CONSOREM
Consortium de recherche en exploration minérale

LA FILIÈRE PLUTONIQUE COMME OUTIL D'EXPLORATION POUR LES IOCG : APPLICATION EN ABITIBI (PROJET 2009-05)

Benoit Lafrance, CONSOREM

INTRODUCTION

Ce projet du Consorem visait à développer une méthodologie pour l'exploration des gisements de fer-oxydes polymétalliques (IOCG) au Québec. L'accent a surtout été mis sur le développement d'un guide d'exploration d'échelle régionale, la piste retenue étant la caractérisation géochimique des plutons génétiquement associés à ces gisements. Les plus récentes classifications permettent de distinguer les minéralisations d'IOCG sensu stricto (ex. Olympic Dam, Cloncurry, Carajas Brésil, Chili) des autres minéralisations à fer-oxydes. Cette classification plus restrictive permet de voir que ces minéralisations sont associées dans tous les cas à une suite intrusive particulière.

1. INTRUSIONS GÉNÉTIQUEMENT ASSOCIÉES AUX IOCG

Afin de caractériser géochimiquement la suite intrusive associée aux IOCG, une base de données lithogéochimiques des plutons des secteurs d'Olympic Dam et de Cloncurry en Australie, de Carajas au Brésil et du Chili a été compilée. La présence de plutons de la suite intrusive « monzodiorite – monzodiorite quartzifère – monzonite quartzifère – granite » est considérée comme un critère de favorabilité pour les IOCG sensu stricto à l'échelle régionale (figure 1). Ces roches sont calco-alcalines potassiques (CA-K) ou shoshonitiques selon leur contenu en potassium (figure 2) et alcalines-calciques ou légèrement alcalines selon leurs contenu en K2O+Na2O-CaO vs SiO2 (figure 3). Les roches en contexte d'arc continental, comme celles du Chili, peuvent aussi être calco-alcalines. Les roches plutoniques favorables aux IOCG sont présentent dans les contextes géodynamiques intracratoniques ou d'arcs continentaux et exclu les contextes de ride océanique ou syncollisions comme confirmé sur le digramme Y+Nb vs Rb (figure 4).

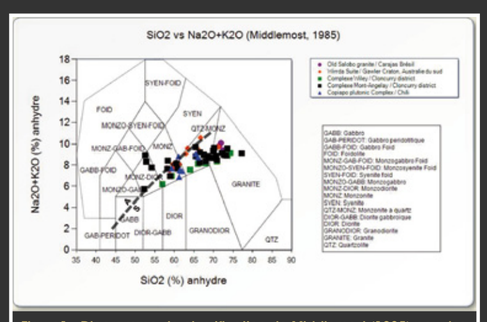

Figure1 : Diagramme de classification de Middlemost (1985) pour les roches plutoniques de la base de données construite à partir de la littérature (Pollard, 2006). Les échantillons forment une suite de composition monzodiorite - monzodiorite quartzifère - monzonite quartzifère - granite. Les échantillons sont subalcalins à légèrement alcalin selon la limite alcalin / subalcalin de Irvine et Baragar (1971).

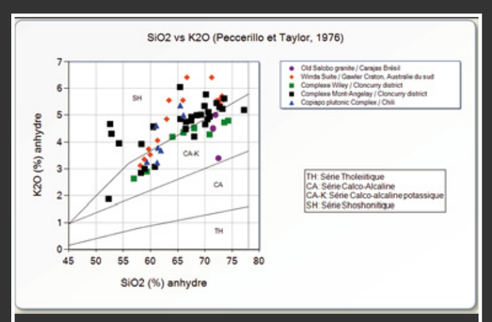

Figure 2 : Diagramme du caractère potassique des roches plutoniques de la base de données. Les échantillons chevauchent les champs calco-alcalin potassique et shoshonitique. Graphique de Peccerillo et Taylor (1976).

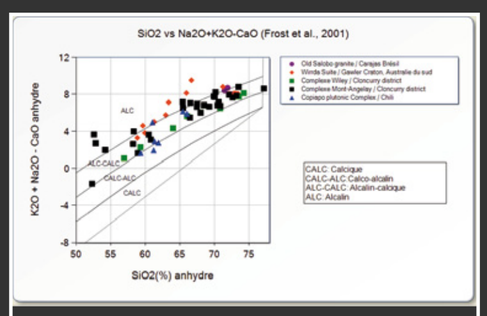

Figure 3 : Diagramme du caractère alcalin des roches plutoniques de la base de données. La majorité des échantillons chevauchent les champs alcalin-calcique et alcalin avec quelques échantillons du Chili qui se classent légèrement dans le champ calco-alcalin. Graphique de Frost et al. (2001).

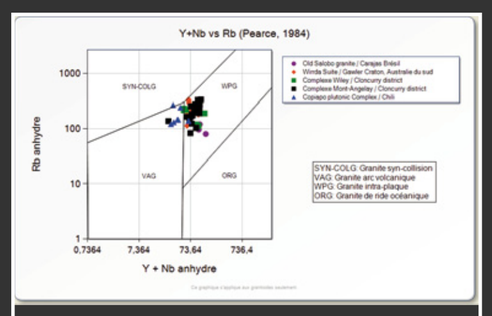

Figure 4 : Diagramme de discrimination d'environnements tectoniques pour les roches granitiques (Pearce et al., 1984). Les échantillons provenant du Brésil et de l'Australie sont regroupés dans le champ des granites intra-plaques alors que les échantillons du Chili sont majoritairement regroupés dans le champ des granites d'arc volcaniques.

2. COMPARAISON DES INTRUSIONS ASSOCIÉES AUX IOCG ET AUX PORPHYRES À CU-AU

Une revue de littérature effectuée dans le cadre de ce projet a permis de comparer les caractéristiques des IOCG avec celles des porphyres à Cu-Au qui sont des gisements de types apparentés et souvent confondus. Notamment on peut se demander si les caractéristiques géochimiques identifiées précédemment sont uniques aux plutons associés aux IOCG ?
Sur la figure 5, les quatre sous-types de porphyres cuprifères ont été séparés par des limites de champ établies visuellement à partir de la figure originale de Seedorff et al. (2005). Ces limites séparent les porphyres à 1) Cu-(Au-Mo) de tonalite – trondhjémite -granodiorite ; 2) Cu-(Mo) de monzodiorite quartzifère – granodiorite - monzogranite ; 3) Cu-(Mo-Au) de monzodiorite quartzifère - monzonite quartzifère - monzogranite ; 4) les porphyres à Cu-(Au) de monzonite - syénite. Les échantillons de la base de données des plutons associés aux IOCG ont aussi été reportés sur le même graphique (figure 6). On voit sur cette figure que les échantillons favorables aux IOCG sont regroupés dans le même champ (champ 3) de composition que les porphyres à Cu-(Mo-Au) alcalins-calciques potassiques ou légèrement alcalins. Cette comparaison permet également de souligner la différence entre les IOCG et les porphyres à Cu-Mo non aurifères du champ numéro 2 qui regroupe les porphyres géants associés aux époques compressifs d'arc continentaux comme par exemple Chuquicamata ou La Escondida (Chili ; Sillitoe et Perelló, 2005).

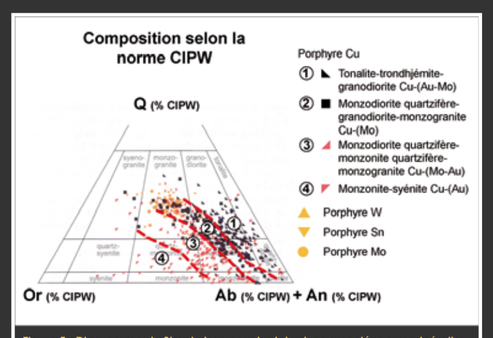

Figure 5 : Diagramme de Streckeisen pour les intrusions associées aux minéralisations porphyriques. Les minéraux normatifs (CIPW) ont été calculés à partir des analyses chimiques compilées de la littérature. Les limites de champs pour séparer les différents porphyres cuprifères ont été tracées visuellement dans le cadre de cette étude (modifié de Seedorf et al., 2005).

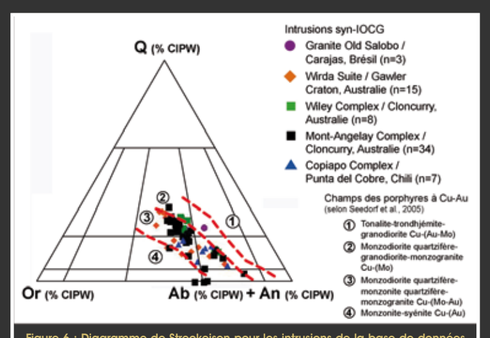

Figure 6 : Diagramme de Streckeisen pour les intrusions de la base de données qui sont associées aux IOCG. Les minéraux normatifs (CIPW) ont été calculés à partir des analyses chimiques compilées de la littérature. Les limites de champs pour les porphyres à Cu-Au sont celles tracées à partir de la figure 5. Les plutons associés aux gisements d'IOCG sont en général à l'intérieur du même champ que les porphyres à Cu-(Mo-Au) de la suite monzodiorite quartzifère-monzonite quartzifère-monzogranite.

Ces deux types de minéralisation se distinguent cependant selon d'autres critères, notamment sur la profondeur de mise en place des intrusions et des types d'altérations associées (figure 7) ainsi que par la typologie des minéralisations (figure 8).

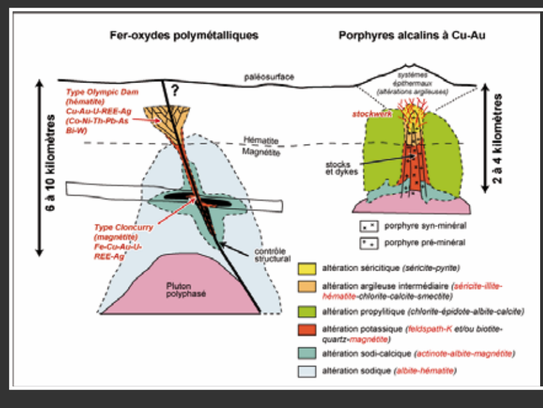

Figure 7 : Figure synthèse comparant les gisements de fer-oxydes polymétalliques avec les porphyres alcalins à Cu-Au (inspirée et modifiée de Jébrak et Marcoux, 2008 ; Sillitoe, 2000 ; Seedorff et al., 2005). Les deux types se distinguent par la profondeur de mise en place des plutons associés au système hydrothermal. Les intrusions sont soient des plutons polyphasés profonds non altérés et non minéralisés (fer-oxydes polymétalliques) ou des stocks et dykes peu profonds, altérés et minéralisés (porphyres). En volume, les altérations sodiques et sodi-calciques sont dominantes pour les fer-oxydes polymétalliques alors que les altérations potassiques et propylitiques dominent pour les porphyres. Les minéralisations en Cu-Au sont cependant associées dans les deux cas aux stades d'altération potassique ou argileuse intermédiaire. Les porphyres possèdent des zones à séricite-pyrite qui ne sont pas présentes pour les fer-oxydes polymétalliques. Le sommet des systèmes porphyriques est caractérisé par des gîtes épithermaux alors qu'aucun type de gîtes n'est reconnu au-dessus des fer-oxydes polymétalliques (maars et diatrèmes alcalins aurifère ?).

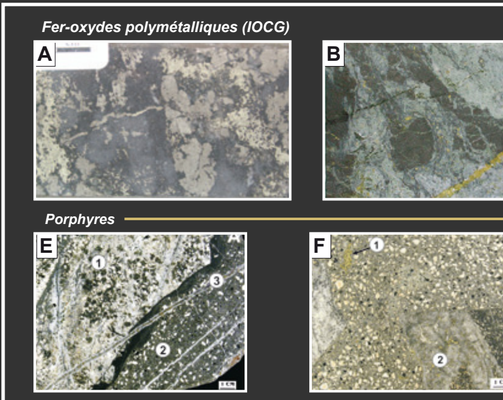

Figure 8 : Exemples de minéralisations de type fer-oxydes polymétalliques (A-D) et porphyriques (E-H). A) Pyrite et chalcopyrite massive et en veinule qui remplacent et recoupent la magnétite, indice du district d'Olympic Dam (modifiée de Bastrakov et al., 2007). B) Veinule de chalcopyrite-pyrite qui recoupe la magnétite de remplacement précoce, mine Candelaria, Chili (Marschik et Fontboté, 2001). C) Brèche fortement moulue à matrice d'hématite-fluorite avec des laminations riches en chalcopyrite, gisement de Prominent Hill, Australie (modifiée de Belpeiro et al., 2007). D) Brèche hétérolitique à matrice d'hématite contenant une variété de fragments riche en hématite ou granitiques, Olympic Dam (Reynolds, 2001). E) Relations entre un porphyre altéré en biotite-feldspath potassique contenant des veinules de magnétite et quartz-magnétite (1) qui est recoupé par un dyke de porphyre interminéral avec bordure figée (2) ; les deux porphyres sont recoupés par une veinule à quartz-bornite-chalcopyrite, gisement cuprifère de Granisle, Colombie-Britannique (modifiée de Sinclair, 2007). F) Brèche intrusive interminérale avec fragment de chalcopyrite partiellement assimilé (1) et un fragment de veine à quartz-chalcopyrite (2), gisement cuprifère de Granisle, Colombie-Britannique (Sinclair, 2007). G) Veines et veinules de quartz-apatite-chalcopyrite-bornite qui recoupent un porphyre à feldspath-biotite, zone de haut grade, gisement cuprifère de Granisle, Colombie-Britannique (modifiée de Sinclair, 2007). H) Stockwerk de veinules de quartz-molybdénite dans un porphyre granidioritique sericitisé, le recoupement et le déplacement des veinules à quartz et quartz-molybdénite indique la nature multiple de la minéralisation, gisement Kitsault, district d'Alice Arm, Colombie-Britannique (modifiée de Sinclair, 2007).

3. FAVORABILITÉ POUR LES MINÉRALISATIONS IOCG ET PORPHYRES ALCALINS-CALCIQUES POTASSIQUES À CU-AU DE L'ABITIBI

Ce nouveau guide d'exploration basé sur la géochimie des plutons a été utilisé pour localiser les secteurs favorables en Abitibi. Une méthode de traitement appliquée à la base de données lithogéochimiques CONSOREM de l'Abitibi (données provenant des partenaires et du SIGEOM) a été développée avec l'aide de l'outil logiciel Lithomodeleur du CONSOREM (Trépanier, 2009) afin d'isoler les intrusions favorables. Le traitement consiste à isoler les analyses d'intrusions intermédiaires à felsiques sur les quatre graphiques de caractérisations décrits précédemment (figure 9). Un total de 882 analyses lithogéochimiques ont ainsi été identifiées (figure 10).

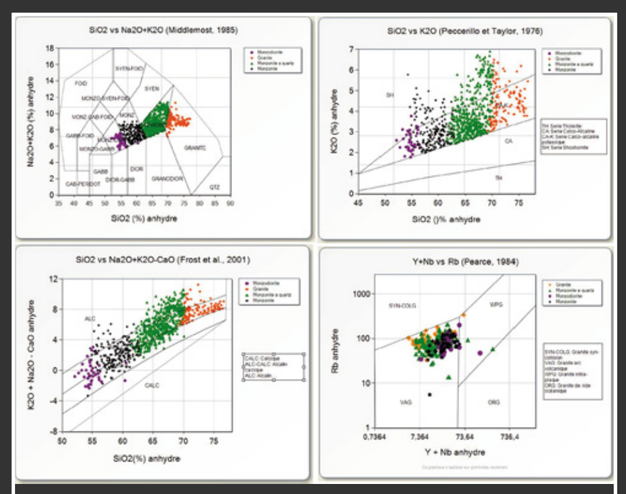

Figure 9 : Figure synthèse des 882 analyses identifiées comme favorables aux minéralisations de types fer-oxydes polymétalliques ou porphyres à Cu-Au calco-alcalins potassiques ou légèrement alcalins de l'Abitibi. L'identification des analyses favorables est effectuée avec l'aide des diagrammes de composition de Middlemost (1985), du caractère alcalin de Frost et al. (2001), du caractère potassique de Peccerillo et Taylor (1976) et du diagramme de discrimination de l'environnement tectonique de Pearce et al. (1984).

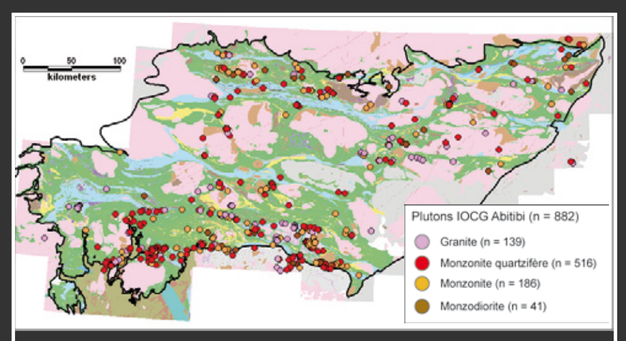

Figure 10 : Distribution spatiale des analyses favorables aux minéralisations d'IOCG ou de porphyres à Cu-Au alcalins-calciques potassiques ou légèrement alcalins pour l'Abitibi selon la méthode de discrimination lithogéochimique des intrusions intermédiaires à felsiques. Géologie modifiée du SIGEOM (2009) pour le Québec et de la Commission géologique de l'Ontario (OGS, 2005).

L'analyse finale pour définir la favorabilité pour les minéralisations d'IOCG a été réalisée en utilisant comme point de départ la localisation des analyses d'intrusions favorables. Ces analyses favorables ont par la suite été mises en relation avec plusieurs autres couches d'informations clés associées aux IOCG :
1) carte géologique géoréférencée de la portion québécoise de l'Abitibi (Goutier et Melançon, 2010) et la géologie de la Commission Géologique de l'Ontario pour la portion ontarienne (OGS, 2005).
2) la carte magnétique de l'Abitibi (fournie par Xstrata).
3) les failles et linéaments de l'Abitibi (Daigneault et al., 2004; SIGEOM, MRNF, 2009 modifié par Consorem).
4) la présence de magnétite et/ou d'hématite observées en affleurement ou en carotte (partenaires et SIGEOM, MRNF, 2009).
5) les gains de masse en sodium et potassium dans les volcanites calculés par la méthode de modélisation des précurseurs du CONSOREM à partir de la banque de données Consorem de l'Abitibi (partenaires et SIGEOM, MRNF, 2009).
6) carte des gîtes et indices (SIGEOM, MRNF, 2009).

Un exemple pour le secteur de Lebel-sur-Quévillon est présenté à la figure 11.

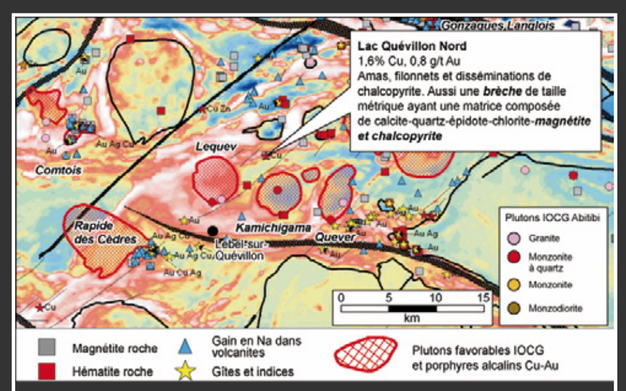

Figure 11 : Carte d'analyse pour la favorabilité du secteur de Lebel-sur-Quévillon avec la carte magnétique (Xstrata) en arrière-plan. Les analyses avec les compositions favorables sont aussi montrées. La présence de magnétite et d'hématite en affleurement ou en carotte est identifiée respectivement par les carrés gris et les carrés rouges. La coïncidence spatiale entre la présence de magnétite ou d'hématite avec un gain en sodium peut être interprétée comme des zones d'altérations sodiques et sodi-calciques plurikilométriques associées aux systèmes minéralisateurs. On observe que les plutons favorables sont associés à des signatures de haut magnétisme sur leur pourtour et à des zones à magnétites plurikilométriques. L'indice à Cu-Au de Lac Quévillon Nord est particulièrement intéressant vu sa proximité avec les plutons de Lequev et Kamichigama, la présence de magnétite et chalcopyrite et sa localisation sur la marge d'un haut magnétique.

Cette démarche a été reproduite à l'échelle de l'Abitibi, ce qui a finalement permis d'identifier les plutons qui sont favorables pour les minéralisations d'IOCG sensu stricto et de porphyres alcalins-calciques potassiques ou légèrement alcalins à Cu-Au en Abitibi. Un effort été fait lors de la sélection finale pour tenter d'éliminer les secteurs qui semblaient plutôt favorables à des minéralisations de type porphyres à Cu-Au (surtout les grands couloirs de déformation). Les 33 plutons ou parties de plutons retenus (figure 12) devraient donc être associés à des IOCG sans par contre qu'une association avec des minéralisations de type porphyres à Cu-Au alcalins-calciques potassiques ou légèrement alcalins ne soit totalement exclue.

Figure 12 : Carte de l'Abitibi avec les 33 plutons ou parties de plutons qui sont considérés comme favorables aux minéralisations IOCG (géologie modifiée du SIGEOM, MRNF, 2009 et OGS, 2005). Les secteurs de Guyenne-Chazel et de Quévillon possèdent une bonne concentration de ces plutons et sont donc des secteurs prioritaires.

CONCLUSION

La présente étude montre que l'utilisation des caractéristiques géochimiques des plutons génétiquement associés aux gisements d'IOCG sensu stricto est un outil d'exploration utilisable à l'échelle régionale. Il est démontré que les monzodiorites, monzodiorites quartzifères, monzonites quartzifères et certains granites soient favorables à la présence de minéralisations d'IOCG ou de porphyres à Cu-Au alcalins-calciques potassiques à légèrement alcalins.
La comparaison des IOCG sensu stricto avec les porphyres à Cu-Au alcalins-calciques potassiques à légèrement alcalins montre un lien de parenté évident mais il en demeure que certaines caractéristiques, notamment en ce qui a trait à la géométrie des intrusions, à l'altération et aux minéralisations, permettent de les différencier. L'élément clé qui explique ces différences semble être la profondeur de mise en place des intrusions.
Une méthodologie pour le traitement de grandes bases de données dans le but d'isoler les échantillons favorables a été développée par le CONSOREM. L'application de cette méthode aux données lithogéochimiques de l'Abitibi a permis d'identifier au-delà de 800 analyses possédants les caractéristiques recherchées. La présence de ces analyses lithogéochimiques favorables avec d'autres métallotectes a fait ressortir 33 plutons ou partie de plutons de l'Abitibi qui sont favorables aux minéralisations d'IOCG.

RÉFÉRENCES

Bastrakov., E.N., Skirrow, R.G. et Davidson, G.J., 2007. Fluid Evolution and Origins of Iron Oxide Cu-Au Prospects in the Olympic Dam District, Gawler Craton, South Australia. Economic Geology, 102 : 1415-1440.

Belperio, A., Flint, R. et Freerman, H., 2007. Prominent Hill: A Hematite-Dominated, Iron Oxide Copper-Gold System. Economic Geology, 102 : 1499-1510.

Daigneault, R., Mueller, W.U. et Chown, E.H., 2004. Abitibi greenstone belt plate tectonics: the diachronous history of arc development, accretion and collision. Dans: Eriksson, P.G., Altterman, W., Nelson, D.R., Mueller, W.U. et Catuneanu, O., eds., The Precambrian Earth; tempos and events, Developments in Precambrian Geology 12, Elsevier, pp. 88-103.

Frost, B.R., Barnes, C.G., Collins, W.J., Arculus, R.J., Ellis, D.J. et Frost, C.D., 2001. A Geochemical Classification for Granitic Rocks. Journal of Petrology, 42 : 2033-2048.

Irvine, T.N. et Baragar, W.R.A., 1971. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. Canadian Journal of Earth Sciences, 8 : 523-548.

Jébrak, M. et Marcoux, É., 2008. Géologie des ressources minerals. Ressources naturelles et Faune Québec, Géologie Québec. MM 2008-01, 667 p.

Marschik, R. et Fontboté, L., 2001. The Candelaria-Punta del Cobre Iron Oxide Cu-Au(-Zn-Ag) Deposits, Chile. Economic Geology, 96 : 1799-1826.

Middlemost, E.A.K., 1985. Magmas and magmatic rocks; an introduction to igneous petrology. Longman Group, Londre, Royaume-Uni, 266 p.

MRNF, 2009. SIGÉOM (ressource électronique), système d'information géominière à référence spatiale. Regroupement des données géoscientifiques aux échelles 1:20 000 et 1:50 000. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune Québec, Géologie Québec. http://sigeom.mrnf.gouv.qc.ca/signet/classes/I1102_indexAccueil?l=f

OGS, 2005. Integrated GIS Compilation of Geospatial Data from the Abitibi Greenstone Belt, North-eastern Ontario; Discover Abitibi Project. Commission géologique de l'Ontario, Miscellaneous Release Data, MRD 186. http://www.geologyontario.mndm.gov.on.ca/mndmaccess/mndm_dli.asp?type=pub&id=MRD186

Pearce, J.A., Harris, N.B.W. et Tindle, A.G., 1984. Trace Element Discrimination Diagrams for the Tectonic Interpretation of Granitic Rocks. Journal of Petrology, 25, part 4 : 956-983.

Peccerillo, A. et Taylor, S.R., 1976. Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, northern Turkey. Contributions to Mineralogy and Petrology, 58 : 63-81.

Pollard, P.J., 2006. An intrusion-related origin for Cu-Au mineralization in iron oxide-copper-gold (IOCG) provinces. Mineralium Deposita, 41 : 179-187.

Reynolds, L.J., 2001. Geology of the Olympic Dam Cu-U-Au-Ag-REE deposit. MESA journal, 23, October, 8 p.

Seedorff, E., Dilles, J.H., Proffett, J.M., Einaudi, M.T., Zurcher, L., Stavast, W.J.A., Johnson, D.A. et Barton, M.D., 2005. Porphyry Deposits: Characteristics and Origin of Hypogene Features. Dans: Hedenquist, J.W., Thompson, J.F.H., Goldfarb, R.J., and Richards, J.P., eds., Economic Geology 100th Anniversary Volume: Society of Economic Geologists, pp. 371-405.

Sillitoe, R.H., 2000. Gold-rich porphyry deposits; descriptive and genetic models and their role in exploration and discovery. Dans: Hagemann, S.G. et Brown, P.E., eds., Gold in 2000, Reviews in Economic Geology, volume 13, 315-345.

Sinclair, W.D., 2007. Porphyry Deposits. Dans: Goodfellow, W.D., ed., Mineral Deposits of Canada: A Synthesis of Major Deposit-Types, District Metallogeny, the Evolution of Geological Provinces, and Exploration Methods. Association Géologique du Canada, Division des Gîtes Minéraux, Publication Spéciale No. 5, pp. 223-244.

Trépanier, S., 2009. Outil logiciel pour le traitement de données lithogéochimiques. Logiciel interne, Consorem, projet 2009-01.

CORPORATION MINIÈRE ALEXIS - CORPORATION MINIÈRE OSISKO - CAMECO - DONNER METALS - MDN - MINES AGNICO-EAGLE - MINES AURIZON
MINES RICHMONT - MINES VIRGINIA - RESSOURCES D'ARIANNE - RESSOURCES BREAKWATER - RESSOURCES CARTIER - SOQUEM - XSTRATA CUIVRE - XSTRATA ZINC
ONHYM - UQAC - UQAM - UQAT - MRNF - MDEIE - DEC - CRÉ SLSJ