

Étude volcanologique et géochimique des roches volcaniques mafiques à intermédiaires du Groupe de Blake River entre les lacs McDiarmid et Hébécourt, Sous-province de l'Abitibi

Russell Rogers¹ Pierre-Simon Ross¹, Jean Goutier², Patrick Mercier-Langevin³

RP 2010-08

Mots clés : Abitibi, Archéen, Groupe de Blake River, géochimie, Formation d'Hébécourt, Formation de Renault-Dufresnoy, sulfures massifs volcanogènes, volcanologie

Résumé

La séquence volcanique formant la Formation d'Hébécourt se situe stratigraphiquement dans la partie inférieure du Groupe de Blake River. Elle se compose principalement, à l'échelle régionale, de basaltes tholéitiques sous-marins, avec quelques minces bandes de rhyolite. Cette unité a été relativement peu explorée jusqu'à maintenant pour les métaux usuels, comparativement à d'autres secteurs du Groupe de Blake River. La zone d'étude, entre les lacs McDiarmid et Hébécourt, est considérée comme favorable pour l'exploration des minéralisations de type sulfures massifs volcanogènes puisqu'on y trouve : 1) une forte concentration de roches volcaniques felsiques par rapport au reste de la Formation d'Hébécourt; 2) des faciès volcaniques proximaux et de possibles failles synvolcaniques; 3) des intersections de Zn-Cu en forage et des zones d'altération hydrothermale; et 4) des niveaux volcano-sédimentaires laminés, riches en sulfures. De plus, des datations U-Pb récentes ont démontré que les roches felsiques de la Formation d'Hébécourt dans le secteur d'étude ont le même âge que les roches encaissantes des importants gisements Horne et Quemont, près de Rouyn-Noranda.

Le projet de maîtrise en cours à l'INRS vise à mieux connaître la stratigraphie, la géochimie et la volcanologie physique des roches volcaniques de ce secteur, afin de localiser les centres effusifs et les failles synvolcaniques en présence. Ces structures importantes seront mises en lien avec l'altération, les minéralisations connues et l'étude des niveaux laminés riches en sulfures pour, finalement, mieux caractériser le système hydrothermal. Au cours de deux saisons de terrain, la majorité des affleurements du secteur ont été visités et les douze forages les plus récents ont été décrits en détail.

Dans le secteur d'étude, la Formation d'Hébécourt comprend cinq unités volcaniques tholéitiques : trois sont de composition mafique à intermédiaire (Aht1, Aht2 et Aht5) et deux de composition felsique (Aht4 et Aht6). L'unité Aht1 est la plus abondante et constituée de basalte massif à coussiné. L'unité Aht2 est représentée par des andésites basaltiques variolitiques intercalées dans l'unité précédente. Les unités Aht1 et Aht2 sont interprétées comme représentant une plaine de lave. Elles sont surmontées par l'unité de rhyolite Aht4 dont l'épaisseur vraie est d'environ 495 m. Cette rhyolite varie de massive à bréchique et contient des minéralisations de Zn-Cu dans sa partie est. Elle est surmontée partiellement par une andésite basaltique variolitique (Aht5) dont l'épaisseur stratigraphique peut atteindre 210 m. Les variations de faciès en affleurement et dans quatre forages qui traversent entièrement cette unité suggèrent que le centre effusif est situé dans sa partie est, au sud de minéralisations rencontrées dans une rhyolite stratigraphiquement sous-jacente (Aht4). Finalement, une autre rhyolite plus mince et moins étendue (Aht6) constitue la partie sommitale de la Formation d'Hébécourt, laquelle est surmontée par la Formation de Renault-Dufresnoy. Ce rapport préliminaire présente principalement la volcanologie et la géochimie des roches volcaniques mafiques à intermédiaires dans le secteur d'étude.

1. Institut national de la recherche scientifique, centre Eau Terre Environnement

2. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune

3. Commission géologique du Canada

INTRODUCTION

Le Groupe de Blake River (GBR), d'âge archéen, contient de nombreux gisements de métaux usuels et précieux, notamment des sulfures massifs volcanogènes (SMV). Plusieurs des gisements de SMV à Cu-Zn sont localisés dans le camp minier central (Gibson et Watkinson, 1990; Gibson et Galley, 2007), au nord de Rouyn-Noranda, dans des roches volcaniques maintenant assignées à la partie supérieure du GBR (Goutier *et al.*, 2009; McNicoll *et al.*, soumis). Les SMV riches en or du camp Doyon-Bousquet-LaRonde, plus à l'est, sont situés dans la Formation de Bousquet, également incluse dans la partie supérieure du GBR (Lafrance *et al.*, 2003; Mercier-Langevin *et al.*, 2007). Cependant, la partie inférieure du GBR est aussi considérée comme propice à la présence de ce type de gisements puisque des datations U-Pb récentes montrent que les roches encaissantes des gisements importants de Horne et Quemont, riches en or (Kerr et Gibson, 1993; Monecke *et al.*, 2008), appartiennent à ce groupe d'âge (Goutier *et al.*, 2009; McNicoll *et al.*, soumis).

Le potentiel minéral des roches volcaniques de la partie inférieure du GBR, incluant la Formation d'Hébécourt dans le nord du GBR, mérite donc être réexaminé. Le secteur décrit ici contient des roches volcaniques felsiques en abondance, des minéralisations connues en Zn-Cu, et plusieurs niveaux laminés riches en sulfures, constituant probablement des manifestations d'un système hydrothermal de type SMV (Franklin *et al.*, 2005).

Ce rapport touche principalement les roches volcaniques mafiques à intermédiaires du sommet de la Formation d'Hébécourt et de la base de la Formation de Reneault-Dufresnoy dans le secteur d'étude. Il intègre des descriptions d'affleurements et de carottes de forages et présente les variations de faciès volcaniques, de même que la lithogéochimie des différentes unités. Les roches volcaniques felsiques du secteur ont été décrites par Rogers *et al.* (2010); les autres aspects de nos investigations seront présentés dans des publications ultérieures.

CONTEXTE GÉOLOGIQUE

Géologie régionale

Le GBR est la succession volcanique sub-alkaline la plus jeune de la Sous-province de l'Abitibi (Thurston *et al.*, 2008; McNicoll *et al.*, soumis). Cette unité contient surtout des laves sous-marines, coussinées à massives, de composition mafique à intermédiaire, avec des proportions moindres de roches volcaniques felsiques et de roches volcanoclastiques mafiques à intermédiaires (Dimroth *et al.*, 1982; Gélinas *et al.*, 1984; Péloquin *et al.*, 1990; Laffèche *et al.*, 1992a; Goutier *et al.*, 2007; Ross *et al.*, 2007, 2008a, 2008b; Mercier-Langevin *et al.*, 2008; Goutier *et al.*, en prépara-

tion). Ces roches sont recoupées par des plutons synvolcaniques et plus tardifs, de composition felsique à intermédiaire (ex. Galley, 2003; Piercey *et al.*, 2008), de même que plusieurs générations de dykes et de filons-couches mafiques à felsiques (ex. Pearson et Daigneault, 2009). Le GBR est bordé sur plusieurs côtés par des roches sédimentaires archéennes et protérozoïques.

Le secteur d'étude est situé dans la partie nord du GBR au Québec, près de la frontière avec l'Ontario. Dans la zone couverte par la figure 1, le GBR se divise en deux unités stratigraphiques définies par Goutier (1997) : la Formation d'Hébécourt, d'affinité tholéitique, et la Formation de Reneault-Dufresnoy, plus jeune, d'affinité variable mais typiquement transitionnelle à calco-alkaline. À l'échelle régionale, la Formation d'Hébécourt est dominée par les laves basaltiques (Lafrance *et al.*, 2003; Legault *et al.*, 2005), alors que la Formation de Reneault-Dufresnoy varie en composition de basalte à rhyolite (Caumartin et Caillé, 1990; Laffèche *et al.*, 1992b; Lafrance et Dion, 2004). En Ontario, la Formation d'Hébécourt correspond à la partie nord du « *Lower Blake River assemblage* » (Berger et Amelin, 1998; Ayer *et al.*, 2002, 2005). Une révision complète de la stratigraphie du Groupe de Blake River est présentée dans l'étude de Goutier *et al.* (en préparation). Cette étude comprend l'historique de la Formation d'Hébécourt et ses corrélations avec les autres unités du Groupe de Blake River.

Sommaire de la géologie dans le secteur d'étude

Dans le secteur d'étude, la polarité stratigraphique est vers le sud et le pendage des couches est très abrupt. La Formation d'Hébécourt a été divisée en cinq unités tholéitiques par Rogers *et al.* (2010; figure 1). La plus ancienne et la plus volumineuse est le basalte d'Hébécourt (Aht1), lequel est interlité avec des niveaux d'andésite basaltique variolitique (Aht2). À l'extérieur du secteur d'étude, on note aussi des niveaux de lave gloméroporphyrrique (Aht3) dans la succession mafique (Legault *et al.*, 2005). Le milieu de mise en place de la partie mafique de la Formation d'Hébécourt (Aht1 à Aht3) est généralement interprété comme une plaine de laves (Dimroth *et al.*, 1982). Les laves mafiques sont couvertes dans tout le secteur d'étude par une unité rhyolitique d'environ 495 m d'épaisseur (Aht4). Dans la partie est du secteur, la rhyolite est elle-même surmontée par une andésite basaltique de 210 m d'épaisseur (Aht5) et une seconde unité de rhyolite de 45 à 75 m d'épaisseur (Aht6). Les deux unités de rhyolites Aht4 et Aht6 ont donné des âges U-Pb sur zircons de 2703 Ma et 2702 Ma respectivement (McNicoll *et al.*, soumis). Des intercalations mineures de roches volcaniques transitionnelles à calco-alkalines existent dans la Formation d'Hébécourt, mais il n'en sera pas question dans ce rapport (données lithogéochimiques non publiées). Finalement, la Formation de Reneault-Dufresnoy repose en concordance sur la Formation

d'Hébécourt dans le secteur d'étude et est représentée essentiellement par des laves mafiques à intermédiaires d'affinité magmatique variable.

Géologie économique

La partie sommitale de la Formation d'Hébécourt entre la frontière ontarienne et le lac Hébécourt, incluant les deux rhyolites susmentionnées, est connue sous l'appellation « Sudbury Contact », d'après le nom de la compagnie d'exploration qui a initialement découvert des métaux usuels dans le secteur au début des années 1970 (1,15 % Zn sur 20,2 m selon Carignan et Lafrance, 2008). Les claims ont ensuite été détenus ou placés sous option par plusieurs compagnies, dont Falconbridge, Inco, Noranda et Inmet. Dans la partie nord-est de la rhyolite principale (Aht4), une zone minéralisée à faible teneur contenant des filonnets de zinc a été reconnue en forage sur des épaisseurs pouvant atteindre 40 m, dans des roches altérées principalement en séricite (Cashin et Fraser, 1992; Martin, 1994; Bambi, 1998). Deux niveaux anomaux en zinc, d'origine supposée exhalative, ont été identifiés plus haut dans la séquence, le premier au contact Aht4-Aht5 et le second au sommet de Ath6 (Fraser, 1991). Les valeurs en zinc atteignent 1,2 % dans ces niveaux (Carignan et Lafrance, 2008). Les forages récents de Ressources Cogitore (figure 1: forages MD-01 à MD-03, et HEB-01 à HEB-09) ont principalement ciblé cette partie supérieure de la Formation d'Hébécourt. Les carottes de forages ont été décrites en détail et échantillonnées systématiquement pour cette étude. Nous décrivons maintenant la géologie et la géochimie des roches mafiques à intermédiaires du secteur d'étude : les unités volcaniques sont présentées en ordre stratigraphique de la base vers le sommet.

BASALTE D'HÉBÉCOURT

Volcanologie

Le basalte d'Hébécourt (Aht1) a été observé sur 17 affleurements dans le cadre de cette étude, de même que dans les forages HEB-05, HEB-01 et MD-01. Ces laves sont aphyriques et varient de massives à coussinées.

Les **coussins** font 60-80 cm de long en moyenne, avec une texture très finement grenue. Les surfaces fraîches sont gris moyen à foncé. La roche contient 0 à 3 % d'amygdales de quartz faisant jusqu'à 2 mm de diamètre. Le matériel intercoussins inclut des anciennes échardes de verre anguleuses (hyaloclastite) pouvant atteindre 1 cm. La présence de varioles dans les coussins est très rare; les varioles sont plutôt typiques des laves coussinées de l'unité Aht2.

Les **laves massives** de l'unité Aht1 sont non vésiculaires, aphanitiques à finement grenues, avec une couleur gris moyen en surface fraîche. Des taches de chlorite de 2-3 mm,

de forme irrégulière, sont parfois visibles (anciens pyroxènes?). L'épidote est présente par endroits, ainsi que jusqu'à 3 % d'amas de pyrite pouvant atteindre 3 mm.

En général, dans le secteur d'étude, le basalte d'Hébécourt est surmonté par la rhyolite Aht4 (figure 1). Néanmoins, des niveaux de basalte tholéitique ont été intersectés en forage plus haut dans la séquence. C'est le cas dans le forage HEB-01, où un niveau 36 m de basalte tholéitique (épaisseur vraie) est intercalé entre la rhyolite (Aht4) et l'andésite basaltique d'Hébécourt (Aht5). Le basalte est composé de brèches de coussins contenant des fragments pouvant atteindre 1 m. Quelque 50 à 60 % de ces fragments montrent une bordure figée, incluant tous les fragments de taille supérieure à 30 cm. La forme des fragments est le plus souvent ronde, mais peut varier de fluidale à anguleuse.

Dans le forage MD-01, un intervalle de 90 m de basalte tholéitique (épaisseur vraie), avec la signature en éléments traces de l'unité Aht1, est intercalé entre la rhyolite principale (Aht4) et la Formation de Reneault-Dufresnoy. Cet intervalle comprend des laves massives, des laves coussinées et des brèches de coussins. Exceptionnellement pour cette unité, les coussins sont variolitiques; les varioles de 0,5 à 2 cm sont blanches à gris pâle et se concentrent à la marge des coussins.

Géochimie

Sept échantillons de l'unité Aht1 ont été analysés. Ils proviennent généralement de la partie supérieure de l'unité (sous la rhyolite Aht4) ou encore, des intercalations de basalte de type Aht1 rencontrées plus haut dans la séquence (figure 1). Nous avons aussi compilé les données existantes pour l'ensemble des basaltes de l'unité Aht1 dans le secteur d'étude (figure 2, champ gris). Les nouveaux échantillons recueillis (carrés bleus) se situent majoritairement dans le champ des basaltes sur le diagramme SiO_2 versus Zr/TiO_2 (figure 2a) ou le champ basalte/andésite dans le diagramme Zr/TiO_2 versus Nb/Y (figure 2b). Ces échantillons sont tholéitiques, comme l'indiquent les trois figures d'affinité magmatique (figures 2c à 2e). Notons que les nouveaux champs de Ross et Bédard (2009), et non ceux de Barrett et Maclean (1999), sont utilisés sur ces diagrammes d'affinité magmatique. Ross et Bédard (2009) ont calibré les diagrammes sur la base de l'affinité magmatique, définie par les éléments majeurs, de plus de 1000 échantillons non altérés provenant d'arcs océaniques récents. Cet exercice a notamment entraîné des changements importants au diagramme Zr versus Y. Dans le diagramme multi-éléments (figure 3a), le basalte d'Hébécourt montre des profils plats, à l'exception des trois premiers éléments (Th, Nb, Ta) qui sont moins abondants, comme pour les basaltes de rides médio-océaniques (MORB), et d'une faible anomalie négative en Ti (voir aussi Robidoux, 2008).

ANDÉSITE BASALTIQUE VARIOLITIQUE D'HÉBÉCOURT

Volcanologie

Des andésites basaltiques aphyriques, massives à coussinées (unité Aht2), intercalées dans le basalte d'Hébécourt (Aht1), ont été observées en affleurement et dans le forage HEB-05. Ces intercalations font de 20 à 300 m d'épaisseur. Le **faciès coussiné** de cette unité Aht2 contient souvent des varioles visibles à l'œil nu (Rogers *et al.*, 2010). Les **laves massives** sont microvariolitiques, à grain fin, et de couleur verte en surface fraîche. Des taches de chlorite (remplacement de phénocristaux mafiques?) sont fréquemment observées et des veinules de séricite peuvent être présentes. La roche contient 2 à 3 % d'amygdales de chlorite de 1 à 2 mm, et moins de 1 % de pyrite finement disséminée.

Géochimie

Deux échantillons appartenant à l'unité Aht2 ont été analysés (pour localisation, voir figure 1). Dans le diagramme de la figure 2a, ils se situent dans la partie inférieure du champ andésite/andésite basaltique et dans celui de la figure 2b, dans le champ des andésites. Cette dernière figure montre une différence compositionnelle bien marquée entre les unités Ath1 et Aht2. Les laves de l'unité Aht2 sont clairement tholéïtiques (figures 2c à 2e) tout comme celles de l'unité Aht1 mais montrent des concentrations en éléments immobiles beaucoup plus élevées. Le diagramme d'éléments en traces normalisés (figure 3b) montre des profils généralement plats, comparables à ceux de l'unité Aht1 et donc typique des basaltes de type MORB. En revanche, les valeurs normalisées sont plus élevées (plus de 10) et l'anomalie négative en Ti est plus prononcée en raison de la différenciation magmatique.

ANDÉSITE BASALTIQUE D'HÉBÉCOURT

L'andésite basaltique d'Hébécourt (unité Aht5) surmonte la rhyolite principale (Aht4) dans la partie est du secteur d'étude. Son épaisseur vraie maximale est de 132 m, mais la présence de nombreux dykes mafiques à intermédiaires (non illustrés sur la figure 1) gonfle cette épaisseur à plus de 210 m. Les faciès volcaniques observés incluent les laves massives, les laves coussinées, la brèche de coussins et la hyaloclastite sans coussins. Toutes ces roches sont aphyriques.

Description des faciès

Les **laves massives** sont finement grenues, gris moyen à vert moyen en surface fraîche, avec une abondance variable (1 à 2 %, mais localement jusqu'à 20 %) d'amygdales circulaires de quartz, de chlorite ou de calcite de 2 à 3 mm de diamètre, parfois jusqu'à 5 mm. Des varioles pâles, typiquement circulaires, de 0,5 à 1 cm de diamètre, sont fréquemment observées et constituent de 10 à 90 % de la roche. Des fibres radiales sont parfois préservées dans les varioles et le matériel les entourant est souvent d'apparence chloriteuse. Les intervalles massifs de l'unité Aht5 ressemblent donc aux coussins de la même unité pour ce qui est de la texture (voir ci-dessous) et ne font jamais plus de 2-3 m de long en forage (longueur selon l'axe de la carotte). Il pourrait donc s'agir en partie de gros coussins.

Les **laves coussinées** constituent le faciès dominant de l'andésite basaltique d'Hébécourt. Les coussins sont à grain fin et de couleur gris verdâtre moyen à foncé en surface fraîche. Les vésicules de 1 à 2 mm et pouvant atteindre parfois 5 mm, sont remplies de quartz, de calcite ou de chlorite. Elles se retrouvent dans des proportions variant entre 0 et 2 %, sauf près des bordures de coussins où elles peuvent compter pour 5 % de la roche. Ces bordures contiennent aussi des varioles représentant jusqu'à 90 % de la roche et faisant jusqu'à 2 cm de diamètre. Les varioles diminuent en taille vers le centre des coussins. Dans certains cas, elles diminuent aussi en abondance, alors que dans d'autres cas, elles semblent se fusionner. Entre les coussins, on remarque des fragments anguleux de 1-2 cm présentant une texture en mosaïque et interprétés comme de la hyaloclastite *in situ*. La plupart des fragments sont complètement chloritisés, parfois avec des pourtours de séricite. D'autres sont remplacés par de l'épidote. Le ciment est constitué de quartz et parfois de séricite.

Les **brèches de coussins** sont souvent en contact graduel avec les laves coussinées. En partant d'un intervalle représenté par le faciès coussiné, on note une augmentation graduelle de l'épaisseur de hyaloclastite entre les coussins et une diminution de la taille des coussins. Finalement, les coussins entiers font place à des fragments de coussins entourés de hyaloclastite; ce sont les brèches de coussins. Les fragments de coussins sont souvent entourés d'une bordure figée. Ils ont une forme ronde ou fluidale et leur dimension varie de 5 à 10 cm, bien qu'elle puisse atteindre parfois 25 cm. Ces fragments de coussins peuvent contenir des varioles et/ou des vésicules concentrées en bordure. De plus, on trouve aussi des fragments anguleux de 2 à 3 cm formés du même matériel. Le quartz occupe l'espace entre les fragments et est parfois associé à de la séricite.

Les **hyaloclastites sans coussins** se composent de fragments anguleux chloritisés avec une texture en mosaïque, dans un ciment de quartz. Il s'agit du même matériel que celui rencontré entre les coussins dans les laves coussinées,

sauf qu'il forme des horizons suffisamment épais (allant jusqu'à plusieurs mètres) pour être distingués des laves. De plus, le pourcentage de ciment peut être plus important et la taille des fragments, atteindre 4 cm. On remarque aussi 1 à 2 % de pyrite disséminée par endroits.

Variations d'épaisseur et de faciès

Cette section intègre nos observations de terrain et celles faites sur les carottes de forage. Ces dernières représentent un apport d'information particulièrement important puisque l'unité d'andésite basaltique d'Hébécourt a été intersectée dans sa totalité dans quatre forages que nous avons étudiés (HEB-08, HEB-02, HEB-01 et HEB-03, figure 1). Cette unité s'amincit nettement d'est en ouest, passant de 132 m d'épaisseur vraie (sans les dykes) à 56 m, avant de disparaître au-delà du forage HEB-08. Le faciès massif se présente en plus forte proportion dans la portion orientale et plus spécialement dans le forage HEB-03. Le faciès coussiné domine en proportion dans tous les forages, mais on observe une diminution de la taille moyenne des coussins vers l'ouest (90 à 100 cm dans les forages HEB-01 à HEB-03 et 40 cm dans le forage HEB-08). Enfin, la proportion de roches fragmentaires (brèche de coussins, hyaloclastite sans coussins) augmente vers l'ouest, passant de 0 % dans le forage HEB-03 à 30 % dans le forage HEB-08. Ces variations de faciès et d'épaisseur sont typiques des laves sous-marines mafiques à intermédiaires (Dimroth *et al.*, 1978) et suggèrent que le centre effusif de l'unité Aht5 est situé dans les environs du forage HEB-03, à l'ouest du lac Hébécourt.

Géochimie

Nous avons analysé 18 échantillons provenant de l'unité Aht5, soit quatre échantillons recueillis en affleurement et 14 provenant de carottes de forage. Ces échantillons sont bien distribués sur toute l'épaisseur de l'unité. En général, ils forment un groupe bien circonscrit dans tous les diagrammes de géochimie (figure 2). Dans le diagramme SiO_2 versus Zr/TiO_2 , les analyses se situent dans la partie inférieure du champ andésite basaltique/andésite, confirmant ainsi le nom attribué à cette unité (figure 2a). Par contre, dans le diagramme Zr/TiO_2 versus Nb/Y , elles se projettent dans le champ des andésites (figure 2b). Leur affinité magmatique tholéiitique est bien indiquée sur les diagrammes La versus Yb (figure 2d) et Th/Yb versus Zr/Y (figure 2e). Le diagramme Zr versus Y montre une affinité magmatique chevauchant la limite tholéiitique-transitionnelle (figure 2c), mais les deux autres diagrammes d'affinité (figures 2d et 2e) et les diagrammes multi-éléments (figure 3c) confirment une affinité tholéiitique. On remarque sur tous les diagrammes géochimiques présentés une correspondance presque parfaite entre l'unité Aht2 et l'unité Aht5. Cette correspondance géochimique (et texturale) suggère que l'unité Aht5 serait équivalente aux nombreux niveaux d'andésite basaltique variolitique de l'unité Aht2; la distinction entre ces unités ne reposant essentiellement que sur leur position stratigraphique.

FORMATION DE RENAULT-DUFRESNOY

L'unité stratigraphique la plus jeune dans le secteur d'étude est la Formation de Renault-Dufresnoy. Seuls les premiers 250 à 300 m de cette unité faisant probablement plusieurs kilomètres d'épaisseur ont été examinés dans le cadre de cette étude, sur six affleurements et dans sept forages. Les roches volcaniques mafiques à intermédiaires observées sont massives à coussinées, avec une faible proportion de roches fragmentaires. Plus au sud, la proportion de matériel volcanoclastique augmente (Ross *et al.*, 2008a).

Les **laves coussinées** qui ont été examinées dans le cadre de cette étude sont aphyriques, avec une texture finement grenue et une couleur allant de gris moyen à vert moyen en surface fraîche. Les coussins ont généralement une dimension variant entre 70 et 100 cm, et localement peuvent atteindre 2 m. Ils contiennent 2 à 3 % de vésicules (localement jusqu'à 20 %) de 1 à 3 mm de diamètre, remplies de quartz (parfois rose) et de chlorite. Les amygdales peuvent se concentrer à la marge des coussins, mais ce phénomène est moins commun que dans la Formation d'Hébécourt. La partie externe des coussins est parfois variolitique; les varioles font moins de 5 mm et fusionnent vers le centre des coussins. Une altération locale en silice, en épidote et en chlorite est observée. Entre les coussins, on trouve de la hyaloclastite formée de fragments anguleux de 3 à 4 mm (jusqu'à 1 cm) remplacés par la chlorite et l'épidote. La matrice de la hyaloclastite peut contenir de la pyrite et de la pyrrhotite.

Les **laves massives** varient de grain très fin à grain moyen. Les surfaces fraîches sont de couleurs similaires à celles des laves coussinées. Le pourcentage de vésicules peut atteindre 2 %, avec une taille allant jusqu'à 2 mm et un remplissage constitué de carbonate ou de chlorite.

Les **roches volcanoclastiques** comprennent majoritairement des brèches de coussins, avec quelques tufs. Les brèches de coussins contiennent jusqu'à 10 % de fragments de plus de 15 cm, aux formes fluidales, avec des bordures figées et des vésicules se concentrant en bordure. Les brèches contiennent aussi de nombreux fragments anguleux chloritisés de 2 à 4 mm à texture en mosaïque, ainsi qu'un ciment de quartz-chlorite.

Géochimie

Nous avons analysé 28 échantillons dans la Formation de Renault-Dufresnoy. Vingt-six proviennent de carottes de forage et tous se situent dans les premiers 250 à 300 m stratigraphique de l'unité. De plus, nous avons compilé les données géochimiques pour l'ensemble de la formation dans le territoire couvert par la figure 1; ces données sont représentées par un champ hachuré sur les diagrammes de la figure 2 et comprennent des échantillons situés plus haut dans la séquence.

Dans les diagrammes de Winchester et Floyd (1977), nos échantillons montrent une composition variant de basaltique à andésitique (figures 2a et 2b). Deux groupes chimiquement distincts ont été définis à partir des diagrammes d'affinités magmatiques (figures 2c à 2e) et des diagrammes multi-éléments (figures 3d et 3e). Les volcanites du Groupe 1 sont d'affinité tholéiitique à transitionnelle, alors que celles du Groupe 2 sont transitionnelles à calco-alcalines. Lorsqu'il est possible d'établir une relation entre les deux groupes, les volcanites du Groupe 2 se trouvent systématiquement plus haut dans la séquence, suggérant une évolution vers des affinités plus calco-alcalines.

Dans les diagrammes multi-éléments, les échantillons du Groupe 1 ont des pentes douces à modérées, de faibles anomalies négatives en Nb-Ta, de petits plateaux Zr-Hf et de faibles anomalies négatives (parfois positives) en Ti (figure 3d). En revanche, ceux du Groupe 2 ont des pentes plus fortes, des anomalies en Nb-Ta et de titane plus prononcées, et des plateaux Zr-Hf plus marqués (figure 3e). Cette dernière signature est typique des magmas d'arcs volcaniques.

DISCUSSION ET CONCLUSIONS

Ce rapport a décrit en détail les roches mafiques à intermédiaires de la Formation d'Hébécourt et de la base de la Formation de Renault-Dufresnoy entre les lacs McDiarmid et Hébécourt. Nous avons présenté les faciès volcaniques, les variations latérales de l'unité Aht5 et les caractéristiques géochimiques de chaque unité. Voici les nouveaux éléments interprétatifs que ces observations permettent de proposer.

Le **basalte d'Hébécourt (Aht1)** forme une plaine de laves massives à coussinées ressemblant géochimiquement à des MORB, ce qui suggère une mise en place dans un environnement sous-marin en extension. Bien que la majeure partie de cette unité soit située stratigraphiquement sous la rhyolite principale (Aht4), de minces niveaux de basalte tholéiitique ont été découverts au-dessus de celle-ci. Ceci indique que la mise en place de la rhyolite principale ne représente pas la fin complète du volcanisme tholéiitique dans la Formation d'Hébécourt. Deux hypothèses peuvent être présentées : soit que les rhyolites proviennent d'une chambre magmatique distincte de celle des basaltes, ou encore que la chambre magmatique unique a été rechargée par des magmas basaltiques après l'éruption de la rhyolite.

L'**andésite basaltique d'Hébécourt (Aht5)**, située au-dessus de la rhyolite principale (Aht4), ressemble aux horizons d'andésite basaltique variolitique (Aht2) intercalés avec les basaltes (Aht1) plus bas dans la séquence, tant d'un point de vue géochimique que celui des textures volcaniques. L'unité Aht5 constitue donc une autre

manifestation de volcanisme tholéiitique relativement mafique intercalé entre deux rhyolites (Aht4 et Aht6). Dans l'andésite basaltique d'Hébécourt, les variations d'épaisseur et de faciès suggèrent que le centre effusif était situé dans la partie est de l'unité.

Les premiers 250 à 300 m de la **Formation de Renault-Dufresnoy** contiennent des roches volcaniques mafiques à intermédiaires qui se classent en deux groupes géochimiques apparentés à des magmas d'arcs volcaniques modernes. Le Groupe 1, d'affinité tholéiitique à transitionnelle, se trouve à la base de l'unité, alors que le Groupe 2, d'affinité transitionnelle à calco-alcaline, se situe plus haut dans la stratigraphie, suggérant une évolution vers un volcanisme calco-alcalin. Les travaux Ross *et al.* (soumis) démontrent également des variations considérables d'affinité magmatique dans la même formation plus au sud, dans le secteur du lac Monsabrais.

Le potentiel d'exploration en métaux usuels du secteur d'étude semble intéressant puisqu'il contient deux unités de rhyolite, des intersections minéralisées zincifères et cuprifères, des zones d'altération en séricite et chlorite, de possibles failles synvolcaniques et des niveaux laminés riches en sulfures. De plus, nous avons identifié le centre effusif pour l'andésite basaltique d'Hébécourt (Aht5), dans les environs du forage HEB-03, à l'ouest du lac Hébécourt. Ce secteur est situé au sud de la zone contenant les meilleures intersections en Zn sous forme de filonnets de sulfures dans la rhyolite principale (Aht4). Ceci suggère une correspondance possible entre les centres effusifs (mafiques ou felsiques) et les zones de circulation hydrothermale importante dans la formation d'Hébécourt, et démontre l'utilité des études volcanologiques pour l'exploration des SMV (voir aussi Gibson *et al.*, 1999).

Remerciements

Benoit Lafrance, anciennement de Ressources Cogitore, a partagé ses connaissances sur la propriété Hébécourt au début du projet et a fourni des compilations géologiques et géochimiques inédites qui nous ont été fort utiles. Nous remercions aussi Tony Brisson de Ressources Cogitore pour le transfert d'information et les discussions. Le financement et le support logistique pour la recherche ont été fournis par la Commission géologique du Canada (Initiative Géoscientifique Ciblée, phase 3, projet Abitibi) et le MRNF. Nous remercions Benoît Dubé et Sylvain Lacroix, respectivement de ces deux organismes, pour leur support. Le premier auteur a obtenu une bourse d'exemption de frais de scolarité majorés pour étudiants étrangers de l'INRS-ETE. Les assistants de terrain étaient Philippe Robidoux (UQAM) et Erick Giroux (Université Laval).

RÉFÉRENCES

- AYER, J. – AMELIN, Y. – CORFU, F. – KAMO, S. – KETCHUM, J. – KWOK, K. – TROWELL, N., 2002 – Evolution of the southern Abitibi greenstone belt based on U-Pb chronology: autochthonous volcanic construction followed by plutonism, regional deformation and sedimentation. *Precambrian Research*; volume 115, pages 63-95.
- AYER, J.A. – THURSTON, P.C. – BATEMAN, R. – DUBÉ, B. – GIBSON, H.L. – HAMILTON, M.A. – HATHWAY, B. – HOCKER, S.M. – HOULÉ, M.G. – HUDAK, G. – ISPOLATOV, V.O. – LAFRANCE, B. – LESHER, C.M. – MACDONALD, P.J. – PÉLOQUIN, A.S. – PIERCEY, S.J. – REED, L.E. – THOMPSON, P.H., 2005 – Overview results from the Greenstone Architecture Project; Discover Abitibi Initiative. Ontario Geological Survey; Open File Report 6154, 146 pages.
- BAMBIC, P., 1998 – Ormico Exploration limited, Hébecourt property, Report on the 1997 winter diamond drilling campaign. Rapport statutaire déposé au ministère des Ressources naturelles et de la Faune; GM 56162, 153 pages.
- BARRETT, T.J. – MACLEAN, W.H., 1999 – Volcanic sequences, lithochemistry, and hydrothermal alteration in some bimodal volcanic-associated massive sulfide systems. *In: Volcanic-associated massive sulfide deposits: processes and examples in modern and ancient settings* (Barrie, C.T. and Hannington, M.D., editors). *Reviews in Economic Geology*; volume 8, pages 101-131.
- BERGER, B. – AMELIN, Y., 1998 – Project Unit 97-024. Geological Investigations Along Highway 101; Guibord, Michaud and Garrison Townships. Ontario Geological Survey; Miscellaneous Paper 169, pages 25-32.
- CARIGNAN, G. – LAFRANCE, B., 2008, Rapport pour le programme de forage 2007, Projet Hébecourt. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Québec; GM 63800, 90 pages.
- CASHIN, P. – FRASER, R., 1992 – 1992 Exploration report, Hébecourt J.V. property, Hébecourt township, Québec. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Québec; GM 52416, 120 pages.
- CAUMARTIN, C. – CAILLÉ, M.-F., 1990 – Volcanic stratigraphy and structure of the Mobrun mine. Dans : *La ceinture polymétallique du Nord-Ouest québécois : synthèse de 60 ans d'exploration minière* (Rive, M., Verpaelst P., Gagnon, Y., Lulin, L. M., Riverin, G. et Simard, A., éditeurs). L'Institut canadien des mines et de la métallurgie; volume spécial 43, pages 133-142.
- DIMROTH, E. – COUSINEAU, P. – LEDUC, M. – SANSCHAGRIN, Y., 1978 – Structure and organisation of Archean subaqueous basalt flows, Rouyn-Noranda area, Quebec, Canada. *Journal Canadien des Sciences de la Terre*; volume 15, pages 902-918.
- DIMROTH, E. – IMREH, L. – ROCHELEAU, M. – GOULET, N., 1982 – Evolution of the south-central part of the Archean Abitibi Belt, Quebec. Part I: stratigraphy and paleogeographical model. *Journal Canadien des Sciences de la Terre*; volume 19, pages 1729-1758.
- FRANKLIN, J.M. – GIBSON, H. – JONASSON, I.R. – GALLEY, A.G., 2005 – Volcanogenic massive sulfide deposits. *Economic Geology*; 100th Anniversary Volume, pages 523-560.
- FRASER, R., 1991 – 1991 Exploration report, Hébecourt J.V. property, Hébecourt township, Québec. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Québec; GM 51635, 116 pages.
- GALLEY, A.G., 2003 – Composite synvolcanic intrusions associated with Precambrian VMS-related hydrothermal systems. *Mineralium Deposita*; volume 38, pages 443-473.
- GÉLINAS, L. – TRUDEL, P. – HUBERT, C., 1984 – Chemostratigraphic division of the Blake River Group, Rouyn-Noranda area, Abitibi, Quebec. *Journal Canadien des Sciences de la Terre*; volume 21, pages 220-231.
- GIBSON, H.L. – WATKINSON, D.H., 1990 – Volcanogenic massive sulphide deposits of the Noranda Cauldron and Shield Volcano, Quebec. Dans : *La ceinture polymétallique du Nord-Ouest québécois : synthèse de 60 ans d'exploration minière* (Rive, M., Verpaelst P., Gagnon, Y., Lulin, L. M., Riverin, G. et Simard, A., éditeurs). Institut canadien des mines et de la métallurgie; volume spécial 43, pages 119-132.
- GIBSON, H.L. – GALLEY, A.G., 2007 – Volcanogenic massive sulphide deposits of the Archean, Noranda District, Quebec. *In: Mineral deposits of Canada: a synthesis of major deposit-types, district metallogeny, the evolution of geological provinces, and exploration methods* (Goodfellow, W.D., editor). Geological Association of Canada, Mineral Deposits Division; Special Publication 5, pages 533-552.
- GIBSON, H.L. – MORTON, R.L. – HUDAK, G.J., 1999 – Submarine volcanic processes, deposits, and environments favorable for the location of volcanic-associated massive sulfide deposits. *In: Volcanic-associated massive sulfide deposits: processes and examples in modern and ancient settings* (Barrie, C.T. and Hannington, M.D., editors). *Reviews in Economic Geology*; volume 8, pages 13-51.
- GOUTIER, J., 1997 – Géologie de la région de Destor (SNRC 32D/07). Ministère des Ressources naturelles, Québec; RG 96-13, 37 pages.
- GOUTIER, J. – MONECKE, T. – ROSS, P.-S. – DION, C., 2007 – Volcanoclastites du Groupe de Blake River et implications pour les SMV. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Québec et Commission géologique du Canada, GM 63072; 22 pages.
- GOUTIER, J. – MCNICOLL, V.J. – DION, C. – LAFRANCE, B. – LEGAULT, M. – ROSS, P.-S. – MERCIER-LANGEVIN, P. – CHENG, L.-Z. – DE KEMP, E. – AYER, J., 2009 – L'impact du Plan cuivre et de l'IGC-3 sur la géologie de l'Abitibi et du Groupe de Blake River. Abitibi Cuivre 2009. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Québec; GM 64195, pages 9-13.
- GOUTIER, J. – MCNICOLL, V. – DION, C. – LAFRANCE, B. – ROSS, P.-S. – LEGAULT, M. – MERCIER-LANGEVIN, P. – ROGERS, R., en préparation – Révision stratigraphique du Groupe de Blake River au Québec. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Québec.
- KERR, D.J. – GIBSON, H.L., 1993 – A Comparison of the Horne Volcanogenic Massive Sulfide Deposit and Intracauldron Deposits of the Mine Sequence, Noranda, Quebec. *Economic Geology*; volume 88, pages 1419-1442.
- LAFLÉCHE, M.R., – DUPUY C. – BOUGAULT, H., 1992a – Geochemistry and petrogenesis of Archean mafic volcanic rocks of the southern Abitibi Belt, Quebec. *Precambrian Research*; volume 57, pages 207-241.
- LAFLÉCHE, M.R. – DUPUY, C. – DOSTAL, J., 1992b – Tholeiitic volcanic rocks of the late Archean Blake River Group, southern Abitibi greenstone belt: origin and geodynamic implications. *Journal Canadien des Sciences de la Terre*; volume 29, pages 1448-1458.

- LAFRANCE, B. – DION, C. 2004 – Synthèse de la partie est du Groupe de Blake River, phase 1: secteur à l'est de la faille du ruisseau Davidson (32D/07 SE). Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Québec; RP 2004-04, 14 pages.
- LAFRANCE, B. – MOORHEAD, J. – DAVIS, D.W., 2003 – Cadre géologique du camp minier de Doyon-Bousquet-LaRonde. Ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs, Québec; ET 2002-07, 45 pages.
- LEGAULT, M. – GOUTIER, J. – BEAUDOIN, G. – AUCOIN, M., 2005 – Synthèse métallogénique de la Faille de Porcupine-Destor, Sous-province de l'Abitibi. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Québec; ET 2005-01; 35 pages.
- MARTIN, L., 1994 – Noranda Exploration Company limited, project 338 – Hebecourt township, Quebec; Report of diamond drilling. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Québec; GM 52938, 88 pages.
- MCNICOLL, V. – GOUTIER, J. – DUBÉ, B. – MERCIER-LANGEVIN, P. – ROSS, P.-S. – DION, C. – MONECKE, T. – PERCIVAL, J. – LEGAULT, M. – GIBSON, H., soumis – New U-Pb geochronology from the Blake River Group, Abitibi Greenstone Belt, Québec: implications for geological interpretations and base metal exploration. *Economic Geology*.
- MERCIER-LANGEVIN, P. – DUBÉ, B. – HANNINGTON, M.D. – DAVIS, D.W. – LAFRANCE, B. – GOSSELIN, P., 2007 – The LaRonde Penna Au-Rich Volcanogenic Massive Sulfide Deposit, Abitibi Greenstone Belt, Quebec: Part I. Geology and Geochronology. *Economic Geology*; volume 102, pages 585-609.
- MERCIER-LANGEVIN, P. – ROSS, P.-S. – LAFRANCE, B. – DUBÉ, B., 2008 – Volcaniclastic rocks of the Bousquet scoriaceous tuff units north of the LaRonde Penna mine, Doyon-Bousquet-LaRonde mining camp, Abitibi Greenstone Belt, Quebec. *Commission géologique du Canada; recherches en cours*, volume 2008-11, pages 1-19.
- MONECKE, T. – GIBSON, H. – DUBÉ, B. – LAURIN, J. – HANNINGTON, M.D. – MARTIN, L., 2008 – Geology and volcanic setting of the Horne deposit, Rouyn-Noranda, Quebec: initial results of a new research project. *Commission géologique du Canada; recherches en cours*, volume 2008-9; pages 1-16.
- PEARSON, V. – DAIGNEAULT, R., 2009 – An Archean megacaldera complex: the Blake River Group, Abitibi greenstone belt. *Precambrian Research*; volume 168, pages 66-82.
- PÉLOQUIN, A.S. – POTVIN, R. – PARADIS, S. – LAFLÉCHE, M.R. – VERPAELST, P. – GIBSON, H.L., 1990 – The Blake River Group, Rouyn-Noranda Area, Quebec: A Stratigraphic Synthesis. Dans : *La ceinture polymétallique du Nord-Ouest québécois : synthèse de 60 ans d'exploration minière* (Rive, M., Verpaelst, P., Gagnon Y., Lulin, J.-M., Riverin, G. et Simard, A., éditeurs). Institut canadien des mines et de la métallurgie; volume spécial, pages 107-118.
- PIERCEY, S.J. – CHALOUX, E.C. – PELOQUIN, A.S. – HAMILTON, M.A. – CREASER, R.A., 2008 – Synvolcanic and younger plutonic rocks from the Blake River Group: implications for regional metallogenesis. *Economic Geology*; volume 103, pages 1243-1268.
- ROBIDOUX, P., 2008. Pétrogenèse de la Formation d'Hébecourt dans le secteur du lac Hébecourt, Groupe de Blake River, Sous-province de l'Abitibi, Québec. Université du Québec à Montréal, Montréal; activité de synthèse, 45 pages.
- ROGERS, R. – ROSS, P.-S. – GOUTIER, J. – LAFRANCE, B. – MERCIER-LANGEVIN, P., 2010 – Étude volcanologique et métallogénique d'un segment de la Formation d'Hébecourt, Sous-province de l'Abitibi : résultats préliminaires. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Québec; RP 2010-06, 11 pages.
- ROSS, P.-S. – BÉDARD, J. H., 2009 – Magmatic affinity of modern and ancient subalkaline volcanic rocks determined from trace-element discriminant diagrams. *Journal Canadien des Sciences de la Terre*; volume 46, pages 823-839.
- ROSS, P.-S. – PERCIVAL, J.A. – MERCIER-LANGEVIN, P. – GOUTIER, J. – MCNICOLL, V.J. – DUBÉ, B., 2007 – Intermediate to mafic volcanoclastic units in the peripheral Blake River Group, Abitibi greenstone belt, Quebec: origin and implications for massive volcanogenic massive sulphide exploration. *Commission géologique du Canada; recherches en cours*, volume 2007-C3, pages 1-25.
- ROSS, P.-S. – GOUTIER, J. – MCNICOLL, V.J. – DUBÉ, B., 2008a – Volcanology and geochemistry of the Monsabrais area, Blake River Group, Abitibi Greenstone Belt, Quebec: implications for volcanogenic massive sulphide exploration. *Commission géologique du Canada; recherches en cours*, volume 2008-1, pages 1-18.
- ROSS, P.-S. – GOUTIER, J. – PERCIVAL, J.A. – MERCIER-LANGEVIN, P. – DUBÉ, B., 2008b – New volcanological and geochemical observations from the Blake River Group, Abitibi Greenstone Belt, Quebec: the D'Alembert tuff, the Stadacona unit, and surrounding lavas. *Commission géologique du Canada; recherches en cours*, volume 2008-17, pages 1-27.
- ROSS, P.-S. – GOUTIER, J. – MERCIER-LANGEVIN, P. – DUBÉ, B., soumis – Basaltic to andesitic volcanoclastic rocks in the Blake River Group, Abitibi Greenstone Belt: 1. Mode of emplacement in three areas. *Journal Canadien des Sciences de la Terre*.
- 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* (Saunders, A.D. and Norry, M.J., editors). Geological Society; Special Publication 42, pages 313-345.
- THURSTON, P.C. – AYER, J.A. – GOUTIER, J. – HAMILTON, M.A., 2008 – Depositional gaps in Abitibi Greenstone Belt stratigraphy: a key to exploration for syngenetic mineralization. *Economic Geology*; volume 103, pages 1097-1134.
- 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.

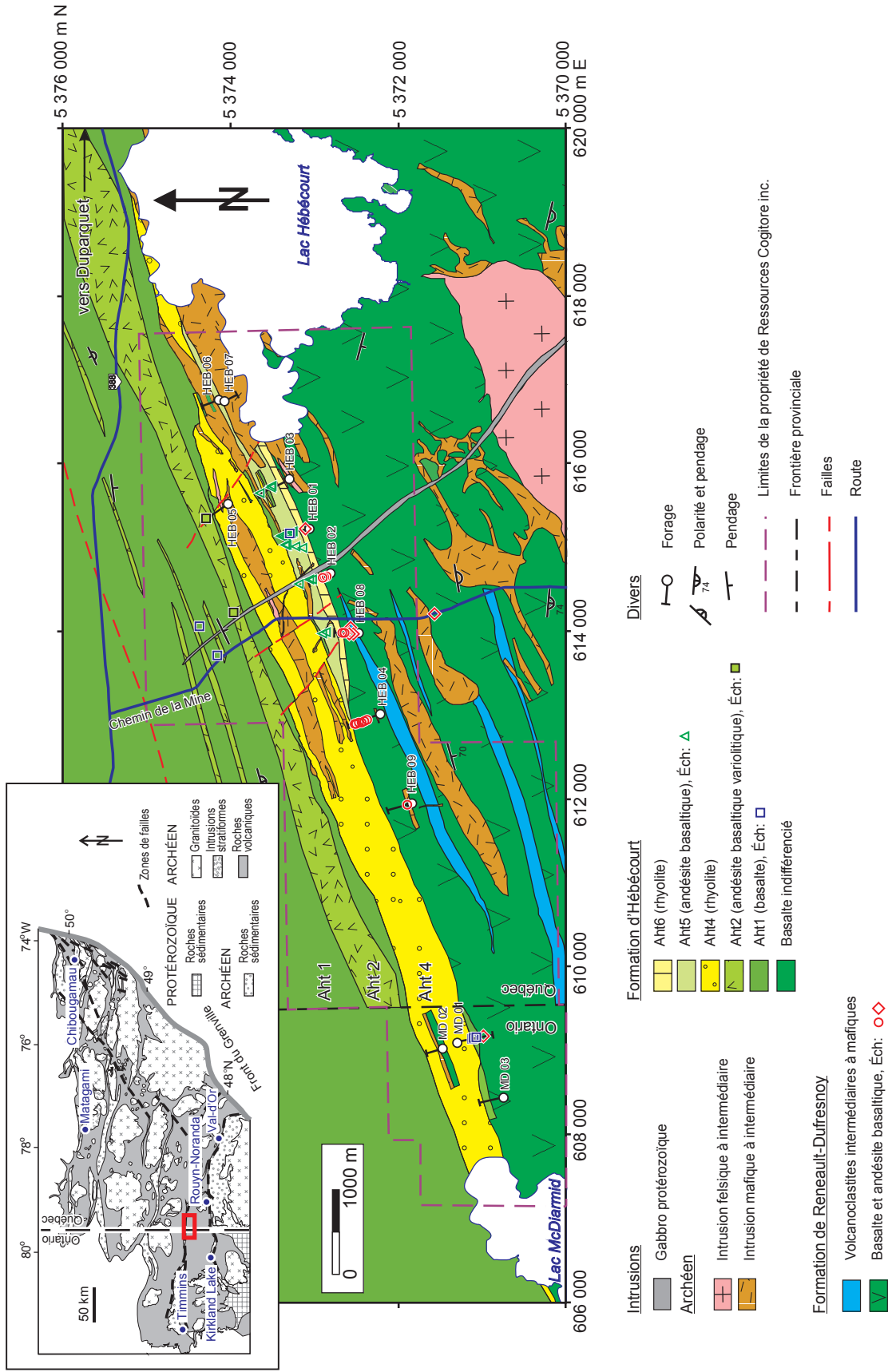


FIGURE 1 - Carte géologique du Groupe de Blake River entre les lacs McDiarmid et Hébécourt, incluant la Formation d'Hébécourt et la base de la Formation de Reneault-Dufresnoy. La trace des forages au diamant a été projetée verticalement vers la surface. Par contre, afin qu'ils tombent dans la bonne unité volcanique, les échantillons provenant de carottes ont été projetés jusqu'en surface le long du plan de litage supposé, que l'on a modélisé comme ayant un pendage de 72 ° vers le sud (coordonnées en UTM, NAD83, zone 17). Encart : carte géologique sommaire de la Sous-province de l'Abitibi montrant la localisation du secteur d'étude.

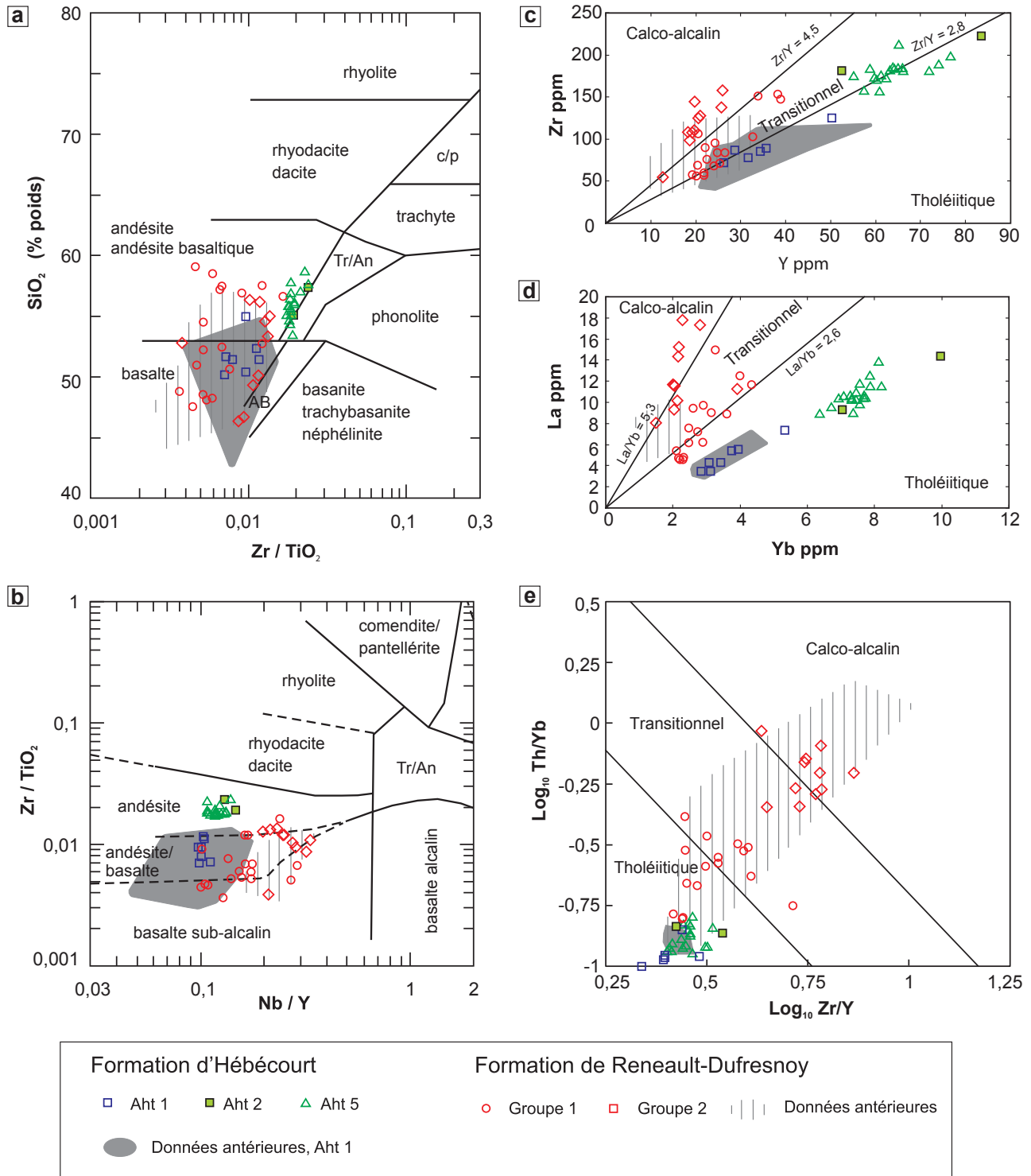


FIGURE 2 - Géochimie des roches volcaniques mafiques à intermédiaires dans le secteur d'étude : **a)** et **b)** diagrammes de classification SiO_2 versus Zr/TiO_2 et Zr/TiO_2 versus Nb/Y d'après Winchester et Floyd (1977); **c)**, **d)** et **e)** diagrammes d'affinité magmatique Zr versus Y , La versus Yb et Th/Yb versus Zr/Y d'après Ross et Bédard (2009). Les nouvelles données, montrées par les symboles, ont été obtenues chez Activation Laboratories Ltd. (Ancaster, Ontario) en combinant les méthodes XRF et ICP-MS suite à une fusion des poudres. Les champs compilés pour les données antérieures viennent de plusieurs sources dont une compilation inédite de Ressources Cogitore inc., Ross *et al.* (2008a) et la base de données SIGÉOM du MRNF. Pour cette dernière source, les éléments en traces ont été ré-analysés par la Commission géologique du Canada (données inédites).

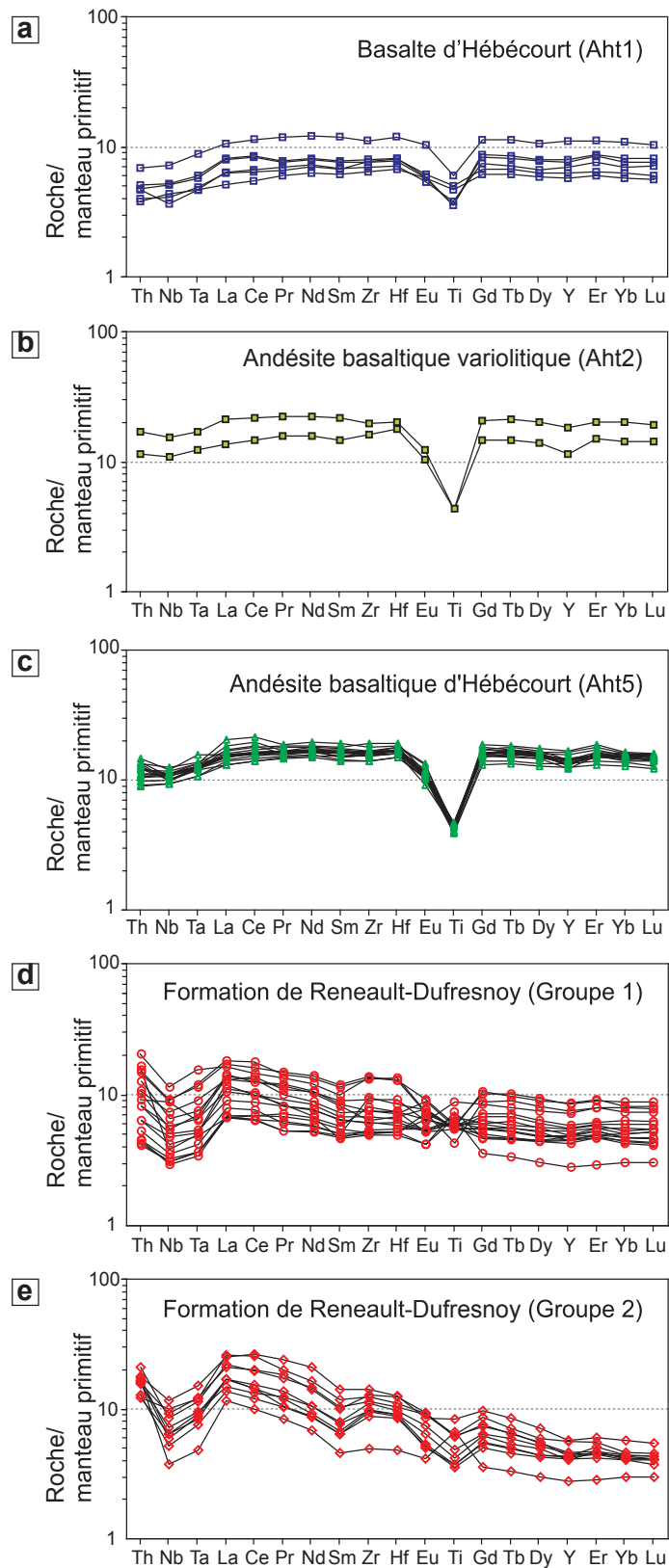


FIGURE 3 - Diagrammes multi-éléments normalisés au manteau primitif de Sun et McDonough (1989) pour : **a**) le basalte d'Hébécourt (Aht1); **b**) les andésites basaltiques variolitiques (Aht2); **c**) l'andésite basaltique d'Hébécourt (Aht5); **d**) et **e**) les groupes 1 et 2 dans la Formation de Renault-Dufresnoy. Source des données: comme pour les symboles de la figure 2.