of Mines and Energy; Geological Survey, Report 2003-1, pages 223-229.
- KIDDIE, A., 1999 – Report on the 1998 exploration program, Bourgeois property. St-Mauricie region, Quebec, submitted to Osisko Exploration Ltée and Troymin Resources Ltd. Ministère des Ressources naturelles; GM 56607, 17 pages.
- LÉVESQUE, S., 1995 – Zonation métamorphique et évolution thermique de la région de Portneuf-Mauricie, Orogène de Grenville. Université Laval; Thèse de maîtrise, 151 pages.
- NADEAU, L. – BROUILLETTE, P. – HÉBERT, C., 1992 – Geology and structural relationships along the east margin of the St. Maurice tectonic zone, north of Montauban, Grenville Orogen, Quebec. Geological Survey of Canada; Current Research 1992-1C, pages 139-146.
- NADEAU, L. – BROUILLETTE, P., 1994 – Carte structurale de la région de La Tuque (SNRC 31P), Province de Grenville, Québec. Commission Géologique du Canada; Dossier public 2938, échelle 1 : 250 000.
- NADEAU, L. – BROUILLETTE, P., 1995 – Carte structurale de la région de Shawinigan (SNRC 31I), Province de Grenville, Québec. Commission Géologique du Canada; Dossier public 3012, échelle 1 : 250 000.
- NADEAU, L. – BROUILLETTE, P., – HÉBERT, C., 1999 – New observations on relict volcanic features in medium-grade gneiss of the Montauban group, Grenville Province, Quebec. Geological Survey of Canada; Current Research 1999-E, pages 149-160.
- NADEAU, L. – CORRIGAN, D., 1991 – Preliminary notes on the geology of the St-Maurice tectonic zone, Grenville orogen, Québec. Geological Survey of Canada; Current research, Paper 91-1E, pages 245-255.
- NADEAU, L. – VAN BREEMEN, O., 1994 – Do the 1,45-1,39 Ga Montauban Group and La Bostonnais complex constitute a Grenvillian accreted terrane? Geological Association of Canada - Mineralogical Association of Canada; Program with abstracts, volume 19, pages A81.
- NADEAU, L. – VAN BREEMEN, O., 2001 – U- Pb zircon age and regional setting of the Lapeyrière gabbro-norite, Portneuf-Mauricie region, south-central Grenville Province, Quebec. Geological Survey of Canada; Current Research 2001-F6, 8 pages.
- NALDRETT, A. J. – ASIF, M. – KRSTIC, S. – LI, C., 2000 – The composition of mineralization at the Voisey's Bay Ni-Cu sulfide deposit, with special reference to platinum-group elements. Economic Geology; volume 95, pages 845-865.
- PALME, H. – JONES, A., 2004 – Solar System Abundances of the Elements. Dans : Treatise on Geochemistry (H. D. Holland and K. K. Turekian, editors), Meteorites, Comets, and Planets; volume 1, pages 41-61.
- PALME, H. – O'NEILL, H. ST. C., 2004 – Cosmochemical Estimates of Mantle Composition. Dans : Treatise on Geochemistry (H. D. Holland and K. K. Turekian, editors), The Mantle and Core; volume 2, pages 1-38.
- PERREAULT, S., 1993 – La suite plutonique de Rivière-à-Pierre, Portneuf : pétrologie, géochimie et mise en place pendant l'orogénèse Grenvillienne. Ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec; DV 93-03, pages 25-29.
- POIRIER, G., 1988 – Étude métallogénique de gîtes de nickel, cuivre et platinoïdes de l'ouest de la province de Grenville, Québec. Université du Québec à Montréal; Thèse de maîtrise, 299 pages.
- RIVERS, T. – MARTIGNOLE, J. – GOWER, C.F. – DAVIDSON, T., 1989 – New tectonic divisions of the Grenville province, southeast Canadian Shield. Tectonics; volume 8, pages 63-84.
- RIVERS, T., 1997 – Lithotectonic elements of the Grenville Province: review and tectonic implications. Precambrian Research; volume 86, pages 117-154.
- RONDOT, J., 1978 – Région de Saint-Maurice. Ministère des Richesses naturelles, Québec; DPV-594, 85 pages.
- SAPPIN, A.-A. – CONSTANTIN, M. – CLARK, T. – VAN BREEMEN, O., 2004 – Géologie des indices de Ni-Cu-EGP des lacs Nadeau et Long, Région de Portneuf, Ministère des Ressources naturelles de la Faune et des Parcs, Québec; RP 2004-03, 11 pages.



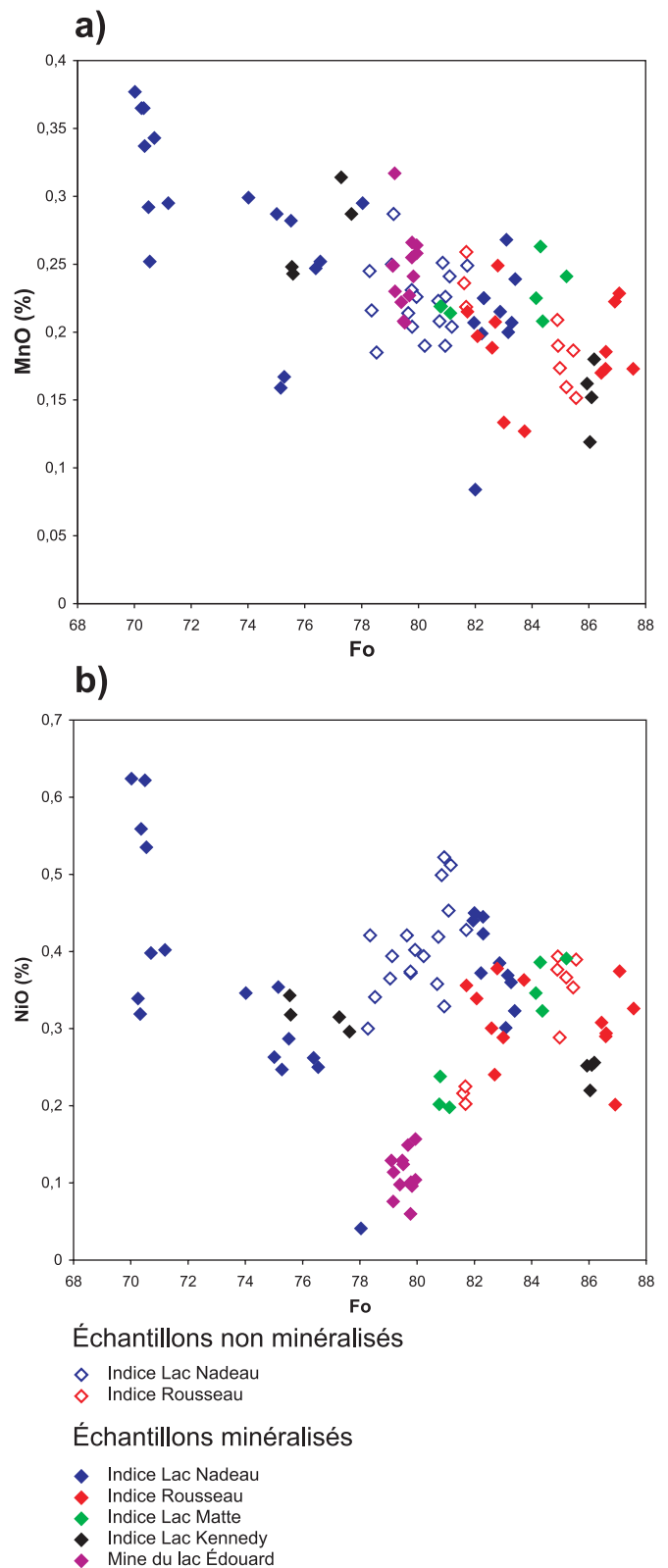
**Figure 1** - Géologie de la région de Portneuf-Mauricie (modifiée de Nadeau et van Breemen, 2001). Intrusions de gabbro-gabbro-norite et d'anorthosite : A - Lapeyrère; B - Édouard; C - Étoile; D - Lejeune; E - Shawinigan; F - Montauban; G - Sandford; H - Wessonneau; I - Langelier; J - La Tuque. Intrusions de roches mafiques à ultramafiques, avec minéralisations en Ni-Cu associées : K - Lac Matte; L - Lac Kennedy; M - Lac Édouard; N - Rousseau; O - Lac Nadeau; P - Shawinigan; Q - Rochette.



**Figure 2** - Diagramme d'éléments de terres rares normalisés aux chondrites pour les roches gabbroïques minéralisées ou non minéralisées du Domaine de Portneuf-Mauricie. Valeurs de normalisation d'après Palme et Jones (2004).



**Figure 3** - Diagramme multi-éléments normalisés au manteau primitif pour les roches gabbroïques minéralisées ou non minéralisées du Domaine de Portneuf-Mauricie. Valeurs de normalisation d'après Palme et O'Neill (2004).



**Figure 4** - (a) MnO versus % forstérite dans les olivines pour les roches mafiques-ultramafiques minéralisées ou non minéralisées du Domaine de Portneuf-Mauricie. (b) NiO versus % forstérite dans les olivines pour les roches mafiques-ultramafiques minéralisées ou non minéralisées du Domaine de Portneuf-Mauricie.

Tableau 1 - Géochimie des principales lithologies présentes aux alentours de la mine du lac Édouard et des indices Lac Kennedy, Lac Matte et Rousseau.

		Mine du lac Édouard			Indice Lac Kennedy			Indice Lac Matte			Indice Rousseau		
No. terrain	AS-04-492A1	AS-04-507C	Débris de mine	AS-04-483A	AS-04-516A2	AS-04-526A1	AS-04-431A	AS-04-431D	AS-03-317A	AS-04-551B	AS-03-317A	AS-04-551B	
No. unique	2004042060	2004042034	2004042091	2004042040	2004042011	2004042012	2004042006	2004042007	2004042028	2004042071	2004042028	2004042071	
Localisation	697256 mE	697116 mE	696987 mE	663382 mE	663516 mE	663222 mE	663160 mE	663160 mE	703130 mE	704603 mE	703130 mE	704603 mE	
UTM NAD83	5281643 mN	5281149 mN	5281637 mN	5286169 mN	5286335 mN	5286054 mN	5291765 mN	5291765 mN	5202017 mN	5201678 mN	5202017 mN	5202035 mN	
Lithologie	I2I	I4B, PG	I4B	I4L	I3Q	M1	I3J	I4E, PG	I4E, PG	M1	I4E, PG	M1	
S (%)	n.d.	0,21	15,41	n.d.	3,16	0,06	0,21	0,89	1,91	1,8	0,07	0,33	
Ag (ppm)	<0,38	<0,49	0,80	<0,17	2,45	<0,28	<0,38	0,27	0,43	1,19	<0,18	<0,34	
Al (ppm)	94100	25300	13500	18200	68000	n.d.	n.d.	28100	22500	22800	69300	35300	
Au (ppm)	<0,0011	n.d.	0,0359	<0,0009	0,0289	0,0001	<0,0001	0,0061	0,011	0,0977	<0,0027	0,0333	
Bi (ppm)	<100	<100	<100	<100	<100	n.d.	n.d.	<100	<100	<100	<100	<100	
Ca (ppm)	59400	65800	50500	21600	78300	n.d.	n.d.	26700	25600	20000	38900	49100	
Cd (ppm)	n.d.	n.d.	<23	n.d.	<0,60	<0,049	<0,093	<2	<1,1	<2,5	n.d.	<1,8	
Co (ppm)	23	82	910	126	223	12	24	107	165	194	22	109	
Cr (ppm)	43	1822	1305	11636	301	31	41	2635	2086	3456	79	2686	
Cu (ppm)	60	90	2890	20	3880	n.d.	n.d.	1080	1990	2950	70	540	
Fe (ppm)	61196	80637	244884	82050	78515	27892	39475	79315	93209	77558	77502	74844	
K (ppm)	7100	2700	1100	2700	3000	n.d.	n.d.	2000	800	100	24400	500	
K (ppm)	n.d.	n.d.	<3900	n.d.	4083	0,2515	<0,28	<19000	787	1180	21350	4187	
Mg (ppm)	22000	147600	78300	241500	65000	n.d.	n.d.	157100	158900	173200	16500	158300	
Mn (ppm)	1000	1700	800	1200	700	n.d.	n.d.	1400	1500	1400	1400	1300	
Mo (ppm)	<10	<10	<10	<10	<10	n.d.	n.d.	<10	<10	<10	<10	<10	
Na (ppm)	29700	4600	1800	2400	13600	n.d.	n.d.	3900	2100	1900	21800	5500	
Na (ppm)	29331	n.d.	2029	3243	12110	4	4	3581	2140	1623	20123	5358	
Ni (ppm)	30	615	16250	1730	4650	<20	28	2410	4770	8350	20	1508	
Ni (ppm)	<21	583	15408	1500	4024	11	37	2102	4239	7899	13	1528	
P (ppm)	1000	200	100	300	100	n.d.	n.d.	200	200	<100	7500	<100	
Pb (ppm)	<200	<200	<200	<200	<200	n.d.	n.d.	<200	<200	<200	<200	<200	
Sb (ppm)	<0,045	<21	<0,061	<0,0094	0,04	0,001	<0,0029	<0,017	0,013	0,099	0,076	0,182	
Se (ppm)	<0,74	<90	22	<0,33	5	<0,31	<0,5	2	4	10	<0,28	1	
Sr (ppm)	600	n.d.	n.d.	200	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	<100	600	100	
W (ppm)	n.d.	n.d.	<2,7	n.d.	<0,60	0,0015	<0,0095	<2,1	<0,25	<0,33	1,264	<0,54	
Zn (ppm)	104	83	62	112	54	54	65	63	64	71	152	46	
Au (ppb)	1	1	30	2	28	n.d.	n.d.	8	11	85	1	28	
Pd (ppb)	<0,5	<0,5	27,5	1,4	4,9	n.d.	n.d.	<0,5	2,4	112,1	<0,5	36,6	
Pt (ppb)	<0,1	3,2	1,3	1,2	11,3	n.d.	n.d.	3,9	6,4	29,2	<0,1	25,5	
Rh <sup>(1)</sup> (ppb)	<0,05	0,17	2,15	0,35	<0,05	n.d.	n.d.	0,26	<0,05	4,26	0,23	1,53	
δ34S (‰)	n.d.	n.d.	2,4	n.d.	1,9	5,5	3,2	1,8	1,2	0,6	2	1	

**Méthodes analytiques :** IF = Infrarouge (LECO); INAA = Analyse par activation neutronique (méthode décrite dans Constantin, 2006); PL = Digestion à 4 acides et dosage par ICP-AES;

ICP = Essai pyrognostique avec digestion du bouton d'Ag et dosage par ICP-MS. n.d. = non déterminé; (1) = semi-quantitatif.

**Lithologies :** I2I, diorite quartzifère; I3J, norrite; I3Q, gabbro-norrite; I4B, pyroxénite; I4E, Orthopyroxénite; I4L, Harzburgite; M1, gneiss; M3(I1D), orthogneiss tonalitique

**Minéraux :** PG, plagioclase; OV, olivine

**Tableau 2** - Calcul du degré d'enrichissement en Ni, Cu, EGP et Au à 100 % de sulfures pour plusieurs échantillons représentatifs prélevés dans les indices Lac Matte, Lac Kennedy, Lac Nadeau, Rousseau et la mine du lac Édouard

Localisation	No. terrain	Lithologie	Ni <sub>100</sub> <sup>a</sup>	Cu <sub>100</sub> <sup>b</sup>	Pt <sub>100</sub> <sup>c</sup>	Pd <sub>100</sub> <sup>d</sup>	Au <sub>100</sub> <sup>e</sup>
Indice Lac Matte	AS-04-431A	Norite	7,399	3,941	0,155	—	0,317
	AS-04-431D	Pyroxénite à plagioclase	7,890	3,543	0,119	0,045	0,204
Indice Lac Kennedy	AS-04-516A2	Gabbronorite	5,057	4,280	0,128	0,055	0,317
Mine du lac Édouard	Déchets de mine	Pyroxénite	3,765	0,670	0,003	0,064	0,070
Indice Rousseau	AS-03-316A	Gabbronorite	14,232	—	—	—	2,598
	AS-03-317A	Norite	16,260	5,738	0,561	2,153	1,633
Indice Lac Nadeau	AS-03-99A	Gabbronorite à olivine	7,987	8,870	10,601	15,437	30,042
	AS-03-101A	Gabbronorite à olivine	8,735	9,170	26,403	38,864	9,084

<sup>a</sup>Ni à 100 % de sulfures, <sup>b</sup>Cu à 100 % de sulfures, <sup>c</sup>Pt à 100 % de sulfures, <sup>d</sup>Pd à 100 % de sulfures, <sup>e</sup>Au à 100 % de sulfures

**Tableau 3** - Valeurs des ratios <sup>34</sup>S/<sup>32</sup>S relatifs à celui d'un standard (<sup>34</sup>S) et des ratios sélénium/soufre (Se/S) x 10<sup>6</sup> obtenues pour des roches mafiques-ultramafiques associées aux minéralisations.

	$\delta^{34}\text{S}$ (‰)	(Se/S) × 10 <sup>6</sup>
Indice Lac Matte	+ 1,2 à 2,7	178 à 201
Indice Lac Kennedy	+ 1,9 à 3,8	124 à 172
Mine du lac Édouard	+ 2,4 à 3,4	144 à 278
Indice Rousseau	+ 0,6 à 1	—
Indice Lac Nadeau	+0,5 à 2,8	385 à 833