



RAPPORT FINAL  
2010

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\*\*\*,  
Thibaut Astic\*\***

\*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  
Mai 2010 – Québec**



## RÉSUMÉ

SC-30 est un projet DIVEX de type A, financé par DIVEX pour 2008-2010. La Commission Géologique du Canada (CGC) a également participé par des contributions en nature importante durant 2008-2010. Le financement de la subvention de Recherche et Développement Coopérative (RDC) du CRSNG, associé au projet DIVEX, a débuté en septembre 2009 avec un an de retard, ce qui résultera en un programme global de quatre ans plutôt que trois. Les partenaires industriels sont Donner Metals, Ressources Breakwater, SOQUEM, Xstrata Zinc, et le CONSOREM.

Le camp minier de Matagami, dans le nord de l'Abitibi (Québec), a redémarré ses activités grâce à l'ouverture de la mine Persévérance en 2008. Depuis, un nouveau gisement de sulfures massifs volcanogènes (SMV) riche en zinc, Bracemac-McLeod (Adair, 2009), a été identifié par l'industrie et fait présentement l'objet d'une étude de faisabilité. C'est dans ce contexte qu'un projet de recherche multidisciplinaire est réalisé suivant trois volets : (1) reconstruction de l'architecture volcanique (INRS-ETE); (2) géochimie des tuffites (UQAC); (3) géophysique appliquée (Poly). Ces volets disciplinaires se manifestent depuis le début par trois projets de doctorat, un dans chaque université. De plus un nouveau projet de maîtrise touchant le volet (3) a débuté en janvier 2010 et est financé par le ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec. 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 programme de recherche.

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 afin de déterminer des populations de laves, qui peuvent ensuite se suivre sur les différents secteurs d'étude du camp minier. Une étude géochronologique est également faite pour permettre de corréliser différentes unités felsiques au sein du camp. Pour le volet (2), un échantillonnage systématique des tuffites 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 de ces roches et structures afin de déterminer la capacité de ces méthodes à identifier les cibles ou leur environnement favorable.

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. INTRODUCTION

### 1.1. Gisements de sulfures massifs volcanogènes

Les SMV constituent une source importante de zinc, de cuivre, et de métaux précieux à l'échelle du Canada (Galley et al, 2007). De tels gîtes métallifères se sont formés dans un environnement sous-marin, quand des fluides hydrothermaux ont précipité des sulfures zincifères et cuprifères sur le fond marin, et/ou dans les roches volcaniques sous-jacentes (Franklin et al. 2005). Le système hydrothermal 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 créer des cellules de circulation de fluide. Par exemple, 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 mêmes fractures sont réutilisées pour la remontée des fluides minéralisateurs (Gibson et al, 1999). Il est donc important de pouvoir localiser les centres effusifs pour guider l'exploration.

Le gisement de SMV 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 peut se former soit par remplacement du substrat lorsque celui-ci est poreux (Doyle et Allen, 2003), mais 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, nécessaire à l'activité hydrothermale, et donc à l'accumulation des sulfures. L'horizon exhalatif porteur des gisements possède communément des caractéristiques métallifères qui expriment la proximité d'un gisement. Enfin, les amas archéens sont en général composés principalement de pyrite avec des proportions plus faibles de chalcopyrite et sphalérite. Il est parfois possible de trouver de la magnétite, qui récrée une anomalie magnétique, en plus de l'anomalie électromagnétique due aux sulfures conducteurs.

## 1.2. Le camp de Matagami

Le camp minier de Matagami, sujet de notre étude, est situé dans la partie nord de la Sous-province de l'Abitibi, la plus grande ceinture de roche verte archéenne connue dans le monde (Fig. 1). Depuis son ouverture en octobre 1963, le camp de Matagami a produit 45,9 Mt de minerai à des teneurs moyennes de 8,9% Zn, 0,9% Cu, 29 g/t Ag et 0,5g/t Au (G. Roy, commun. pers., mai 2010), provenant de dix mines maintenant fermées et d'une présentement ouverte, Persévérance. Les fortes teneurs en zinc par rapport au cuivre constituent une des spécificités des SMV de Matagami. Plus de la moitié de cette production historique, soit 25,6 Mt, est venue de la mine Mattagami Lake. La plupart des autres gisements font moins de 5 Mt. En tout, 20 gisements de SMV sont connus et se répartissent sur trois bandes contenant des roches felsiques et orientées NW-SE à WNW-ESE : le Flanc Nord, le Flanc Sud et le Camp Ouest (Fig. 2). Les deux premières bandes sont situées de part et d'autre d'une intrusion mafique, le Complexe de la Rivière Bell, et ont fourni toute la production historique du camp.

Un défi important 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.

## 1.3. Problématique du programme de recherche

### 1.3.1. Volet 1 : Volcanologie et stratigraphie

À l'échelle du camp de Matagami, il existe une correspondance spatiale claire entre la présence de rhyolites sous-marines et la présence de gisements de SMV: la majorité des gisements, dont Mattagami

Lake, est située au sommet d'une unité felsique très épaisse et étendue, nommée la Rhyolite de Watson (Sharpe, 1968; Piché et al., 1993; Lavallières et al., 1994). Aucun centre d'émission volcanique n'a jusqu'à présent été clairement identifié dans la Rhyolite de Watson, ni dans aucune autre unité volcanique felsique ou mafique, dû au manque d'études spécialisées. Définir le lien entre volcanisme et hydrothermalisme demeure donc un défi intéressant.

La corrélation stratigraphique entre le Flanc Sud et le Camp Ouest a des implications importantes pour l'exploration, mais demeure difficile à réaliser. En effet, la comparaison géochimique détaillée entre les unités felsiques du Camp Ouest et celles du Flanc Sud reste à faire. La connaissance géochronologique du camp de Matagami dans son ensemble demeure minimale (Mortensen, 1993), et peut être un outil important pour la reconstruction volcanique régionale. Effectivement, de nouveaux âges peuvent permettre d'avoir une idée de la chronologie relative des unités felsiques, mais également d'obtenir une durée de l'activité hydrothermale et de la formation des lentilles de sulfures massifs.

Afin de proposer de nouveaux outils pour l'exploration, il est donc nécessaire de reconstituer l'architecture volcanique à l'échelle locale (gisement) et régionale (camp minier), ainsi que de mieux cerner l'évolution temporelle du volcanisme pour aider la corrélation entre les différentes parties du camp.

### 1.3.2. Volet 2 : Géochimie des tuffites

Le sommet de la Rhyolite de Watson est marqué régionalement par un horizon marqueur important, la Tuffite Clé (Davidson, 1977; Liaghat et MacLean, 1992). Bien que la Tuffite Clé soit un des horizons exhalatifs parmi les plus continus latéralement dans les camps de SMV, les tentatives pour définir des critères de proximité de la minéralisation ont été insatisfaisantes jusqu'à maintenant. 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 : (i) la partie détritique/volcanoclastique; (ii) la partie exhalative, déposée sur le fond océanique suite à l'exhalaison de fluides chauds par des fumerolles dans l'eau de mer; et (iii) la partie hydrothermale, formée de manière épigénétique par la circulation des fluides latéralement le long de la tuffite, et ce même après son recouvrement par des unités plus jeunes. 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.

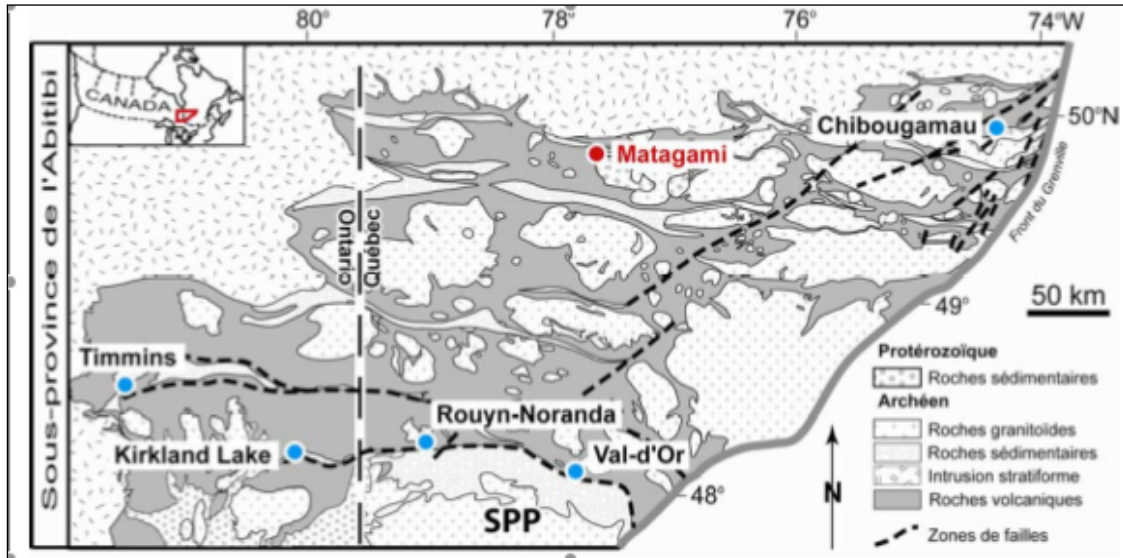


Figure 1. Carte géologique simplifiée de la Sous-province de l'Abitibi, montrant la position de la ville de Matagami.

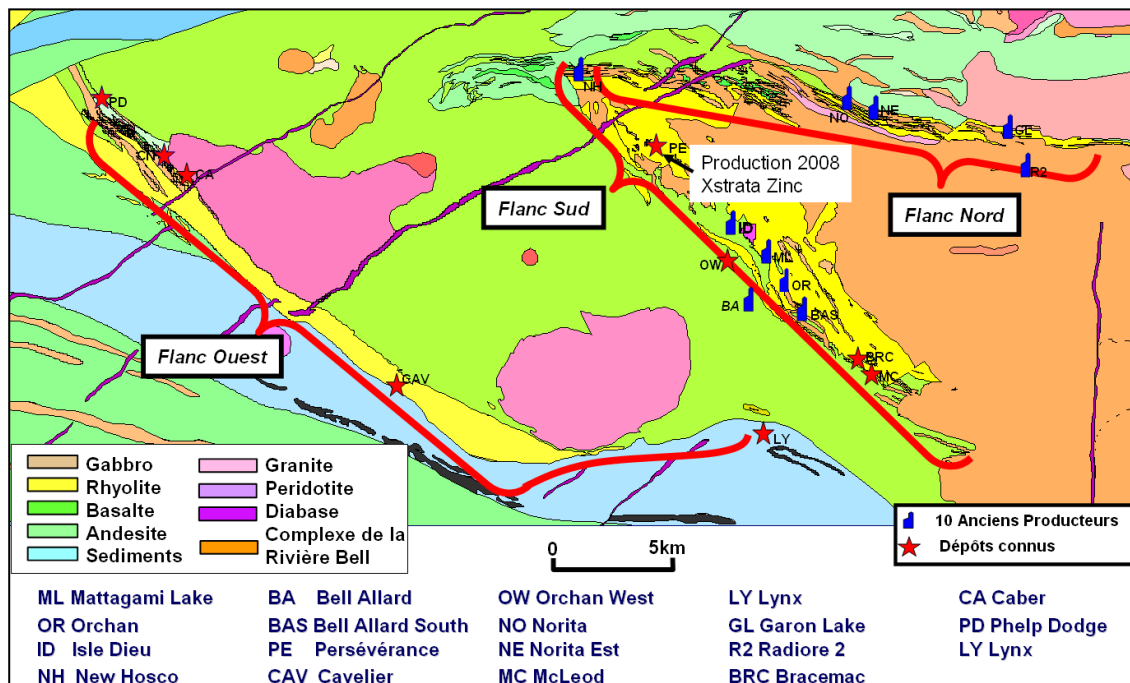


Figure 2. Carte géologique simplifiée de la région de Matagami, d'après Roy et al. (2006).

### 1.3.3. Volet 3 : Géophysique appliquée

Une autre problématique du camp est que les gisements sont très riches en sphalérite et relativement pauvres en pyrite et chalcopryrite, ce qui influence grandement, en combinaison avec la géométrie des gisements, la réponse géophysique de

la minéralisation. On peut démontrer que pour les gisements de 5 Mt à plus de 250 m de profondeur, 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, qui consiste à déterminer à partir de la surface des

zones favorables par la mise en évidence de géologie propice. Au nombre des techniques possibles, certaines requièrent d'importants développements pour être utiles. 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.

#### 1.4. Objectifs

L'objectif général du programme de recherche, est donc de développer des vecteurs vers la minéralisation et de nouveaux concepts d'exploration pour les SMV à Matagami. Ceci aura pour effet de favoriser la découverte de nouvelles lentilles de SMV par l'industrie, que ce soit dans les secteurs plus connus (Flanc Sud, Flanc Nord) ou les secteurs en émergence (Camp Ouest). Cet objectif général sera réalisé dans le cadre d'un programme de recherche multidisciplinaire comprenant trois volets disciplinaires.

Pour la composante volcanologique et stratigraphique du programme (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) afin de pouvoir guider l'exploration.

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.

Enfin, pour la composante géophysique du programme de recherche (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 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.

## 2. MÉTHODOLOGIE

Notre programme de recherche implique trois universités et quatre projets de recherche gradués, soit un doctorat par volet, plus une maîtrise pour le volet 3. Trois secteurs d'intérêt ont été identifiés dès le départ: (i) le gisement Persévérance, sur le Flanc Sud; (ii) les découvertes récentes de Bracemac et McLeod, aussi sur le Flanc Sud; et (iii) le gîte de

Caber, dans le Camp Ouest. 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 (Ross et Debreil), la reconstitution de l'architecture volcanique repose sur l'étude des variations verticales et latérales de faciès des roches volcaniques cohérentes et fragmentaires (Ross et al., 2009; Rogers et al., 2010) liée à une approche chimico-stratigraphique (Barrett et MacLean, 1999; Ross et al., 2008) compte tenu du niveau d'altération hydrothermale dans les roches volcaniques et du manque d'affleurements dans le secteur de Matagami. La géochronologie U-Pb sur zircons dans les rhyolites est aussi un outil important pour corréliser les secteurs du camp et contraindre l'évolution temporelle du volcanisme, ainsi que de la phase majeure de l'activité hydrothermale connue pour le camp.

Pour le volet 2 (Gaboury et Genna), le développement d'outils géochimiques sur les tuffites doit faire en sorte de traduire efficacement la signature hydrothermale des tuffites. Il s'agit d'abord de séparer les trois composantes pour isoler la composante hydrothermale, afin de dégager un meilleur signal. Les méthodes utilisées incluent les analyses de terres rares sur roche totale, les isotopes de l'oxygène, et la chimie de minéraux clés, tels que les pyrites et les chlorites. Ces outils seront couplés avec les données existantes pour tenter de définir des critères lithogéochimiques utilisables pour l'exploration.

Enfin, pour le volet 3 (Chouteau, Shamsipour et Astic), la méthodologie inclut l'acquisition et le traitement statistique de propriétés physiques des roches, le développement d'outils d'inversion géophysique, et l'interprétation des données géophysiques en terme de géométrie des unités et de la minéralisation.

## 3. RÉSULTATS

Voici un aperçu des résultats des travaux après deux ans, sur un programme de recherche maintenant prévu pour quatre ans.

### 3.1. Volet 1

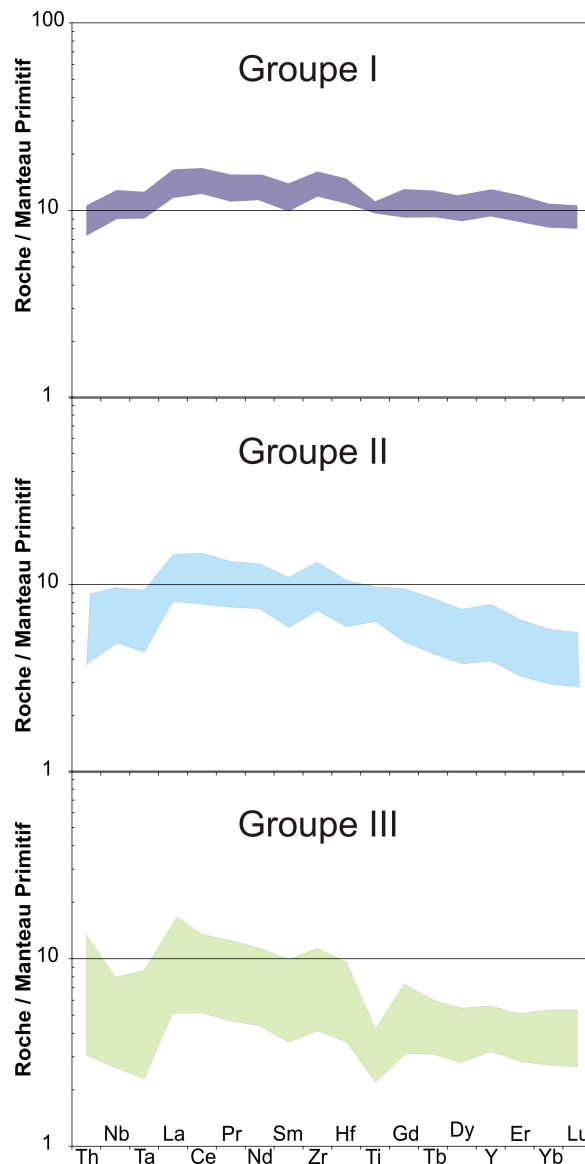
Une seconde campagne de terrain d'une durée de trois mois a eu lieu durant l'été 2009. L'accent a

d'abord été mis sur des logs de forage et de l'échantillonnage géochimique et pétrographique des trois secteurs prioritaires au projet : Bracemac-McLeod, Persévérance et Caber. Les forages à examiner ont été généralement choisis sur des sections types comprenant les gisements. Par la suite, certains forages dans d'autres secteurs ont été choisis pour fins de comparaison avec les trois premiers secteurs d'intérêt du projet, et de réaliser un échantillonnage pour la géochronologie U-Pb. En tout, les carottes de 14 forages (soit 5230 mètres de carottes) ont donc été décrites en détail pendant l'été 2009 avec une attention particulière portée aux faciès volcaniques et à l'altération hydrothermale, et une centaine d'échantillons ont été prélevés pour les analyses géochimiques et pétrographiques.

Par ailleurs, certains affleurements ont été décrits, particulièrement dans la Rhyolite de Watson et la dacite sous-jacente, afin de caractériser les faciès volcaniques de ces unités stratigraphiques sur le Flanc Sud. Il s'agit d'une approche complémentaire aux logs de forages. Une excursion de terrain réunissant la majorité des partenaires du projet a été organisée par Debreil et Genna afin de faire visiter ces affleurements à la fin de l'été. Un livret-guide a été créé pour cette occasion par les organisateurs.

En 2009-2010, 150 échantillons provenant essentiellement de forages ont été analysés pour les éléments majeurs (ICP-AES) et les éléments traces (ICP-MS) dans les laboratoires de l'INRS. En combinaison avec les analyses géochimiques de l'année précédente, ceci a permis notamment de mieux caractériser et différencier les unités volcaniques mafiques à intermédiaires (basaltes et andésites) dans le secteur de Bracemac-McLeod. Spécifiquement, trois groupes de roches volcaniques mafiques à intermédiaires ont pu être distingués sur la base des diagrammes multi-éléments, comme le montre la figure 3. Ces groupes forment des unités volcaniques de plusieurs dizaines de mètres d'épaisseur qui peuvent être corrélées d'un forage à l'autre, au moins dans le secteur de Bracemac-McLeod, permettant ainsi d'établir un début de schéma chimico-stratigraphique basé sur les éléments traces.

En plus des quatre échantillons géochronologiques recueillis en 2008, deux autres ont été ajoutés en 2009. Les six datations U-Pb sur zircons ont été effectuées par Vicki McNicoll et son équipe à la Commission Géologique du Canada à Ottawa. Quatre échantillons ont été pris sur le Flanc Sud dans les unités volcaniques suivante : (1) la Rhyolite de Watson à McLeod; (2) la Rhyolite de Bracemac à McLeod; (3) la Rhyolite de Dumagami à



**Figure 3. Diagrammes multi-éléments normalisés au manteau primitif pour les roches mafiques à intermédiaires dans le secteur de Bracemac-McLeod. Les éléments choisis sont considérés comme les plus immobiles dans les camps de SMV, et de façon générale, les roches mafiques sont moins altérées que les roches felsiques à Matagami. Les valeurs de normalisation sont tirées de Sun et McDonough (1989).**

Persévérance; (4) la Rhyolite de Dumagami à Orchan Ouest (Fig. 4).

Les deux autres échantillons représentent des rhyolites du Camp Ouest ayant une chimie identique à celle de la Rhyolite de Watson sur le Flanc Sud. Leur datation peut permettre de vérifier la corrélation

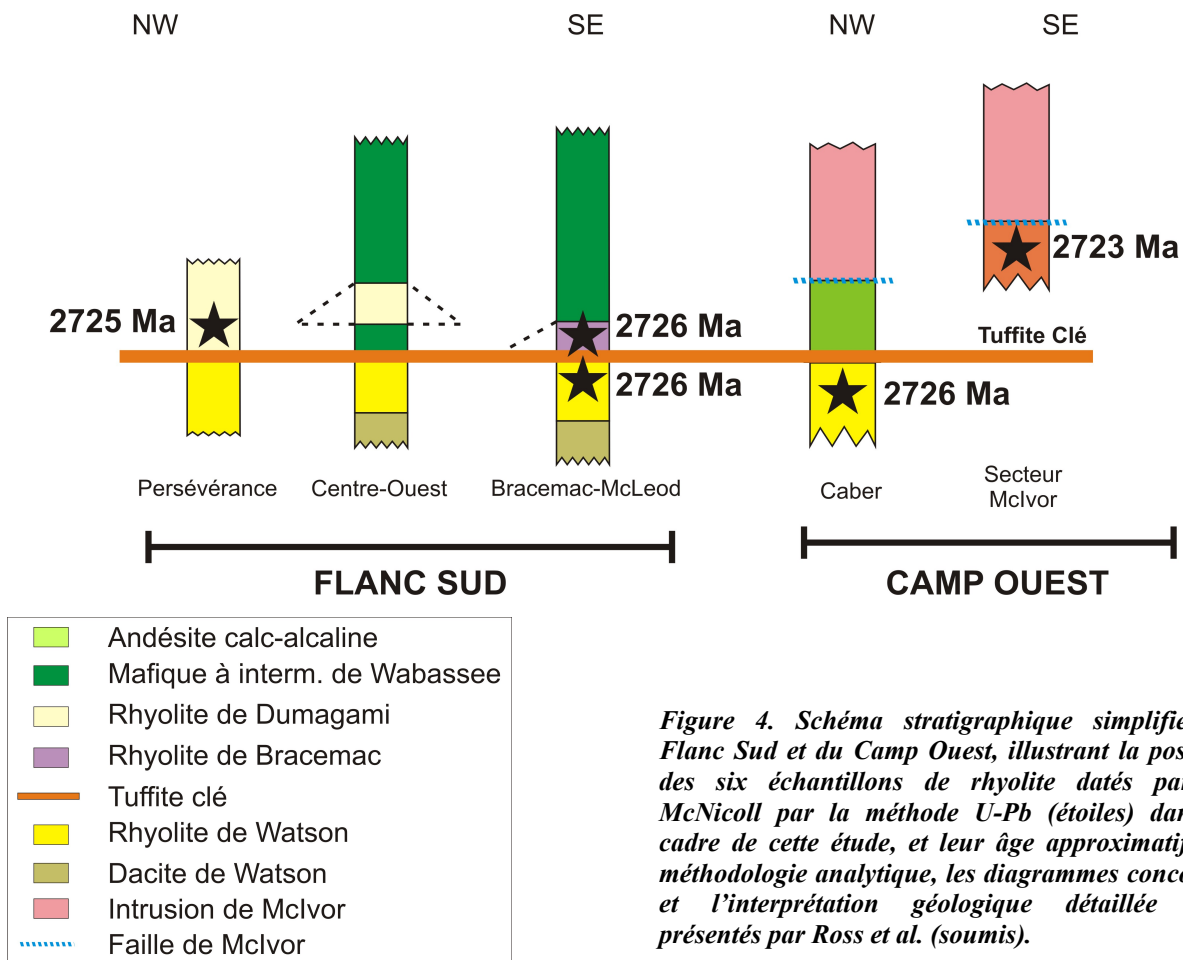


Figure 4. Schéma stratigraphique simplifié du Flanc Sud et du Camp Ouest, illustrant la position des six échantillons de rhyolite datés par V. McNicoll par la méthode U-Pb (étoiles) dans le cadre de cette étude, et leur âge approximatif. La méthodologie analytique, les diagrammes concordia et l'interprétation géologique détaillée sont présentés par Ross et al. (soumis).

stratigraphique entre les deux secteurs. Les résultats sont montrés de façon sommaire sur la figure 4. Un des faits saillants est que la rhyolite de type Watson échantillonnée sous le gisement Caber dans le Camp Ouest a exactement le même âge que la Rhyolite de Watson sur le Flanc Sud, ce qui offre un autre critère pour les corrélés avec plus de confiance. Ceci implique aussi que la tuffite présente au sommet stratigraphique de la rhyolite de type Watson à Caber serait l'équivalent de la Tuffite Clé, un niveau où se situent la plupart des gisements du Flanc Sud.

### 3.2. Volet 2

Les travaux de terrain de l'été 2009 ont porté principalement sur le secteur de Bracemac-McLeod. Au total, 40 forages ont été étudiés et 68 tuffites ont été échantillonnées. Ceci a permis d'établir les relations suivantes :

- la minéralisation au niveau de la Tuffite Clé se met en place après la Rhyolite de Bracemac;

- la Rhyolite de Bracemac est passablement altérée à proximité de la minéralisation (chloritisation, séricitisation et silicification);
- la minéralisation recoupe la Tuffite Clé et les fronts de silicification;
- la cheminée d'altération semble concordante à la Tuffite Clé.

Par ailleurs, d'autres observations sur le long du contact entre la Tuffite Clé et la Rhyolite de Bracemac permettent de poser la question suivante : la rhyolite de Bracemac peut-elle être intrusive au contact Tuffite Clé-Groupe de Wabassee? Ces observations impliquent que la minéralisation au niveau de la Tuffite Clé se met en place après la rhyolite de Bracemac. Elle semble donc issue de processus de remplacement dans une zone plus poreuse par des processus de diffusion latérale des fluides.

Une description texturale des échantillons de tuffite est en cours afin de montrer les variations d'aspect

physique de la Tuffite Clé en s'éloignant des lentilles de SMV. Les observations préliminaires semblent montrer une tuffite cherteuse et minéralisée à proximité des lentilles qui devient progressivement une tuffite chloriteuse.

Des analyses d'isotopes d'oxygène ont été réalisées d'une manière préliminaire sur quelques échantillons contenant de la chlorite et du quartz. Le géothermomètre basé sur ces deux minéraux indique une température d'équilibre supérieure à 600°C, ce qui est beaucoup trop élevé pour un système hydrothermal volcanogène. Parallèlement, les valeurs isotopiques du quartz sont trop élevées pour être dérivées d'un précipité chimique en équilibre avec l'eau de mer. L'hypothèse proposée est qu'il s'agit d'un tuf altéré et minéralisé plutôt que d'une unité d'origine exhalative.

Les analyses lithogéochimiques réalisées sur Bracemac et McLeod en 2008 sont particulièrement intéressantes pour les éléments des terres rares. Les anomalies négatives en Eu normalisé dans la Tuffite Clé disparaissent lorsque les échantillons sont à moins de 200 m du gisement Bracemac (Fig. 5, BRC-08-73). Très près du gisement, cette anomalie devient positive. Il s'agit ici de l'un des premiers signes d'un changement géochimique dans la tuffite.

Un total de 355 points d'analyse dans les chlorites sur 24 lames minces a été réalisé à la microsonde de l'Université Laval. L'augmentation du ratio  $Fe/(Fe+Mg)$  des chlorites est considérée comme un vecteur vers la minéralisation. Les résultats, portés en section longitudinale (Fig. 6), indiquent que pour le cœur du secteur minéralisé de McLeod, les valeurs sont maximales (ratio de 0,71), alors que les valeurs décroissent en s'éloignant pour atteindre une valeur minimale (0,52).

Des tests d'imageries sur les pyrites ont été réalisés à la microsonde de l'Université Laval pour obtenir de l'information sur la zonalité des pyrites et ce, en regard de leur composition en éléments traces. Certaines pyrites ne montrent pas de variation compositionnelle alors que d'autres présentent une zonalité texturale et chimique. Ces particularités témoignent d'une histoire complexe du système hydrothermal. Enfin, les résultats d'analyses au LA-ICP-MS des éléments traces dans les pyrites sont en cours de traitement.

### 3.3. Volet 3

Deux axes de recherche ont été poursuivis : acquisition et traitement des données de propriétés physiques, et développement d'outils d'interprétation gravimétrique et magnétique.

Un inventaire des propriétés physiques disponibles a été réalisé. Ces propriétés proviennent essentiellement de diagraphies de forages localisés près des gisements exploités ou en exploitation (Orchan, Bell Allard, Persévérance), et aussi des mesures faites sur les carottes de forage sous forme de susceptibilité magnétique principalement, et accessoirement de densité. La distribution des propriétés est en cours d'étude; par exemple, la figure 7 décrit la variation des densités en fonction des lithologies dans un forage. Également, des diagraphies sur cinq forages de la zone de Bracemac-McLeod ont été réalisées par la compagnie DGI Geoscience début 2009. Les paramètres mesurés étaient les suivants incluaient : rayonnement gamma naturel, résistivité électrique, densité de la roche, polarisation spontanée, conductivité électromagnétique. Un traitement statistique a été réalisé par les deux étudiants stagiaires, B. Matot et L. Chabot, afin de déterminer (1) les propriétés physiques moyennes des diverses formations géologiques présentes dans cette zone, et (2) de déterminer le potentiel des diverses propriétés physiques à déterminer les unités, l'altération et le degré de fracturation.

La gravimétrie et la magnétométrie aéroportée sont des outils essentiels dans le camp de Matagami pour cartographier les unités géologiques et la structure, et contraindre leur géométrie en profondeur. Afin d'améliorer l'interprétation des données gravimétriques et magnétiques incluant toutes les informations disponibles (mesures en forage, propriétés physiques connues, pendages et contacts), nous avons développé des codes d'inversion stochastique 3D (Shamsipour et al., 2010). Le code d'inversion gravimétrique par cokrigage et cosimulation a permis d'obtenir une image 3D des densités du camp sur une profondeur de 5 km. Le résultat est comparable avec celui proposé par Boszczuk (2009). Le modèle pourra être raffiné au fur et à mesure de la disponibilité de nouvelles connaissances (propriétés physiques, forages, etc.). Une généralisation de ce code peut permettre maintenant inclure les mesures gravimétriques en forage. Un code de modélisation et d'inversion magnétique stochastique 3D a été développé sur le modèle du code d'inversion gravimétrique. Ce dernier peut aussi inclure dans les données à

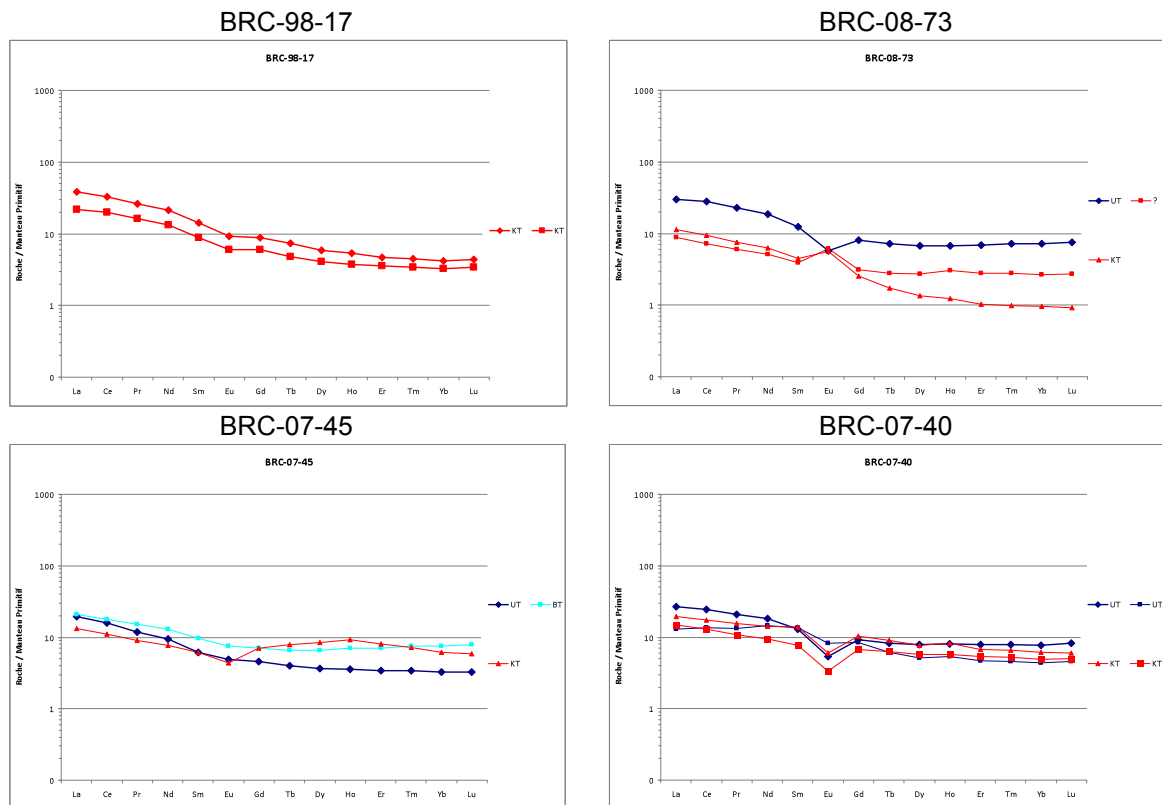


Figure 5. Sélection de quatre forages et résultats analytiques illustrant le comportement de l'Eu en fonction de la proximité du gisement Bracemac le long de la Tuffite Clé en rouge. En bleu, il s'agit d'analyses sur le même forage mais de tuffites supérieures ou de la Tuffite de Bracemac.

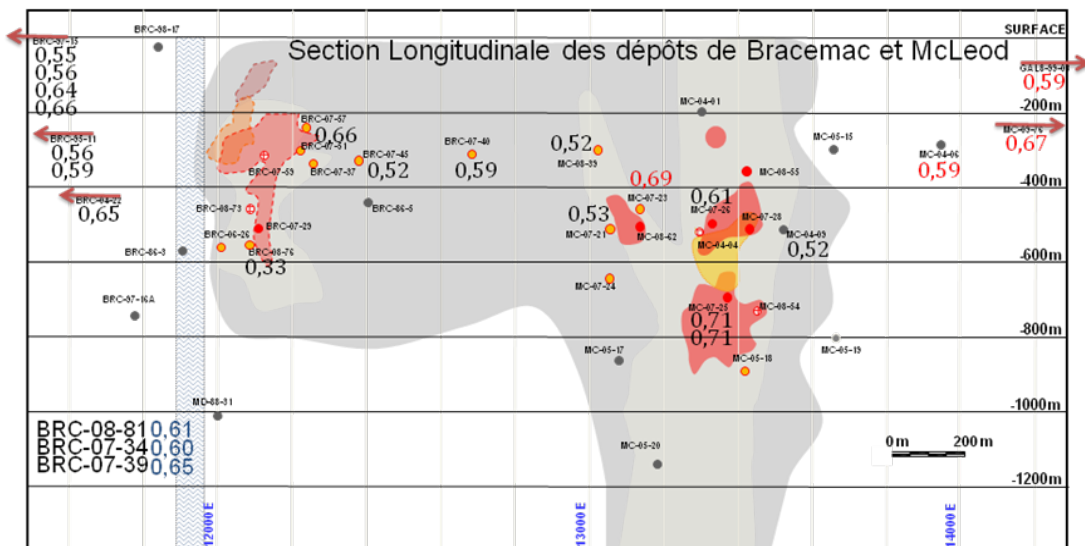
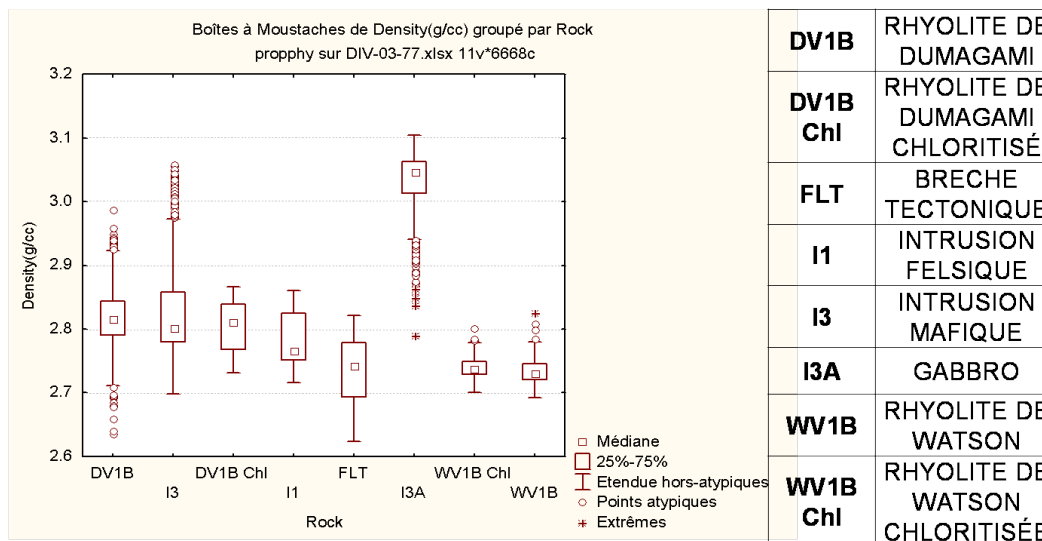


Figure 6. Valeur des rapports  $Fe/(Fe+Mg)$  de la composition des chlorites. Les couleurs des valeurs indiquent leur position quant aux différentes tuffites (noir : Tuffite Clé; rouge : Tuffite de Bracemac; bleu : tuffites supérieures). Pour McLeod, les valeurs maximales sont centrées sur le gisement.



DV1B	RHYOLITE DE DUMAGAMI
DV1B Chl	RHYOLITE DE DUMAGAMI CHLORITISÉ
FLT	BRECHE TECTONIQUE
I1	INTRUSION FELSIQUE
I3	INTRUSION MAFIQUE
I3A	GABBRO
WV1B	RHYOLITE DE WATSON
WV1B Chl	RHYOLITE DE WATSON CHLORITISÉE

Figure 7. Distribution des densités pour les unités géologiques présentes dans le forage DJV-03-77.

interpréter les mesures aéroportées, de surface et en forage. À la figure 8, on montre que l'inversion 3D bénéficie de l'apport des données mesurées en forage pour restituer le modèle responsable des anomalies. Ces codes d'inversion vont maintenant être appliqués à diverses zones du camp de Matagami afin résoudre la géométrie en profondeur de certaines unités.

#### 4. CONCLUSIONS

Notre programme de recherche géoscientifique multidisciplinaire à Matagami vient de compléter sa deuxième année de quatre. Notre vision à terme est de proposer des nouveaux concepts et outils d'exploration pour les SMV à Matagami. La mise en application de ces outils et concepts par l'industrie augmentera les probabilités de découvertes de nouvelles ressources minérales dans le camp. A la suite de la publication des résultats, ces concepts et outils pourront être appliqués dans d'autres camps miniers. Pour l'instant les faits saillants des volets disciplinaires se résument comment suit :

- Volet 1. La rhyolite de type Watson échantillonnée sous le gisement Caber dans le Camp Ouest a exactement le même âge que la

Rhyolite de Watson échantillonnée dans le secteur McLeod sur le Flanc Sud, ce qui suggère une corrélation entre le Camp Ouest et le Flanc Sud, incluant pour la Tuffite Clé.

- Volet 2. Les analyses de roches totales sur les tuffites révèlent une anomalie positive en Eu près du gisement Bracemac, alors que loin du gisement cette anomalie positive disparaît. Le ratio  $Fe/(Fe+Mg)$  des chlorites semble aussi prometteur pour indiquer la proximité de la minéralisation.
- Volet 3. Les outils d'interprétation géophysique (données gravimétriques et magnétiques) développés permettent d'inclure les diverses sources d'information disponibles sur le camp de Matagami, incluant les densités et susceptibilités mesurées en surface et en forage, les mesures gravimétriques et magnétiques qui deviendraient éventuellement disponibles en forage, et les contacts et les pendages des unités géologiques.
- Enfin, une base de données des propriétés physiques géoréférencées est en construction et permettra l'établissement des propriétés physiques caractéristiques des unités lithologiques et de leurs altérations.

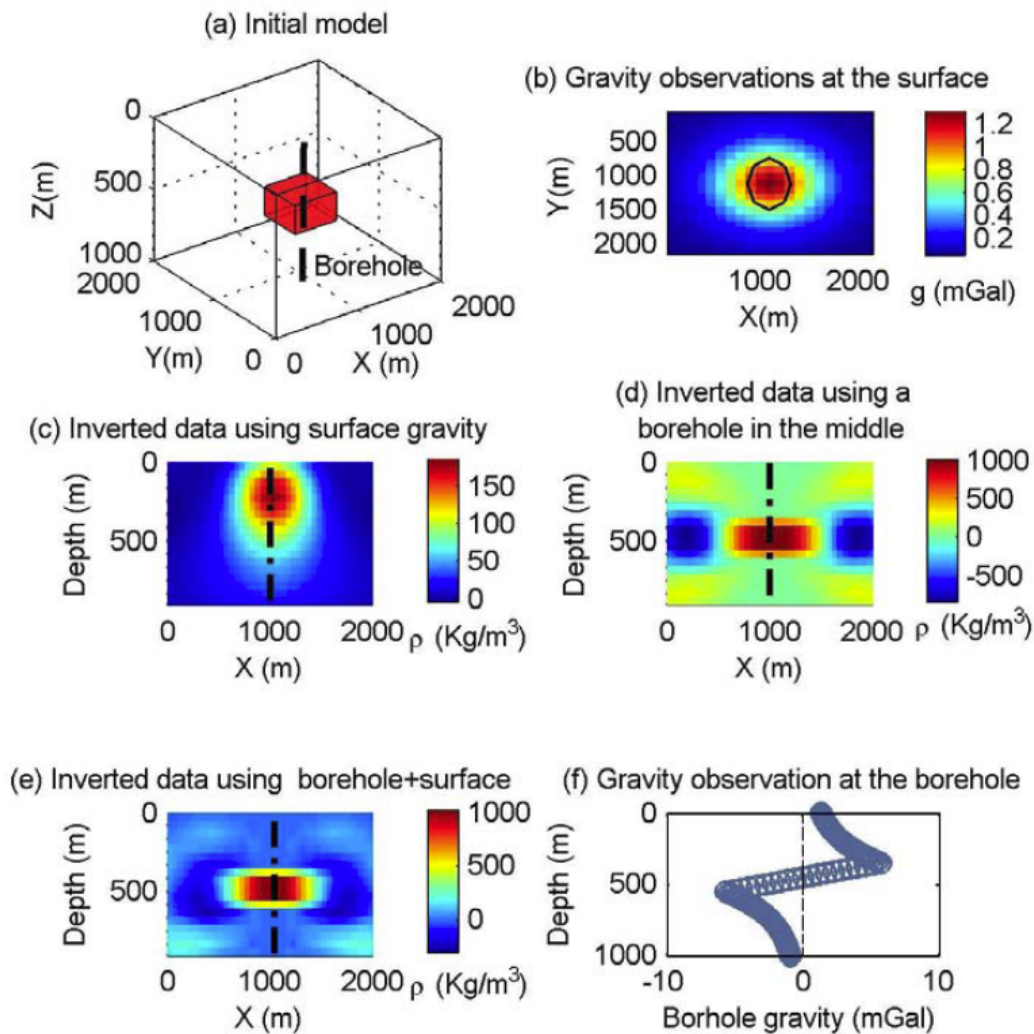


Figure 8 : (a) Modèle hypothétique de gisement générant les anomalies mesurées à la surface (b) et en forage (f). Les figures (c), (d) et (e) montrent respectivement les modèles interprétés en utilisant uniquement les données de surface, les données d'un forage et l'ensemble des deux. On voit que le modèle obtenu en (e) reproduit le plus fidèlement le modèle original, aussi bien en position et volume qu'en grandeur des propriétés physiques.

## 5. PROCHAINES ÉTAPES

### 5.1. Volet 1

- Poursuivre les observations et l'échantillonnage de terrain sur les carottes et les affleurements pendant l'été 2010.
- Continuer la pétrographie, l'acquisition et l'interprétation des données géochimiques (créer une chimico-stratigraphie détaillée de chaque secteur d'étude), et la compilation des variations de faciès.

- Reconstruire l'architecture volcanique du camp de Matagami et proposer des critères d'exploration.

### 5.2. Volet 2

- Poursuivre les travaux de terrain pour l'échantillonnage des tuffites dans les portions manquantes du camp, dans la mesure où les forages sont accessibles.
- Effectuer des observations supplémentaires pour valider les hypothèses proposées lors des travaux de terrain précédents.

- Au laboratoire, amorcer l'étude isotopique de l'oxygène sur les portions silicifiées des tuffites.
- Compléter les travaux analytiques de géochimie des pyrites et des chlorites et les analyses totales de roches.

### 5.3. Volet 3

- Valider le code d'inversion 3D magnétique sur des exemples variés (synthétiques) et sur des données réelles du Camp de Matagami.
- Réaliser un modèle tridimensionnel de la distribution des propriétés physiques du camp de Matagami sous GOCAD. Le logiciel permettra de développer une base de données qui sera mise à jour au fur et à mesure de l'acquisition de nouvelles données. Il permettra aussi d'intégrer les données géochimiques, géologiques et géophysiques nécessaires pour contraindre la géométrie des structures géologiques. Poursuivre et compléter la base de données et le modèle 3D des propriétés physiques dans Gocad.
- Générer des scénarios géologiques (modèles géologiques plausibles à tester) et, par corrélation avec les propriétés physiques associés, calculer les réponses géophysiques (gravimétrique, magnétique, électrique) et vérifier ceux qui sont acceptables car compatibles avec les données géophysiques existantes.

## 6. REMERCIEMENTS

Le financement de ce programme de recherche est assuré par DIVEX mais aussi par la Commission Géologique du Canada, le CONSOREM, le CRSNG, Donner Metals, le Ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec, SOQUEM, Ressources Breakwater, et Xstrata Zinc. Nous remercions les quatre compagnies pour l'accès aux données et pour la permission de publier ce rapport, et tous les partenaires pour leur support.

## 7. RÉFÉRENCES

Adair, R. 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.

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, T.J., MacLean, W.H., 1999, Volcanic sequences, lithochemistry, 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

Boszcuk, P., 2009, Modélisation géophysique du secteur Ouest de Matagami, sous-province de l'Abitibi, Québec, Canada - Intégration des données géoscientifiques disponibles: Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, rapport GM 64057, 30 p.

Davidson, A.J., 1977, Petrography and chemistry of the Key tuffite at Bell Allard, Matagami, Quebec: Mémoire de maîtrise, Université McGill, Montréal, 131 p.

Doyle, M.G., and Allen, R.L., 2003, Subsea-floor replacement in volcanic-hosted massive sulfide deposits: *Ore Geology Reviews*, v. 23, p. 183-222.

Franklin, J.M., Gibson, H.L., Jonasson, I.R., Galley, A.G., 2005, Volcanogenic massive sulfide deposits: *Economic Geology 100th anniversary volume*, pp 523-560

Galley, A.G., Hannington, M.D., Jonasson, I.R., 2007, Volcanogenic massive sulphide deposits. In: Goodfellow WD (ed) *Mineral deposits of Canada*. Geol Assoc Can, Mineral Deposits Division, Special Pub 5:141-161

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: Barrie CT, Hannington MD (eds) *Volcanic-associated massive sulfide deposits: processes and examples in modern and ancient settings*, *Reviews in Economic Geology* 8, pp 13-51

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, W.H., 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, M.D., Davis, D.W., 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

Mortensen, J.K., 1993, U-Pb geochronology of the eastern Abitibi Subprovince. Part 1: Chibougamau - Matagami - Joutel region. *Can J Earth Sci* 30:11-28.

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

Rogers, R., Ross, P.-S., Goutier, J., Lafrance, B., Mercier-Langevin, P., 2010, Étude volcanologique et métallogénique d'un segment de la Formation d'Hébécourt, Sous-province de l'Abitibi : résultats préliminaires : Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, RP 2010-06, sous presse

Ross, P.-S., Goutier, J., McNicoll, V.J., Dubé, B., 2008, 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

Ross, P.-S., Goutier, J., Legault, M., Grunsky, E., Dubé, B., 2009, New volcanological and geochemical

observations from the Blake River Group, Abitibi Greenstone Belt, Ontario and Quebec: Tannahill Township and Lake Labyrinth: Geological Survey of Canada, Current Research 2009-8:26

Ross, P.-S., McNicoll, V., Debreil, J.-A., Roy, G., soumis, Precise U-Pb geochronology of the Matagami mining camp, Abitibi Subprovince, Quebec: stratigraphic constraints and implications for VMS exploration: *Econ Geol*

Roy, G., Allard, M., 2006, Matagami, une approche ciblée sur de nouveaux concepts: Résumé des conférences et des photoprésentations : Québec Exploration 2006, Ministère des Ressources naturelles et de la Faune (Québec), DV 2006-03, p. 13

Shamsipour, P., Marcotte, D., Chouteau, M., Keating, P., 2010, 3D Stochastic Inversion of Gravity Data using Cokriging and Cosimulation; *Geophysics* 75: sous presse.

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

Sun, S.-S., McDonough, W.F., 1989, Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. In: Saunders AD, Norry MJ (eds) *Magmatism in the ocean basins*. Geological Society of London, Special Publication 42, pp 313-345