

Forum technologique du CONSOREM

31 août 2006

dans le cadre de l'événement

Géosciences Abitibi 2006

30-31 août et 1^{er} septembre

Résumés de conférences

PROGRAMME DES CONFÉRENCES

Heure	Conférences et conférenciers
8h30	<i>Accueil</i>
9h00	Nouveaux outils et idées novatrices au CONSOREM <i>Réal Daigneault, CONSOREM-CERM</i>
9h30	Nouvelles idées sur le projet aurifère du Lac Pelletier <i>Philippe Berthelot, Alexis Minerals</i>
10h00	Nouvelle approche pour le traitement des sédiments de fond de lac <i>Sylvain Trépanier, CONSOREM</i>
10h30	<i>Pause café</i>
10h45	Signature en éléments traces des pyrites hydrothermales : résultats, implications génétiques et développement expérimental <i>Damien Gaboury, CERM-CONSOREM</i>
11h15	Géologie et minéralisations du projet Gémini, secteur Casa Berardi <i>Claude Gobeil, Cambior</i>
11h45	L'initiative géoscientifique ciblée IGC-3 en Abitibi : Priorités communes de la CGC, du MRNF et de l'OGS <i>B. Dubé (CGC), R. Marquis (MRNF), J. Parker (OGS), W. Goodfellow (CGC) et S. Hanmer (CGC)</i>
12h15	<i>Dîner</i>
13h30	Un nouvel outil d'aide à la décision en exploration minérale : le Coefficient de Géométrie Favorable <i>Vital Pearson, CONSOREM</i>
14h00	Stratégie d'exploration de Mines Virginia <i>Paul Archer, Mines Virginia</i>
14h30	Modélisation 3D de la dispersion glaciaire : exemple de Casa Berardi <i>Stéphane Faure, CONSOREM</i>
15h00	<i>Affiches présentées par les étudiants des cycles supérieurs,</i> <i>Activité de maillage parrainée par l'AQUEST</i> <i>Bière & discussion</i>

Forum technologique du CONSOREM

Géosciences Abitibi 2006

AVANT-PROPOS

C'est avec plaisir que nous vous souhaitons la bienvenue à ce 4^e Forum technologique du CONSOREM. Ce Forum est un instrument privilégié qui permet de diffuser à la communauté des travaux issus d'entreprises et d'organisations partenaires du CONSOREM et de projets de recherche du CONSOREM qui ne sont plus sous le couvert de la confidentialité.

Le Forum technologique du CONSOREM s'inscrit au sein de l'activité ***Abitibi Géosciences 2006*** parrainée par plusieurs partenaires dont l'AQUEST, l'AEMQ, l'URSTM et le ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec.

Le programme comprend, en plus du Forum, un cours intensif portant sur les veines aurifères, une activité de maillage entre l'Industrie et des étudiants de cycles supérieurs des universités québécoises, puis finalement une excursion sur une partie spectaculaire de la caldeira New Senator, un nouveau modèle récemment proposé par le CONSOREM pour le Groupe de Blake River.

Bon congrès à tous!

Réal Daigneault

Coordonnateur du CONSOREM

TABLES DES MATIÈRES

NOUVEAUX OUTILS ET IDÉES NOVATRICES AU CONSOREM	2
RÉAL DAIGNEAULT, CONSOREM	
NOUVELLES IDÉES SUR LE PROJET AURIFÈRE DU LAC PELLETIER	4
PHILIPPE BERTHELOT, ALEXIS MINERALS	
NOUVELLE APPROCHE POUR LE TRAITEMENT DES SÉDIMENTS DE FOND DE LAC.....	9
SYLVAIN TRÉPANIER, CONSOREM	
SIGNATURE EN ÉLÉMENTS TRACES DES PYRITES HYDROTHERMALES : RÉSULTATS, IMPLICATIONS GÉNÉTIQUES ET DÉVELOPPEMENT EXPÉRIMENTAL	12
DAMIEN GABOURY, CERM-CONSOREM	
GÉOLOGIE ET MINÉRALISATIONS DU PROJET GÉMINI, SECTEUR CASA BERARDI	22
CLAUDE GOBEIL, CAMBIOR	
UN NOUVEL OUTIL D'AIDE À LA DÉCISION EN EXPLORATION MINÉRALE : LE COEFFICIENT DE GÉOMÉTRIE FAVORABLE	24
VITAL PEARSON, CONSOREM	
STRATÉGIE D'EXPLORATION DE MINES VIRGINIA.....	26
PAUL ARCHER, MINES VIRGINIA	
MODÉLISATION 3D DE LA DISPERSION GLACIAIRE : EXEMPLE DE CASA BERARDI.....	27
STÉPHANE FAURE, CONSOREM	

Forum technologique du CONSOREM

Géosciences Abitibi 2006

NOUVEAUX OUTILS ET IDÉES NOVATRICES AU CONSOREM

RÉAL DAIGNEAULT, CONSOREM

L'exploration minérale est le processus à la base des découvertes permettant le développement économique des régions ressources. Le Québec vit actuellement une période effervescente au niveau de son exploration minérale. Les besoins en recherche et innovations ainsi qu'en personnel hautement qualifié sont plus importants que jamais afin d'augmenter la performance du processus d'exploration et ainsi la position concurrentielle du Québec face aux autres joueurs mondiaux.

Or, les activités de recherche et de développement dans le secteur de l'exploration minérale sont minimales alors qu'en réalité elles sont essentielles pour générer les nouvelles idées, études, synthèses et techniques qui conduiront aux découvertes de demain. Par comparaison aux autres secteurs industriels, le secteur de l'exploration minérale est généralement considéré comme étant celui qui investit le moins dans la R&D.

Le succès de l'exploration minérale dépend de plusieurs facteurs :

- 1) la fertilité d'un territoire;
- 2) les investissements en exploration;
- 3) la connaissance et l'information;
- 4) les techniques d'exploration;
- 5) la compétence de la main-d'œuvre.

Si les deux premiers facteurs sont plus difficiles à contrôler, il est possible d'intervenir pour les trois derniers. Le CONSOREM (Consortium de recherche en exploration minérale) est un partenariat public privé en recherche appliquée à l'exploration minérale au Québec. Il s'agit d'un lieu de synergie entre industries, gouvernements et universités, qui a été mis sur pied en mars 2000 grâce à l'appui de partenaires financiers comme Développement économique Canada, le ministère des Ressources naturelles du Québec et le ministère du Développement économique, de l'innovation et de l'exportation du Québec. Ses objectifs sont :

- Le développement de technologies et de connaissances appliquées à l'exploration minérale ;
- Le développement de modèles d'exploration minérale ;
- Le transfert de connaissances vers l'industrie ;
- La formation de personnel hautement qualifié en exploration minérale.

Au moment de sa fondation, le CONSOREM comptait 8 membres, dont 5 membres industriels fondateurs. Aujourd'hui le CONSOREM regroupe 16 membres dont 11 membres industriels parmi lesquels on retrouve: Alexis Minerals Corporation, Cambior, Falconbridge, Forest Gate, Mines Aurizon, Mines Virginia, Ressources Appalaches, Ressources Breakwater, SOQUEM, VIOR, l'ONHYM (Office national des hydrocarbures et des Mines du Maroc), le ministère des Ressources naturelles du Québec, la Commission géologique du Canada (CGC), les universités du Québec à Montréal (UQAM), en Abitibi-Témiscamingue (URSTM-UQAT) et à Chicoutimi (UQAC).

Le CONSOREM fait de la recherche appliquée portant sur les géotechnologies de l'exploration minérale afin de contribuer au succès de l'exploration au Québec. De fait, il exécute trois types de projets de recherche qui sont :

- les projets d'intégration de données;
 - signatures favorables aux différents environnements de dépôt de substances minéralisées.
 - Intégration de données provenant de plusieurs partenaires.
- les projets méthodologiques et les outils logiciels d'aide à la décision;
 - reconnaissance de signaux favorables
 - synthèse de l'information
 - aide à l'interprétation
- les études d'opportunité
 - évaluation du potentiel pour des types de minéralisations peu ou pas connues au Québec
 - formulation de guides permettant d'en faire l'exploration.

Une étude externe réalisée par la firme Martel, Munger et associés, a permis de faire une évaluation très positive des retombées et de la pertinence du CONSOREM auprès des membres de l'industrie au cours des 5 dernières années. Les impacts du CONSOREM se sont manifestés par les produits et innovations livrés d'abord à ses membres, puis après la période de confidentialité, à l'ensemble de l'industrie. Une copie du rapport d'évaluation du CONSOREM peut être consultée sur notre site WEB (www.consorem.ca).

Le CONSOREM a à son actif plus d'une soixantaine de projets de recherche complétés portant sur toutes les substances (Or, Cu, Zn, Ni, EGP, Ti, Diamant, U, Mo) ainsi que sur tous les territoires du Québec bien qu'une emphase particulière ait été portée sur le territoire de la sous-province de l'Abitibi. La présentation s'attardera à présenter quelques exemples de projets de recherche et de leurs résultats.

Forum technologique du CONSOREM

Géosciences Abitibi 2006

NOUVELLES IDÉES SUR LE PROJET AURIFÈRE DU LAC PELLETIER

PHILIPPE BERTHELOT, ALEXIS MINERALS

La propriété Lac Pelletier est située dans les cantons de Rouyn et Beauchastel, dans le secteur sud-ouest de la ville de Rouyn-Noranda, province de Québec. Elle est constituée de 35 titres miniers contigus couvrant une superficie totale de 722.6 hectares, incluant deux concessions minières (# 149 et # 163), de même qu'un permis spécial # 490010 qui couvre une partie de l'ancienne mine Stadacona.

En 2005, Corporation Minière Alexis a conclu une entente d'options avec Thundermin Resources pour acquérir un intérêt indivisible de 100 % dans la propriété aurifère Lac Pelletier, en contrepartie de dépenses d'exploration de 1 million sur 3 ans avec un montant de 75 000\$CAN et un bloc de 100 000 actions à la signature.

L'activité sur la propriété a débuté avec le jalonnement des terrains de la mine Stadacona en 1922, à la suite de la découverte d'or dans une veine de quartz sur la rive sud-est du lac Pelletier en 1925. De 1928 à 1958, Stadacona Mines Ltd. a extrait 2,8 millions de tonnes de minerai aurifère à une teneur usinée moyenne de 5,49 grammes d'or par tonne, soit l'équivalent de 494 000 onces d'or.

Du début des travaux d'exploration jusqu'en 1987, toute la superficie de l'actuelle propriété fut l'objet de cartographie géologique, de levés magnétiques et électromagnétiques et de plus de 48 861 mètres de forage au diamant. Ces travaux ont culminé avec la découverte en 1988, par Falconbridge Nickel Ltd., du gîte du lac Pelletier.

De 1990 à 1991, Falconbridge Ltd. et Thunderwood Resources Inc. foncèrent une rampe sur une longueur de 1 056 mètres et deux galeries d'accès pour reconnaître les deux principales zones minéralisées (137 mètres à 50 mètres de profondeur et 135 mètres à 150 mètres de profondeur). Deux échantillons en vrac provenant des galeries dans le minerai ont été traités aux installations de l'usine Camflo (Société Minière Barrick inc.) : l'un de 6 907 tonnes titrant 6,79 g/t Au, avec une récupération de 93,5 %, et l'autre de 3 641 tonnes titrant 3,08 g/t Au, avec une récupération de 93,72 %. Les travaux furent ensuite suspendus en raison des difficultés d'accès au financement par Thundermin Resources inc. (anciennement Thunderwood Resources inc.), alors devenue l'unique propriétaire.

En 1999, SOQUEM a entrepris des travaux sur la propriété. La re-description de 37 sondages antérieurs, le forage de 12 trous pour un métrage de 3 294 m visant l'extension des zones à l'est de la rampe, ainsi que l'échantillonnage des tranchées de la zone E. Ils ont réalisé une révision de l'inventaire des ressources minérales de catégories

mesurées et indiquées de la zone Lac Pelletier. Il a été évalué à 484 799 tonnes titrant 7,84 g/t Au (122 200 onces Au) avec une teneur de coupure de 5,0 g/t Au sur 2 m ou, 688 253 tonnes titrant 6,27 g/t Au (138 728 onces Au) avec une teneur de coupure de 3,0 g/t Au sur 2 m. M. Jean-Pierre Huertas, géologue et personne qualifiée pour SOQUEM, a effectué ces calculs de ressources en conformité avec les standards établis sous la norme NI 43-101 (Réf.: Formulaire annuel d'information 2003, Thundermin Resources sur Sedar.com)

La propriété Lac Pelletier est située dans la partie sud du groupe volcanique de Blake River. Dans son ensemble, elle est caractérisée par une séquence bimodale d'unités felsiques et mafiques dans laquelle les rhyolites et les andésites prédominent. La majorité des roches mafiques appartiennent à des unités différenciées tholéitiques tandis que les complexes rhyolitiques sont d'affinité calco-alkaline (Gélinas et al., 1984).

La géologie de la propriété a été décrite par plusieurs auteurs depuis les années trente. La nomenclature des unités peut varier d'un auteur à l'autre, mais leur description générale est similaire. Le texte qui suit est un extrait de la thèse de M. Gilbert (1986).

“ Dans la région du lac Pelletier, les unités volcaniques sont regroupées en trois domaines géologiques et géographiques distincts, soient les domaines nord, central et sud. Les séquences volcaniques propres à chaque domaine sont séparées les unes des autres par d'importantes zones cisailées subverticales orientées est-ouest parallèlement à la faille Larder Lake-Cadillac.

Le domaine nord se compose d'une séquence bimodale de laves mafiques et felsiques d'affinité calco-alkaline. Au Protérozoïque, elles furent recoupées régionalement par des dykes de diabase.

Les roches volcaniques observées dans la région du lac Pelletier sont situées à l'intérieur d'une séquence homoclinale faisant face vers le nord. Elles sont orientées N250° - N300° et pentées à 20-70° vers le nord. La distribution des différentes unités lithologiques, leur orientation et leur pendage sont toutefois affectés par la présence de nombreuses zones de cisaillement orientées NE-SO et E-O. Le pendage de ces zones varie de 20° à subvertical.”

Le centre du Lac Pelletier est occupé par une masse intrusive de composition dioritique (à confirmer par l'étude géochimique en cours) ainsi que de nombreux dykes irréguliers de même composition intrudent les laves de la rive sud du lac. Des filons couches gabbroïques parfois magnétiques sont interdigités aux coulées de laves mafiques.

Forum technologique du CONSOREM

Géosciences Abitibi 2006

Depuis l'acquisition de la propriété, Alexis a réalisé une recompilation des sondages se rapportant à la zone aurifère du Lac Pelletier, suivi d'une réinterprétation des failles et zones minéralisées afin de réaliser une modélisation 3-D. Ce travail de base nous a permis de mieux voir la continuité des enveloppes de veines des zones 4-1 à 4-4 et de procéder à une réévaluation du calcul de ressources des différentes zones minéralisées.

Au moins trois cisaillements E-O ont été identifiés dans le secteur des zones aurifères Lac Pelletier. Du nord vers le sud on retrouve le cisaillement B qui contient la zone 3, suivi du cisaillement A et du cisaillement C. Ces trois structures ont des pendages variant de 25° à 50° pour le cisaillement B et de 35° à 65° pour les cisaillements A et C. En dehors de ces zones de déformation les roches sont peu foliées. Vers l'est, ces cisaillements semblent se verticaliser et prendre la direction N-E des cisaillements de type Stadacona. Vers l'ouest ils semblent se verticaliser aussi, mais en conservant une direction E-O.

Un autre système de fracturation et de faille de direction N-NE est identifié. Il est représenté par des veines de quartz-calcite en remplissage de fracture ou associées à de petites failles. Ces structures peuvent être aurifères comme celles observées sur le décapage 2001-E de SOQUEM qui contiennent des points d'or visibles.

La zone de cisaillement B qui contient la zone #3, est fortement schistosée avec une forte séricitisation, carbonatation (calcite) et chloritisation, sur des épaisseurs pouvant atteindre une trentaine de mètres. À l'intérieur de ce couloir de déformation se développe des zones aurifères de veines en cisaillement de quartz-ankérite-chlorite-calcite-pyrite de 1 mètre à plus de 12 mètres d'épaisseur. Ces veines sont accompagnées d'une enveloppe d'altération à séricite-ankérite-fuschite-calcite et 1-5% de pyrite fine. Cet assemblage d'altération n'est basé que sur une description visuelle. Une étude géochimique combinée à une description en lame mince des différents assemblages d'altération est en cours par Mathieu Piché.

Les zones 4-1 à 4-4 sont formées d'un ensemble de veines de quartz-ankérite-albite-pyrite accompagné d'une enveloppe d'altération de quelques centimètres à plus d'un mètre. L'altération est caractérisée par une forte à très forte ankéritisation et une faible pyritisation. Ces enveloppes de veines longent généralement les contacts des intrusions dioritiques à l'intérieur des filons couches gabbroïques et sont limitées par les cisaillements E-O. Ce système de veines se termine latéralement avec la verticalisation des cisaillements E-O.

BIBLIOGRAPHIE

COUTURE, J.-François et Jean Goutier. Métallogénie et évolution tectonique de la région de Rouyn-Noranda, 1996, MB 96-06.

COUTURE, J.-François. Les gisements métalliques du district de Rouyn-Noranda, 1996, M.R.N.Q.

DUFRESNE, Michel W. Pelletier Lake Property, PN-046, Summary Report and 1988 Exploration Summary, January 1989, Falconbridge Limited

GÉLINAS, L., P. Trudel et C. Hubert. Chimicostratigraphie et tectonique du Groupe de Blake River, 1984, Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec, MM 83-01.

GILBERT, M. Géologie du groupe volcanique Archéen du Blake River, Université de Montréal, Thèse de maîtrise, Novembre 1986.

HUERTAS, Jean-Pierre. Projet Lac Pelletier (# 1298). Rapport du programme d'exploration automne-hiver 2000. Volume I à III, Juillet 2000, SOQUEM INC.

HUERTAS, Jean-Pierre. Projet Lac Pelletier (# 1298). Description du programme d'exploration 2000. SOQUEM INC.

HUERTAS, Jean-Pierre. Projet Lac Pelletier (# 1298). Programme d'exploration 2001-2002. Septembre 2001. SOQUEM INC.

IMBEAU, Gilles. 1990-1991 Underground Exploration Report, Lac Pelletier Project, Rouyn-Noranda, Quebec, January 1992, Volume I & II, Thunderwood Resources Inc.

IMBEAU, Gilles. 1992 Surface and Underground Diamond Drilling Program and Budget, Lac Pelletier Project, February 1992, Thunderwood Resources Inc.

IMBEAU, Gilles. Mineral Inventory Summary, Lac Pelletier Project, February 1992, Thunderwood Resources Inc.

IMBEAU, Gilles. 1990-1991, Underground Exploration Report, Lac Pelletier Project, Rouyn-Noranda, Quebec, January 1992, Thunderwood Resources Inc.

IMBEAU, Gilles. 1992 Surface and Underground Diamond Drilling Program and Mineral Inventory Up-Date, Lac Pelletier Project, Rouyn-Noranda, Quebec, November 1992, Thunderwood Resources Inc.

WILSON, M.E. Rouyn-Beauchastel Area, Memoir 315, 1962, Commission géologique du Canada

Forum technologique du CONSOREM

Géosciences Abitibi 2006



NOUVELLE APPROCHE POUR LE TRAITEMENT DES SÉDIMENTS DE FOND DE LAC

SYLVAIN TRÉPANIÉ, CONSOREM

Les levés régionaux de sédiments de lacs constituent un outil primordial pour l'exploration minérale dans les régions peu explorées du Nord du Québec. En effet, la banque de données des sédiments de lacs du Québec couvre, à l'aide de près de 120 000 échantillons, presque toute la moitié nord de la province, à des densités d'échantillons variant de 1 par 10 km² à 1 par 3 km². Il s'agit en fait de la seule banque de données géochimiques couvrant entièrement ce territoire. Toutefois, l'utilisation efficace de la géochimie de sédiments de lacs dans le cadre de tels travaux d'exploration à l'échelle régionale présente plusieurs difficultés. Deux aspects seront traités ici. Le premier aspect abordé concerne le nivellement et l'homogénéisation des données, première étape essentielle à toutes les analyses subséquentes. Par la suite, le choix de la méthode de détermination des seuils d'anomalies sera examiné.

La première étape nécessaire de l'étude des sédiments de lacs est d'homogénéiser les données. Un examen rapide de cartes contourées de différents éléments à l'échelle du Québec et du Labrador montre des décalages de valeurs visibles entre des levés réalisés à des époques différentes. Ces décalages sont normaux et attendus étant donné le changement des méthodes analytiques et des laboratoires d'analyses avec le temps, mais doivent être corrigés. Pour ce faire, un logiciel de nivellement des levés géochimiques a été élaboré en se basant sur une méthode de nivellement de levés géochimiques existante. La suite d'éléments chimiques utilisée pour les analyses subséquentes doit également être déterminée. Il faut considérer une suite d'éléments qui constitue le meilleur compromis entre des facteurs divergents tels que la couverture la plus grande possible du territoire, le plus grand nombre d'éléments et la meilleure qualité analytique des analyses pour les différents éléments. Dans cette optique, une suite de 18 éléments a été sélectionnée pour le territoire québécois et 12 éléments pour le territoire Québec-Labrador combiné. Le nivellement et le choix d'éléments appropriés ont permis d'obtenir une base de données homogène pour l'ensemble du territoire.

Traditionnellement, en géochimie d'exploration, la détermination des seuils d'anomalies passe par le calcul de statistiques de base (percentiles, moyennes, courbes de distribution) sur un secteur choisi de façon arbitraire. On applique typiquement un seuil d'anomalie unique à l'ensemble des échantillons de la région choisie. Toutefois, il y a une hypothèse à la base de l'utilisation de ces méthodes qui est souvent oubliée. En effet, ces méthodes supposent que *tous les échantillons sont comparables entre eux vis-à-vis leur teneur « normale » en métaux*. Mais est-ce vraiment le cas?

Forum technologique du CONSOREM

Géosciences Abitibi 2006

La réponse à la question posée précédemment demande de s'interroger sur la nature même des sédiments lacustres. Pour ce faire, il est utile d'aborder brièvement la question de la classification des sédiments de lacs. Différentes méthodes de classification des sédiments lacustres existent. La méthode retenue ici (Engstrom, 1984) est basée sur l'origine du matériel. On trouve principalement trois fractions.

- La fraction allogène: amenée par le bassin de drainage. Inclus la matière minérale mais également des débris organiques transportés. Peut être de différentes granulométries et compositions, selon le type de matériel environnant et les conditions d'érosion, de transport et de dépôt dans le lac et dans son bassin de drainage.
- Fraction endogène: formée directement dans la colonne d'eau du lac. Comprend des débris organiques formés directement dans la colonne d'eau et la précipitation chimique directe à partir de l'eau
- Fraction authigène : interactions eau-sédiments après le dépôt.

On constate donc que, contrairement au till, qui est essentiellement de la roche broyée, les sédiments de lacs sont issus d'un mélange complexe de fractions d'origines et de compositions très différentes. Les proportions de ces différentes fractions dans un sédiment donné dépendent de plusieurs facteurs environnementaux interdépendants. Par exemple, la proportion de matière organique endogène dans le sédiment vs le matériel allogène dépend de la productivité organique qui est elle-même fonction de la profondeur de l'eau, de la quantité d'éléments nutritifs dans l'eau, de la latitude, etc. Autre exemple, la proportion de particules argileuses par rapport aux particules plus grossières dépend du régime d'érosion et de transport du bassin versant, de l'agitation de l'eau du lac, elle-même tributaire de la profondeur de l'eau et du régime hydraulique du lac, etc.

Plusieurs études (par exemple El Bilali et al. 2002, Bendell-Young et al., 2002) ont confirmé que les métaux ont des préférences marquées pour certaines fractions par rapport à d'autres. Par exemple, l'uranium a une forte affinité avec la matière organique alors qu'un autre métal comme le zinc se fixe très facilement sur les oxydes de fer et de manganèse. Autre exemple, il est également connu que la majorité des métaux ont une tendance marquée à se fixer sur les particules argileuses.

Les conditions environnementales vont donc influencer les proportions des différents constituants fondamentaux des sédiments. Les proportions de ces différents constituants fondamentaux vont à leur tour influencer de façon considérable les teneurs « normales » en métaux des sédiments, selon l'affinité des différents métaux aux différentes fractions.

Dans la banque de données de géochimie régionale du Québec, ces relations sont clairement visibles. On trouve par exemple une corrélation claire entre les teneurs en différents métaux et différents indicateurs de l'environnement secondaire (profondeur de l'eau, couleur de l'échantillon (qui dépend principalement du % de

matière organique), perte au feu des échantillons). Ces relations sont importantes et sont visibles peu importe la sous-région étudiée. L'analyse statistique de la banque de données par une analyse multivariable suggère par exemple que le jeu de dilution de la matière organique sur la matière d'origine minérale constitue la source la plus importante de variation des données géochimiques lacustres.

Une approche possible de détermination d'anomalies considérant ces observations pourrait être de déterminer des « domaines géochimiques » dans lesquels ces facteurs environnementaux sont peu variables. En effet, certaines de ces conditions environnementales vont changer lentement (par exemple la latitude). D'autres par contre, vont varier de façon très rapide (exemple, la proportion d'argile dans le sédiment). Ces variations rapides et leur influence sur les teneurs en métaux des sédiments sont probablement à l'origine des effets pépites très importants visibles lors de l'étude géostatistique des données. La détermination de domaines géochimiques est donc un premier outil intéressant, mais un peu insuffisant pour arriver à des seuils d'anomalies réalistes.

Pour obtenir des seuils d'anomalies réalistes, il faudrait donc tenir compte de l'environnement sédimentaire lacustre. Idéalement, chaque échantillon devrait avoir, dans un métal donné, un seuil d'anomalie qui lui est propre et qui dépend de son propre environnement géochimique. Des méthodes de détermination de seuils d'anomalies devraient être développées à la lumière de ces observations sur la nature des sédiments.

Bibliographie

- Bendell-Young, L.I., Thomas, C.A., Stecko, J.R.P. 2002. Contrasting the geochemistry of oxic sediments across ecosystems : a synthesis. *Applied geochemistry* 17: 1563-1582.
- El Bilali, L., Rasmussen, P.E., Hall, G.E.M., Fortin, D. 2002. Role of sediment composition in trace metal distribution in lake sediments. *Applied Geochemistry*, 17: 1171-1181.
- Engstrom, D.R., Wright, H.E, Jr. 1984. Chemical stratigraphy of lake sediments as a record of environmental change. In : *Lake Sediments and Environmental History*. Édité par Haworth, E.Y. et Lund, J.W.G.

SIGNATURE EN ÉLÉMENTS TRACES DES PYRITES HYDROTHERMALES : RÉSULTATS, IMPLICATIONS GÉNÉTIQUES ET DÉVELOPPEMENT EXPÉRIMENTAL

DAMIEN GABOURY, CERM-CONSOREM

INTRODUCTION

La recherche sur les éléments traces s'inscrit dans une volonté de décoder l'information contenue dans les sulfures associés à des systèmes hydrothermaux pour développer des outils prédictifs pour l'exploration minérale. À l'image du génome en biosciences, il est ici considéré que le sulfure hydrothermal renferme l'information de ses conditions physico-chimiques de formation codée sous la forme d'une signature en impuretés métalliques.

FONDEMENTS THÉORIQUES

Les gisements hydrothermaux métallifères (Au, Ag, Cu, Zn, Pb) dérivent de la circulation, à différents niveaux crustaux, de fluides chauds et pressurisés le long de fractures et de réseaux poreux primaires des roches. Les techniques traditionnelles de caractérisation que sont les isotopes stables (O, H, S) et les inclusions fluides ont permis de contraindre certaines conditions physico-chimiques de la formation des gisements. Quatre grandes classes de fluides participent à la formation des gisements : l'eau de mer et météoritique ainsi que les fluides magmatiques et métamorphiques. Chaque type de fluide est actif dans des contextes géologiques particuliers de la croûte et possède des caractéristiques chimiques qui lui sont propres. Conséquemment, leurs capacités de lessivage de la roche source et de transport des métaux en solution sont différentes. Spécifiquement, les capacités de lessivage et de transport de ces fluides sont fonction de la composition en sels et liants, de la température et de la pression des fluides, et de la composition des roches lessivées. Les sulfures, qui constituent les minéraux porteurs des métaux à caractère économique, sont précipités directement à partir des fluides hydrothermaux. Ils sont donc des témoins privilégiés des conditions physico-chimiques associées aux événements d'hydrothermalisme. Les sulfures renferment une quantité significative d'impuretés métalliques (Huston et al., 1995) sous la forme d'inclusion et de remplacements stœchiométriques ou non des phases majeures (Fe, S). Deux groupes d'éléments traces ont été utilisés, à savoir les lanthanides (ETR) et les éléments qui ont une solubilité hydrothermale documentée (Ag, As, Bi, Co, Cd, Cr, Cu, Hg, In, Ir, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, Sn, Ta, Te, Tl, V, W, Zn). Les ETR et certains éléments traces (Se, Ni, Co) contenus dans les sulfures ont été utilisés comme outils de classification (p. ex. Bralio et al., 1979; Lottermoser, 1992) et comme indicateurs des conditions de formation de certains gisements (p. ex. Huston et al., 1995; Hannington et al., 1999a; 1999b; Ulrich et al., 2003). Les éléments traces dans les sulfures, malgré l'importance qui leur est attribuée ici, ont fait l'objet de peu d'études systématiques. Cette lacune est en grande partie attribuable aux méthodes analytiques. En effet, la détermination des éléments traces dans les sulfures, à des concentrations du ppm, voire du ppb, constituait, jusqu'à l'avènement récent des ICP-MS-LA, un défi de taille. L'UQAC s'est dotée récemment d'un ICP-MS-LA de dernière génération qui est essentiellement dédié à l'étude des éléments traces et des EGP dans les sulfures et les oxydes. La quantification des éléments traces dans les sulfures à des teneurs du ppm au ppb est maintenant réalisée de manière routinière.

QUANTIFICATION DES ÉLÉMENTS TRACES DANS LES SULFURES

L'appareil analytique utilisé pour quantifier la signature en éléments traces des pyrites est un ICP-MS Thermo Elemental X-7 avec cellule de réaction CCTED, couplé à un laser New Wave Nd:YAG 213 nm. Il a été acquis en 2003. Il est l'un des seuls au Canada destiné principalement à l'analyse des phases sulfurées.

L'échantillon de roche est "foré" avec le laser pendant une période de temps définie, soit 60 s pour les sulfures. La plate-forme laser permet de sélectionner avec précision l'emplacement où le laser va prélever la matière. Le diamètre des cratères d'échantillonnage varie entre 10 et 100 μm . L'appareil permet donc de déterminer la composition chimique de très petits minéraux, d'inclusions fluides ou d'impuretés. La matière ainsi extraite sous la forme de fines particules moléculaires est transmise à la torche au plasma (ICP) par un courant de gaz inerte. Le flux thermique du plasma (7000 °C) permet la dégradation des molécules en atomes. Un champ magnétique intense, induit au niveau du plasma, permet d'ioniser les atomes. Les atomes deviennent ainsi chargés positivement (ions). À la sortie du ICP, les ions ont une masse (m) et une charge (z) exprimées sous la forme d'un ratio m/z qui est spécifique à chaque élément chimique. Ceux-ci sont alors attirés vers le spectromètre de masse (MS) pour être séparés et quantifiés. Le quadropôle sert de filtre à ions. Seuls ceux avec un ratio m/z déterminé traversent le filtre et atteignent le détecteur pour être comptés. Finalement, la relation de proportionnalité est établie par un logiciel entre le poids de la matière extraite par le laser et le nombre d'ions détectés pour quantifier la concentration d'un élément particulier ou de plusieurs à partir du mode balayage.

Des lames minces polies de 100 μm sont utilisées pour les analyses. Celles-ci sont préalablement étudiées pour sélectionner les points d'analyses en fonction des textures et des assemblages minéralogiques par pétrographie optique numérique. Les capacités analytiques du X-7 permettent d'enregistrer en temps réel le signal (CPS : counts per second) pour de nombreux éléments simultanément. Ceci permet d'apprécier la stabilité du signal tout au long de la période d'ablation au laser. Un signal continu et régulier indique que l'élément est distribué de manière homogène dans le cristal. Ainsi, l'habitus de l'élément est interprété comme étant en remplacement stoechiométrique ou non stoechiométrique dans la structure cristalline. Inversement, un signal faible, près du bruit de fond, irrégulier avec des pics, indique que des micro-inclusions ont été échantillonnées par certaines pulsions du laser. La suite des éléments suivants est communément analysées pour les pyrites: Ag, As, Au, Bi, Cd, Co, Cr, Cu, Ga, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, Sn, Te, W, Zn. Les ETR se trouvent vraisemblablement en micro-inclusions et conséquemment, leur quantification et leur utilisation est difficile. Enfin, les données analytiques sont normalisées à la concentration des éléments dans la croûte en utilisant les valeurs de Taylor et McLennan (1995). Cette approche permet de représenter plusieurs éléments sur un même diagramme et de quantifier le facteur d'enrichissement ou non des éléments traces dans les sulfures (Fig. 1).

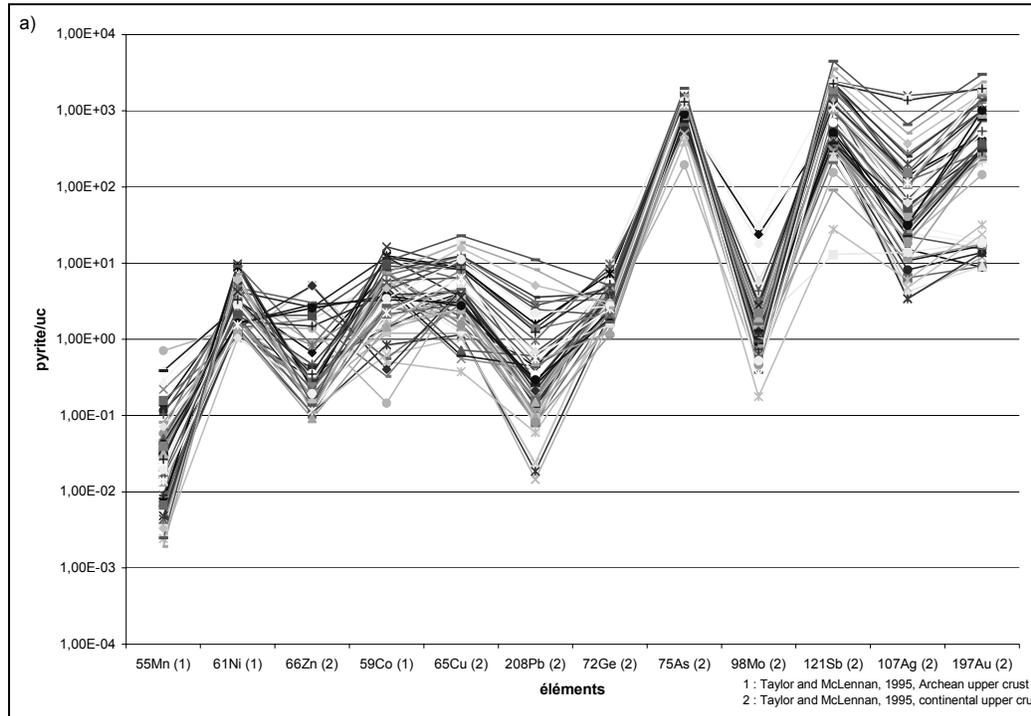


Figure 1. Résultats d'analyse des pyrites colloformales à la mine Casa-Berardi (Duchesne, 2006) présentés dans un diagramme multi-éléments normalisé aux valeurs moyennes de la croûte.

RÉSULTATS D'ÉTUDES EN COURS

À l'image du génome, il est impératif de constituer une base de données des signatures en éléments traces des sulfures pour différents types de gisements et dans différents contextes. Il faut également caractériser les sulfures en fonction de leur position dans l'appareil minéralisateur et étudier des sulfures au sein de systèmes peu fertiles. De plus, il faut déterminer quels sont les éléments traces les plus stables par rapport à la mobilisation métamorphique possible et donc les plus représentatifs des conditions initiales de formation. Ce volet de la recherche est en cours et les résultats sont particulièrement excitants en regard de ces impératifs (Gaboury et Graham, 2004). Voici quelques exemples.

Signature spécifique des gisements VMS selon leur taille

Une étude dirigée par D. Gaboury sur la composition en éléments traces des pyrites est en cours depuis 2004. Une dizaine de VMS de l'Abitibi a été échantillonnée. Les résultats démontrent que les VMS volumineux (Selbaie, Bouchard-Hébert et Langlois) ont des signatures en éléments traces des pyrites où le rapport $[Ni/Co]_N$ est > 1 (normalisé aux valeurs de Taylor et McLennan, 1995). Les plus petits gisements (Delbridge : 0.4 Mt ; Coniagas : 0.7 Mt ; Vendome : < 1 Mt ; Joutel Copper : 1.5 Mt ; New Inco : 1.2 Mt) ont des valeurs $[Ni/Co]_N < 1$. Les amas de pyrite et pyrrhotite stériles ont une signature particulière, étant enrichis en Cr par rapport aux gisements fertiles en

métaux de base. Ces résultats sont particulièrement intéressants par rapport au potentiel discriminant de la signature en éléments traces des pyrites.

Source de l'or dans les veines orogéniques de Casa-Berardi

Les travaux d'Alain Duchesne (Étudiant MSc), en collaboration avec la compagnie Aurizon, portaient sur la détermination de l'affiliation génétique des amas de sulfures massifs à semi-massifs spatialement associés aux veines aurifères à la mine Casa-Berardi. La signature en éléments traces des pyrites colloformes, enrichie en Ni-Co-As-Sb, appuie l'origine synvolcanique des amas, tout en démontrant leur très faible contenu en Au, Ag, Cu et Zn (Fig. 1). Toutefois, des shales graphiteux à nodules de pyrite sont communément associés aux amas et omniprésents dans l'environnement de la mine. L'analyse en 6 points d'un nodule a révélé la présence de teneurs systématiques en or variant de 1.8 à 5.4 g/t (Duchesne, 2006). L'or est réparti dans la structure de la pyrite indiquant son origine primaire et excluant par le fait même qu'il s'agisse d'inclusions d'or secondaires liées aux veines orogéniques. Cette découverte est particulièrement excitante en regard de la source potentielle de l'or dans les veines orogéniques à la mine Casa-Berardi.

Minéralisation hydrothermale Au-Ni-Co-Ag associée à l'impactite de Sudbury

Les travaux de projet de fin d'étude de Jean-Michel Belley (Belley, 2006) portaient sur l'étude d'une minéralisation atypique en Au-Ni-Co-Ag en bordure du bassin de Sudbury en Ontario. Cette minéralisation, connue sous le nom de projet Wahnapeitei, est détenue par la compagnie Métanor. Il s'agit d'une minéralisation en pyrite octaédrique, disséminée à massive contenue dans des grès fortement albitisés. Les teneurs en Au, Ni, Co, Ag sont impressionnantes (www.métanor.ca). L'assemblage métallique est particulièrement inhabituel quant aux affiliations génétiques connues. Les analyses au ICP-MS-LA sur les pyrites indiquent des concentrations anormales en Te, As, Ni, Au, Ag, Te, Bi, Co et de très faibles teneurs en Zn et Pb. Ces données analytiques sont comparables à celles obtenues sur des marcassites (enrichissement en Ni, Au, Ag, Bi, Te) formées lors du refroidissement par hydrothermalisme de basse température du cratère d'impact du Chicxulub (l'impact associé à l'extinction des dinosaures !!!) au Mexique (Ames et al., 2004). Ces conclusions sont très intéressantes puisqu'elles démontrent que le refroidissement du bassin de Sudbury, après l'impact météoritique, a engendré de l'hydrothermalisme manifesté par une feldspatisation (feldspath-K et albite : Ames et al. 2000). Localement des minéralisations hydrothermales, d'un nouveau type génétique, peuvent donc être générées par ce système hydrothermal régional qui lessive des roches magmatiques ultramafiques à mafiques et ce, particulièrement le long des dykes radiaux.

DÉVELOPPEMENTS TECHNOLOGIQUES

Au-delà de la documentation des signatures, il faut s'attaquer à la compréhension des facteurs réels qui contrôlent l'incorporation des éléments traces dans les sulfures hydrothermaux. Sans cette compréhension, la signification des signatures va demeurer empirique et relationnelle. Par exemple, les coefficients de partage des métaux en solution entre le fluide et le sulfure, dans différents systèmes de phases et différentes conditions physico-chimiques

demeurent, au mieux, spéculatifs, voire totalement inconnus. D'autre part, l'implication des compositions différentes de fluides (salinité, type de sel dissous, pH, fugacité du CO₂, etc) sur la capacité de transport des métaux en solution demeure également méconnue. Pour palier à ces lacunes, deux instruments de recherche ont été développés par l'auteur. Il s'agit du SHE, le système d'hydrothermalisme expérimental et le « Bubbler Blaster » qui est un analyseur de la composition en gaz des inclusions fluides. Ces deux appareillages uniques sont décrits ci-dessous.

Système d'hydrothermalisme expérimental (SHE)

Le système d'hydrothermalisme expérimental (SHE) sert à produire des minéraux synthétiques (sulfures) grâce à la circulation de fluides dans des conditions contrôlées représentatives de celles naturelles. Il s'agit d'un système d'autoclave de haute pression (500 bar) et de haute température (400° C) de type « *flow through* ». Le système repose sur une pressurisation hydrostatique induite par des pompes à haute pression et à débit mesuré au sein d'un réacteur. Les réactions chimiques fluides - solides ont lieu dans un réacteur de fabrication commerciale. Ce réacteur permet l'échappement d'une quantité contrôlée de fluides pour reproduire l'effet de la circulation des fluides hydrothermaux. Il est aussi équipé de différentes sondes pour contrôler la pression et la température (Fig. 2). Des systèmes de chauffage et de refroidissement sont intégrés au réacteur. Enfin deux systèmes de pompage sont nécessaires pour permettre le mélange de fluides pressurisés dans le réacteur. Le système se veut modulaire pour reproduire différentes conditions de précipitation des sulfures dans les systèmes hydrothermaux naturels (Fig. 3), soit 1) les variations de température et de pression; 2) le mélange de fluides; et 3) la re-circulation de fluides. Pareil système n'existe pas commercialement. Le design et la fabrication ont été réalisés par la firme ontarienne Zéton (www.zeton.com). L'appareillage va entrer en opération dès septembre 2006.

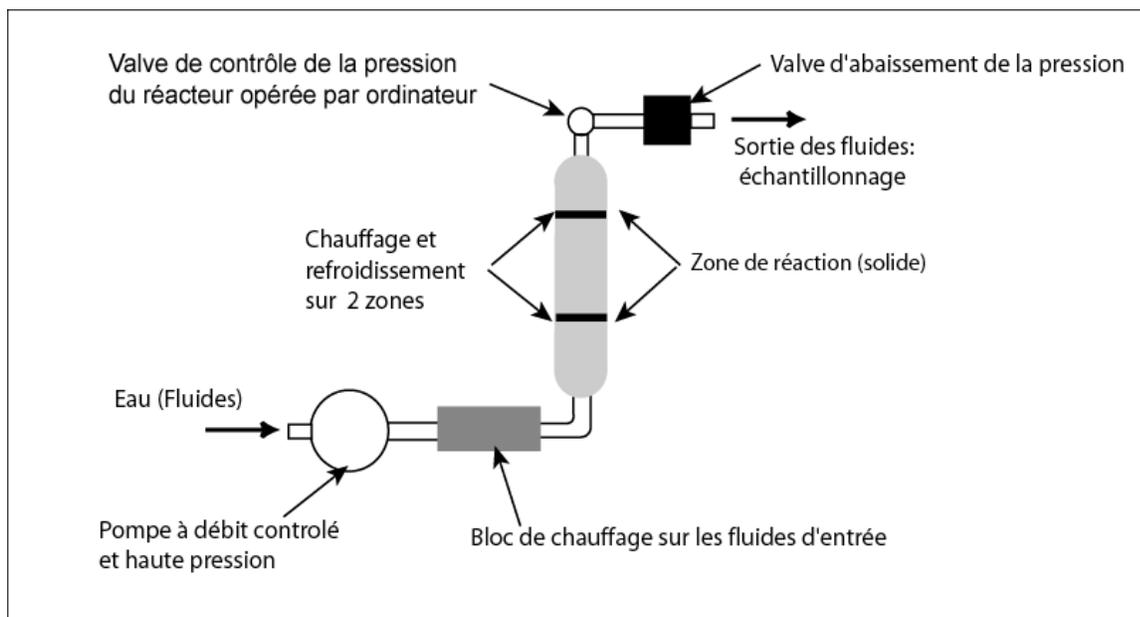


Figure 2. Concept de base pour le design de l'autoclave (SHE).

Malgré la complexité technique du SHE, son utilisation est relativement simple. Les fluides sont pompés, chauffés et pressurisés dans le réacteur. Ils se composent soit 1) d'eau distillée et d'une quantité connue de métaux en solution, soit 2) de fluides qui ont été préalablement enrichis en métaux par altération hydrothermale de roches dans le SHE. Le soufre et le fer, présents dans le réacteur, se combinent pour former une pyrite lors de la réaction avec les fluides. Le système est en opération pendant plusieurs heures voire des jours et des mois pour compléter les réactions. Les fluides sortant du réacteur en cours d'expérimentation sont échantillonnés à intervalle régulier et analysés par Absorption Atomique (AA) et ICP-MS pour contrôler la concentration résiduelle en métaux dissous. Une fois la réaction complétée, le sulfure synthétique est extrait et analysé au MEB et au LA-ICP-MS pour déterminer son contenu en éléments traces. Les données analytiques sont couplées aux données des conditions expérimentales, enregistrées par ordinateur, pour établir les paramètres qui contrôlent les coefficients de partage.

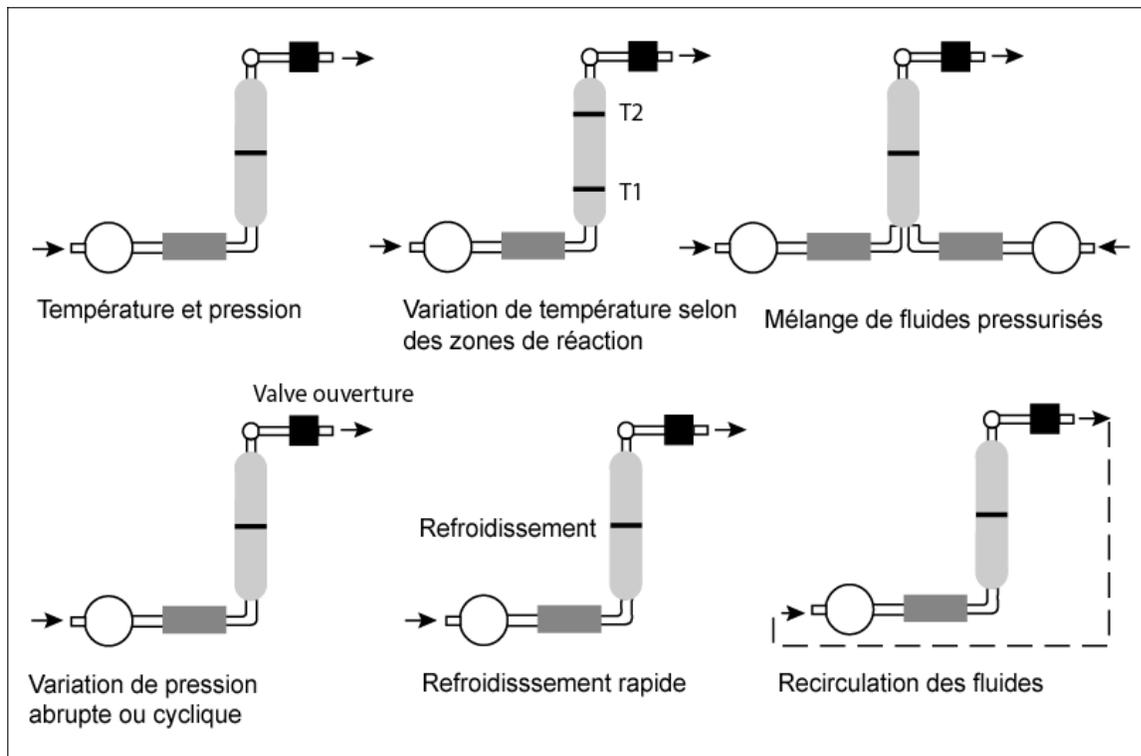


Figure 3. Différentes configurations du système d'autoclave (SHE) pour tester différents paramètres hydrothermaux pour la précipitation des sulfures.

Forum technologique du CONSOREM

Géosciences Abitibi 2006

Bubble Blaster

Le Bubble Blaster a pour fonction d'analyser la composition moléculaire des inclusions fluides dans les sulfures et autres minéraux hydrothermaux. Il s'agit d'un spectromètre de masse quadrupôle couplé à une sonde thermique programmable porte échantillon (Fig. 4). La configuration de l'appareillage n'existe pas commercialement et est la réalisation de l'auteur. La configuration est adaptée sur les bases d'un développement technique réalisé initialement à l'UQAC (Guha et al., 1990). L'appareillage devrait être opérationnel à l'automne 2006.

Spécifiquement, le montage comprend la sonde et son module de contrôle de chauffage programmable (Omega), le spectromètre et son logiciel de contrôle (Ferran Scientific), une unité de pompage à vide, la tuyauterie à vacuum élevé, un indicateur de vide numérique et un ordinateur. La supériorité de cet appareillage, par rapport aux techniques communément utilisées, réside dans le couplage direct entre le spectromètre et l'échantillon (voir Chi et al., 2003). La sonde permet de chauffer directement l'échantillon sous vide dans la chambre d'ionisation du spectromètre. Cette approche limite considérablement la contamination et élimine l'effet de mémoire. De plus, elle augmente les capacités de détection du spectromètre puisque les faibles quantités de gaz relâchées lors des décrépitations sont directement ionisées et analysées.

Concrètement, l'appareillage va permettre d'analyser et de déterminer la composition moléculaire des inclusions fluides dont le poids est moins de 60 AMU (p.ex. CH₄, H₂O, N₂, CO, H₂S, SO₂, NaF, CO₂, NaCl) et certains composés organiques C_nH_m et C_nH_{2n+2}) en fonction de la température de décrépitation. Cette particularité est majeure puisqu'elle permet : 1) le couplage entre la composition et les familles d'inclusions fluides déterminées par pétrographie et thermométrie (Guha et al. 1990) ; 2) l'analyse en détail de la composition de chaque décrépitation; et 3) la détermination de profils paléo-thermiques grâce à la température de décrépitation de familles spécifiques d'inclusions fluides (température des fluides = température de décrépitation – 50° C : Kesler et al. 1986).

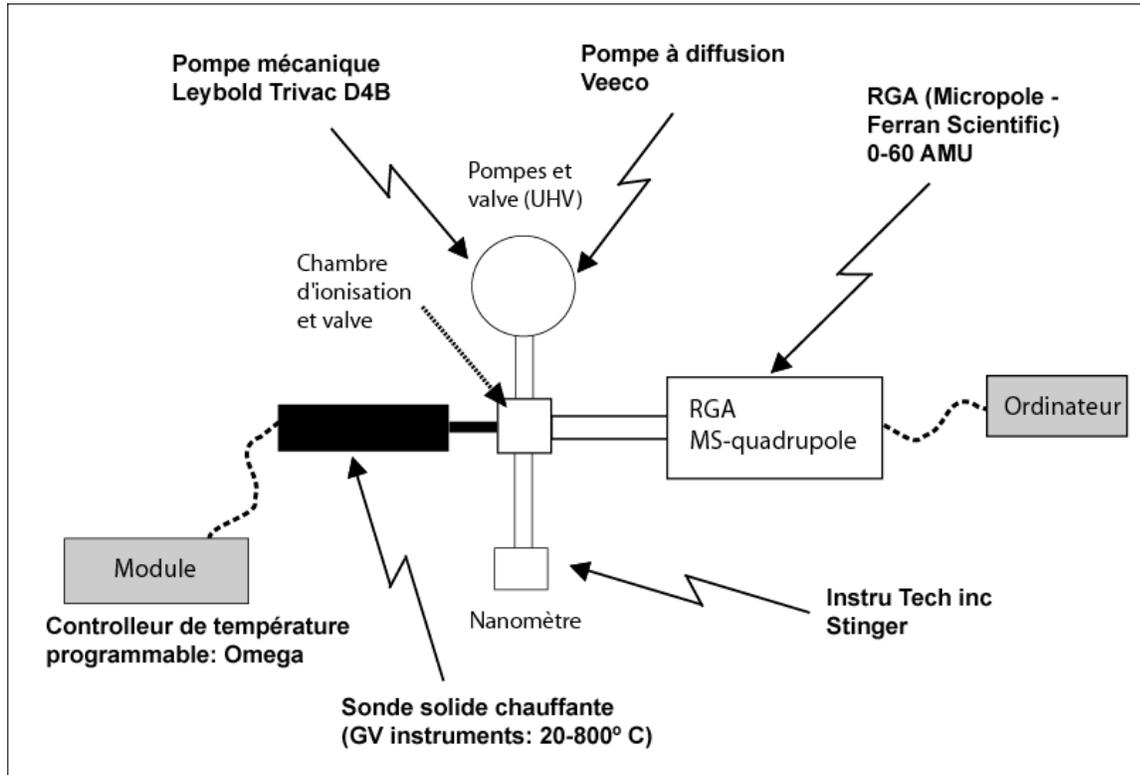


Figure 4. Concept de base pour le design du Bubble Blaster.

PERSPECTIVES ET IMPLICATIONS POUR L'EXPLORATION

A quoi tous ces beaux jouets vont-ils servir ? Réponse : à passer en mode prédictif pour l'exploration. Comment? En combinant les signatures en éléments traces des pyrites dans un camp minier, la composition des fluides et la modélisation expérimentale des paramètres physico-chimiques. Dans un camp minier, comme celui de Noranda par exemple, plusieurs VMS sont connus ainsi que leur position dans la séquence stratigraphique. La pyrite de ces VMS va être analysée pour déterminer leur signature en éléments traces (en cours). La composition des fluides hydrothermaux va être déterminée par le « Bubble Blaster » directement sur les pyrites. De plus, cette analyse va donner la température maximale des fluides. Avec les roches types de Noranda, et une composition et une température connues des fluides naturelles, des fluides synthétiques enrichis en métaux vont être générés en lessivant les roches types dans le SHE. Ces fluides hydrothermaux idéalisés vont être utilisés pour former des pyrites synthétiques dans le SHE selon différents paramètres physico-chimiques expérimentaux. L'analyse des pyrites synthétiques va être comparée à celles naturelles des VMS dans le camp. Cette comparaison des pyrites synthétiques vs naturelles est la clé pour déterminer l'influence des processus métallogéniques mais aussi pour définir les critères d'exploration. Concrètement, il sera possible de déterminer, pour un secteur donné en fonction de la composition des roches sources, la signature des pyrites formées par un système hydrothermal mature, i.e.

Forum technologique du CONSOREM

Géosciences Abitibi 2006

où le lessivage des roches sources, le transport et la précipitation sont efficaces. Ces signatures de pyrites pourront être chassées par l'exploration. Mais le plus extraordinaire, c'est que les signatures des pyrites en périphérie du système minéralisateur mature vont également pouvoir être établies expérimentalement en fonction de la baisse de température et de pression, et de l'efficacité moindre du lessivage et du transport des éléments traces dans le système hydrothermal. Il devrait être alors possible, à partir de l'analyse de la signature de pyrite dans un trou de forage, de déterminer si cette pyrite est associée à un système minéralisateur qui a le potentiel de former un gisement et à quelle distance dans l'appareil minéralisateur se situe cette pyrite interceptée en forage.

REMERCIEMENTS

La recherche sur les éléments traces dans les sulfures est financée par le CRSNG et le FQRNT. Le SHE a été financé par le Fonds Canadien d'Innovation (FCI), le Gouvernement du Québec et par une collaboration spéciale de la firme Zeton. Le développement du Bubble Blaster est financé à même les fonds de tiroirs de l'auteur. L'achat du ICP-MS-LA a été rendu possible grâce au CRCD du Sagenay-Lac-St-Jean, au Ministère de la Recherche, de la Science et de la Technologie du Québec (MRST) et à l'Université du Québec à Chicoutimi. Le CONSOREM, le CERM et l'UQAC sont des partenaires du projet.

REFERENCES

- Ames, D. E., Gibson, H. L., Watkinson, D. H. 2000. Controls on major impact-induced hydrothermal system, Sudbury Structure, Canada. *Lunar and planetary science, XXXI*; papers presented to the Thirty-first lunar and planetary science conference. abstr. no. 1873.
- Ames, D., Kjarsgaard, I.M., Pope, K.; Dressler, B., Pilkington, M. 2004. Secondary alteration of the impactite and mineralization in the basal Tertiary sequence, Yaxcopoil-1, Chicxulub impact crater, Mexico. *Meteoritics & Planetary Science*, 39: 1145-1167
- Belley, J-M. 2006. Caractéristique d'une minéralisation sulfurée de Ni-Co-Au, sudbury, Ontario. Université du Québec à Chicoutimi, Projet de fin d'étude, 45 p. + annexes
- Bralia, A., Sabatini, G. and Troja, F. 1979. A revaluation of the Co/Ni ratio in pyrite: A geochemical tool in ore genesis problems: *Mineralium Deposita*, v. 14. p. 353-374.
- Chi, G., Chou, I-M. et Lu, H-Z. 2003. An overview on current fluid-inclusion research and applications. *Acta Petrologica Sinica*: 19: 201-212.
- Duchesne, A. 2006. Caractérisation d'un amas de sulfures massifs à la mine Casa Berardi, Abitibi, Québec. Université du Québec à Chicoutimi, Mémoire de Maîtrise : en évaluation.

- Gaboury, D. et Graham, S. 2004. In-situ trace elements by LA-ICP-MS in metamorphosed pyrites as pathfinder for hydrothermal conditions. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Abstract of the 13th annual V.M. Goldschmidt Conference Copenhagen, Danmark, June 5-11, 2004: p. A303.
- Guha, J., Lu, H., Gagnon, M. 1990. Gas composition of fluid inclusions using solid probe mass spectrometry and its application to study of mineralizing processes. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 54: 553-558
- Hannington, M.D., Bleeker, W. and Kjarsgaard, I., 1999a. Sulfide mineralogy, geochemistry, and ore genesis of the Kidd Creek deposit: Part I. North, Central, and South orebodies: *Economic Geology*, Monograph 10: 163-224.
- Hannington, M.D., Bleeker, W. and Kjarsgaard, I., 1999b. Sulfide mineralogy, geochemistry, and ore genesis of the Kidd Creek deposit: Part II. The bornite zone: *Economic Geology*, Monograph 10: 225-266.
- Huston, D.L., Sie, S.H., Suter, G.F., Cooke, D.R. and Both, R.A. 1995. Trace elements in sulfide minerals from Eastern Australian volcanic-hosted massive sulfide deposits: Part I. Proton microprobe analyses of pyrite, chalcopyrite, and sphalerite, and Part II. Selenium levels in pyrite: Comparison with “delta”³⁴S values and implications for the source of sulfur in volcanogenic hydrothermal systems. *Economic Geology*, 90: 1167-1196.
- Kesler, S.E., Haynes, P.S., Creech, M.Z., Gorman, J.A. 1986. Application of fluids inclusion and rock-gas analysis in mineral exploration. *Journal of Geochemical Exploration*, 25: 201-215.
- Lottermoser, B.G. 1992. Rare Earth Elements and hydrothermal ore formation processes. *Ore Geology Reviews*, 7: 25-41.
- Taylor, S.R. et McLennan, S.M., 1995. The geochemical evolution of the continental crust. *Reviews of Geophysics*, 33: 241-265.
- Ulrich, T., Golding, S.D., Kamber, B.S., Zaw, K. and Taube, A., 2003. Different mineralization styles in a volcanic-hosted ore deposit; the fluid and isotopic signatures of the Mt Morgan Au-Cu deposit, Australia. *Ore Geology Reviews*, 22: 61-90.

Forum technologique du CONSOREM

Géosciences Abitibi 2006

GÉOLOGIE ET MINÉRALISATIONS DU PROJET GÉMINI, SECTEUR CASA BERARDI

CLAUDE GOBEIL, CAMBIOR

Les propriétés de Gémini et Turgeon sont situées à 80 km au nord de la ville de La Sarre en Abitibi soit à une dizaine de kilomètres au sud de la mine Casa-Bérardi.

La découverte d'un bloc erratique minéralisé en sulfures en 1990 a activé l'exploration du secteur. Les travaux d'exploration ont été axés sur la recherche d'un gisement de type Sulfures Massifs Volcanogènes (SMV). Les travaux d'INCO ont rapidement révélé la présence d'amas sulfureux (Zones A et B) montrant un potentiel en métaux. Les travaux subséquents furent réalisés par MINES CANCOR. Ils ont principalement été axés sur l'exploration de ces lentilles connues. Le potentiel pour la découverte d'une lentille polymétallique aurifère a suscité l'intérêt de CAMBIOR dans ce projet en 2003.

La propriété se situe dans le sillon volcano-sédimentaire de Harricana-Turgeon, qui occupe une portion de la zone volcanique Nord de la sous-province de l'Abitibi dans la Province du Supérieur. Ce sillon contient plusieurs grands districts miniers à métaux de base tels ceux de Matagami, Joutel, Selbaie et aurifère comme celui de Casa-Bérardi. La propriété est aussi localisée sur le flanc nord-ouest du pluton syn-volcanique de Mistaouac.

La géologie de cette propriété n'est connue que par sondages. Les unités de la propriété sont essentiellement volcaniques. Elles sont constituées d'un assemblage bimodal (Groupe de Gémini) de laves et de roches pyroclastiques à prédominance felsique juxtaposées à des laves mafiques. Ces volcanites sont bordées à leur sommet (vers l'ouest) par une séquence sédimentaire turbiditique d'une épaisseur moyenne de 100 mètres appartenant au Groupe de Dieppe. Ces sédiments sont un mélange hétérogène constitué de mudshales noirs régulièrement graphiteux et typiques de milieux anoxiques, et de siltstones, d'arénites et de conglomérats plutôt associés à un milieu dynamique.

Les éléments structuraux prédominants sont la faille Gémini et le couloir de déformation Laberge. La faille graphitique de Gémini est caractérisée par une attitude concordante à la stratigraphie. Elle délimite principalement l'empilement volcano-sédimentaire à l'ouest appartenant au Groupe de Dieppe et les volcanites du Groupe de Gémini à l'est. Cette orientation stratigraphique moule la marge ouest du pluton de Mistaouac, passant graduellement de NNW dans leur portion sud de Gémini à NNE sur Turgeon. Le couloir de déformation régional de Laberge affecte quant à lui les unités de la portion sud de Gémini.

Plusieurs horizons de minéralisations exhalatives de sulfures massifs parsèment le segment de 20 km des volcanites felsiques couverts par la propriété de Gémini-Turgeon. Des lentilles de sulfures massifs sont retrouvées et présentent des contenus anormaux à sub-économiques en Cu, Zn, Au et Ag. Quelques-unes de ces lentilles ont fait l'objet de travaux plus importants dont celle de la **zone B** où plus de 85 sondages au diamant ont été effectués. Ces forages ont permis de délimiter une zone à cuivre dont l'inventaire minéral s'établit à 0,7 Mt à 3 % Cu (équivalent)* et une zone de zinc de 1,3 Mt à 8,3 % Zn (équivalent)*. D'autres amas sulfurés légèrement aurifères ont été traversés par sondages sur la propriété Turgeon. La meilleure intersection aurifère jusqu'à ce jour (9,5 g/t Au sur 6 m) a été obtenue dans un horizon de sulfure massif localisé près d'une faille majeure (Zone 51).

Les plus récents sondages ont mis au jour d'autres lentilles de sulfure à faible teneur d'or et de métaux, tout le long du segment felsique de Gémini. Cambior et Mines Cancor poursuivent activement leurs travaux d'exploration afin d'y découvrir une lentille polymétallique aurifère.

* (ressources estimées par Mines Cancor inc et non conformes à l'instruction NI-43-101)

UN NOUVEL OUTIL D'AIDE À LA DÉCISION EN EXPLORATION MINÉRALE : LE COEFFICIENT DE GÉOMÉTRIE FAVORABLE

VITAL PEARSON, CONSOREM

De l'indice à la mine, il existe toute une gamme de variables (tonnage, teneurs, zonation minérale, stabilité du socle, communiton, récupération, financement, amortissement, etc.) auxquelles l'intervenant de l'industrie minérale tente d'attribuer les valeurs les plus représentatives de la réalité. Toutefois, l'acquisition de connaissances va de pair avec les investissements requis. Il est donc impératif dès les premiers stades de l'investissement de faire les choix les plus éclairés.

Le processus d'évaluation se scinde en deux parties. Une première partie évalue la ressource en fonction de paramètres techniques et géologiques (faisabilité technique), alors que la seconde évalue la viabilité du projet en fonction de l'économie actuelle (faisabilité économique). Les outils disponibles pour l'évaluation technique et économique sont nombreux et utilisés par un ensemble de firmes spécialisées ayant une expertise reconnue dans ce domaine. Toutefois, il demeure difficile pour l'explorateur en quête d'une ressource, laquelle est au mieux partiellement circonscrite, d'établir un critère de « favorabilité ». De plus, peu d'outils existent outre l'expertise de chacun ou les « objectifs corporatifs ».

La démarche choisie pour parvenir à un outil d'évaluation répondant aux besoins spécifiques de l'exploration, a été de profiter de l'historique des exploitations minières. Cette démarche s'énonce par trois assertions :

1. Les dépôts, producteurs actuels et anciens du Québec, constituent une population statistique ayant des paramètres de distribution relatifs à : la géométrie, le tonnage, les teneurs, etc.
2. Les paramètres statistiques des nouveaux dépôts qui seront découverts dans le futur appartiennent vraisemblablement à cette même distribution.
3. Il est possible de déterminer les paramètres de base de la population historique et de caractériser les portions de cette population ayant une « valeur économique » peu, modérément ou fortement attrayante en fonction de la géométrie. Ainsi, nous pourrions évaluer la qualité d'un indice ou gîte en fonction de la distribution historique.

Une application informatique, permettant d'apprécier qu'un gîte ou un indice soit relativement favorable, a été développée. Le produit présenté se limite à un champ d'application très spécifique et se veut un outil d'aide à la décision pour le développement de ressources à un stade précoce. Dans un tel contexte, peu de paramètres sont connus et l'utilisation d'une méthode d'évaluation traditionnelle nécessiterait de fixer des valeurs hypothétiques pour de nombreuses variables. Afin de pallier ce manque d'informations, un nombre restreint de variables a été sélectionné. Les variables sélectionnées sont les dimensions géométriques (tridimensionnelles) de la minéralisation, la profondeur apicale de la lentille, la profondeur ultime, le pendage et l'angle de chute.

L'hypothèse de cette approche est de stipuler que les variables sélectionnées ont une incidence marquée sur l'ensemble du projet. Cette hypothèse est qualitativement validée en étudiant la distribution, la géométrie et la valeur économique des dépôts historiques.

Il est donc possible de comparer un gîte ou indice en développement à des dépôts ayant une géométrie similaire et d'apprécier, selon le niveau de connaissance des dépôts anciens, si le projet a un potentiel de rentabilité. Cet outil permet également d'estimer le tonnage minimal, pour atteindre les paramètres d'une géométrie similaire à l'archétype choisi.

Le CGF est un outil pratique d'aide à la prise de décisions en exploration qui permet d'estimer les prérogatives topologiques minimales. Il constitue en ce sens un développement novateur.

STRATÉGIE D'EXPLORATION DE MINES VIRGINIA

PAUL ARCHER, MINES VIRGINIA

Mines Virginia Inc se démarque comme l'une des sociétés d'exploration les plus actives dans l'est du Canada avec une excellente situation financière et un portefeuille de propriétés de très haute qualité. La Société s'est donné pour mission la découverte de gisements de classe mondiale et/ou de nouveaux camps miniers sur les vastes territoires vierges du Québec. La stratégie globale adoptée par Virginia dans la poursuite de cette mission s'appuie sur quatre éléments principaux : focalisation, partenariats, diversification et expertise.

Le premier élément considéré dans la stratégie de Virginia fut la sélection d'un territoire sur lequel elle concentrerait ses activités. Virginia a focalisé sur le territoire du Québec en raison de son immense potentiel minéral, son régime fiscal et légal extrêmement favorable, ses infrastructures, la grande accessibilité au territoire et les coûts d'exploration relativement faibles. Virginia a également privilégié le développement de partenariats et d'alliances stratégiques, un élément clé de notre stratégie qui permet de réduire le risque et de partager les coûts d'exploration, favorisant ainsi une présence à plus long terme sur le territoire. La grande diversité du portefeuille de propriétés de Virginia, un autre facteur réducteur du risque, est un élément important pour contrebalancer les fluctuations cycliques des prix des métaux et favorise le maintien du niveau de nos activités même en période difficile pour certaines commodités. La combinaison de ces facteurs assure un développement accéléré de notre expertise résultant de notre présence soutenue et prolongée au sein du même territoire.

Le succès obtenu par Virginia sur le projet Éléonore confirme la pertinence de notre stratégie qui vise à accroître la création de la valeur boursière et les chances de découverte et à réduire les risques inhérents à l'exploration.

MODÉLISATION 3D DE LA DISPERSION GLACIAIRE : EXEMPLE DE CASA BERARDI

STÉPHANE FAURE, CONSOREM

Dans le nord-ouest de l'Abitibi, la stratigraphie quaternaire et la dispersion glaciaire sont relativement méconnues du fait de l'épaisseur importante des dépôts quaternaires (jusqu'à 80 m) et du faible taux d'exposition des unités en coupes. Des modélisations 3D de la stratigraphie et des anomalies en Au et en As dans le till et les sédiments fluvio-glaciaires sont présentées au-dessus des gisements aurifères de Casa Berardi (4,9 Mt @ 7,7 g Au/t; 1 212 800 oz). L'objectif du projet est de mieux comprendre la géométrie des anomalies géochimiques et la dynamique glaciaire au-dessus des lentilles minéralisées afin d'améliorer les stratégies d'exploration en Abitibi.

Les données géochimiques dans les tills et les dépôts fluvio-glaciaires de la région de Casa Berardi donnent une signature géochimique particulière. Au-dessus des mines Casa Berardi, les anomalies aurifères dans le till sont documentées soient comme erratiques ou discordantes par rapport à la stratigraphie. Le till de base est restreint à une fosse transversale à la faille Casa Berardi (vallée glaciaire) et représente moins de 5% du total des dépôts glaciaires. Cette vallée a une dimension approximative de quelques centaines de mètres de large dans la direction nord-sud par un peu plus de 1 km de long et d'une soixantaine de mètres de profondeur. Le till de base est anomal en or, mais le fait qu'il est restreint à une vallée, il n'est pas un bon guide de prospection à l'échelle régionale. Le reste des dépôts glaciaires (95%), dominés par des sédiments fluvio-glaciaires et des argiles, montrent cependant une anomalie aurifère d'une dimension de 1,5 km x 1,5 km centrée sur le dépôt de Casa Berardi sous-jacent. Les anomalies en or ne sont pas restreintes au till de base et recoupent la séquence de dépôts meubles sous la forme de panaches. Les dépôts fluvio-glaciaires le long de la Faille Casa Berardi deviennent donc un bon guide de prospection à l'échelle régionale.

La banque de données utilisée comprend 1 659 forages à circulation inverse répartis sur une surface de 50 km E-O par 10 km N-S. De plus, 1 948 forages aux diamants ont été intégrés afin de générer la topographie du socle. Un bloc modèle, mesurant 8,5 km E-O par 6,5 km N-S, a été choisi en particulier pour la modélisation au-dessus des lentilles aurifères de Casa Berardi. De la base vers le sommet, 7 unités litho-stratigraphiques quaternaires ont été distinguées; le till ancien, le till de Matheson inférieur, les sédiments du Missinaibi, le till de Matheson supérieur, les sédiments d'Ojibway, le till de Cochrane et l'humus.

Forum technologique du CONSOREM

Géosciences Abitibi 2006

L'analyse des données en 3D montre que les creux topographiques au niveau du socle correspondent aux zones minéralisées et aux failles régionales. Les hauts topographiques correspondent aux volcanites et aux formations de fer. La stratigraphie quaternaire est relativement simple et continue latéralement. La géométrie des anomalies Au et As est cohérente avec la dispersion glaciaire polyphasée établie dans les régions adjacentes. Dans les dépressions profondes, les anomalies dans le till ancien expliquent la présence des lentilles minéralisées de la Zone Ouest (Fig. 1). Les zones Principale et Est sont expliquées par des anomalies en escalier dans le till de Matheson. La dispersion glaciaire au-dessus de ces deux zones est en grande partie contrôlée par la topographie du socle; un éperon rocheux au sud de la Faille Casa Berardi contraint les anomalies Au et As à une étroite bande orientée E-O. Les anomalies sont ensuite reprises dans le till de Matheson supérieur vers le sud-est.

L'hypothèse d'une remobilisation fluvio-glaciaire est donc privilégiée. La visualisation 3D a permis de générer de nouvelles cibles d'exploration plus au sud de la Faille Casa Berardi au-dessus de couloirs de déformation connus. Le projet a permis de mieux comprendre la dynamique et les trains de dispersion glaciaire dans une région recouverte d'épais dépôts quaternaires.

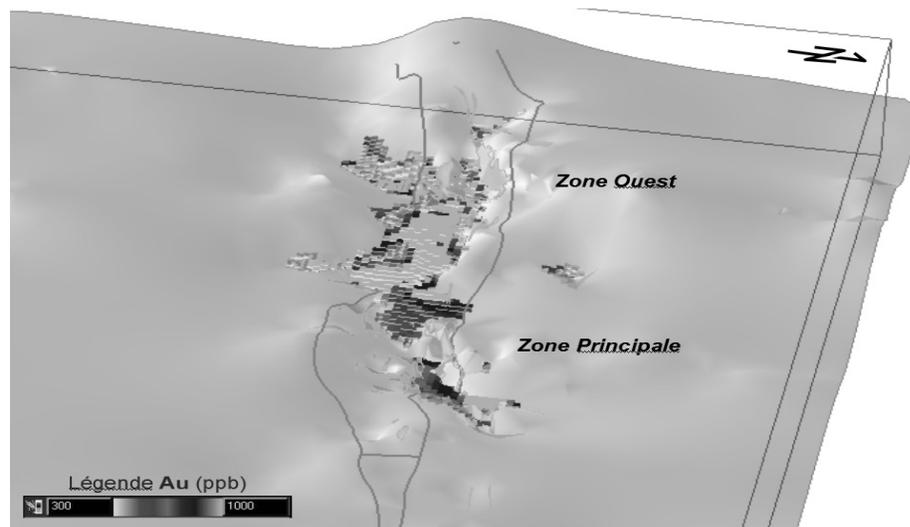


Figure 1. Distribution des anomalies Au dans les tills Ancien et de Matheson inférieur au-dessus des zones Principale et Ouest des Mines Casa Berardi avec la topographie du socle et la trace de la Faille Casa Berardi. Vue vers l'ouest.

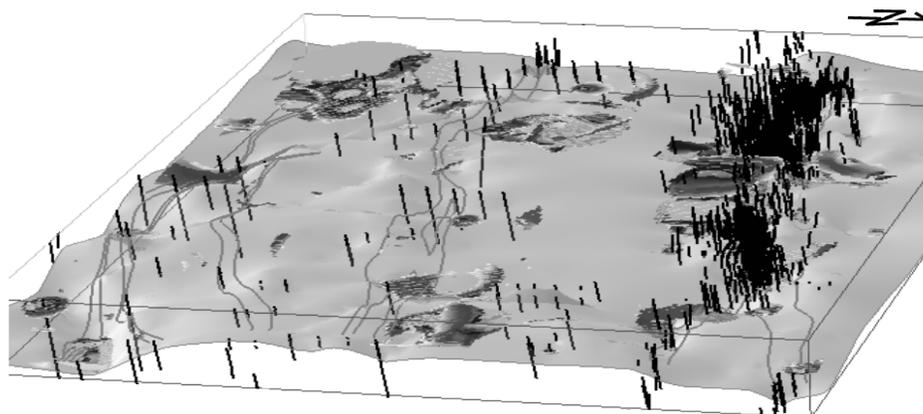


Figure 2. Distribution des anomalies Au dans le Till de Matheson supérieur dans le secteur des Mines Casa Berardi montrant les forages d'exploration et les zones peu explorées avec la topographie du socle et les traces de failles régionales. Légende des couleurs sur la figure 1. Vue vers l'ouest.

Forum technologique du CONSOREM

Géosciences Abitibi 2006

LISTE DES POSTERS PRÉSENTÉS PAR LES ÉTUDIANTS DANS LE CADRE DE L'ACTIVITÉ DE MAILLAGE PARRAINÉE PAR L'AQUEST

Nom de l'étudiant	Sujet des projets de recherche	Université
Aubin, Alexandre	Étude structurale et métallogénique de la Mine Goldex, Val-d'Or QC	UQAC
Barbe, Patrice	Facteurs de contrôle des minéralisations Au-Cu centrées sur une brèche intrusive, propriété Dubuisson, Val-d'Or, QC	UQAC
Belley, Jean-Michel	Étude minéralogique et métallurgique des minerais, Mine Niobec	UQAC
Côté-Mantha, Olivier	Architecture et origine du système de minéralisation polymétallique du secteur Lac Line, Chibougamau, Québec	UQAC
Dufréchoy, Grégory	Minéralisation type IOCG dans le Grenville	INRS-ETE
Leclerc, François	Histoire magmatique et structurale du Cummings, Chibougamau	INRS-ETE
Lépine, Sylvain	Le nouveau potentiel aurifère de la région de Chibougamau :Le gîte MOP-II	UQAM
Paquin, David	Volcanologie d'une faille synvolcanique, secteur Glenwood, Blake River	UQAM
Savard, Dany	Étude du Comportement Géochimique du Sélénium dans le Bushveld	UQAC
Simard, Marjorie	Étude structurale et métallogénique du gisement Lapa, Abitibi, Québec	UQAC
Vigneau, Sébastien	Facteurs de contrôle et métallogénie des minéralisations aurifères de la propriété Opinaca, Québec	UQAC