



RAPPORT ANNUEL
2009

Sous projet SC30

**Nouveaux concepts et outils pour l'exploration des SVM :
le cas de Matagami**

Par

Pierre-Simon Ross*, Michel Chouteau, Damien Gaboury***,
Julie-Anaïs Debreil*, Pejman Shamsipour**, Dominique Genna*****

*Institut national de la recherche scientifique (INRS), Québec, Québec

**École polytechnique, Montréal, Québec

***Université du Québec à Chicoutimi (UQAC), Chicoutimi, Québec

rossps@ete.inrs.ca

**Soumis à l'administration de DIVEX
Juin 2009 – Québec**

RÉSUMÉ

SC-30 est un projet DIVEX de type A, financé par DIVEX pour 2008-2010. Nous avons aussi bénéficié de contributions en nature importantes de la Commission Géologique du Canada (CGC) pour 2008-2010. Notre demande de subvention de Recherche et Développement Coopérative (RDC) a été acceptée par le CRSNG en novembre 2008 et couvrira, avec les contributions des partenaires industriels (Donner Metals, Ressources Breakwater, SOQUEM, Xstrata Zinc) et du CONSOREM, les années 2009-2012. L'entente de recherche finale avec le CONSOREM, nos partenaires industriels et nos partenaires gouvernementaux (MRNF, CGC) est en cours de signature. Le présent rapport fait état du contexte, de la problématique, des enjeux scientifiques, des objectifs, de la méthodologie, et des résultats préliminaires pour l'ensemble du projet de recherche.

Le camp minier de Matagami, dans le nord de l'Abitibi (Québec), a redémarré ses activités grâce à l'ouverture d'une nouvelle mine polymétallique riche en zinc en juillet 2008. On y poursuit actuellement un ambitieux programme d'exploration pour les sulfures massifs volcanogènes (SMV). Pourtant, les possibilités des méthodes directes de détection géophysique des lentilles de SMV, très efficaces autrefois, deviennent très limitées pour les gisements plus profonds (>250 m). Nous réalisons donc, en partenariat avec quatre compagnies et deux paliers de gouvernements, un projet de recherche multidisciplinaire en trois volets.

Pour le volet (1), la reconstitution de l'architecture volcanique repose sur l'étude des variations de faciès des roches volcaniques cohérentes et fragmentaires. Une approche chimico-stratigraphique est aussi utilisée. Pour le volet (2), un échantillonnage systématique des horizons exhalatifs est en cours et de nouveaux outils géochimiques sont développés pour guider l'exploration. La méthodologie utilisée touche la composition en éléments traces dans les pyrites, la composition chimique des chlorites et séricites, des profils paléo-thermiques grâce aux inclusions fluides, et la composition isotopique de l'oxygène. Finalement, pour le volet (3), la méthodologie comprend des mesures des propriétés physiques des gisements, de leur altération et des structures associées. Ces mesures seront comparées à celles des roches distantes des gisements, normalement plus fraîches. Ceci permettra de

modéliser les réponses aux méthodes gravimétriques et magnétiques en forage et à la méthode magnétotellurique de ces roches et structures afin de déterminer la capacité de ces méthodes à identifier les cibles ou leur environnement favorable. Chacun des volets s'articule autour d'un doctorat (un étudiant par université participante).

La mise en application par l'industrie des nouveaux concepts d'exploration pour les SMV qui sont développés dans le cadre de ce projet augmentera les probabilités de découvertes dans le camp de Matagami. A la suite de la publication des résultats, ces concepts pourront être appliqués dans d'autres camps miniers et contribuer à la découverte de nouvelles mines ailleurs au Canada.

1. CONTEXTE DU PROJET

Les gisements de sulfures massifs volcanogènes (SMV) constituent une source importante de zinc, de cuivre, et de métaux précieux à l'échelle canadienne (Galley et al., 2007). Ces gîtes se sont formés dans un environnement sous-marin, quand des fluides hydrothermaux ont précipité des sulfures zincifères et cuprifères au fond de la mer, ou dans les roches volcaniques sous-jacentes.

L'ouverture en 2008 de la mine Persévérance a permis au camp minier de Matagami, dans le nord de la Sous-province de l'Abitibi (Fig. 1) de poursuivre sa production minière. Parallèlement, un ambitieux programme d'exploration pour les SMV se réalise actuellement en vue de tenter de renouveler les réserves (Adair et al., 2007). Les 18 gisements actuellement connus à Matagami se concentrent en deux bandes, le « Flanc Nord » et le « Flanc Sud » (ex. Piché et al., 1993), situées de part et d'autre d'une intrusion mafique, le Complexe de la Rivière Bell (Fig. 2). L'exploration actuelle touche aussi une bande hautement prospective surnommée « Camp Ouest » ou parfois « Flanc Ouest ».

Historiquement, les lentilles de SMV ont pour la plupart été découvertes par détection géophysique directe suivie de forages au diamant. Les méthodes géophysiques actuelles permettent la détection directe de tels corps minéralisés de taille économique jusqu'à une profondeur d'environ 250 m dans des conditions idéales, et un des défis pour l'exploration consiste donc à augmenter la profondeur de détection des méthodes directes ou à développer des méthodes indirectes permettant de définir des zones favorables à la minéralisation.

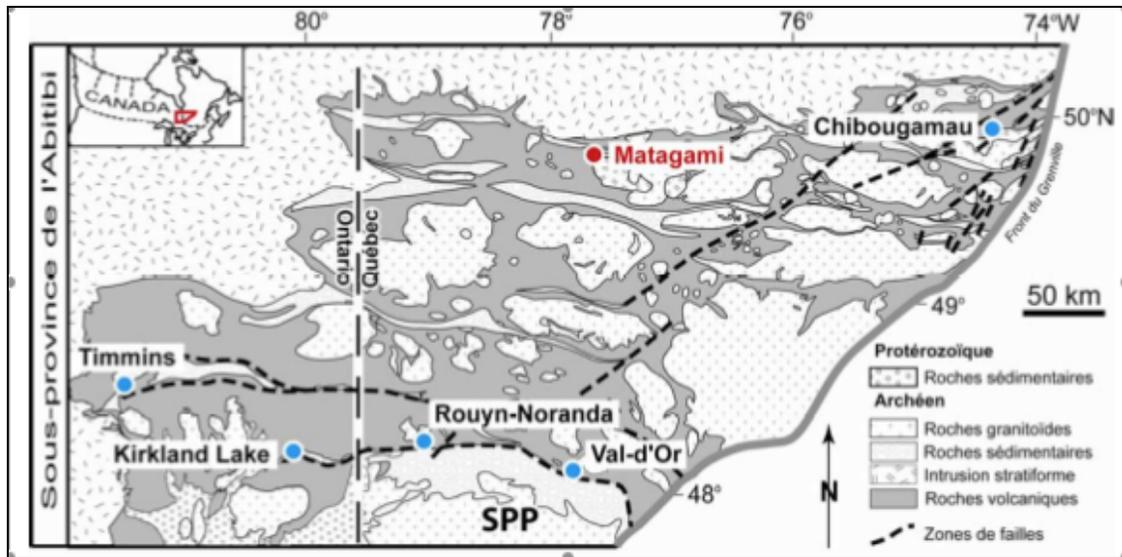


Figure 1. Carte géologique simplifiée de la Sous-province de l'Abitibi, montrant la position de la ville de Matagami.

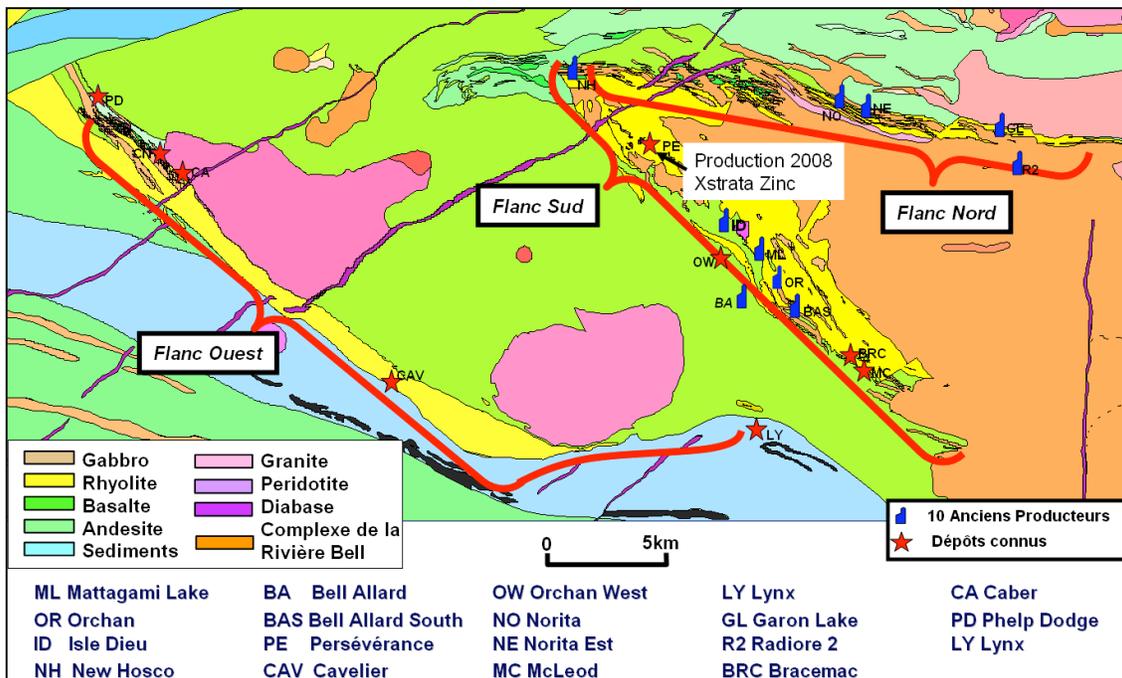


Figure 2. Carte géologique simplifiée de la région de Matagami, d'après Roy et al. (2006).

La mine Persévérance est la seule encore active dans le camp de Matagami, et elle possède une durée de vie prévue de cinq ans. Un autre défi pour l'industrie consiste donc à renouveler les réserves du camp. Peu d'études gouvernementales et académiques ont été réalisées depuis 10 ou 15 ans à Matagami. Le

moment a donc été jugé propice pour jeter un nouveau regard sur la géologie du camp et pour développer de nouveaux concepts et outils d'exploration en partenariat avec l'industrie, afin de maximiser le potentiel de nouvelles découvertes.

2. PROBLÉMATIQUE, ENJEUX SCIENTIFIQUES

2.1. Modèles génétiques

La formation et le contrôle de la distribution spatiale des amas de SMV sont relativement bien connus (Franklin et al., 2005). Cette connaissance provient de l'étude des gisements en formation dans les fonds océaniques (ex., Hannington et al., 1998) et de gisements anciens dans des terrains peu déformés comme ceux du camp de Noranda au Québec (Gibson et Watkinson, 1990). Spécifiquement, les SMV se forment en contexte sous-marin et résultent de la circulation d'eau de mer à travers un système hydrothermal de subsurface. Ce système est contrôlé par trois facteurs principaux : (i) un apport illimité en eau, (ii) une perméabilité structurale permettant la circulation de fluides et (iii) une source de chaleur sous-jacente qui va mettre en mouvement les fluides. Dans le camp de Noranda, la distribution spatiale des gisements est contrôlée principalement par des dômes felsiques qui se mettent en place le long de fractures syn-volcaniques; ces fractures permettent également la remontée des fluides minéralisateurs. Le gisement type comprend deux styles de minéralisation : stockwerk à la base et stratiforme au sommet. Le stockwerk constitue le système de fractures pour l'ascension des fluides. L'amas stratiforme se forme surtout par décharge des fluides sur le fond océanique, qui lui-même est mis en évidence par un horizon d'exhalite (Galley et al., 2007). Cet horizon représente une pause dans l'activité volcanique qui est nécessaire à l'accumulation des sulfures. L'horizon exhalatif porteur des gisements possède communément des caractéristiques métallifères qui expriment la proximité d'un gisement. Enfin, en général, les amas archéens sont composés principalement de pyrite avec des proportions plus faibles de chalcopyrite et sphalérite.

2.2. Spécificités de Matagami

Le cas de Matagami est exceptionnel en regard de plusieurs caractéristiques classiques des SMV archéens, à savoir :

- a) les gisements surmontent une épaisse strate de rhyolite omniprésente à l'échelle du camp et aucun centre d'émission volcanique n'a été clairement identifié;
- b) l'horizon exhalatif principal – la Tuffite Clé – est l'un des plus continus latéralement dans les camps de SMV, mais les tentatives pour définir

des critères de proximité de la minéralisation ont été insatisfaisantes jusqu'à maintenant;

- c) la composante stratiforme des gisements est peu développée dans plusieurs cas, i.e. l'essentiel de la minéralisation prend la forme d'une cheminée d'altération et de minéralisation enracinée dans la rhyolite (ex. Adair et al., 2007);
- d) enfin, les gisements sont très riches en sphalérite et relativement pauvres en pyrite et chalcopyrite, ce qui influence grandement, en combinaison avec la géométrie des gisements, la réponse géophysique de la minéralisation.

Ces spécificités du camp de Matagami ont un impact majeur sur les stratégies d'exploration.

2.3. Localisation des gisements sur le Flanc Sud

La stratigraphie et la métallogénie du Flanc Sud du camp minier de Matagami sont bien comprises comparées à celles du Flanc Nord et du Camp Ouest, mais elles réservent encore des surprises. Sur le Flanc Sud, on considèrerait traditionnellement que tous les gisements de SMV se situaient le long d'un seul horizon marqueur, la Tuffite Clé. Ce niveau exhalatif et en partie volcanoclastique est lui-même localisé à l'interface entre les deux principales unités volcaniques du Flanc Sud, soit le Groupe de Watson (dominé par les rhyolites) et le Groupe de Wabasse (dominé par les roches volcaniques mafiques) (Sharpe, 1968; Piché et al., 1993). La Tuffite Clé est connue depuis plusieurs décennies et constitue un exemple-type d'horizon marquant une pause dans le volcanisme sous-marin (Liaghat et MacLean, 1992). Dans le modèle d'exploration traditionnel du camp de Matagami, les gisements de SMV sont situés à l'intersection de cet horizon avec des failles synvolcaniques (ex. Lavallière et al., 1994) (Fig. 3, partie de droite : mines Bell Allard et Matagami Lake).

Néanmoins, les travaux récents d'exploration permettent d'identifier de nouveaux niveaux exhalatifs favorables, et des lentilles significatives de SMV plus haut dans la séquence, à l'intérieur du Groupe de Wabasse. C'est le cas notamment dans les secteurs dits de McLeod et de Bracemac, situés sur le Flanc Sud. Comme les failles synvolcaniques peuvent rester actives un certain temps, la probabilité de découvrir des lentilles de SMV superposées (« stacked orebodies ») ailleurs dans le camp est forte (Adair et al., 2007) (Fig. 3, partie de gauche).

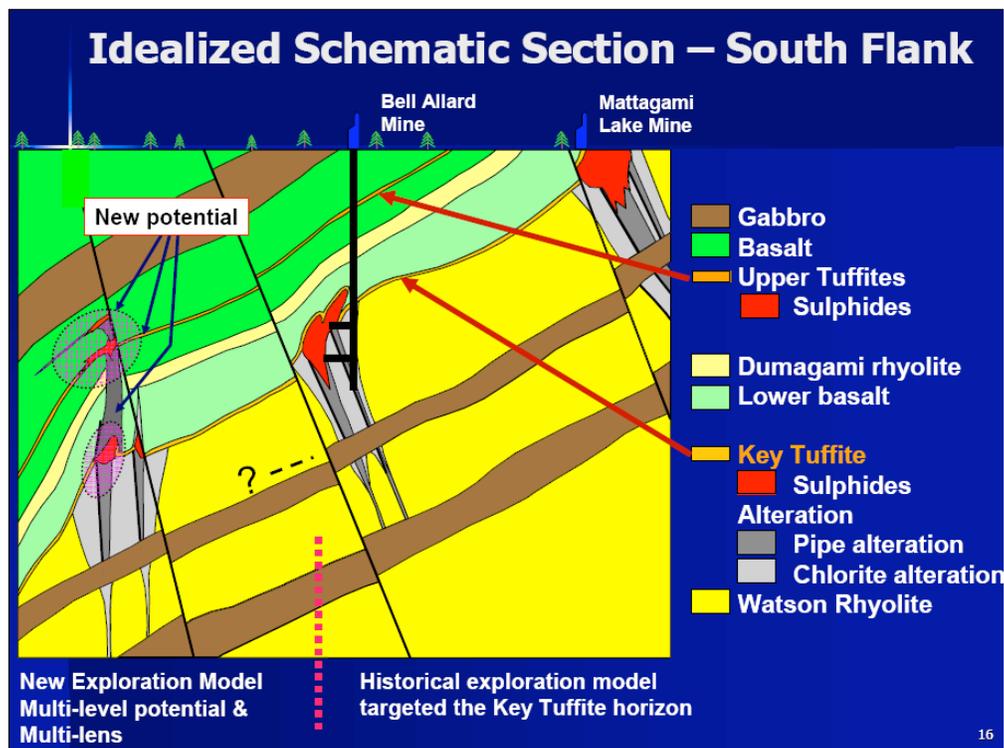


Figure 3. Section schématique du Flanc Sud du camp minier de Matagami illustrant le modèle d'exploration traditionnel, avec les lentilles de SMV situées à l'interface rhyolite-basalte le long de la Tuffite Clé (à droite du tireté rouge), et le modèle de lentilles superposées (à gauche), d'après Adair et al. (2007).

2.4. Exploration sur le Flanc Nord et dans le Camp Ouest

La situation se complique sur le Flanc Nord, où la Tuffite Clé n'a pu être identifiée (ex. Bonavia et MacLean, 1986) et où la stratigraphie de Sharpe (1968) fonctionne moins bien. Le niveau de déformation y est beaucoup plus intense. Piché et al. (1993) décrivent le « couloir de déformation du Lac Garon », correspondant au Flanc Nord. Dans le couloir de déformation, une série de failles anastomosées découpent la stratigraphie en blocs structuraux losangiques. Une autre hypothèse pouvant expliquer en partie la complexité actuelle du Flanc Nord est que la stratigraphie originale était influencée par plusieurs centres felsiques distincts, plutôt que de former un simple « gâteau à étages ». Dans le Camp Ouest, dont la géologie demeure mal connue, un horizon exhalatif ressemblant beaucoup à la Tuffite Clé a récemment été identifié. Par contre, la corrélation stratigraphique avec le Flanc Sud demeure difficile, notamment parce que la comparaison

géochimique détaillée entre les rhyolites du Camp Ouest et celles du Flanc Sud reste à faire, et que les rhyolites du Camp Ouest n'ont pas été datées. Il existe donc un besoin de reconstituer l'architecture volcanique à l'échelle locale (gisement) et régionale (camp minier), ainsi que de mieux comprendre l'environnement de dépôt et le contexte stratigraphique détaillé des lentilles de SMV; ceci fait l'objet du volet (1) de la présente étude.

2.5. Outils géochimiques

Malgré l'utilité de la Tuffite Clé comme horizon repère et comme niveau favorable pour la découverte de lentilles de SMV, les tentatives pour établir des outils géochimiques pour guider l'exploration ont été peu concluantes. Ce problème est attribuable principalement à la nature complexe de l'unité. La Tuffite Clé est formée d'au moins trois composantes principales, dont les proportions sont variables. Liaghat et MacLean (1992) ont démontré que la composante volcanoclastique représente un mélange à proportions variables de matériel volcanique

mafique et felsique. La fraction non-volcanique s'exprime, selon Davidson (1977), par la silicification, les sulfures et les carbonates. Il faut ici différencier entre la composante exhalative, précipitée directement du fond océanique, et la composante d'altération hydrothermale. La composante exhalative est issue de fumerolles dont les températures et les capacités minéralisatrices sont variables. Ces fumerolles sont à l'origine d'un panache métallifère et siliceux d'où origine une précipitation chimique de métaux et de silice de grande étendue sur le fond océanique. La composante hydrothermale, selon la vision proposée, est épigénétique. Elle correspond à la circulation des fluides hydrothermaux latéralement le long de la tuffite et même après son recouvrement par les basaltes de Wabasse. Des outils géochimiques sont nécessaires pour isoler la composante hydrothermale dans la Tuffite Clé et les autres niveaux similaires dans le but de développer des outils d'exploration.

2.6. Problématique géophysique

Finalement, on peut démontrer que pour les gisements de cinq millions de tonnes (Mt) environ, recherchés à plus de 250 m de profondeur dans la région de Matagami, les réponses EM transitoires aéroportées, gravimétriques et magnétiques au sol sont trop faibles pour être observées. Pour repérer ces cibles il faut définir une stratégie différente, fondée sur la détection indirecte suivie d'une détection directe. La détection indirecte consiste à déterminer à partir de la surface des zones favorables par la mise en évidence de géologie propice, par exemple la présence de failles synvolcaniques ou d'altération hydrothermale. Une fois une zone favorable ciblée et étudiée par forages, une détection directe peut être réalisée en forage. Au nombre des techniques possibles, certains requièrent d'importants développements pour être utiles. La gravimétrie en forage est une avenue possible car un système, le Graviglog de Scintrex, deviendra disponible pour des tests prochainement. La magnétométrie en forage est un outil intéressant car la plupart des gisements sont associés à des dépôts de magnétite (Lavallière et al., 1994). Cependant si l'outil existe (ex. Collar et al. 2005), il est relativement peu utilisé encore, son interprétation n'est pas évidente et les anomalies sont complexes (Mueller et al., 1997) à cause de la magnétisation variable des lithologies encaissantes. Ces développements nécessitent une connaissance poussée des propriétés physiques des gisements, de leur altération et des structures associées. Pour l'instant très peu de mesures de propriétés physiques des roches sont disponibles à Matagami.

3. OBJECTIFS ET MÉTHODOLOGIE

Les objectifs globaux du projet sont de :

- (a) reconstruire l'architecture volcanique archéenne de la région de Matagami;
- (b) développer des vecteurs vers la minéralisation et de nouveaux concepts d'exploration pour les SMV; et
- (c) favoriser la découverte de nouvelles lentilles, que ce soit dans les secteurs plus connus (Flanc Sud, Flanc Nord) ou les secteurs en émergence (Camp Ouest).

Plus spécifiquement, le projet de recherche comprend trois volets :

- (1) volcanologie et stratigraphie (Ross et Debreil);
- (2) outils géochimiques (Gaboury et Genna); et
- (3) géophysique appliquée (Chouteau et Shamsipour).

Chacun des volets s'articule autour d'un projet de doctorat. Trois secteurs d'intérêt immédiat pour le projet ont été identifiés : (i) le gisement Persévérance, sur le Flanc Sud; (ii) les découvertes récentes de Bracemac et McLeod, aussi sur le Flanc Sud (Adair, 2009); et (iii) le gîte de Caber, dans le Camp Ouest. Les travaux sont donc concentrés d'abord sur ces trois secteurs prioritaires, pour être ensuite étendus à l'ensemble de la région. Le projet s'appuie fortement, en termes méthodologiques, sur l'imposante collection de forages au diamant, de données lithogéochimiques, d'analyses de métaux, et de levés géophysiques qui est mise à la disposition des chercheurs et des étudiants par les partenaires industriels.

Pour le volet 1, l'objectif principal est de reconstituer l'architecture volcanique à l'échelle locale (gisement) et régionale (camp minier) (ex. Allen et al., 1997; Mercier-Langevin et al., 2007). Cette reconstitution repose sur l'étude des variations verticales et latérales de faciès des roches volcaniques cohérentes et fragmentaires (Ross et White, 2005a, 2005b, 2006) et aussi sur une approche chimico-stratigraphique (Gifkins et al., 2005; Ross et al., 2007, 2008a, 2008b) compte tenu du niveau d'altération hydrothermale dans les roches volcaniques et du manque d'affleurements dans le secteur de Matagami. Un autre objectif important est de mieux comprendre l'environnement de dépôt, le contexte stratigraphique détaillé et le mode de mise en place des lentilles de SMV dans le camp.

Pour le volet 2, l'objectif est de développer des outils géochimiques qui traduisent efficacement la signature

hydrothermale des tuffites et qui permettront de guider l'exploration pour les SMV dans le camp de Matagami. Il s'agit d'abord de séparer les composantes volcanoclastiques, exhalatives et hydrothermales des tuffites pour isoler la composante hydrothermale, afin de dégager un meilleur signal. En effet, cette composante est considérée comme découlant directement des systèmes hydrothermaux fertiles pour la formation des SMV. Ces outils seront également couplés avec les données existantes pour tenter de définir des critères lithogéochimiques utilisables pour l'exploration.

Enfin, pour le volet 3, les objectifs sont d'établir une base de données des propriétés physiques des principales unités fraîches et altérées ainsi que des minéralisations observées dans le camp minier, de déterminer la capacité de la méthode magnétotellurique (MT) à détecter les zones favorables à la minéralisation en profondeur et d'évaluer le potentiel des méthodes gravimétriques et magnétiques en forage à détecter les gisements de SMV. La géophysique contribuera également à contraindre la géométrie du camp de Matagami.

4. RÉSULTATS PRÉLIMINAIRES

4.1. Volet 1

La première campagne de terrain, d'une durée de près de trois mois, a eu lieu à l'été 2008. Suite à des discussions avec les géologues de Xstrata Zinc, des sections-types ont été identifiées pour les secteurs de Bracemac, de McLeod, de Persévérance, et du gîte Orchan Ouest (Fig. 2). Des forages représentatifs ont été sélectionnés sur ces sections (deux ou trois par section, voir par exemple Fig. 4), et les carottes de six forages ont été décrites en détail pendant l'été, avec une attention particulière portée aux faciès volcaniques et à l'altération hydrothermale (total : >3000 m). Les autres forages sélectionnés dans ces secteurs restent à décrire. Parmi les forages examinés, trois ont été échantillonnés à intervalles réguliers pour établir des profils chimico-stratigraphiques et réaliser des analyses pétrographiques.

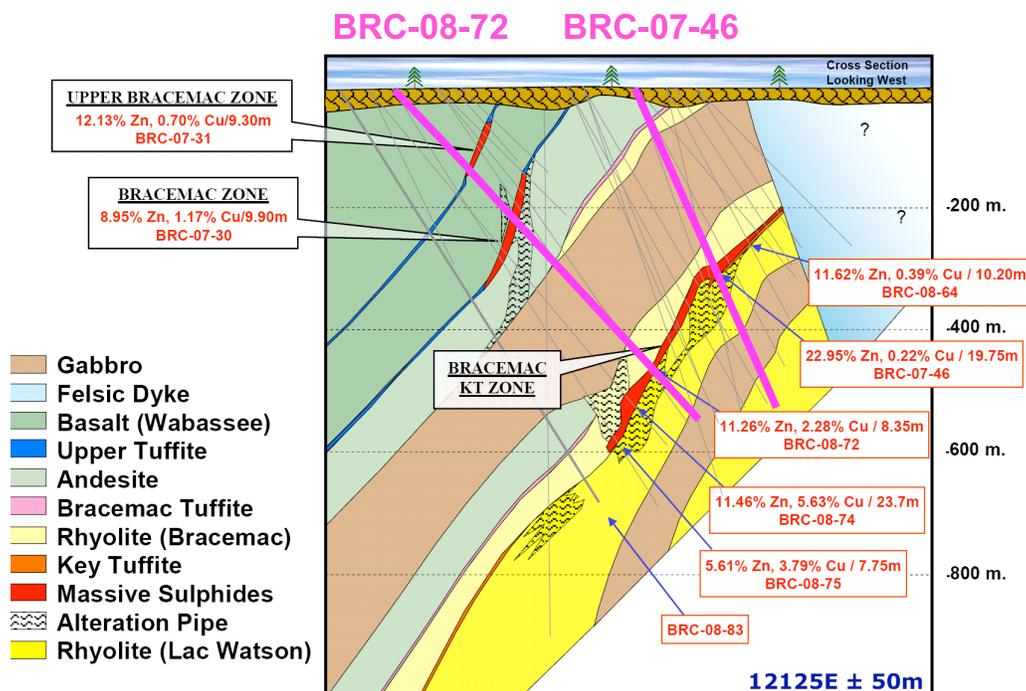


Figure 4. Section simplifiée typique du secteur de Bracemac sur le Flanc Sud, d'après Adair (2009). Les carottes des deux forages montrés en rose ont été décrites en détail pendant l'été 2008.

À date, une centaine d'échantillons ont été analysés pour les éléments majeurs (ICP- AES) et traces (ICP-MS) dans les laboratoires de l'INRS et les résultats sont en cours d'interprétation. La figure 5 montre une approche initiale utilisant le ratio Ti/Zr pour différencier les unités volcaniques dans les secteurs de Bracemac et McLeod. Ce ratio d'éléments considérés comme immobiles pendant l'altération hydrothermale permet de distinguer les basaltes et les andésites des roches felsiques, mais les rhyolites de Bracemac et de Watson présentent la même gamme de ratios. D'autres ratios d'éléments immobiles comme Al/Ti, Nb/Zr et Th/Yb sont en cours d'investigation pour différencier les deux rhyolites du secteur (Fig. 6).

De plus, lors de la campagne de terrain, quelques affleurements ont été visités, de même que certaines galeries de la mine Persévérance afin d'examiner la minéralisation, l'altération et les faciès volcaniques. Deux forages ont fait l'objet de mesures géochimiques à l'aide d'un analyseur XRF portable (Commission Géologique du Canada) afin de tester le potentiel de cette méthode pour les profils chimico-stratigraphiques. Enfin, quatre rhyolites ont été échantillonnées à partir de carottes de forage pour les

dater par la méthode U-Pb sur zircons, dont trois sur le Flanc Sud : la rhyolite de Watson, celle de Bracemac, et la rhyolite de Dumagami. Le quatrième échantillon pour datation provient d'une rhyolite du Camp Ouest possédant les mêmes caractéristiques géochimiques que la rhyolite de Watson. Les échantillons ont été soumis à Vicki McNicoll de la Commission Géologique du Canada à Ottawa et nous sommes en attente des résultats finaux.

4.2. Volet 2

La Tuffite Clé et d'autres tuffites ont été échantillonnées par Nazaire Yapi dans 18 forages des secteurs de Bracemac (8) et McLeod (10) pendant l'été 2008. La figure 7 montre la position des intersections échantillonnées sur une section longitudinale couvrant les deux secteurs. Il faut retenir que l'exercice a permis d'obtenir des spécimens à des distances variées des zones minéralisées. La composante dominante parmi les trois identifiées ci-dessus varie d'un échantillon à l'autre, tel qu'illustré à la figure 8.

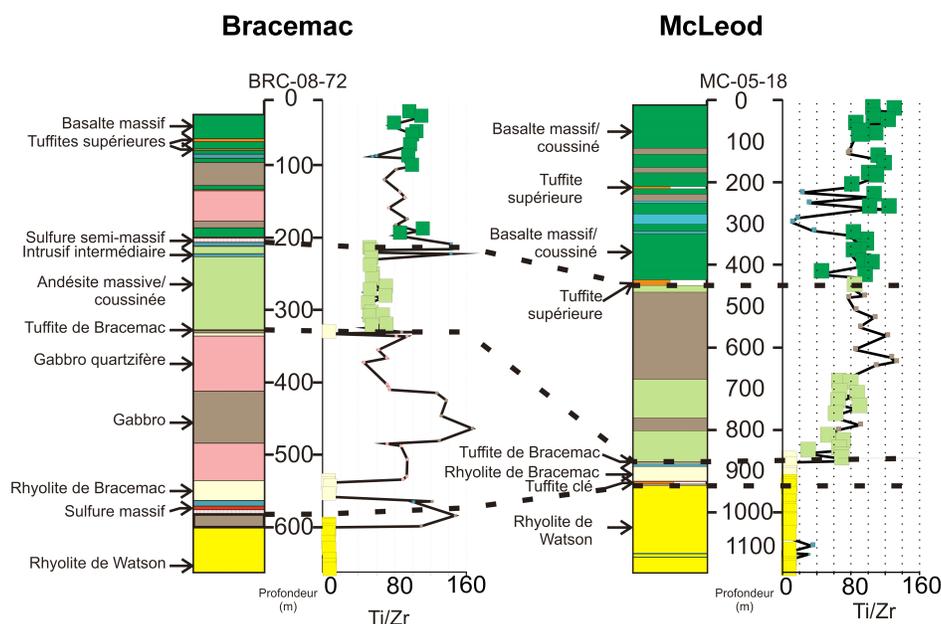


Figure 5. Résumé des observations et profils géochimiques sur deux forages typiques des secteurs de Bracemac et de McLeod. L'échelle verticale montre la profondeur en mètres le long des forages. Les unités volcaniques sont représentées par les gros carrés colorés alors que les unités intrusives sont représentées par les petits carrés. Données : INRS.

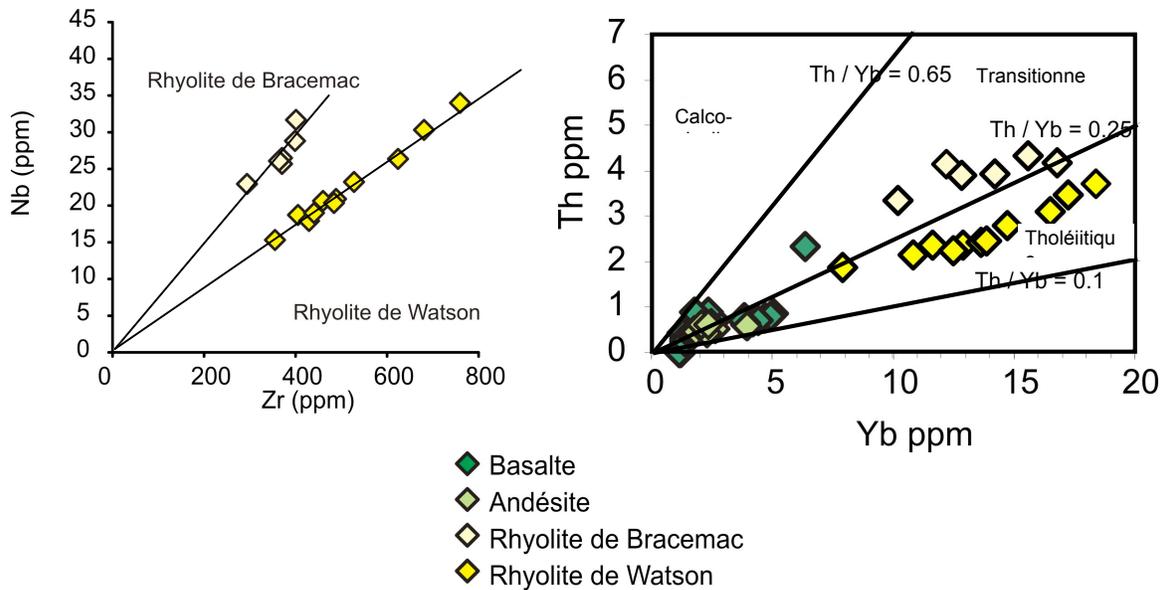


Figure 6. Diagrammes Nb-Zr et Th-Yb permettant de discriminer la rhyolite de Bracemac de la rhyolite de Watson pour les forages BRC-08-72 et MC-05-18, dans les secteurs de Bracemac et de McLeod. Les champs d'affinités magmatiques (tholéitique à calco-alcalin) sur le diagramme Th-Yb viennent de Barrett et MacLean (1999). Données : INRS.

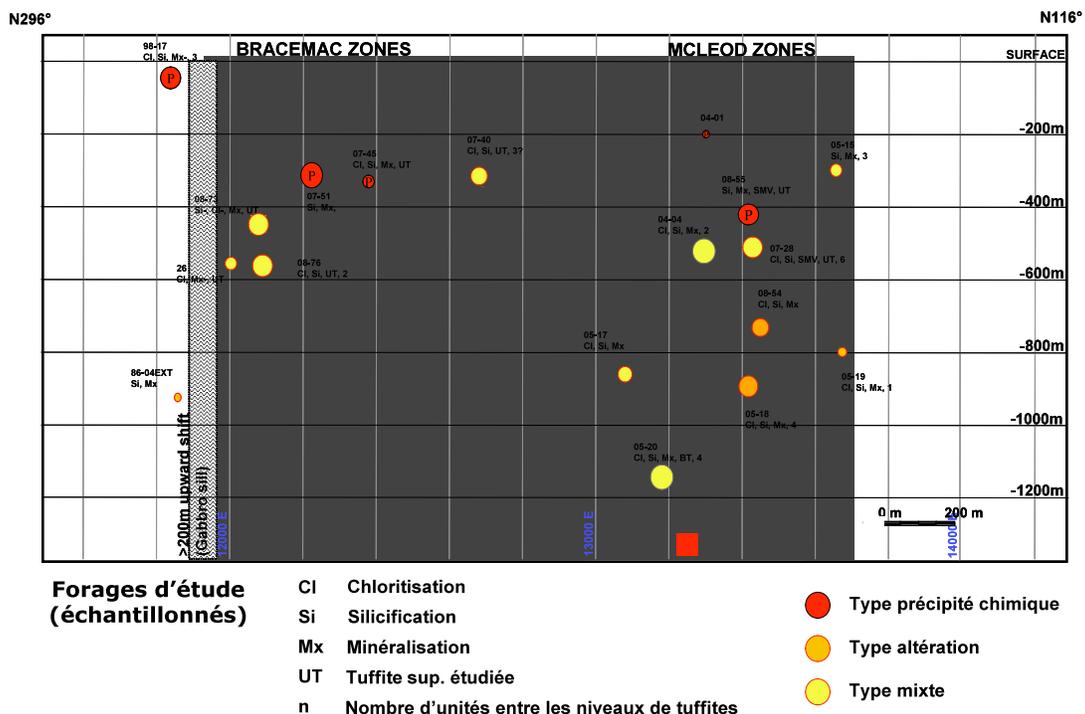


Figure 7. Longitudinale verticale montrant la projection des zones minéralisées (en rouge foncé) pour les secteurs de Bracemac et de McLeod. Les zones en gris foncé correspondent à l'altération forte en chlorite. Les points colorés montrent la position de nos échantillons de Tuffite Clé, classés par composante dominante, ainsi que des échantillons de autres tuffites.

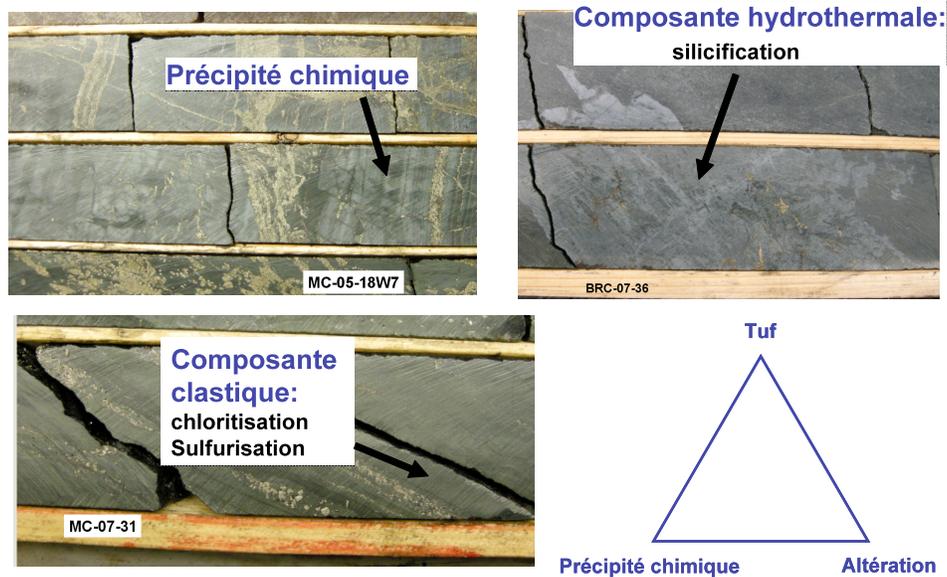


Figure 8. Photos de carottes de forages provenant des secteurs de Bracemac et McLeod, illustrant les trois composantes de la Tuffité Clé : une composante clastique, souvent représentée par des cendres volcaniques chloritisées; un précipité chimique, souvent siliceux (avec une apparence de chert); et une composante d'altération hydrothermale, représentée ici par une altération discordante en silice.

De ces échantillons, 48 ont été sélectionnés à des fins d'analyses en éléments majeurs (ICP-AES) et traces (ICP-MS) dans les laboratoires de l'INRS. Les résultats analytiques sont en attente. Des lames minces correspondantes à ces mêmes échantillons ont également été confectionnées pour des caractérisations pétrographiques, des analyses au LA-ICP-MS des pyrites et des analyses de la composition des minéraux (séricite, chlorite) au Micro-XRF (UQAC) et à la microsonde (U. Laval). Des analyses d'éléments traces par LA-ICP-MS sur les pyrites ont été réalisées à l'UQAC sur une collection historique de tuffites couvrant le Flanc Sud et une partie du Camp Ouest à partir de 25 forages. La base de données obtenue contient 443 analyses et la distribution des résultats est illustrée pour chaque élément à la figure 9. L'intégration des données en termes de textures des pyrites et de la proximité des SMV est à réaliser durant l'été 2009. Ces analyses vont permettre de mieux cibler les secteurs à échantillonner au cours de l'été 2009.

Pour l'approche isotopique, cinq échantillons de tuffites ont été envoyés au laboratoire d'isotopes stables de l'Université Queen's à des fins de tests préliminaires. Ces échantillons sont représentatifs de zones d'altération en chlorite, de silicification et de chert dans le forage BRC-08-76. Le test vise à valider l'approche de la chimie isotopique de l'oxygène pour calculer par modélisation l'intensité de l'altération

hydrothermale. Les résultats sont en attente. Enfin, il faut souligner que l'approche des paléo-profil thermiques sur les pyrites a été validée. En effet, des pyrites hydrothermales ont été analysées avec succès grâce au « Bubble Blaster » du LAMEQ. Cette technique d'analyse de la composition des inclusions fluides en fonction de leur température de décrépitation est décrite par Gaboury et al. (2008).

4.3. Volet 3

Les échantillons recueillis pour analyses lithogéochimiques dans le cadre du volet 1 ont fait l'objet de mesures de densités selon le principe d'Archimède pour augmenter la base de données de propriétés physiques. Dans le même but, des diagraphies multi-paramètres ont été réalisées par DGI Geoscience sur cinq trous de forage dans le secteur de Bracemac. Les paramètres mesurés furent les suivants : diamètre du trou, rayonnement gamma naturel, résistivité électrique, densité de la roche, polarisation spontanée, résistivité du fluide, température, conductivité électromagnétique. Un exemple d'une diagraphie est montré à la figure 10. Plusieurs travaux ont été entrepris sur les diagraphies, notamment une validation des données en comparant les levés faits en descendant et en montant (« repeat »), et une comparaison des densités mesurées par

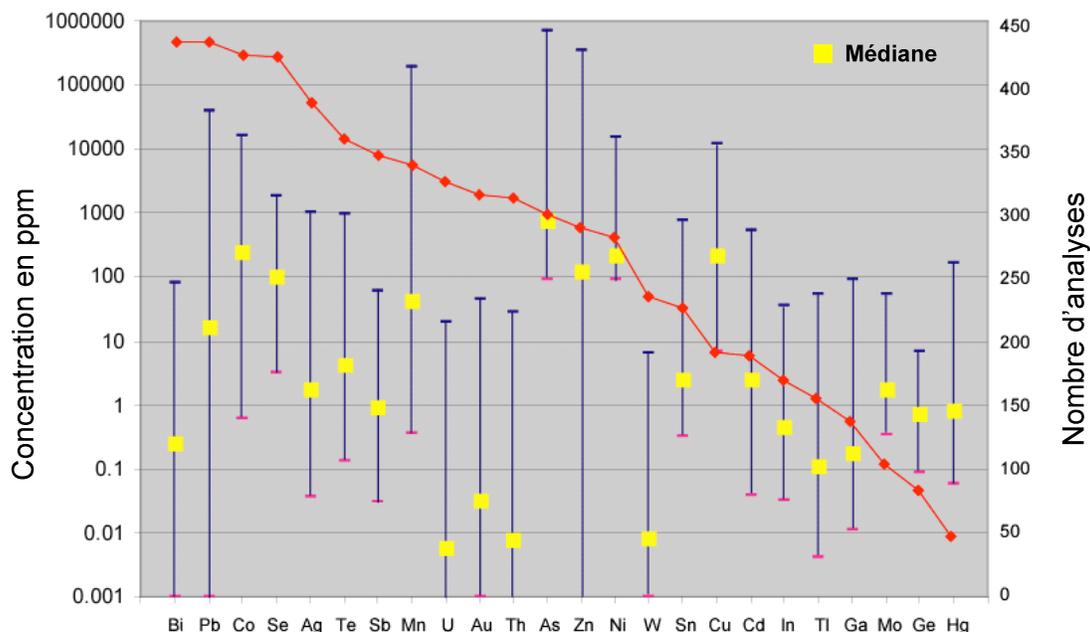


Figure 9. Diagramme de l'étalement de la composition en éléments traces des pyrites analysées dans les tuffites. Les éléments sont disposés de la gauche vers la droite selon le nombre d'analyses (ligne rouge). Ainsi, les éléments à gauche sont plus communément présents en quantité mesurable que ceux localisés à droite du diagramme. Néanmoins, il est possible par exemple que le cuivre, présent seulement dans < 50% des analyses de pyrites, soit très significatif de la proximité des SMV.

diagraphie gamma-gamma avec les densités mesurées sur les carottes. Des études statistiques ont été réalisées pour déterminer les propriétés physiques (distribution, moyenne, dispersion) des diverses unités géologiques. Les résultats sont synthétisés à la figure 11 (Léo Chabot).

Une analyse multivariable est en cours pour déterminer les facteurs importants contrôlant les propriétés physiques. Il semble déjà que ces facteurs soient la lithologie, l'altération et la fracturation. L'analyse inclut toutes les propriétés physiques mesurées par diagraphie, la susceptibilité magnétique mesurée sur les carottes, l'index RQD, et depuis peu, les indices d'altération (Benoît Matot). Une étude de modélisation gravimétrique a aussi été entreprise pour valider ou rejeter divers scénarios de modèles géologiques possibles expliquant la gravimétrie entre le Flanc Sud et le Camp Ouest (Ophélie Encelle). La figure 12 montre trois de ces modèles. On voit que le modèle le plus plausible est celui de la remontée sous forme de horst à l'ouest, découpé par des failles subverticales. Visiblement, le modèle de bassin ne convient pas et le modèle de horst semble le plus

compatible avec les données gravimétriques, bien qu'encore imparfait.

5. PROCHAINES ÉTAPES

Le projet de recherche à Matagami ne fait que débuter (voir sommaire). Plusieurs étapes scientifiques, trop nombreuses pour être listées ici, seront nécessaires à l'atteinte des objectifs globaux du projet.

6. REMERCIEMENTS

Le financement de ce projet est assuré par DIVEX mais aussi par Donner Metals, Ressources Breakwater, Xstrata Zinc, le CONSOREM, la Commission Géologique du Canada, et le CRSNG. Le Ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec et SOQUEM sont également partenaires du projet. Nous remercions les quatre compagnies pour l'accès aux données et pour la permission de publier ce rapport. Les personnes suivantes ont contribué au projet : Michel Allard, Robert Boucher,

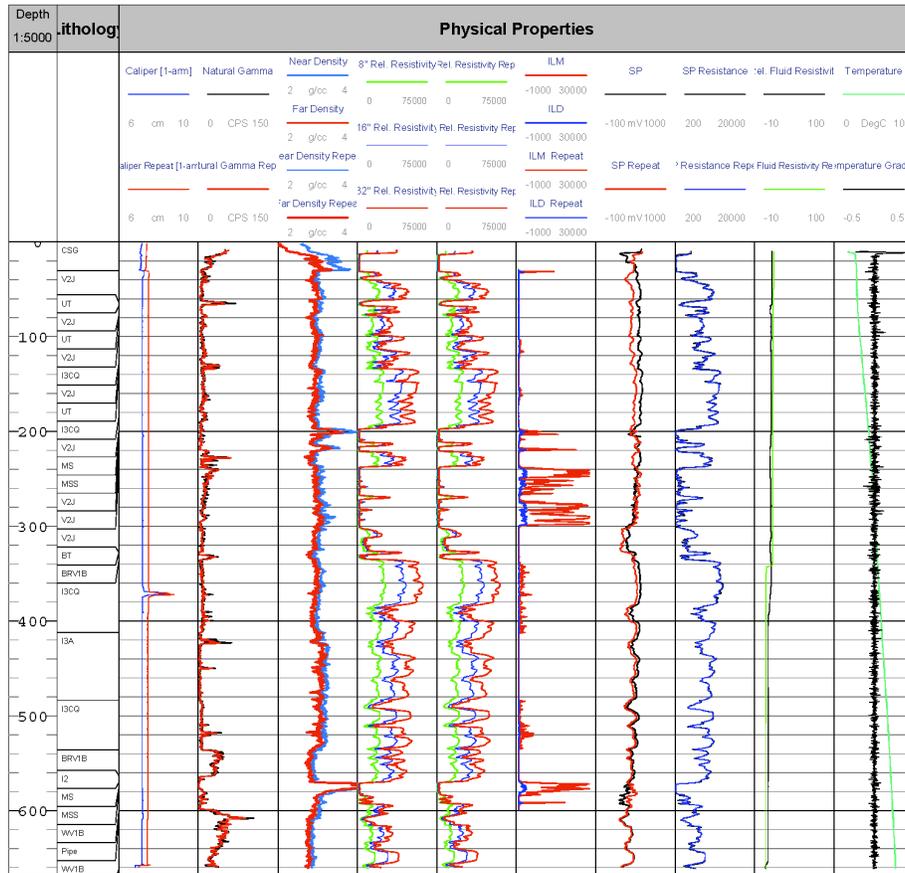
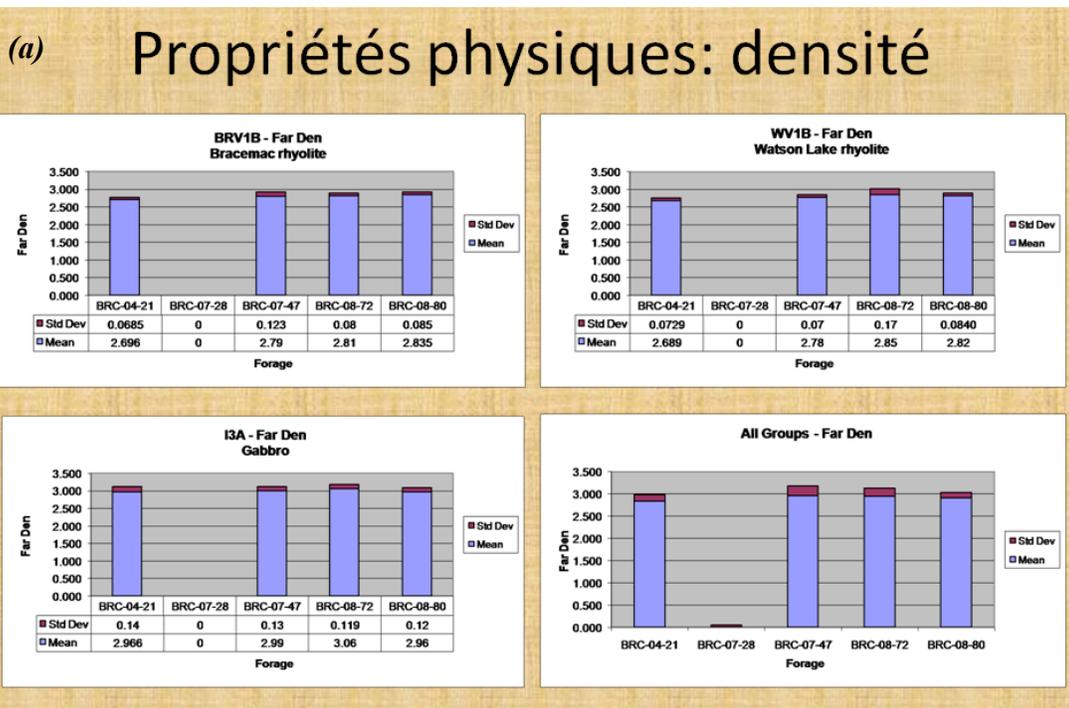
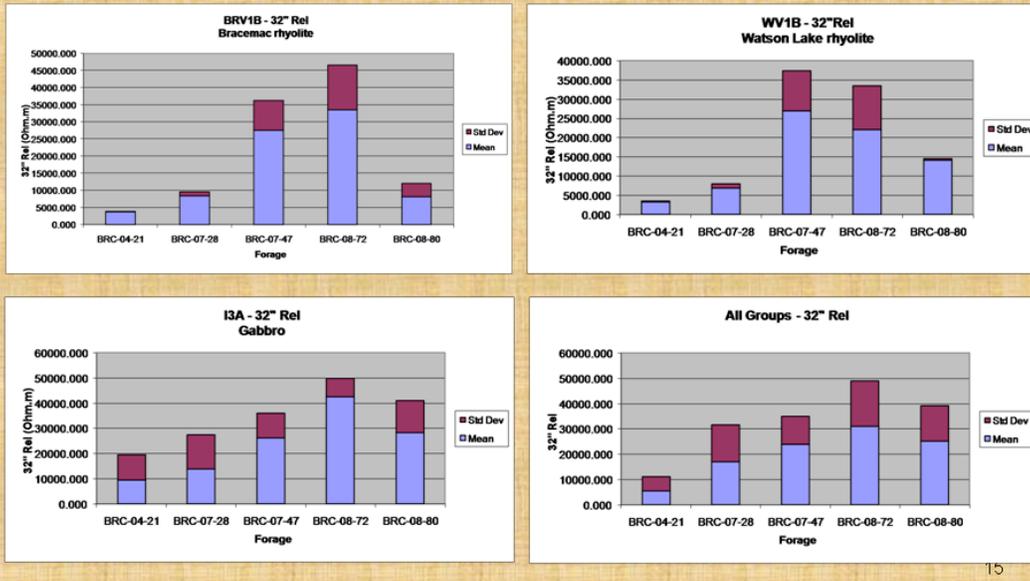


Figure 10. Diagraphies du trou BRC-08-072.



(b) Propriétés physiques: résistivité



(c) Propriétés physiques: résistivité

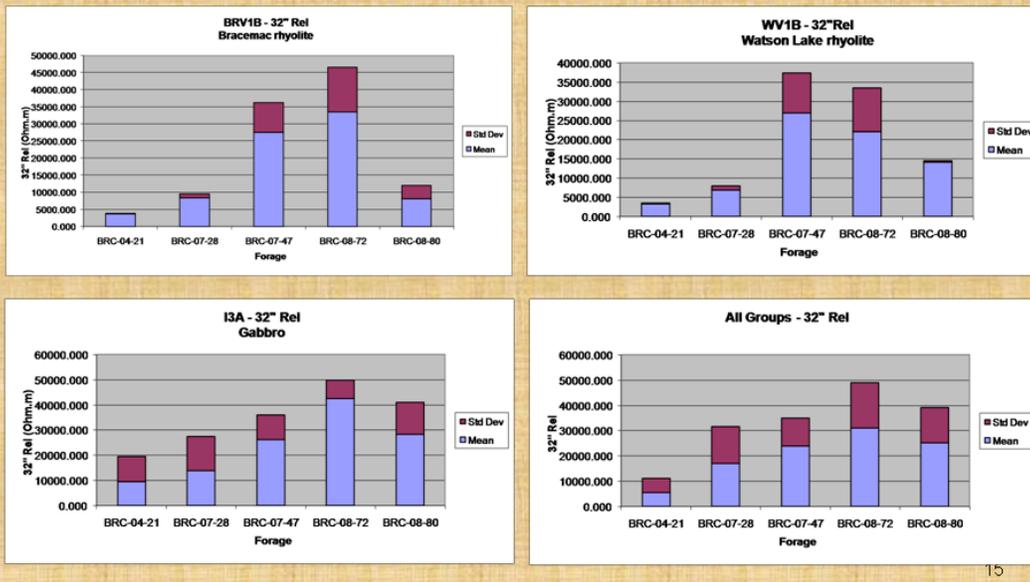
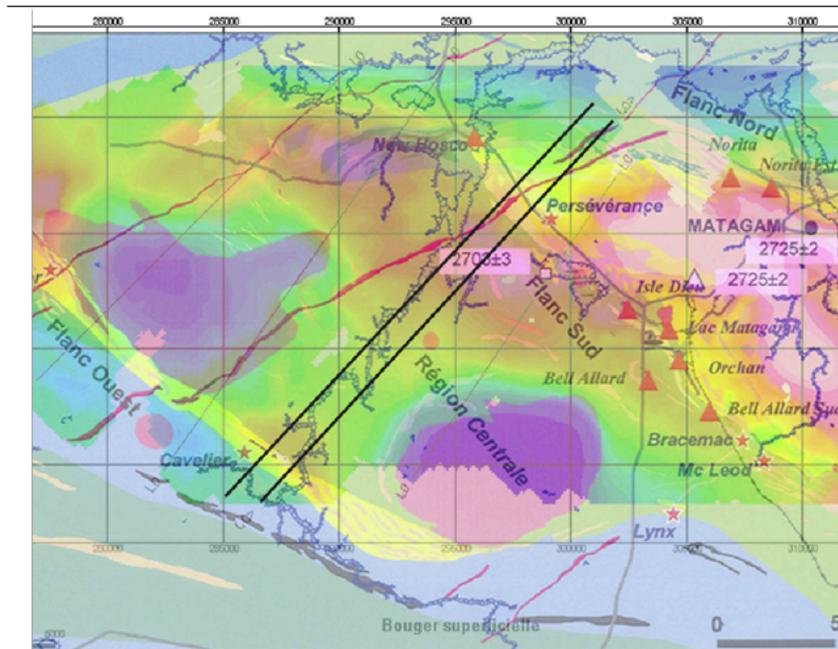


Figure 11. Résumé des propriétés physiques (valeurs moyennes et écart-types) pour différentes lithologies mesurées par diagraphies dans le secteur de Bracemac : (a) densité, (b) résistivité, (c) gamma naturel.

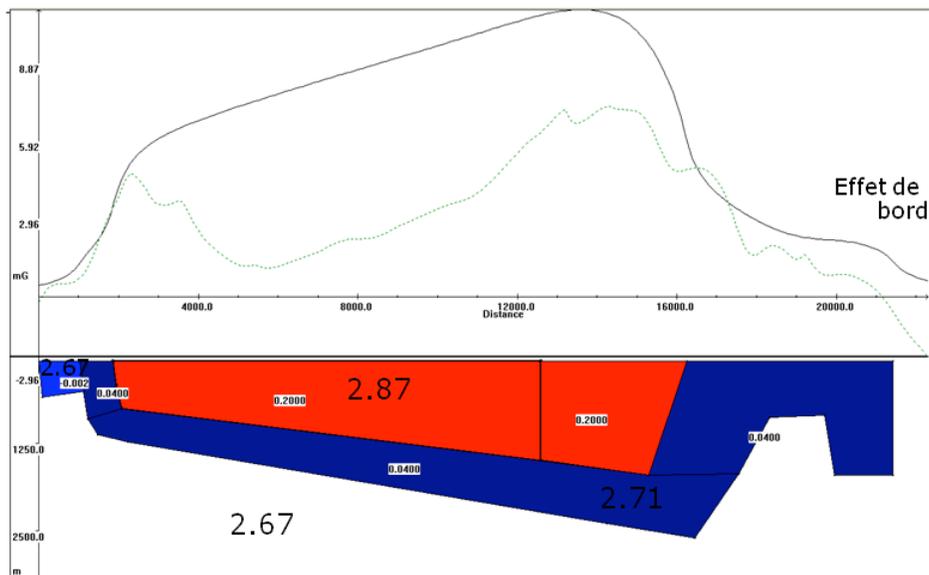
(a)

Données gravimétriques

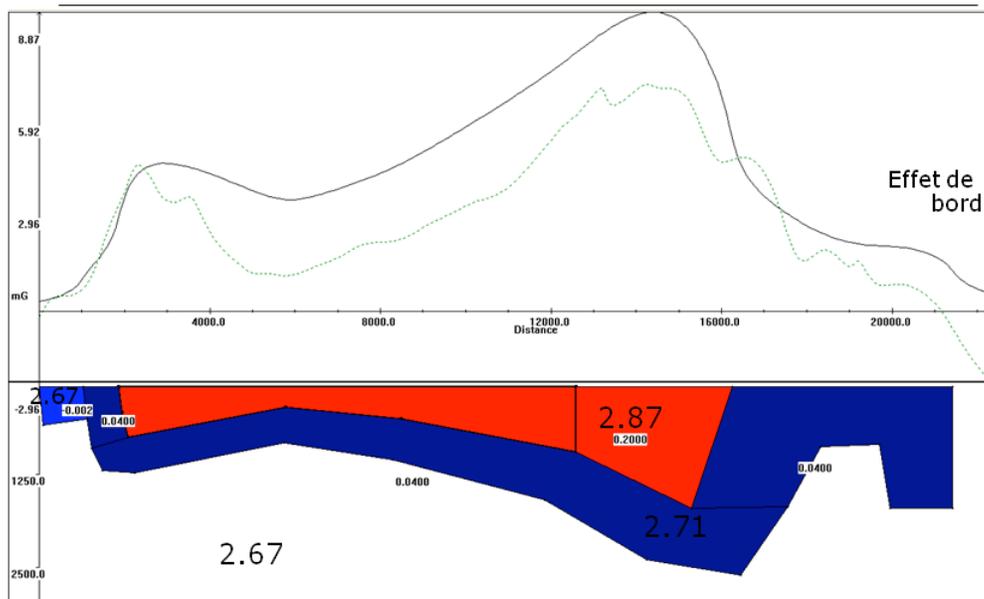


(b)

Modèle Bassin



(c)
Modèle Pli



(d)
Modèle Blocs faillés

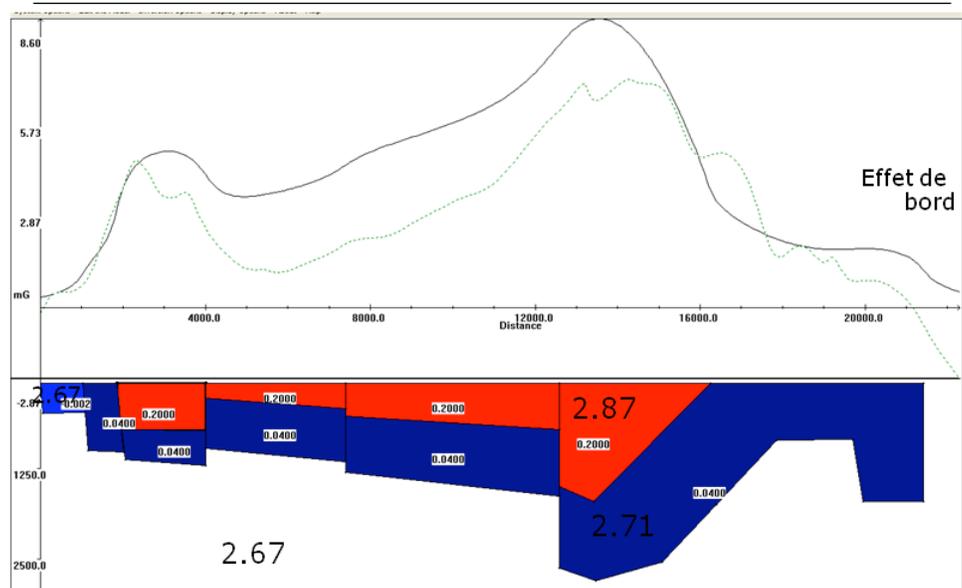


Figure 12. Coupe gravimétrique entre le Flanc Sud et le Camp Ouest. (a) Données gravimétriques superposées à la carte géologique en transparence, montrant la position de la section étudiée; (b) modèle de bassin; (c) modèle de pli; (d) modèle de horst. Sur les figures (b)- (d), l'anomalie mesurée est représentée par une ligne pointillée et le modèle est en ligne pleine.

Gilles Bouchard, Pat Carr, Léo Chabot, Réal Daigneault, Benoît Dubé, Michel Dessureault, Ophélie Encelle, Sylvain Lacroix, Vicki McNicoll, Michel Malo, Benoît Matot, Patrick Mercier-Langevin, Richard Nieminen, Gilles Roy, Patrice Roy, et Nazaire Yapi.

7. RÉFÉRENCES

Adair (2009) Technical Report on the Resource Calculation for the Bracemac-McLeod Discoveries, Matagami Project, Québec. National Instrument 43-101 Report Prepared on behalf of Donner Metals Ltd. (Vancouver, British Columbia), February 24, 2009, 132 p.

Adair R, Roy G, Dessureault M (2007) Matagami : la renaissance d'un prolifique camp de métaux usuels [résumé de conférence]. Québec Exploration 2007, Résumés des conférences et des photoprésentations, pp 23-24

Allen R, Weihed P, Svenson S-A (1997) Setting of Zn-Cu-Au-Ag massive sulfide deposits in the evolution and facies architecture of a 1.9 Ga marine volcanic arc, Skellefte District, Sweden. *Econ Geol* 91:1022-1053

Barrett TJ, MacLean WH (1999) Volcanic sequences, lithogeochemistry, and hydrothermal alteration in some bimodal volcanic-associated massive sulfide systems. In: Barrie CT, Hannington MD (eds) *Volcanic-associated massive sulfide deposits: processes and examples in modern and ancient settings*, pp 101-131

Bonavia FF, MacLean WH (1986) Geology and ore enrichment factors at the Radiore mine, Quebec. *Mineralium Deposita* 21:137-146

Collar F, Fenning P, Mora C (2005) Application of drillhole vector magnetic measurements to resolve the position of existing underground structures. *NDT&E Internat* 38:231-236

Davidson AJ (1977) Petrography and chemistry of the Key tuffite at Bell Allard, Matagami, Quebec. *Mémoire de maîtrise*, Université McGill, Montréal, 131 p.

Franklin JM, Gibson HL, Jonasson IR, Galley AG (2005) Volcanogenic massive sulfide deposits. *Economic Geology* 100th anniversary volume, pp 523-560

Gaboury D, Keita M., Guha J, Lu H-Z (2008) Mass spectrometric analysis of volatiles in fluid inclusions decrepitated by controlled heating under vacuum. *Econ Geol* 103:439-443

Galley AG, Hannington MD, Jonasson IR (2007) Volcanogenic massive sulphide deposits. In: Goodfellow WD (ed) *Mineral deposits of Canada*. Geol Assoc Can, Mineral Deposits Division, Special Pub 5:141-161

Gifkins C, Herrmann W, Large R (2005) *Altered volcanic rocks; a guide to description and interpretation*. Centre for Ore Deposit Research, University of Tasmania, Australie, pp 1-275

Gibson HL, Watkinson DH (1990) Volcanogenic massive sulphide deposits of the Noranda cauldron and shield volcano, Quebec. *Can Instit Mining Metallurgy, Special Vol* 43:119-132

Hannington MD, Galley AG, Herzig PM, Petersen S (1998) Comparison of the TAG mound and stockwork complex with Cyprus-type massive sulphide deposits. In: *Proceedings Ocean Drilling Prog* 158:389-415

Lavallières G, Guha J, Daigneault R, Bonenfant A (1994) Cheminées de sulfures massifs atypiques du gisement de l'Isle-Dieu, Matagami, Québec: implications pour l'exploration. *Explor Mining Geol* 3:109-129

Liaghat S, MacLean WH (1992) The Key Tuffite, Matagami mining district: origin of the tuff component and mass changes. *Explor Mining Geol* 1:197-207

Mercier-Langevin P, Dubé B, Hannington MD, Davis DW, Lafrance B, Gosselin G (2007) The LaRonde Penna Au-rich volcanogenic massive sulfide deposit, Abitibi Greenstone Belt, Quebec: part I. geology and geochronology. *Econ Geol* 102:585-609

Mueller EL, Morris WA, Killeen PG, Balch S (1997) Combined 3-D interpretation of airborne, surface, and borehole vector magnetics at the McConnell nickel deposit. In: Gubins AG (ed) *Proceedings of Exploration 97, 4th Decennial International Conference on Mineral Exploration*, pp 657-666

Piché M, Guha J, Daigneault R (1993) Stratigraphic and structural aspects of the volcanic rocks of the Matagami mining camp, Quebec; implications for the Norita ore deposit. *Econ Geol* 88:1542-1558

Ross P-S, White JDL (2005a) Unusually large clastic dykes formed by elutriation of a poorly sorted, coarser-grained source. *J Geol Soc [London]* 162:579-582

Ross P-S, White JDL (2005b) Mafic, large-volume, pyroclastic density current deposits from phreatomagmatic eruptions in the Ferrar large igneous province, Antarctica. *J Geol* 113:627-649

Ross P-S, White JDL (2006) Debris jets in continental phreatomagmatic volcanoes: a field study of their subterranean deposits in the Coombs Hills vent complex, Antarctica. *J Volcanol Geotherm Res* 149:62-84

Ross P-S, Percival JA, Mercier-Langevin P, Goutier J, McNicoll VJ, Dubé B (2007) Intermediate to mafic volcanoclastic units in the peripheral Blake River Group, Abitibi Greenstone Belt, Quebec: origin and implications for volcanogenic massive sulphide exploration. Geological Survey of Canada, Current Research 2007-C3:1-25

Ross P-S, Goutier J, Percival JA, Mercier-Langevin P, Dubé B (2008a) New volcanological and geochemical observations from the Blake River Group, Abitibi Greenstone Belt, Quebec: the D'Alembert tuff, the Stadacona unit, and surrounding

lavas. Geological Survey of Canada, Current Research 2008-17:27

Ross P-S, Goutier J, McNicoll VJ, Dubé B (2008b) Volcanology and geochemistry of the Monsabrais area, Blake River Group, Abitibi Greenstone Belt, Quebec: implications for volcanogenic massive sulphide exploration. Geological Survey of Canada, Current Research 2008-1:1-18

Sharpe JI (1968) Geology and sulfide deposits of the Matagami area, Abitibi-East County. Ministère des Richesses Naturelles du Québec, rapport RG-137, 130 p.

Siripunvaraporn W, Egbert G, Lenbury Y, Uyeshima M (2005) Three-dimensional magnetotelluric inversion: data-space method. *Phys Earth Planet Inter* 150:3-14