GM 65498

RESEARCH APPLIED TO EXPLORATION FOR IOCG-STYLE MINERALIZATION IN THE GRENVILLE PROVINCE, PROGRESS REPORT AND RESEARCH PLAN

Documents complémentaires

Additional Files





Licence



License

Cette première page a été ajoutée
au document et ne fait pas partie du
rapport tel que soumis par les auteurs.

Énergie et Ressources naturelles
Québec

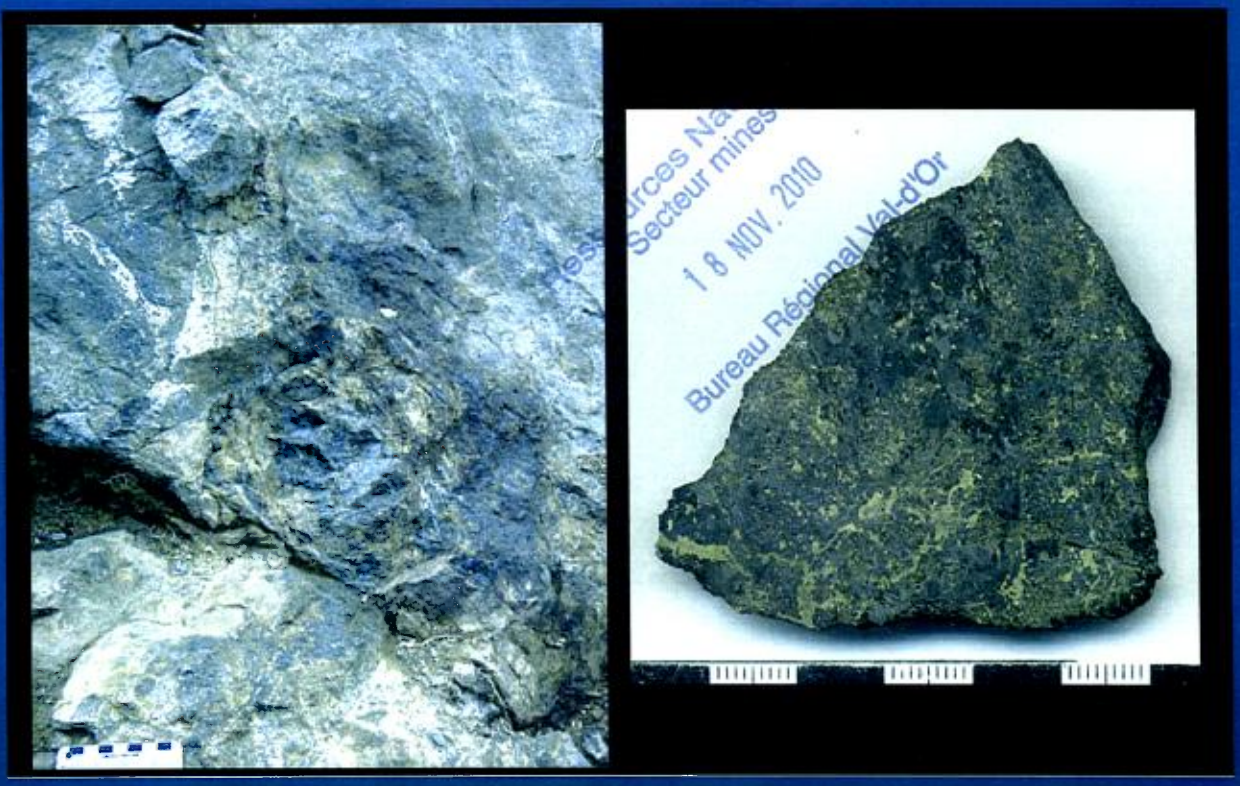
Research applied to exploration for IOCG-style mineralization in the Grenville Province, SW Quebec – *Progress report and research plan*

(spring 2007 – winter 2008)

Compiled by Lyal B. Harris

GM 65498

May 2007



INRS
La science en ACTION pour un monde en ÉVOLUTION

1067254

Report for Richmond Minerals Inc.
as part of a research contract between INRS-ETE and Limestone Basin Exploration.

Compiled by Lyal B. Harris,
Geologist (*Member, Ordre des géologues du Québec and The Australian Institute of Geoscientists).*

Member No 1037

Appendices by Vladimir Antonoff and Grégory Dufréchou,
doctoral students.

INRS-ETE,
490 de la Couronne, Québec G1K 9A9, Canada

lyal_harris@ete.inrs.ca

May 2007

Disclaimer and copyright: *This progress report and the appended student reports are based on preliminary findings and tentative interpretations. Student reports also contain statements based on their literature reviews. As such, the author, students and coworkers involved in this project are not responsible for any actions that may be undertaken on the basis of these reports.*

© Copyright is held by the authors for their respective sections except for diagrams reproduced from other sources.

Acknowledgements *– Students are co-supervised by Louise Corriveau and Marc Richer-Laflèche. Louise Corriveau in particular provided considerable input in the preparation of the accompanying student reports. Mitchell Lavery has provided valuable advice throughout this project. The students benefited greatly from discussions with Gordon Hendriksen and other members of the 2006 Richmond Minerals field party.*

Photographs, cover page.

Left: Mineralized zone with chalcopyrite, bornite, malachite, azurite, magnetite, orthopyroxene, plagioclase and garnet, "Bing" showing, Bondy complex. **Right:** Scanned polished slice from the same mineralized zone. Note disseminated chalcopyrite as inclusions in pyroxenes or in veinlets cross-cutting the latter. Scales in cm. Photos by V. Antonoff.

Ressources Naturelles
Secteur mines

18 NOV. 2010

Bureau Régional Val-d'Or

Report for Richmond Minerals Inc.
as part of a research contract between INRS-ETE and Limestone Basin Exploration.

Compiled by Lyal B. Harris,
Geologist (*Member, Ordre des géologues du Québec and The Australian Institute of Geoscientists).*

Appendices by Vladimir Antonoff and Grégory Dufréchou,
doctoral students.

INRS-ETE,
490 de la Couronne, Québec G1K 9A9, Canada

lyal_harris@ete.inrs.ca

May 2007

Disclaimer and copyright: *This progress report and the appended student reports are based on preliminary findings and tentative interpretations. Student reports also contain statements based on their literature reviews. As such, the author, students and coworkers involved in this project are not responsible for any actions that may be undertaken on the basis of these reports.*

© Copyright is held by the authors for their respective sections except for diagrams reproduced from other sources.

Acknowledgements *– Students are co-supervised by Louise Corriveau and Marc Richer-Laflèche. Louise Corriveau in particular provided considerable input in the preparation of the accompanying student reports. Mitchell Lavery has provided valuable advice throughout this project. The students benefited greatly from discussions with Gordon Hendriksen and other members of the 2006 Richmond Minerals field party.*

Photographs, cover page.

Left: Mineralized zone with chalcopyrite, bornite, malachite, azurite, magnetite, orthopyroxene, plagioclase and garnet, "Bing" showing, Bondy complex. **Right:** Scanned polished slice from the same mineralized zone. Note disseminated chalcopyrite as inclusions in pyroxenes or in veinlets cross-cutting the latter. Scales in cm. Photos by V. Antonoff.

Summary
This report provides an English summary of research undertaken by two doctoral students, Vladimir Antonoff and Grégory Dufréchou as part of a contractual research project with Limestone Basin Exploration for which Richmond Minerals Inc. is the operator. Copies of their detailed research project reports (in French) submitted as part of their respective pre-doctoral examinations (Appendix 1 and 2) accompany this English summary. A research plan for the approximate period spring 2007 – winter 2008 is proposed (Table 1) along with the required budget to undertake this research (Appendix 3; also sent as an Excel file). Detailed planning of subsequent research will in part depend on outcomes of the study of samples already collected, the outcomes of the coming field season and initial geochemical results.

Confirmation of future funding of this project to at least a level agreed to in the initial contract with Limestone Basin Exploration is sought from Richmond Minerals Inc. in order to enable the applied research to proceed.

The main outcomes of research to date are:

- Following fieldwork in the Grenville Province of SW Quebec, especially in the Cabonga Reservoir and Bondy gneiss complex (Mont Laurier region), the Bondy gneiss complex has been identified as the best area with potential for Iron Oxide Copper Gold (IOCG)-type mineralization. All copper-cobalt-silver anomalies from Richmond Minerals' assay results were found on or in the vicinity of the hydrothermal lithofacies previously mapped within the Bondy gneiss complex. This unit is interpreted as representing a metamorphosed and deformed, early hydrothermal system. Field studies, however, suggest the possibility that at least some mineralization may be associated with superposed structures (ductile shear zones and breccias) indicating the potential for remobilisation and possible upgrading of early mineralization, or mineralization during a post-peak metamorphic event where hydrothermal fluids have reacted with iron-rich host-rocks within the earlier hydrothermal system.
- Detailed examination of samples collected by Louise Corriveau from an area of unmetamorphosed IOCG mineralization (Contact Lake-Echo Bay, Great Bear Magmatic Zone, North West Territories) has defined alteration characteristics that may be applied to develop an understanding of expected lithologies and textures following high-grade metamorphism. Such results will aid interpretation of lithologies in high-grade gneiss of the Grenville Province, especially the metamorphosed hydrothermal system documented in the Bondy gneisss complex.
- Lineament analysis based on processing of regional geophysical data has highlighted structures (especially deep-seated gravity feature) that pass through or near to known mineralized sites. The potential for such geophysical analysis in target generation has been illustrated.

Recommendations for continued research by the two students as part of their doctoral programs are:

- Detailed examination of samples collected last field season for petrology, structure and geochemistry (where possible, to be undertaken prior to this summer and fall fieldwork).
- Chemical staining of samples collected by students and by Louise Corriveau from the Bondy gneiss complex to identify alteration types and textures, and hence spatial distribution.
- Additional gravity measurements and subsequent processing and analysis to better define crustal structures that may have exerted a structural control on mineralization in the Bondy gneiss complex.
- Field studies and further sampling of "showings" in the Bondy gneiss complex to document mineralization and alteration styles, relative timing and possible structural controls.
- Structural traverses to determine the nature of lineaments determined from deep-seated gravity features (gravity "worms") in the Bondy gneiss complex.
- Precise geochemical analyses of samples.

1. Geochemistry and petrology [‡]

1.1. Examination of Contact Lake-Echo Bay samples for comparison with those of the Bondy Complex

1.1.1. Rationale

In order to be able to determine potential targets for IOCG-type mineralization in the Grenville Province and in particular in the Bondy gneiss complex, a lithogeochemical study of an unaltered IOCG system is necessary in order to interpret the significance of different alteration zones. Indeed, by determining the timing relationships between the various types of alteration and mineralization, it is possible to subsequently define zones with greatest potential for mineralization. Zones of sodic and calco-ferro-sodic alteration are generally of regional scale, are distal compared to mineralization or proximal with respect to any likely intrusion associated with the heat source (Corriveau and Mumin 2006; Corriveau *et al.*. 2007). Weak potassic alteration can be superimposed. When potassic alteration becomes more intense (K-feldspar or biotite, magnetite, amphibole...), one commonly finds brecciation associated with poly-metallic sulphide enrichment (Corriveau and Mumin 2006; Corriveau et *al.* 2007). Identification of such zones (i.e. rocks enriched in potassium, iron, calcium, magnesium) in metamorphosed terrains such as the Bondy complex is likely to provide vectors towards potential mineralized targets. Once metamorphosed, characteristic mineral assemblages may be developed allowing one to distinguish early alteration zones from the metamorphosed not-altered rocks.

[‡] Research undertaken by Vladimir Antonoff (see Appendix 1 for full report, in French)

1.1.2. Results

Rocks samples from Contact Lake-Echo Bay (Great Bear Magmatic Zone, of North West Territories described by Mumin *et al.* in press) collected by Louise Corriveau were prepared and examined by Vladimir Antonoff. Slices were etched and chemically stained to better understand the relations between various alteration types in these unmetamorphosed IOCG deposits to predict what happen if such samples were metamorphosed, as in the Grenville Province. Different types of staining allow determination of areas that have undergone potassic and calc-sodic alteration. Alteration textures, relationships to structures etc. were studied. The chemical compositions of some samples were analysed with the ITRAX™ scanner in the laboratories at INRS-ETE that allowing one to study geochemical variations of the major elements in rock slices at the millimeter-scale. An optical camera is incorporated in the system in order to provide an image of the sample that is used to correlate the analytical profile with features in the sample. Samples were selected for geochemistry (analytical costs were met from other sources). Twenty rocks, among which 5 rocks analyzed by the ITRAX ™, were scanned in a CT scanner to observe textures of various alteration zones and their propagation and relationships in three dimensions.

1.2. Analyses of samples from the Bondy gneiss complex

Assays were performed by Laboratoire *Expert Inc.* (Rouyn Noranda) on samples collected in the field by Richmond *Minerals Inc.* for 57 elements on more than 400 rocks, 31 elements on ~170 rocks and ~180 rocks for gold, platinum, palladium, silver and copper. The results obtained provide an invaluable help for planning future fieldwork. Results from Reservoir Cabonga did not show any significant values. Analyses of some rocks from the Bondy complex, however, showed interesting results and subsequent work will hence be focussed in this area. Indeed, several rocks (such as illustrated on the cover page from the "Bing" showing) have copper values higher than 10,000 ppm (limit of detection of the analyses of the laboratory) and may reach 10% copper for a high grade sample. Silver values may attain 34 ppm for the same high grade sample. In other samples, cobalt values exceeding 500 ppm (limit of detection of the analyses of the laboratory) and gold attained 50 ppb. Another mineralization style with copper (> 10,000 ppm) and cobalt (> 500 ppm) was also enriched in manganese and Thallium (1.59 ppm) was found in biotitic breccia with garnet and magnetite. All the copper-cobalt-silver anomalies were found on or in the vicinity of the hydrothermal lithofacies defined by Blein et *al.* (2004). Note however that further mapping and integration of field results with new aeromagnetic imagery is required to better define the form of this anomaly as the published maps are only schematic.

The presence of sulphides (pyrite, chalcopyrite, bornite) either disseminated, in pods or in veinlets/veins in several samples was observed in cut samples confirming a marked presence of copper in most of the system (note that the extent of mineralization was sometimes not obvious in the field). In the same way, textures not apparent in outcrop were revealed in slices, such as for example several breccias with magnetite ± sulphides strongly resembling those of the Kwyjibo IOCG deposit (Gauthier et al., 2004). Magnetite coronae around sulphides and sulphides trapped in massive magnetite were observed in some samples. Such textures require further detailed investigation to define mineral paragenesis and relative growths.

1.3. Planned research

Problems to be resolved in determining the deposit style(s), timing and relationship to regional deformation events that have significant repercussions for future exploration in the Bondy Complex (and potentially elsewhere in the Grenville Province) in planned research are:

- Does the alteration system in the Bondy gneiss complex represent a metamorphosed IOCG system? The results of the study of an unmetamorphosed alteration IOCG system (Contact Bay Lake-Echo, NWT, Canada) will be used to develop a better understanding of the high grade alteration system in the Bondy Complex. Comparisons will be made in order to determine whether or not the alteration envelope in the Bondy complex is likely to represent metamorphosed equivalent of an IOCG system. The comparison of these two areas (using a conceptualized metamorphism of a known IOCG system) will provide a better comprehension of the alteration systems of IOCG deposits and their equivalent in high grade terrains. This will make it possible to better determine the economic potential of high grade systems and to determine new potential targets in the Grenville Province (or in other similar metamorphic terrains). The use of new analytical means available at INRS-ETE will provide a new approach from which a new comprehension of the various types of alteration associated with an IOCG deposit that can be applied in exploration in the Grenville Province, especially in the Bondy Complex in the short term.
- Is mineralization *in situ* or has there been remobilization of sulphides? If there has been remobilisation, in what deformation event and by what mechanism (melt, solid state transition or dissolution and re-deposition in a fluid phase) did remobilization occur? Determining the likelihood for remobilisation will help define exploration targets and will direct research focus as to whether it is best to better map the known early, pre-metamorphic hydrothermal system or to focus more activity on areas where structures related to a remobilisation event have been suggested (for example based on regional geophysics).
- What is the source of mineralization and what is the deposit type? The preliminary geochemical results and the work previously carried out in the Bondy gneiss complex allow a comparison to be made between mineralized rocks in the Bondy complex and those in a Co-Cu (-Au) deposit in granulite facies rocks in the English River Subprovince, Canada. Mineralization with cobalt and copper in garnetiferous biotite schists enriched in K, Fe, Mn and impoverished of Ca and Na has been documented in a system containing meta-exhalites (Pan and Therens 2000; see also Nold 1990 for other examples of mineralization with Cu-Co of metamorphosed exhalative origin). Moreover, the study of Pan and Therens (2000) showed that altered and metamorphosed rocks, as well as mineralization, have been preserved during metamorphism to granulite facies. It should be noted however that mineralization with Co-Cu can also correspond to IOCG-type mineralization, such as the Great Australia Deposit in the eastern succession of the Mount Isa belt, Australia (Cannell and Davidson 1998; Gandhi 2003; 2004). The study of samples taken during the summer 2006 will be used to redirect the

study in order to obtain a fuller documentation on the type of mineralization found.

- Is there possibility of finding a mineralization of another deposit type (e.g. VHMS) upon which an IOCG system was superimposed? For example, was there a first phase of mineralization rich in sulphides (VHMS-type), upon which magnetite crystallization occurred during a phase of hydrothermal alteration related to the superposition of an IOCG-type system? It is essential to compare detailed structural, geochemical and petrological aspects of the multiple "showings" in the Bondy complex as more than one style ± timing of mineralization may be present.
- Was mineralization related to a particular alteration system or could a period of remobilisation have disseminated it in possibly non-diagnostic rocks?
- Was an early, pre-metamorphic alteration zoning preserved after high grade regional metamorphism, or was it completely reworked or destroyed?
- Why is no haematite observed in field samples from the Bondy complex? Will hematite inclusions be observed in the magnetite-bearing breccia upon detailed observation?
- What is the relative timing of the observed breccias? Some breccias appear to crosscut structures in the wall-rocks and thus appear late. However, altered breccia zones may have acted as competent bodies during metamorphism and seem younger than they really are (Bonnet and Corriveau 2003; Corriveau 2007). It is thus significant to study in detail the relations between metamorphism and mineralization and to undertake detailed metamorphic petrology and structural studies of the breccias to determine if they can be tied down to a particular late deformation event or not. If they are late, this opens the way for new exploration targets.

2. Structure and geophysics [§]

2.1 Treatment and interpretation of regional geophysical data

2.1.1 Rationale

Deep-seated structures have been shown to be important in focussing fluid flow during IOCG mineralization. Lithospheric weaknesses, especially those at a high angle to an orogen, may be successively reactivated during orogenesis so even early structures may still be recognised on gravity data. Their identification is therefore important in regional exploration even in a multiply deformed terrain such as the Grenville Province. Regional Geological Survey of Canada (GSC) gravity and aeromagnetic data over the SW Grenville Province and adjacent parts of the Superior Craton were treated by Grégory Dufréchou to enhance regional structural features. The aim of examining regional geophysical data was to:

- Determine whether there is a spatial relationship between deep-seated structures and areas of known mineralization.

[§] Research undertaken by Grégory Dufréchou (see Appendix 2 for full report, in French)

- Determine where regional deep-seated structures pass in claims held by *Limestone Basin Exploration Ltd* and *Richmond Minerals Inc.* to focus detailed field studies.

2.2.2 Results (see Appendix 2 for examples)

Standard geophysical treatments (horizontal and vertical derivatives, shading etc.) were undertaken to accentuate linear features. Upwards continuation of gravity data was used to determine which gravity lineaments may represent deep-seated structures. In addition, maxima of the horizontal derivative ("worm maps") were developed from gravity data to provide a 3D representation of major contacts through automatically detecting the position of the maximum values of the horizontal gradient. This technique localizes the main crustal or even lithospheric features, providing also information as to their dip.

Preliminary results show a significant correspondence between mineral "showings" in the Bondy complex and gravity "worm" lineaments, for example the "Bing showing" is close to the intersection of two such lineaments and two other showings occur along one of these lineaments. The geophysical grids available are regional, which implies a too coarse resolution to be able to carry out a reliable local study. As preliminary results show the possible exploration importance of gravity "worm" lineaments, a more detailed study is proposed to better define their position. This will require measurement new gravity station inside and around the Bondy gneiss complex to generate new more precise gravimetric grids over the zones of interest. The material necessary for the measurement of the stations will either be lent to us by a geophysical company or provided by the GSC.

2.2. Development of a GIS database

A GIS database was developed containing:

- Regional geophysical data, including reprocessed GSC gravity and aeromagnetic imagery.
- Lineament interpretations based on regional geophysics.
- The geological map of the Province of Grenville 1/2 000 000.
- Geological map layers SNRC 31J02, 03, 06 at 1/250 000.
- Numerical data from the National of Topographic Database at the scale 1/50 000 and 1/250 000
- Mines and mineral "showings" over the SW Grenville Province.
- Claims held by *Limestone Basin Exploration Ltd.* and *Richmond Minerals Inc.*
- The position and a detailed description of outcrops examined by Louise Corriveau during her study of the Mont Laurier area in the 1990s.
- The position of samples, as well as a brief outcrop description, from the 2006 field program.

2.4. Proposed research

2.4.1 Study of oriented samples collected in the previous field season

Oriented blocks collected last field season have not yet been studied in detail as students have been mainly involved in literature review and coursework etc. and in preparation for their pre-doctoral examination since returning from the field. Before undertaking more fieldwork, it is necessary to cut these samples in correct orientations, polish slabs and in for some samples, to make oriented and /or polished thin sections to study:

- Relationships between structures and mineralization for mineralized samples. Structural studies are crucial to determine if early mineralization has simply been metamorphosed and deformed along with the host rock (as has been previously assumed), whether some or all mineralization is related to structures post-peak metamorphism, and/or whether early disseminated mineralization may have been remobilized and concentrated by post-peak metamorphic structures. Field observations suggest that the timing of mineralization may be complex, and that whilst the mapped early alteration system in the Bondy complex certainly pre-dated metamorphism and deformation, preliminary results suggest that some mineralized structures may be related to younger events.
- Whether rocks sampled in the area of the Bing showing represent mylonite zones and if so, to determine the sense of displacement to determine the associated deformation event. High-strain zones parallel to lineaments on geophysical imagery have been recognized in the vicinity of the Bing showing. Mineralization may occur within one such zone. It has been impossibly to say with certainty in the field that these zones are in fact mylonites and to study the timing of mineralization with respect to deformation, so oriented samples have been collected for detailed microscopic evaluation of thin sections and/or polished blocks.
- A set of blocks has been cut from another locality in the Bondy complex to examine what appears to be mineralized breccias. Polished slabs and thin sections will examine mineral assemblages associated with brecciation, breccia textures and cross-cutting relationships etc. to determine the relative timing of brecciation (does brecciation pre-date regional metamorphism or does it represent a much younger, superposed event; if so is it the same event in which mylonites were developed in the Bing showing?...).

2.4.2 Gravity fieldwork and processing

It is proposed that additional gravity measurements be undertaken by Grégory Dufréchou during approximately 2-weeks fieldwork in June or July to generate more precise gravimetric grids over the Bondy complex to better define crustal structures that have been seen to be spatially associated with some of the mineral showings. The current data points are too widely spaced to use the interpretations for precise targeting. More detailed gravity data will better constrain their position and may also localize additional such structures.

2.4.3 Structural Fieldwork

Fieldwork will focus on the following structural aspects:

- Structural analysis of mineralized zones already identified in the Bondy complex (detailed study of outcrops, measurement of structural data, observations of structural controls on mineralization, collection of oriented samples, etc.) will be undertaken to characterize deformation associated with mineralized zones and/or zones of hydrothermal alteration. Detailed structural analysis is required to understand the geometry and the relative chronology of the mineralized zones compared to regional deformation and metamorphic events. A concrete saw equipped with a diamond blade will be used, enabling oriented blocks approximately 10x10x20 cm to be obtained. In addition to use in structural analysis, these blocks will be used for petrological and/or geochemical studies by Vladimir Antonoff.
- Structural transects to study the possible geological expression of features interpreted from gravity and aeromagnetic data. These transects will determine whether such geophysical features (especially gravity "worms" that appear coincident with several mineral showings) correspond to faults or ductile deformation zones, change of orientation of foliation or folds related to a deeper structure, etc. Possible relationships with hydrothermal alteration will also be investigated. In the first instance, lineaments that pass near showings in the Bondy complex will be investigated. Depending on the success of not (which will depend on the presence of outcrop etc.) additional fieldwork may be required outside the Bondy complex along the same features.
- Examination of regional shear zones. In order to put the mylonite zones discovered in the vicinity of the Bing showing in a regional context, several major shear zones mapped in previous studies on the margins of the Morin Terrain will be briefly examined. Shears will be visited whilst driving to the field so little additional expenses will be incurred.

Results will provide a better understanding the geometry of known mineralized zones and possible structural controls that may be used in targeting further exploration or in determining the possible extension of mineralized zones already identified.

3.5. Possible future structural research following the 2007 field season

Depending on the results of examining last year's samples, this year's field studies and their integration with geophysics, an experimental program could be undertaken by Grégory Dufréchou if it is considered relevant and of use to this project. Alternatively, if priorities of time or research indicate that such a program of physical modeling is not feasible to be incorporated in this project, it may be able to be undertaken by another student (such as a final-year undergraduate student, with no additional funds being sought to do so) where results will be used in this project.

Modelling may prove useful to determine the expression of reactivation of basement structures in high grade gneiss terrains should other research point in this direction as being of use in the current exploration program. A high acceleration centrifuge at INRS-ETE specifically adapted for geological modeling makes it possible to simulate dynamic conditions in the deep crust using silicone, modelling clay or mixtures of both. The progressive deformation of models may be examined in 3D through use of a

CT scanner. Models could be used to try to reproduce a geodynamic context similar to that deduced from the field structural study for key sectors or be related to the more regional context and interpretation of regional geophysics. Modelling may make it possible to argue and possibly explain whether mineralization is related to a local event, or certain regional tectonic events, for example help resolve the origin of mylonites in the Bing area (whose origin based on the suspected movements senses remains problematic) and their relationship to regional events.

4. Discussion

Studies by the students directly related to mineralization and exploration targeting in the SW Grenville province by the two doctoral students are progressing well. Preliminary results show the necessity to continue this applied research as direct applications will be produced. Delays were however incurred due to greater time than envisaged being spent on meeting academic requirements, such as coursework and especially completing the accompanying reports and preparations for their pre-doctoral examinations, however students are now better prepared for their tasks and from now on, students will be able to fully focus on their projects. A summary of research planned for the remainder of 2007 and approximate timing is presented in Table 1 (following page).

In order for the project to continue, and especially to prepare thin sections and undertake chemical analyses, it is essential that funding be committed to at least the level previously agreed to in the contract between INRS-ETE and Limestone Basin Exploration/Fort Chimo and the outstanding payment of expenses from last summer's field season be paid. A period of payment times and amounts must be established which will preferably entail a new contract between INRS-ETE and Richmond Minerals.

Table 1. Summary and approximate timing of planned research spring 2007 - winter 2008.

Dates	Tasks	Comments
May	Pre-doctoral oral examinations. - Submit research proposals. - Presentation, revision and reading for examinations. - Project presentations and pre-doctoral examinations.	Internal (confidential) presentation of research projects and pre-doctoral examinations are obligatory at INRS-ETE. Both students successfully completed.
Late May - July	Study of the samples collected last summer from the Bondy gneiss complex. - Petrological and textural examination of mineralized samples. - Determination of deformation regime, timing of mineralization w.r.t. metamorphism and deformation, evidence for remobilization etc... - Determination if samples in the Bing showing area are mylonitic and if so, the shear sense. - Integrate structural and petrological information with known regional structural and metamorphic history. - Insertion of the data in numerical form in the GIS.	Studies and preparation for the pre-doctoral oral examinations have taken much longer than expected so there has been little time available since returning from fieldwork in the fall to study the large number of samples collected. This must be done before additional fieldwork in order to better target localities to be studied. If post peak-metamorphic mineralization or upgrading/remobilization is confirmed, new targets to be examined will be generated from aeromagnetic and gravity data (see below).
June - August	Alteration studies : - Processing data obtained for rocks from Contact Lake - Echo Bay. - Staining of available rocks from the Bondy complex with an aim of targeting zones of potassic alteration. - First chemical analyses according to the availability of apparatus and/or technicians...	Staining and alteration studies will be undertaken in order to determine new potential exploration targets to be investigated in the coming field season.
June – July Dates depend on equipment availability.	Fieldwork preparation. First short geophysical fieldtrip to Bondy gneiss complex and adjacent area to measure new gravity stations.	Additional gravity data are required to provide a more accurate location of lineaments that appear to exert a control on mineralization.
Late Aug.- Sept.	Second main period of fieldwork (ca. 5 weeks): - Traverses across gravity lineaments to seek evidence for structural changes and alteration. - Detailed study of mineralized outcrops and mapping their extensions: 4	Fieldwork will document existing showings and develop targets for follow-up drilling or trenching. Samples will also be collected for assay and detailed

	"target" zones: one week per zone (cartography, studies thorough of key outcrops, sampling with the saw) - Carry out a complete description of the key outcrops, follow up on alteration studies/rock staining on previously collected samples, seek new potentially interesting outcrops based on combined alteration, structural and geophysical data. Map in detail important zones.	geochemical analyses.
Following fieldwork	- Integration of results in GIS, report preparation, etc.. Organization, compilation and comprehensive studies of the samples as above. - Beginning treatment of the samples taken during the summer – fall 2007 (preparation for analysis: sawing, crushing, polishing, staining…). - Preparation of thin sections.	
Oct. – Nov.	Preparation of poster presentations for Quebec Exploration 2007; attendance at this meeting.	Students are encouraged to make such presentations and by submitting a poster attendance at this conference is free. The contents of any presentation will be submitted in advance (as per existing contract) for confidentiality clearance.
winter 2007-2008	Structure and geophysics - Detailed study of thin sections and rock slabs. - Integration of structural and regional geophysical data. - Checking alteration data against aeromagnetic imagery to see if alteration zones can be better mapped. - Planning if analogue modelling required or not.	
winter 2007-2008	Geochemistry and petrology: - Completion of geochemical analyses from samples collected in previous field seasons. Begin drafting an article on the conceptual metamorphism of hydrothermal alteration (based on Contact Lake samples) and the determination of vectors for IOCG exploration in high-grade metamorphic terrains.	

	- Undertake geochemical analyses of the rocks of the Bondy complex; process and statistically analyse data obtained.	

Note that dates are approximate. Overlap in dates occurs as some tasks will be undertaken concurrently, or the two students will be undertaking different studies.

References

Blein O, Corriveau L, Laflèche MR (2004) Cordierite-orthopyroxene white gneiss: A key to unveiling pre-metamorphic hydrothermal activity in the Bondy Gneiss Complex, Grenville Province, Québec. *Geological Society of America Memoir* **197**, 19-33.

Bonnet, A.-L., Corriveau, L. (2003) Caractérisation structurale et métamorphique de la marge sud-est du Groupe de Wakeham, régions du lac Musquaro et de La Romaine, Province de Grenville (Québec, Canada). Geological Survey of Canada, Current Research Paper 2003-C17, 11 p. http://geopub.nrcan.gc.ca/register_f.php?id=222970&dnld=ESPublications

Cannell J, Davidson GJ (1998) A carbonate-dominated copper-cobalt Breccia-vein system at the Great Australia deposit, Mount Isa Eastern Succession. *Economic Geology* **93**, 1406-1421.

Corriveau L (2007) Fe oxide copper-gold deposits: a Canadian perspective. *Mineral Deposits of Canada: A Synthesis of Major Deposit-types, District Metallogeny, the Evolution of Geological Provinces, and Exploration Methods, Goodfellow, W.D., ed., Geological Association of Canada, Mineral Deposits Division* **Special Publication 5**.

Corriveau L, Mumin H (2006) Vectoring concepts and practical guides for IOCG-U exploration in underexplored terranes: insights from the Great Bear Magmatic Zone. *34th Annual Yellowknife Geoscience Forum, Abstracts of Talks & Posters (2006)*, 11.

Corriveau, L., Perreault, S., Davidson, A. (2007) Prospective metallogenic settings of the Grenville Province. *In* Mineral Deposits of Canada: A Synthesis of Major Deposit-types, District Metallogeny, the Evolution of Geological Provinces, and Exploration Methods, Goodfellow, W.D., ed., Geological Association of Canada, Mineral Deposits Division, Special Publication 5.

Gandhi SS (2003) An Overview of the Fe oxide-Cu-Au Deposits and Related Deposit Types. *CIM Montreal 2003 Mining Industry Conference and Exhibition, Canadian Institute of Mining, Technical Paper, CD-ROM.*

Gandhi SS (2004) Magmatic-hydrothermal Fe oxide±Cu±Au deposits: classification for a digital database and an overview of selected districts. IAVCEI General Assembly 2004, Pucón, Chile, CD-ROM, Abstracts01a_pt_169.

Gauthier M, Chartrand F, Cayer A, David J (2004) The Kwyjibo Cu-REE-U-Au-Mo-F Property, Quebec: A Mesoproterozoic Polymetallic Iron Oxide Deposit in the Northeastern Grenville Province. *Economic Geology* **99**, 1177-1196.

Mumin H, Corriveau L, Somarin AK, Ootes L (in press) IOCG-type polymetallic mineralization in the Contact Lake Belt, Great Bear Magmatic Zone, Northwest Territories, Canada. *Exploration and Mining Geology.*

Nold JL (1990) The Idaho cobalt belt, northwestern United States — A metamorphosed Proterozoic exhalative ore district. *Mineralium Deposita* **25**, 163-168.

Pan Y, Therens C (2000) The Werner Lake Co-Cu-Au Deposit of the English River Subprovince, Ontario, Canada: Evidence for an Exhalative Origin and Effects of Granulite Facies Metamorphism *Economic Geology* **95**, 1635-1656.

Université du Québec
Institut national de la recherche scientifique
Eau, Terre et Environnement

DEVIS DE RECHERCHE

PROGRAMME INTERUNIVERSITAIRE EN SCIENCES DE LA TERRE
(INRS-ETE – Université Laval)

Contrôles structuraux et tectoniques régionaux des indices de minéralisation de type oxydes de fer à cuivre-or, métaux de base et autres styles de minéralisations dans la Province de Grenville, au sud-ouest du Québec.

GM 65498

Grégory DUFRÉCHOU

Directeur et codirectrice de recherche :
Lyal Harris (INRS-ETE)
Louise Corriveau (CGC)

Ressources naturelles et Faune, Québec
24 MARS 2011
DIR. INFORM. GÉOL.

REÇU AU MRNF
18 NOV. 2010
DIRECTION DES TITRES MINIERS

1067254

Université du Québec
Institut national de la recherche scientifique
Eau, Terre et Environnement

DEVIS DE RECHERCHE

PROGRAMME INTERUNIVERSITAIRE EN SCIENCES DE LA TERRE
(INRS-ETE – Université Laval)

Contrôles structuraux et tectoniques régionaux des indices de minéralisation de type oxydes de fer à cuivre-or, métaux de base et autres styles de minéralisations dans la Province de Grenville, au sud-ouest du Québec.

Grégory DUFRÉCHOU

Directeur et codirectrice de recherche :
Lyal Harris (INRS-ETE)
Membre de l'ordre des géologues de Québec

Louise Corriveau (CGC)

U AU MRNF
2010
1067254

Table des Matières

1 Introduction 4
1.1 Problématique 4
1.2 Application sociétale de cette recherche 4
1.3 Organisation du devis de recherche 5
2 Généralités 5
2.1 Responsables du projet 5
2.2 Financements 6
2.2.1 Financement de l'étudiant : 6
2.2.2 Financement des activités de recherche 6
2.3 Projet Parallèle 6
3 Relations entre les accidents crustaux ou lithosphériques et les zones minéralisées et correspondance avec les linéaments 7
4 Les gîtes de type oxydes de fer à cuivre-or (IOCG) 10
4.1 Description des IOCG 10
4.2 Importance des structures dans la minéralisation 14
4.2.1 Contrôles tectoniques : 14
4.2.2 Les structures hôtes de la minéralisation : 17
4.3 Géophysique des IOCG 19
5 La Province de Grenville 21
5.1 Définition du « cycle orogénique Grenvillien » et des orogénies impliquées dans la formation de la Province de Grenville 21
5.2 Contexte géologique de la Province de Grenville 22
5.3 Histoire Géotectonique de la Province de Grenville 23
5.4 Contexte géologique de la Ceinture Métasédimentaire Centrale au Québec 25
5.5 Le potentiel en ressource minérale de la Province de Grenville 31
5.5.1 Exploitations 32
5.5.2 Spéculations 32
6 Problématiques et objectifs 34
7 Méthodologie 40
7.1 Traitement et intégration des données au sein d'un système d'Information géoréférencé 40
7.1.1 Données et logiciels utilisés 40
7.1.2 Données gravimétriques disponibles et filtres appliqués 40
7.1.3 Données aéromagnétiques disponibles et filtres appliqués 42
7.1.4 Données Radioactives 43
7.1.5 Superficie couverte par les données géophysiques 43
7.2 Étude de linéaments régionaux 43
7.3 Mesures géophysiques 44
7.4 Travaux de terrain 44
7.4.1 Recherche préliminaire de zones minéralisées 44
7.4.2 Cartographie et étude structurale 45
7.4.3 Échantillonnage 45
7.5 Étude des échantillons en laboratoire 45

7.6 Modélisation analogique de structures ou de contextes géologiques liés à la réactivation de structures profondes du socle et de la mise en place de minéralisation 46
8 Travaux entrepris/en cours 47
8.1 Les cours suivis 47
8.2 Compilation des données 47
8.3 Campagne de terrain 2006 47
8.3.1 Sécurité 47
8.3.2 Projet Cabonga 48
8.3.3 Projet Bondy 49
9 Échéancier/travaux futurs 50
10 Conclusion 51
Références bibliographiques 52

1 Introduction

1.1 Problématique

Depuis 1975, avec la découverte du gisement géant à U-Cu-Au-Ag-ETR d'Olympic Dam (Roberts & Hudson 1983) en Australie méridionale avec des réserves (au 31 décembre 2004) de 761 millions de tonnes à 1.5% Cu, 0.6 kg/tonne U_3O_8 et 0.5 g/tonne Au (BHP Billiton 2006), l'intérêt pour les dépôts associés aux oxydes de fer s'est développé dans le monde entier. Ce n'est qu'en 1992 que Hitzman et al. définissent une nouvelle classe de minéralisation découlant du gisement d'Olympic Dam : les dépôts de type oxydes de fer à cuivre-or, communément appelés IOCG (Iron Oxide-Copper-Gold). Ces dépôts sont caractérisés par un contrôle structural important, autant à l'échelle locale que régionale. L'étude et la recherche des gîtes IOCG sont étroitement liées aux études de linéaments géophysiques qui sont considérés comme une possible manifestation de ce contrôle structural (O'Driscoll 1985, O'Driscoll 1986, Malcolm 2005). Actuellement, de nombreux terrains potentiellement prospectifs (contexte tectonique favorable, altérations diagnostiques de systèmes oxydes de fer à cuivre-or...) sont restés sous évalués et sous explorés comme par exemple les terrains gneissiques du Bouclier canadien et en particulier la Province de Grenville (Corriveau et al. 2007). Pourtant, à l'échelle mondiale, les terrains précambriens de haut grade métamorphique, à dominance felsique, sont considérés comme des cibles importantes car ils renferment de nombreux gisements métallifères associés à des contextes volcano-plutoniques (gîtes de type oxydes de fer à cuivre-or, sulfures massifs volcanogènes, épithermaux, porphyres) (Bonnet & Corriveau 2007).

Ce projet de doctorat propose vérifier le rôle de structures crustales ou lithosphériques, à l'échelle régionale, sur le contrôle et la répartition de ces indices de minéralisation connus, qu'ils soient de type IOCG ou autres. Il permettra également de réévaluer un contexte minéralisé local ayant un potentiel en terme de minéralisation de type oxydes de fer à cuivre-or : le complexe gneissique de Bondy. Ce dernier correspond à des terrains gneissiques de haut grade métamorphique, inhabituels et délaissés pour la recherche de gisements et permettra de déterminer quelles peuvent être les implications structurales liées à formation de zones minéralisées dans ce type d'environnement.

Ainsi, l'aspect structural sera prépondérant lors de cette étude que ce soit à l'échelle régionale ou locale. Ce projet tentera de déterminer la nature et la chronologie relative, par rapport aux événements déjà documentés, des structures sur le terrain correspondant aux linéaments interprétés à partir des données géophysiques. Il essaiera également de déterminer la chronologie relative de la minéralisation par rapport au métamorphisme et à la déformation, les implications structurales dans la formation de zones minéralisées, ainsi que les possibles remobilisations de celles-ci.

1.2 Application sociétale de cette recherche

Il existe en ce moment une demande croissante en matières premières mondiales, principalement due à l'émergence de pays comme la Chine ou l'Inde qui sont en pleine expansion économique. De plus la société canadienne est confrontée à un déclin important du nombre de mines actives et du taux de découvertes de gisements des métaux

de base et précieux (The Northern Miner 2006). Une possibilité pour remédier à cette situation est de diversifier l'exploration et de se tourner vers des régions moins conventionnelles pour pouvoir répondre à la demande croissante et pérenniser l'économie minière au Québec. La diversification de l'exploration signifie souvent cibler des terrains gneissiques et granitiques, pour lesquels les connaissances géoscientifiques modernes peuvent être limitées. La nouvelle vague de recherche au Québec est incitée par de récents succès comme les découvertes des dépôts de Kwyjibo (oxydes de fer – Cu – terres rares - U) (Gauthier et al. 2004) dans la Province de Grenville et le dépôt d'or d'Éléonore à la baie James (Archer et al. 2004, Virginia Gold Mines Inc 2005), ainsi que par l'élargissement des cibles potentielles à partir des levés gouvernementaux (Clark 2003, Gobeil et al. 2003, Corriveau & Bonnet 2005, Corriveau & Clark 2005).

Ainsi ce projet doctoral propose d'étudier une nouvelle stratégie de localisation et d'identification des contrôles structuraux des indices de minéralisation pouvant s'apparenter aux oxydes de fer à cuivre-or, dans des terrains de haut grade métamorphique du sud-ouest de la province de Grenville. Les conclusions permettront de mieux comprendre les relations entre la minéralisation et les évènements orogéniques grenvilliens de cette région. Cette étude proposera une redéfinition d'aspects cruciaux sur les facteurs qui contrôlent la localisation, la synchronisation et le comportement de la minéralisation dans les terrains de haut grade métamorphique. Ainsi, les résultats et les conclusions obtenus durant cette recherche pourront être réutilisés pour servir de base à de futures campagnes de prospection de gisements dans la Province de Grenville. Ils pourront également avoir des répercussions pour l'exploration dans des terrains de haut grade similaires partout dans le monde.

1.3 Organisation du devis de recherche

Ce document vise à présenter le projet entrepris ainsi que les différentes dispositions employées pour sa réalisation. Il présente ainsi dans un premier temps l'importance des structures crustales sur la formation de zones minéralisées en général, les dépôts de type oxydes de fer à cuivre-or et le contexte géologique de la Province de Grenville. Puis par la suite les problématiques détaillées de ce projet, ainsi que les moyens mis en œuvre pour leurs résolutions seront décrits. Il présentera, pour finir, succinctement les travaux déjà effectués dans le cadre de cette étude, ainsi que ceux à venir.

2 Généralités

2.1 Responsables du projet

Le projet de doctorat décrit dans ce devis se déroule au sein de l'Institut National de la Recherche Scientifique, centre Eau, Terre et Environnement (INRS-ETE) à Québec. Les enseignants et chercheurs impliqués dans le déroulement et la supervision de cette étude sont :

- **Lyal HARRIS** professeur à l'Institut National de Recherche Scientifique (INRS-ETE).

- **Louise CORRIVEAU** chercheure à la Commission géologique du Canada (CGC), professeure associée à l'INRS-ETE.

Les géologues d'exploration de *Richmond Minerals Inc* et *Limestone Basin Exploration Ltd.*, en particulier **Mitchell Lavery** (participation continue) et **Gordon Henrickson** (campagne de terrain été 2006) ont fourni l'aide pratique.

2.2 Financements

2.2.1 Financement de l'étudiant :

Ce projet de recherche appliquée est financé par :

- La compagnie *Limestone Basin Exploration Ltd*, filiale de *Fort Chimo Ltd*, pour laquelle *Richmond Minerals Inc* est le partenaire opérateur, au travers d'un contrat avec l'*INRS-ETE* : financement de la recherche de terrain et du laboratoire et paiement d'un supplément de bourse.
- l'*INRS-ETE* : bourse doctorale.

Dans le cadre de notre partenariat, un compte rendu de nos activités devra être envoyé mensuellement à la compagnie *Richmond Minerals Inc* afin de pouvoir créer une synergie industrie-université dont les deux parties seront bénéficiaires. Ainsi, nous pourrons, par exemple, bénéficier des expertises de la compagnie, de leurs diverses données pouvant être mises à notre disposition (résultats d'analyses chimiques, levé champ magnétique total…), et de même, nous pourrons leur proposer de nouveaux outils de compréhension, de traitement, et l'utilisation des moyens analytiques que nous avons à disposition à l'Institut National de la Recherche Scientifique à Québec.

Cette collaboration implique également une période de confidentialité de 6 mois, après que les compagnies impliquées aient eu accès aux données et aux résultats du projet.

2.2.2 Financement des activités de recherche

Les coûts associés à la recherche, comme le coût des campagnes de terrain, les frais de modélisation liés à l'utilisation de la centrifugeuse et du scanner et l'analyse des échantillons seront entièrement pris en charge par les compagnies partenaires.

2.3 Projet Parallèle

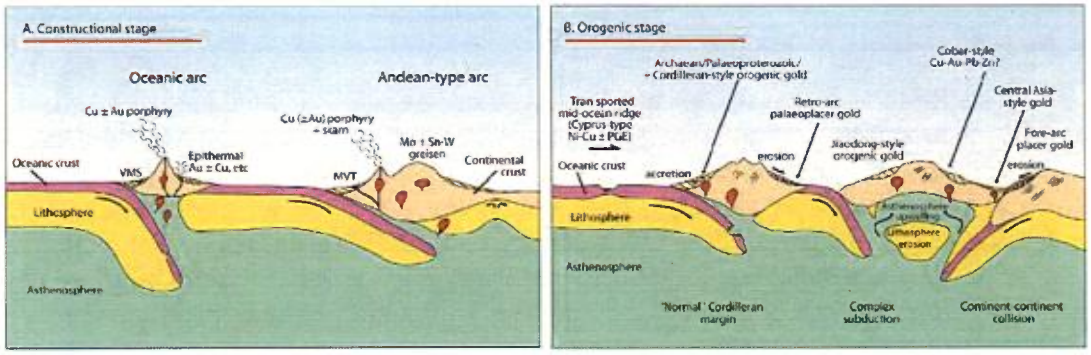
Dans l'intérêt d'approfondir pleinement le sujet, un second étudiant, M **Vladimir Antonoff** entreprendra une étude complémentaire à celle présentée dans ce devis, basée sur une approche pétrologique et géochimique. Cette thèse traitera de la pétrologie des indices de minéralisation et des systèmes d'altération dans le complexe gneissique de Bondy. Elle abordera également les effets du métamorphisme sur les zones d'altération et de la minéralisation précoce. La partie préparation au terrain, terrain, gestion des échantillons, préparation pour analyses…etc. sera effectuée en collaboration avec ce dernier

3 Relations entre les accidents crustaux ou lithosphériques et les zones minéralisées et correspondance avec les linéaments

Les structures de type crustale, jouent un rôle très important dans les systèmes de minéralisation épigénétiques, car elles guident le passage des fluides, conditionnent l'interaction entre les fluides et la roche encaissante, et influencent la précipitation des métaux économiques. Le contrôle structural est donc présent dans la formation de nombreux gisements, et favorise également le piégeage des métaux pour former des zones minéralisées.

L'existence d'accidents crustaux ou lithosphériques est un facteur prépondérant pour la formation, la localisation et l'identification de zones minéralisées. L'histoire tectonique d'une marge convergente et ses différents stades, la formation d'arc océanique et continentaux, la période d'accrétion/collision et la phase orogénique finale ou période post orogénique sont associées à de grands accidents crustaux. Tous les stades d'une marge convergente favorisent le développement d'une très large gamme de gîtes. L'histoire d'une marge convergente est donc propice au développement d'une minéralisation riche et variée associée à des structures profondes dont les dépôts de type oxydes de fer à cuivre-or (Hitzman 2000a). Groves et Bierlein (2007) ont ainsi effectué une synthèse des principaux types de dépôts associés à une marge convergente en y distinguant trois stades d'évolution avec leurs types de gisements propres (

Figure 1), où un grand nombre de dépôts peut donc exister et être en relation avec des structures crustales. Les dépôts classiques d'arcs continentaux ou océaniques sont les gisements de type porphyriques Cu-Au Mo qui résultent du processus de subduction (Sinclair 2007). Les dépôts d'arcs océaniques ont tendance à être plus riches en or qu'en contexte continental, on y retrouve les dépôts épithermaux sulfurés Cu-Au-Ag qui semblent représenter la portion supérieure du système porphyrique (Groves & Bierlein 2007). Les dépôts de sulfures massives volcanogènes (SMV) de Cu-Zn-Pb (±Au-Ag-Ba) se forment en contexte tectonique extensionnel, dans des environnements volcaniques marins, au niveau de rides océaniques ou de zones de subduction. Les dépôts SMV Archéens à Cénozoïques connus semblent tous s'être formés en contexte de marge convergente (Galley et al. 2007).



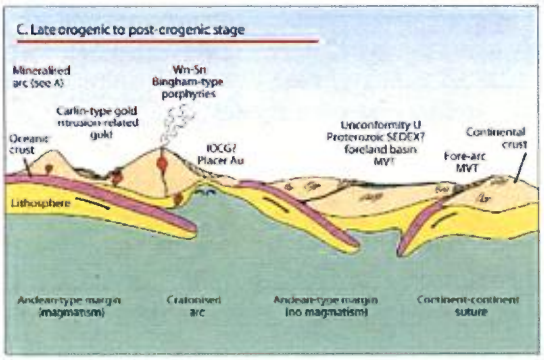


Figure 1 : Représentation schématique montrant la large gamme de dépôts formés en contexte de marge convergente. Les types de dépôts sont présentés à l'intérieur des contextes suivant : A. stade de construction, associé avec des arcs magmatiques de type océanique et continental (Andin); B. stade orogénique, correspondant à l'accrétion des terrains présents dans le stage de construction; C. stade orogénique tardif et post-orogénique. Les flèches au dessus de la croûte en subduction représentent les vecteurs du mouvement de la croûte en réponse au plongement subvertical de la lithosphère océanique (Groves & Bierlein 2007).

La phase de minéralisation, dans une ceinture orogénique, se produit le plus souvent en contexte extensif à la fin de la période collisionnelle, ou des périodes collisionnelles si l'orogène en a subi plusieurs, (Sillitoe 1997). Des épisodes extensionnels peuvent également exister dans les trois stades d'une marge convergente associés à des épisodes de minéralisation, tels que décrit par Groves et Bierlein (2007). L'effondrement qui se produit dans les ceintures orogéniques résulte d'une délamination lithosphérique qui provoque un amincissement de la lithosphère (Dewey 1988, Platt & Vissers 1989) ou du détachement d'une partie de la croûte froide en subduction (Charlton 1991, Fig. 2; de Boorder et al. 1998). Dans chacun des cas, la montée de l'asthénosphère à des niveaux peu profonds augmente le flux de chaleur dans la lithosphère continentale, ce qui génère du magma mafique et felsique, et augmente la migration de fluide dans la croûte provoquant des conditions favorables au développement de zones minéralisées (de Boorder et al. 1998). La présence d'un biseau de magma entre de la croûte en subduction et la croûte chevauchante semble également contribuer à l'apport de fluides enrichis dans des niveaux peu profonds (Sillitoe 1997). La présence de discontinuités, perpendiculaires à la direction de l'orogène, dans la croûte en subduction semble également très importante et favorise la remonté de fluide et de magma.

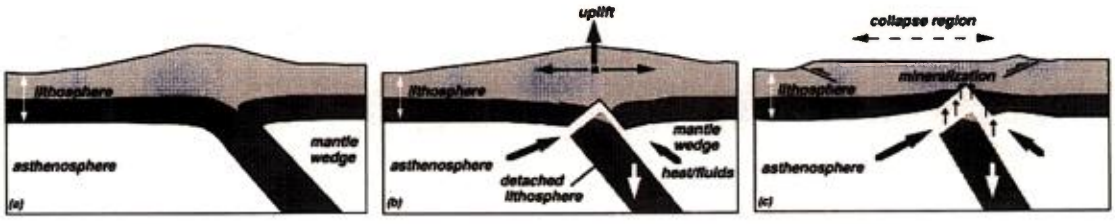


Figure 2 : Représentation schématique de l'hypothèse suivant laquelle l'affaissement régional et la formation de zones minéralisées sont causés par le détachement d'une partie de la croûte en subduction. (a) Épaississement de la ceinture orogénique en contexte collisionnel, subduction d'une partie de la croûte. (b) Stade précoce de détachement de la croûte en subduction. La croûte se casse

et commence à s'enfoncer dans le manteau, ce qui provoque une surrection et un épaississement de la ceinture, du matériel asthénosphérique commence à monter dans la partie laissée vacante par la croûte (la profondeur de fracture est contrôlée par la température et la rhéologie de la lithosphère (Wong et al. 1997)). (c) L'affaissement de l'orogène est l'ascension de fluides et de magmas (de Boorder et al. 1998).

L'étude des linéaments géophysiques est communément utilisée en géologie et semble être une méthode adéquate pour localiser et caractériser les failles et accidents d'échelle crustale, récents ou anciens, qui sont impliqués dans la formation de gisements. Ainsi, comme le montre la Figure 3, la découverte du dépôt référence de type IOCG d'Olympic Dam en Australie est essentiellement basée sur l'interprétation tectonique de linéaments régionaux (O'Driscoll 1985, O'Driscoll 1986, Lalor 1987, O'Driscoll & Boucher 1998).

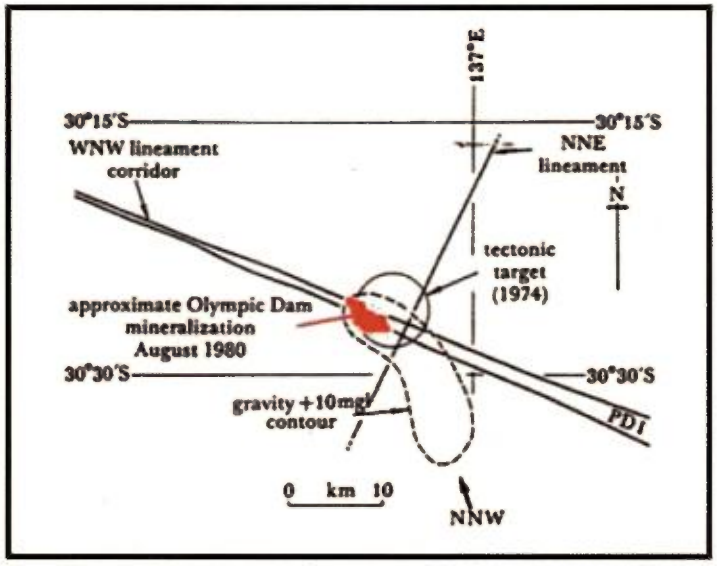


Figure 3 : Schéma représentant la correspondance entre linéaments et anomalie gravimétrique pour le gisement d'Olympic Dam. Le gisement est situé dans une anomalie gravimétrique, à proximité de l'intersection de linéaments régionaux nord-nord-est et ouest-nord-ouest (O'Driscoll 1986)

Les accidents profonds et actifs durant une longue période ou réactivés plusieurs fois pendant des événements tectoniques différents, semblent être particulièrement favorables. Crafford et Grauch (2002), dans l'état du Nevada aux États-Unis, décrivent ainsi la relation entre une zone de failles crustales et actives durant une longue période et la présence de dépôts d'or de classe mondiale. Cette zone de failles majeures formée durant une phase de rifting protérozoïque, a été réactivée et modifiée durant le tectonisme paléozoïque. Des épisodes extensionnels ont été associés à la migration de fluides de source profonde enrichis en or, qui ont formés des gisements dans les roches sédimentaires. Crafford et Grauch (2002) concluent que ces structures exercent un contrôle fondamental sur la minéralisation et sont parfaitement identifiables grâce aux linéaments gravimétriques et aéromagnétiques. Chernicoff et al. (2002) établissent la relation entre différents dépôts minéralisés dans le nord-ouest de l'Argentine avec des linéaments géophysiques déterminés à partir de données aéromagnétiques. Ces

linéaments coïncident avec des zones de déformation actives durant une longue période, et marquent la limite entre différents terrains. De plus, cette étude montre que la localisation des centres magmatiques et hydrothermaux se situe à l'intersection de zones de linéaments majeurs, et que ces secteurs ont favorisé la remonté de magma lorsque ces structures étaient actives en transtension ou en transpréssion.

Les zones d'intersection de chevauchements parallèles à l'orogène avec des structures, souvent d'origine indéterminée, formant un angle important voir perpendiculaire à l'orogène semble également favorable à la formation de zones minéralisées. L'utilisation de linéaments propose une solution pour cibler ce genre d'intersections, particulièrement si les structures perpendiculaires sont anciennes et peu ou non observables en surface. C'est le cas en Nouvelle-Guinée où plusieurs dépôts cuivre-or sont localisés à l'intersection de linéaments perpendiculaires et parallèles à la direction générale de l'orogène, à l'intérieur ou à proximité de la ceinture orogénique. Les linéaments transversaux, dans ce cas, semblent être des failles de transfert qui pourraient refléter une réactivation de socle ou alors une faiblesse lithosphérique (Gow et al. 2002, Hill et al. 2002). De plus Garwin (2000, 2002) a documenté en Indonésie un exemple d'intersection de structures dont l'origine des linéaments n'est pas toujours claire. Dans cet exemple, il semble qu'il existe une zone d'augmentation de perméabilité, marquée par l'intersection des linéaments parallèles et perpendiculaires à la marge, et qui facilite l'ascension rapide de magma dans les niveaux supérieurs de la lithosphère.

4 Les gîtes de type oxydes de fer à cuivre-or (IOCG)

4.1 Description des IOCG

Les gîtes d'oxydes de fer à cuivre-or correspondent à des gîtes hydrothermaux, décrits par Hitzman et al (1992). Ils appartiennent à la famille des gisements d'oxydes de fer qui se divise en deux principaux groupes :

- Les gisements monométalliques : riches en fer (magnétite-hématite), accompagnés de quantité variable d'apatite et/ou d'actinote, de calcite et de diopside.
- Les gisements polymétalliques (IOCG) : caractérisés par des contenus sub-économiques à économiques en Cu, U, Au, Ag, Co, ou terres rares. Ces gisements sont associés à des systèmes d'altération potassique et séricitique.
- Des catégories intermédiaires, économiques ou non, existent.

La reconnaissance de ces dépôts fut confirmée par une série de découvertes économiquement viables, après celle d'Olympic Dam, telles que celle de Candelaria (Marschik & Fontboté 2001) au Chili, Ernest Henry (MIM Holding 2007) en Australie, ainsi que de nombreuses petites exploitations principalement dans le district de Cloncurry dans la province de Mont-Isa, Australie, et autour d'Olympic Dam (Williams et al. 2005).

La nature des dépôts reste encore très discutée car si globalement le type de minéraux caractéristiques semble commun entre tous les gîtes IOCG, l'origine, la répartition, la roche encaissante et le contexte de formation semblent très variés (Hitzman et al. 1992, Hitzman 2000a, Gandhi 2003, Williams et al. 2005, Corriveau 2007). Les dépôts IOCG sont encore classés par un nombre important de sous-classes (Figure 4). Néanmoins, ils semblent formés en grande majorité par le même processus génétique de

différentiation magmatique et d'altération hydrothermale au travers du mélange de fluides profonds, magmatiques et chauds (Haynes et al. 1995, Chiaradia et al. 2006) avec d'autres fluides hydrothermaux dérivés du métamorphisme, de saumures ou d'eau météorique et spatialement liés à des structures crustales (Pollard 2000, Gandhi 2003). L'origine des fluides hydrothermaux chauds semble être liée à la mise en place de magma mafique en profondeur, associée à des événements tectoniques importants (Barton & Johnson 2000). L'intrusion de magma mafique, avait premièrement été expliquée par la présence d'une plume mantellique (Oliver et al. 1991), ou la subduction d'une ride océanique (Tornos & Casquet 2005). L'élévation du gradient géothermal par extension et amincissement de la lithosphère (Haynes et al. 1995) a également été évoqué pour expliquer la présence d'une source de chaleur en profondeur. Les dépôts découverts, sont d'âge varié, allant de la fin de l'Archéen (ex: Salobo, Brésil, 2.58 Ga; Requia et al. 2003), jusqu'au Pliocène (ex: El Laco, Chili; Mathur et al. 2002). Cependant le Paléo- et le Mésoprotérozoïque semblent être les périodes les plus favorables à la formation des gîtes (

Figure 5).

Globalement les dépôts sont dominés par la magnétite et l'hématite, ils sont déficients en sulfures. On les retrouve accompagnés d'une quantité variable d'or, de cuivre et sont habituellement enrichis en Terres Rares, Cobalt et Nickel, la présence d' U, d'As, Mo et Te, est également possible (Hitzman 2000a). Dans le détail, les phases de minéralisation varient considérablement suivant les dépôts, les minéraux majeurs sont : l'hématite, la magnétite, la bornite, la chalcopyrite, la chalcocite et la pyrite. Les nombreux minéraux secondaires possibles ont été compilés et sont consultables dans les revues faites par Ray et Lefebure (1999) et Corriveau et al. (2007).

La roche hôte des dépôts IOCG est généralement fortement altérée. La minéralogie des zones de dépôts, dépend de la nature de la roche encaissante et de la profondeur de formation. Trois principaux types d'altération sont associés aux IOCG : calcosodique (ou sodique) en profondeur, potassique pour les niveaux intermédiaires à profonds et séricitique pour les niveaux peu profonds (Figure 6) (Hitzman et al. 1992, Hitzman 2000a).

L'altération calcosodique (Ca-Na) est proximale de la source des fluides et d'échelle régionale. Elle correspond à un fort enrichissement en sodium et calcium et à des pertes en potassium et fer, allant d'une forte albitisation, jusqu'à un assemblage composé de calc-silicates et de felspaths alcalins avec plus ou moins de sulfures de fer et de cuivre et de différents assemblages incluant l'albite, l'actinolite, la magnétite, l'apatite et l'épidote (Skirrow & Walshe 2002).

L'altération potassique est distale de la source de fluides et se superpose à l'altération sodique en périphérie. Les minéraux communément formés et dominant l'assemblage sont les feldspaths potassiques et/ou la biotite et la séricite. L'altération potassique est généralement locale et couplée à la phase de minéralisation en cuivre et des sulfures.

L'altération séricitique se caractérise par la formation de séricite, incluant la formation de différentes espèces de micas blancs à grains fins. L'altération est généralement accompagnée de pyrite, chlorite en présence de magnésium, rutile en trace titanite et autres minéraux accessoires.

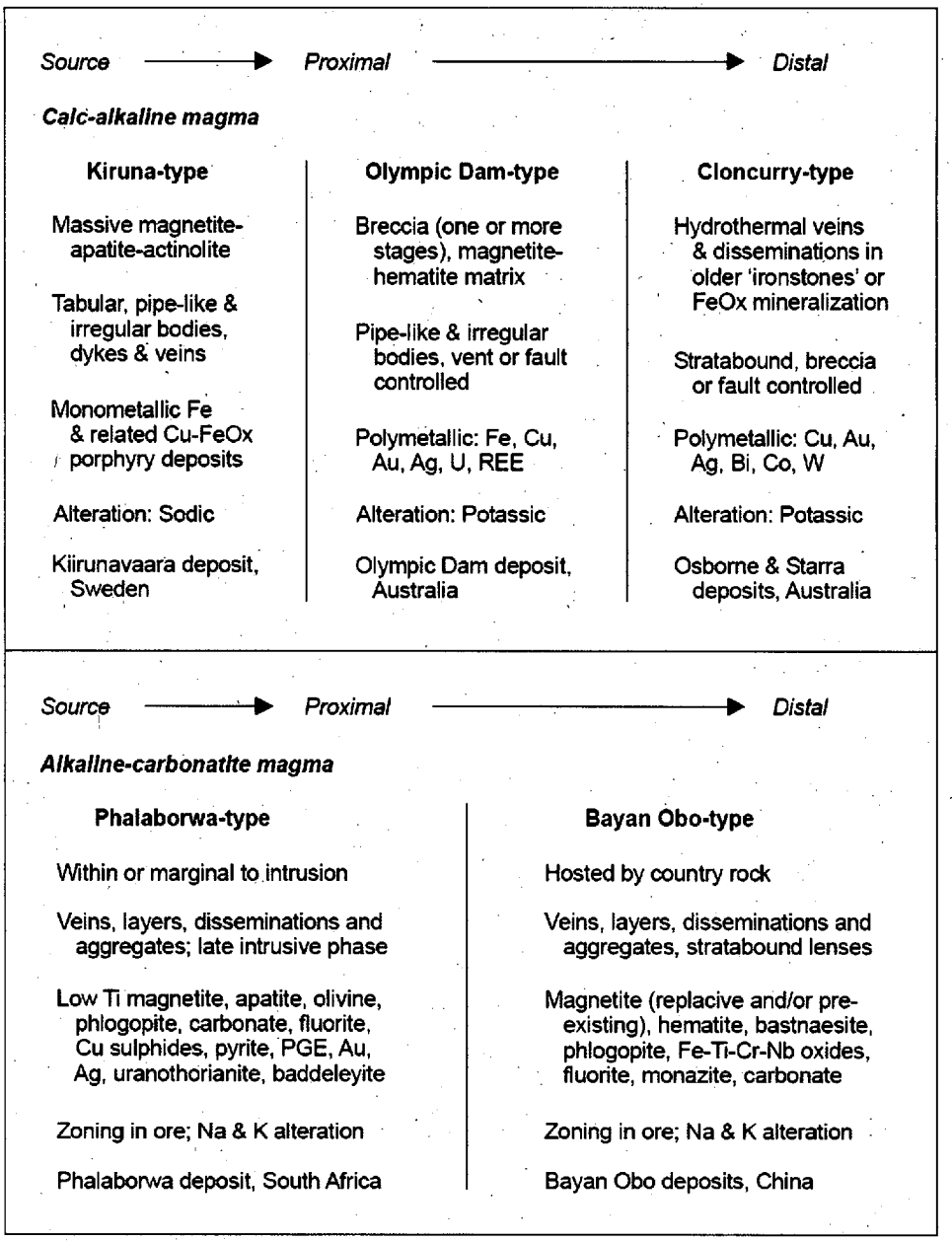


Figure 4 : Classification des différents dépôts de type oxydes de fer à cuivre-or, selon Gandhi (2003)



Figure 5 : Répartition de l'âge de formation des principaux gisements d'oxydes de fer à cuivre-or (Corriveau 2007).

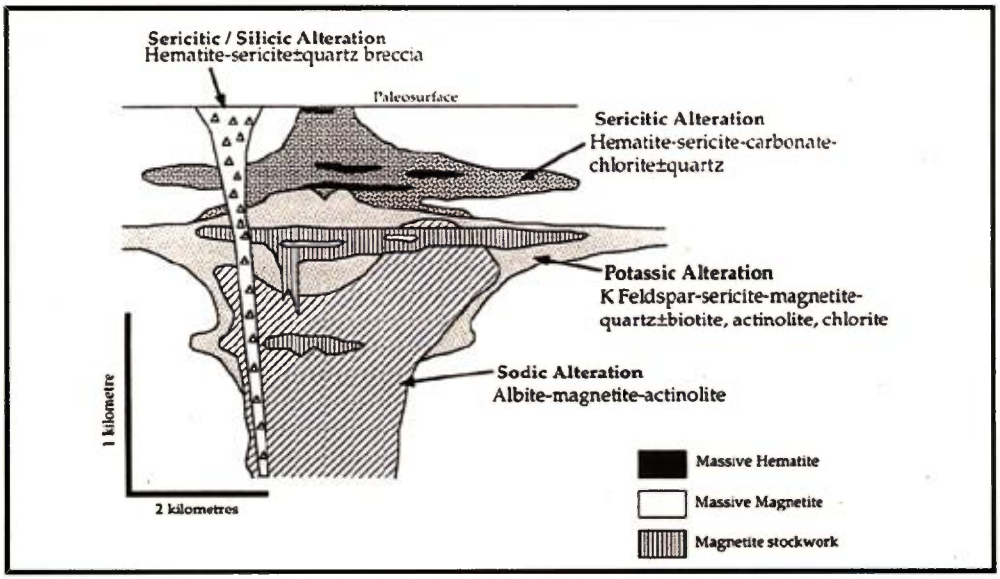


Figure 6 : Localisation des zones d'altérations sodiques, potassiques et séricitiques associés aux dépôts d'oxydes de fer à cuivre-or dans des roches volcaniques et plutoniques (Hitzman et al. 1992).

On retrouve localement, en addition à ces zones d'altération, un intense métasomatisme en Fer. La superposition des zones d'altérations rend plus difficile la reconnaissance des altérations antérieures. L'étude des systèmes hydrothermaux est importante pour la compréhension des dépôts IOCG et pour la découverte de nouveaux gisements. Le second doctorat effectué par M Vladimir Antonoff s'attardera plus longuement sur les problèmes des zones d'altérations liés aux IOCG.

La majorité des gisements de type IOCG se produit dans trois environnements géotectoniques (Hitzman 2000a):

- Les zones d'effondrement post-orogénique intracontinental ;
- Les zones de magmatisme anorogénique intracontinental;
- Les marges continentales actives associées à des zones de subduction, les arcs magmatiques continentaux et les bassins d'arrière arc.

Les marges de cratons archéens, où les arcs magmatiques se sont développés, semblent particulièrement fertiles (Groves & Vielreicher 2001). Bien que les dépôts se développent, communément, dans des niveaux crustaux peu profonds, les dépôts IOCG peuvent se mettre en place à des profondeurs allant jusqu'à 8.5 km (Kerrich et al. 2000), mais l'essentiel des dépôts se font entre 4 et 6 km (Hitzman 2000a). La majorité des dépôts sont spatialement et temporellement liés à des événements magmatiques importants. On les retrouve donc associés avec des plutons granitiques et dioritiques d'échelle importante (Sillitoe 1997, Pollard et al. 1998, Wyborn 1998, Pollard 2006), ainsi que de petits massifs intrusifs alcalin-carbonatite (Sillitoe 1997, Budd 2006).

4.2 Importance des structures dans la minéralisation

4.2.1 Contrôles tectoniques :

Le lien étroit entre les dépôts IOCG et les accidents crustaux provient premièrement de la nature profonde des fluides qui sont à l'origine de la minéralisation, mais également de leur association spatiale (Hitzman 2000a, Sillitoe 2003). Le développement de la minéralisation de type oxydes de fer à cuivre-or peut être antérieur à postérieur au contexte orogénique (Figure 7)(Gauthier et al. 2004, Skirrow 2004). Par exemple, la minéralisation peut être associée à la présence de chevauchements se développant durant l'assemblage et la collision de terrain (MacCready et al. 1998). Le modèle de Tornos et Casquet (2005) propose que du magma mafique dérivé du manteau interagit avec des roches métasédimentaires de la croûte supérieure et que le magma et les fluides hydrothermaux puissent se focaliser le long de chevauchements ou de décrochements majeurs (Figure 8).

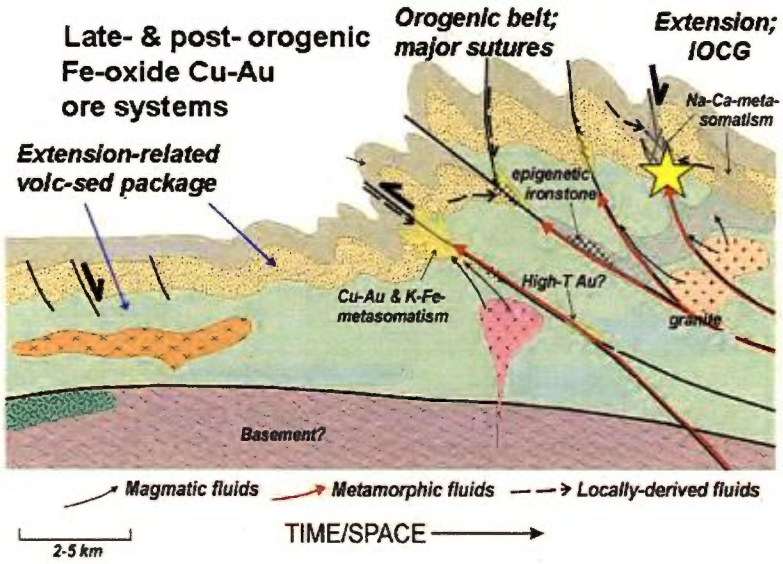


Figure 7 : Évolution des gisements d'oxydes de fer à cuivre-or en fonction du développement de l'orogène. Cette figure présente l'interaction entre les failles majeures d'un orogène et ces implications sur le développement et la localisation des zones de minéralisation, ainsi que le développement des massifs granitiques durant la croissance de l'orogène (Skirrow & Walshe 2002).

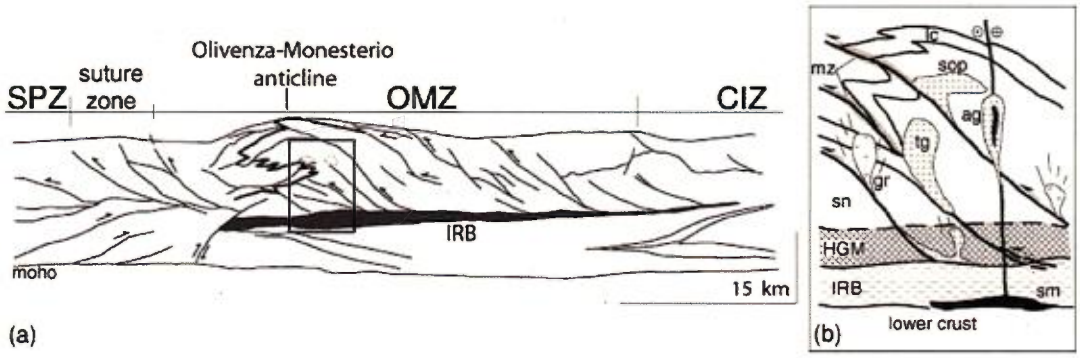


Figure 8 : (a) Coupe schématique de la Zone d'Ossa Morena (OMZ) et de la partie nord de la Zone Sud Portugaise (SPZ), sud-ouest Ibérique, déduites à partir de profil sismique, l'IRB représentant une couche de forte réflectivité interprétée comme un niveau de mise en place de magma mafique et étant à l'origine de la présence des fluides impliqués dans la formation d'IOCG; (b) Vue rapprochée sur un secteur clé de la coupe montrant les principales relations entre la minéralisation , le magmatisme, le métamorphisme et les structures tectoniques. IRB : niveau d'un complexe mafique ou ultra-mafique; sm : magma immiscible et riche en sulfure; HGM : zone de métamorphisme de haut grade (fort-T, faible-P); sn : roches silico-clastiques et volcaniques de la fin du Néoprotérozoïque-début Cambrien du socle Cadomien; lc : couverture sédimentaire du Cambrien Inférieur; tg : plutons tonalite-gabbro-(norite) avec des sulfures massives riches en Ni-(Cu) et des brèches; gr : famille de granites peralumineux et essaims de dykes; sop : Pluton de Santa Olalla; ag : pluton d'Aguablanca; mz : replacements hydrothermaux riches en oxydes de fer associés à de l'altération calco-sodique (Na-Ca) (Tornos & Casquet 2005)

Les exemples de l'association des gîtes de type IOCG et des accidents majeurs sont nombreux. Le gisement référence d'Olympic Dam est associé à une zone de failles à

double vergence, présentant des rampes à l'échelle crustale qui se prolongent jusqu'au Moho (Figure 9) (Drummond et al. 2006). Dans le district de Cloncurry en Australie, les gisements de Starra, Mount Elliot, Mount Dore et Kuridala sont localisés le long de la zone de cisaillement fragile-ductile majeure de Mount Dore (Rotherham et al. 1998). Les dépôts IOCG de Laurinoja et Vähäjoki (Eilu & Niiranen 2002, Eilu 2004) en Finlande ont été interprété par Eilu (2004) comme étant contrôlés par des zones de cisaillement extensionnelles développées durant un affaissement orogénique suivant une période de chevauchements développée durant l'accrétion d'arcs et de microcontinents. Silitoe (2003) décrit les dépôts côtiers de type IOCG au nord du Chili et au sud du Pérou comme étant associées à des zones de cisaillement extensionnel ou en transtension parallèle à l'arc (à la marge andine).

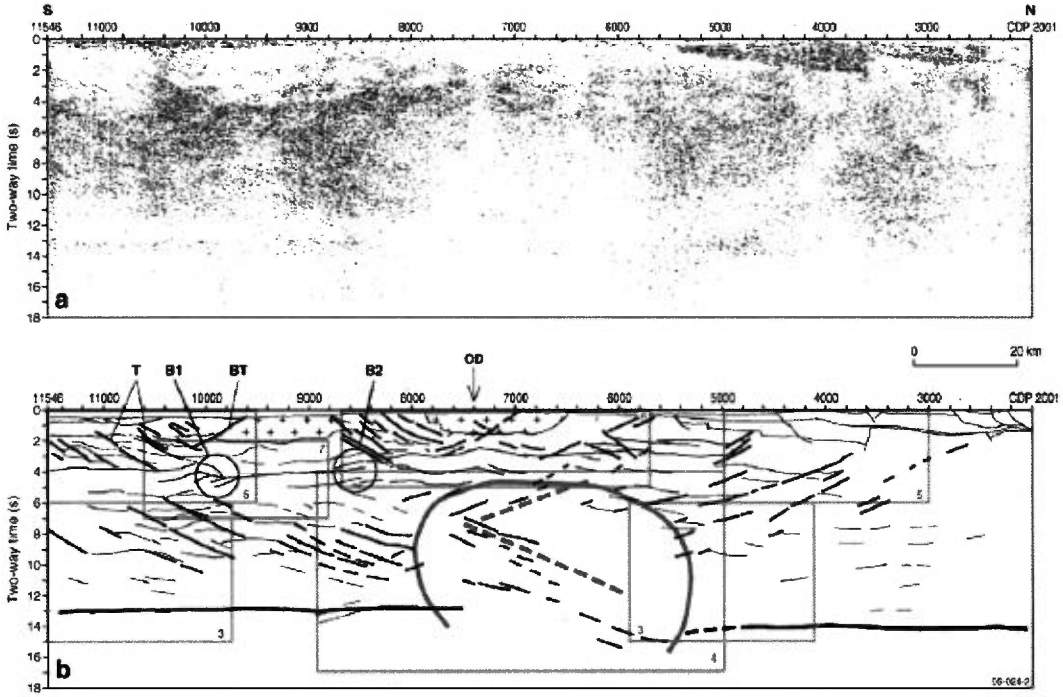


Figure 9 : (a) Données sismiques traitées de la principale ligne sismique N-S. (b) Coupe interprétative N-S d'Olympic Dam à partir de données sismiques montrant ce qui semble être un contexte orogénique à double vergence; T : chevauchements : BT: retro-chevauchement; B1 et B2 : duplexes dans la croûte moyenne; OD : dépôt d'Olympic Dam. La ligne grise épaisse montre la zone sans information, la ligne grise épaisse en pointillé montre la zone limite séparant la croûte du nord et la croûte du sud, la ligne noire marque le Moho. (Drummond et al. 2006).

Actuellement il semble que la réactivation de structures crustales chevauchantes en extension soit une des conditions majeures pour la genèse de gisements et en particulier de type IOCG (Hitzman 2000a). Cependant Drummond et al (2006) n'ont pas trouvé d'évidences de cette hypothèse pour le gisement d'Olympic Dam lors d'études sismiques. Un exemple de réactivation associée à des épisodes de minéralisation est la marge nord du craton Chinois du Nord en Asie où les multiples épisodes de minéralisation en or sont coïncidents avec des réactivations tectoniques épisodiques et associées au magmatisme le long de cette marge (Hart et al. 2002).

Les gisements se sont donc généralement mis en place en régime extensif (Haynes et al. 1995, Eilu 2004), des dépôts peuvent également se mettre en place en régime compressif à la fin d'une orogénie, mais ils sont systématiquement associés, à l'échelle du gisement à des structures en dilatation (Valenta 2000).

4.2.2 Les structures hôtes de la minéralisation :

La forme des gisements est complexe et habituellement contrôlée par la perméabilité le long de failles, des horizons favorables, ou des contacts avec des intrusions. Les corps minéralisés peuvent être classés suivant deux catégories : discordants ou concordants à la stratigraphie/disséminés (Hitzman 2000b, Faure 2003).

Les corps minéralisés discordants résultent d'injections et recoupent la stratigraphie sous formes de brèches, de pipes, de dykes, de veines, ou d'amas irréguliers. Ces structures ont des contacts généralement francs. Ils se mettent en place rapidement et témoignent généralement d'événements brusques ou violents. Ces systèmes sont communément polyphasés et peuvent atteindre plus de 1 km verticalement. Les dépôts du Missouri et en Afrique du Sud et les gîtes dans les Territoires du Nord-Ouest et du Yukon montrent des morphologies discordantes en forme de culots, de cheminées, de filons ou d'amas irréguliers auxquels sont associées des zones de brèches et des pegmatites (Gandhi 1992).

Les corps minéralisés concordants sont tabulaires et plutôt massifs, stratifiés, ou disséminés. Ils ont été formés par replacement (processus plus lent) le long de couches sédimentaires (grès, calcaires) ou volcaniques perméables (Faure 2003). Il existe cependant des zones d'injections discordantes dans tous les gisements tabulaires et concordants.

La variété des dépôts est exposée, dans les trois principaux districts miniers des IOCG australiens, où la minéralisation se présente sous des formes différentes (Figure 10). Dans le district de Tennant Creek, la minéralisation s'est mise en place le long du clivage principal (Skirrow & Walshe 2002), dans le district de Gawler Craton la minéralisation se trouve dans des veines associées au magmatisme régional de la suite Hiltaba (Budd 2006) et dans le district de Cloncurry la minéralisation est localisée dans un complexe de failles (Craske 1995, Twyerould 1997, Baker 1998, Williams & Pollard 2001) et la plupart des corps minéralisés sont localisés le long de corridor de failles régionales (Partington & Williams 2000).

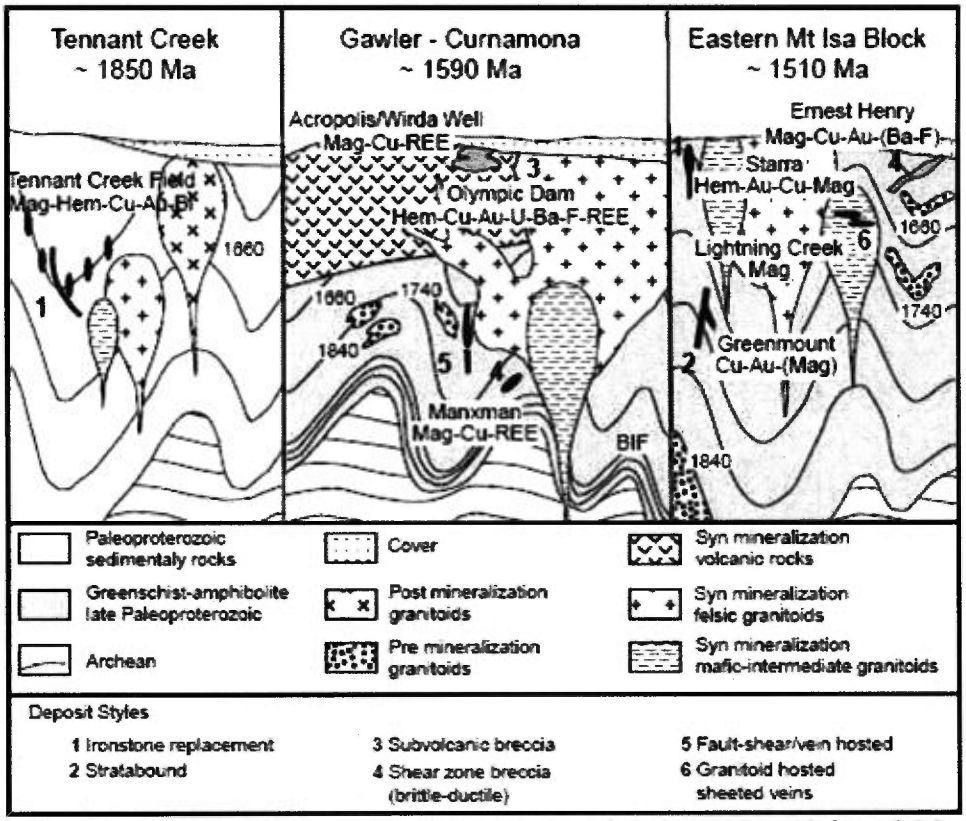


Figure 10 : Représentation schématique des contextes géologiques des dépôts IOCG et des granitoïdes associés dans les trois principaux districts Protérozoïques en Australie (Partington & Williams 2000)

Pour illustrer la diversité de mise en place des zones minéralisées, Partington et Williams (2000) ont défini les principaux pièges structuraux de la minéralisation. On retrouve les niveaux minéralisés dans des veines de remplissage de failles, à l'intérieur de veines parallèles aux plans de cisaillement, à l'intérieur de veines en échelons dans les zones de cisaillement, en replacement stratiforme ou en filons anticlinaux, dans des structures en dilatation liées à la fracturation, et dans des réseaux de fracturations contrôlés par le litage et les joints (Figure 11)

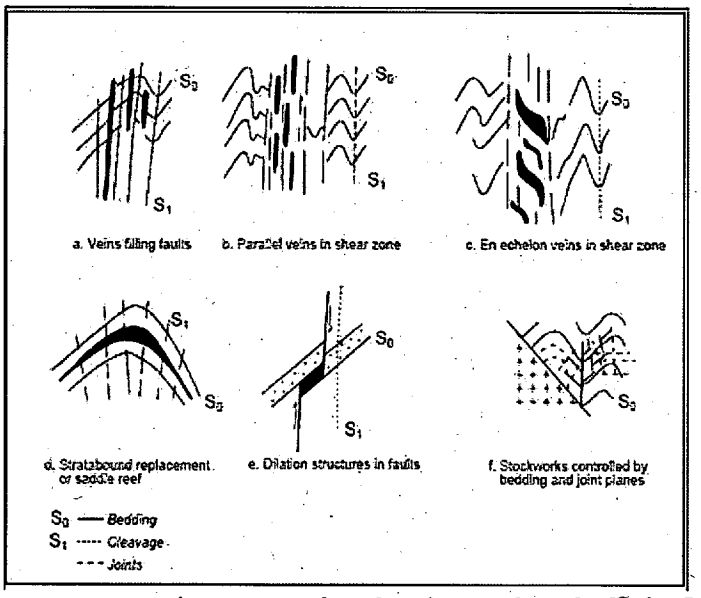


Figure 11 : Structures communes intervenant dans la mise en place de dépôts IOCG. a. veines de comblement de faille; b. veines parallèles dans une zone de cisaillement; c. veines en échelons dans une zone de cisaillement; d. replacement stratiforme ou filons anticlinaux; e. structures de dilatation liées à la fracturation; f. stockworks contrôlés par le litage et les joints de plan. (Partington & Williams 2000).

4.3 Géophysique des IOCG

- Propriétés magnétiques : La magnétite est présente dans de nombreuses roches, en concentration et avec une taille de grains variables (Clark & Emerson 1991). La présence d'une quantité significative de magnétite est facilement reconnaissable en carte par une anomalie magnétique prononcée.

Les dépôts IOCG sont généralement associés avec de la magnétite à grains grossiers qui engendre une réponse magnétique. La présence de rémanence peut soit réduire ou augmenter la magnétisation effective, or les IOCG ont tendance à conserver une ancienne direction de rémanence (Clark 1997) qui peut donc faire varier l'intensité de leur signature. L'hématite ne provoque généralement pas de réponse magnétique. Cependant, si elle est à grains fins elle peut quelques fois avoir une magnétisation rémanente qui peut induire une anomalie magnétique. La présence dans les dépôts de type IOCG de l'hématite (martite) et la maghématite (peu/pas documenté associé aux IOCG) peut résulter de la destruction partielle de magnétite par des processus d'altération (Ohmoto 2003). La maghématite peut provoquer une réponse magnétique, mais ce phénomène reste relativement rare.

Parmi les sulfures, le seul qui présente une magnétisation significative à température normale est la pyrrhotite. Cependant la pyrrhotite n'est pas commune dans les IOCG et de ce fait les propriétés magnétiques de ce minéral n'ont pas de conséquences importantes. La chalcopyrite est paramagnétique, et a une susceptibilité magnétique de 30 à 40×10^{-5} SI. Elle ne contribue donc pas significativement à une réponse magnétique. L'or est faiblement diamagnétique et se retrouve généralement en très faible concentration, il ne contribue pas, non plus, significativement à une réponse

magnétique. La plupart des autres roches sont à la fois faiblement paramagnétiques et faiblement diamagnétiques. Donc la quasi-totalité des anomalies magnétiques observées, pour les IOCG, sont dues à la présence de magnétite, et à moindre mesure d'hématite (Smith 2002).

- Densité : Les zones minéralisées sont plus denses que les roches encaissantes, et par conséquence cela se manifeste par la présence d'une anomalie gravimétrique, coïncidente avec l'anomalie magnétique lorsque le dépôt est riche en magnétite. Des dépôts importants associés à de l'hématite sont donc difficiles à détecter par des méthodes géophysiques autre que la gravimétrie.

La plupart des roches, sont bien documentées au point de vue de leur densité. La densité des roches communes peut être estimée par leur composition minérale, mais en réalité la densité de chaque roche est assez variable à cause de différents facteurs dont la présence d'impuretés.

- roches ignées acides : 2.30-3.11 g/cm^3
- roches ignées basiques : 2.09-3.17 g/cm^3
- roches métamorphiques : 2.40-3.10 g/cm^3

Les roches contenant des minerais ont une densité plus importante, car les minéraux formant les corps minéralisés ont eux même une plus grande densité (Olhoeft & Johnson 1989).

- chalcopyrite : 3.6 g/cm^3
- or : 3.6 g/cm^3
- maghématite : 4.9 g/cm^3
- magnétite : 5.2 g/cm^3

Quelque soit le type de roches encaissantes ou présentes dans la région, les zones minéralisées sont plus denses, et par conséquence cela provoque la présence d'une anomalie gravimétrique. Les dépôts de type oxydes de fer à cuivre-or sont documentés comme étant systématiquement associés à une réponse gravimétrique, cette caractéristique fut un facteur important dans la découverte du gisement d'Olympic Dam.

- Radiométrie : L'altération potassique, associée à la minéralisation IOCG, est souvent accompagnée d'un appauvrissement en thorium, de ce fait les rapports K/Th et U/Th dans les études radiométriques aéroportées sont également utilisées pour déterminer la signature de l'altération. Cette approche, ne peut pas à elle seule permettre de localiser un gisement IOCG, mais elle est un bon complément de l'approche aéromagnétique et gravimétrique.
- Signature géophysique des IOCG : La minéralisation de type oxydes de fer à cuivre-or est associée à une anomalie gravimétrique, c'est le cas pour le gisement d'Olympic dam (O'Driscoll 1986, Lalor 1987). Elle se trouve également dans des secteurs où, généralement, l'activité magnétique est importante, c'est le cas entre autres des gîtes d'Olympic dam, d'Ernest Henry et de Candelaria (Haynes 2000, 2002). Bien que les dépôts se mettent en place, pour la majorité, dans des zones avec un relief magnétique significatif, le gisement n'est pas toujours coïncidant avec une anomalie plus discrète au sein du secteur magnétique. De ce fait, la superposition des anomalies gravimétriques et magnétiques semble un environnement de choix pour la recherche de gîtes IOCG. Néanmoins, certains gisements, où l'hématite est dominante, ne sont pas associés à une anomalie magnétique.

De façon générale, un gisement de type oxydes de fer à cuivre-or possède une réponse gravimétrique qui peut être, oui ou non associée avec une anomalie magnétique. La signature des dépôts IOCG est donc complexe, et tous les secteurs possédant des signatures géophysiques favorables à la présence de minéralisation ne seront pas associés à un dépôt. Il est important de tenir compte de la présence de structures majeures associées à des domaines gravimétriques et magnétiques pour localiser les secteurs les plus favorables (Hitzman et al. 1992, Hitzman 2000a, Smith 2002, Gandhi 2003).

5 La Province de Grenville

Province de Grenville est une ceinture orogénique, au sud-est du craton de la Province du Supérieur, de Nain, de Churchill et de Makkovik, qui a subi une série d'événements mésoprotérozoïques à néoprotérozoïques qui ont affectés une partie ou toutes les roches métamorphiques, sédimentaires et intrusives d'âge Archéenne et Paléoprotérozoïque (craton de supérieur remanié) à Mesoprotérozoïque. La Province de Grenville est considérée comme la racine profonde d'un orogène de type himalayen collisionnel (Dewey & Burke 1973, Rivers 1983, Davidson 1984, Windley 1986, Ludden & Hynes 2000b), toutefois la plupart de ces composants se sont formés dans des environnements géotectoniques de type andin, associés à des accrétions d'arcs magmatiques (Rivers 1997).

5.1 Définition du « cycle orogénique Grenvillien » et des orogénies impliquées dans la formation de la Province de Grenville

L'orogenèse Grenvillienne de 1.08 à 0.98 Ga (Gower & Krogh 2002), fait référence à la collision terminale continent-continent qui a abouti à l'orogène Grenvillien. L'évolution de la province remonte plus loin que cette collision, qui a emmené l'édification de la chaîne de montagne. Actuellement plusieurs autres orogénies sont connues à l'intérieur de la Province de Grenville : le Labradorien 1.71 à 1.6 Ga, le Pinwarien de 1.52 à 1.46 Ga, l'Elzévirien de 1.25 à 1.19 Ga, le Shawinigien de 1.19 à 1.14 Ga, l'Outaouais de 1.08 à 1.02 et le Rigolet de 1.00 à 0.85 Ga (Rivers et al. 2002). Les quatre dernières orogénies citées constituent ce qui fut défini comme le « cycle orogénique grenvillien » de 1.32 à 0.95 Ga par Moore et Thompson (1980) et Davidson (1995) et qui correspond à des événements tectoniques qui ont amené la formation finale de la province et qui ont affecté l'ensemble de ses composantes. Les différentes orogénies comprises dans « le cycle orogénique grenvillien » varient encore suivant les auteurs. Rivers (1997), n'inclut pas l'orogénie Elzévirienne au « cycle orogénique grenvillien ». Gower et Krogh (2002) l'étendent de l'orogénie Labradorienne 1.71 Ga jusqu'à 0.98 y incluant également les orogénies Wakehamienne 1.6 à 1.52 Ga, Pinwarienne 1.52 à 1.46 Ga, Elsoniennes 1.46 à 1.23 et l'Elzevirienne 1.23 à 1.18 Ga.

Dans ce devis de recherche, le « cycle orogénique grenvillien » correspond à la période 1.19 à 0.85 Ga et inclura le Shawinigien, l'Outaouais et le Rigolet. Les orogénies majeures qui seront abordées et qui précèdent cette période seront le Labradorien (1.71-1.6 Ga), le Pinwrarien (1.5-1.45 Ga), l'Elsonnien (1.45-1.25 Ga) et l'Elzevirien (1.25-1.19 Ga) (Rivers et al. 2002).

5.2 Contexte géologique de la Province de Grenville

La province du Grenville est divisée en deux principales ceintures d'empilements semi-continues, parallèles à l'orogène : la ceinture parautochtone et la ceinture allochtone (Figure 12) (Rivers et al. 1989). Ces deux ceintures sont subdivisées en de nombreux terrains, qui sont séparés par des zones de cisaillement actives durant et à la suite de l'assemblage. Les zones de cisaillements correspondent majoritairement à des chevauchements dont certains ont été réactivés en extension (Davidson 1984, Ketchum et al. 1998).

Une autre division possible pour la Province de Grenville est celle proposée par Rivers et al (2002), qui sépare la province suivant le degré de métamorphisme : la ceinture de Haute-Pression et la ceinture de Basse Pression. Cependant la division tectonique en domaine parautochtone et allochtone est préférée dans ce devis.

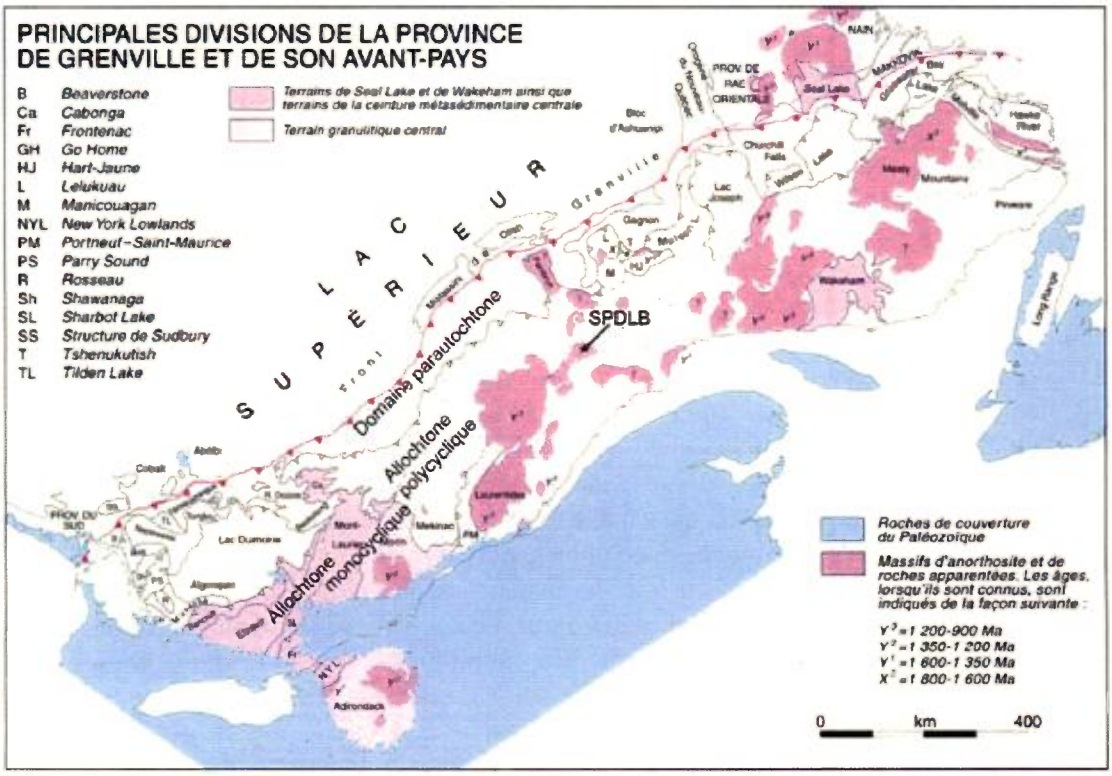


Figure 12 :Carte géologique régionale présentant les principales divisions de la Province du Grenville et de son avant-pays (Davidson 1998). Le domaine parautochtone correspond à la partie nord-ouest de la province, entre les zones de cisaillement. Les terrains roses et roses pâles correspondent à l'ancienne terminologie domaine allochtone monocyclique. Les terrains blancs sont ceux du domaine allochtone polycyclique. Les terrains rose foncé correspondent à des massifs anorthositiques et des roches apparentées.

<u>L'autochtone :</u>

L'autochtone tel que décrit par Rivers et al (1989) est constitué des roches archéennes des Provinces du Supérieur, de Nain, de Makkovik et de Rae, ainsi que des roches paléoprotérozoïques de la fosse du Labrador. Il n'appartient pas à la Province de

Grenville, mais correspond au craton Laurentia, stable, à la marge duquel la chaîne de montagne s'est formée et qui n'a pas été déformé ou métamorphisé d'une manière pénétrative pendant l'orogenèse grenvillienne.

La ceinture parautochtone :

La ceinture parautochtone . correspond à des terrains archéens et paléoprotérozoïques chevauchants qui ont été déformés et métamorphisés entre autres durant l'orogenèse Grenvillienne (Rivers et al. 1989) mais dans lequel leur parenté à l'allochtone est assuré. Les roches du parautochtone ont été chevauchées et renversées le long d'une série de zones de failles ductiles et fragiles qui coupent l'orientation des structures du craton Laurentia (Ludden & Hynes 2000a, Davidson 2001). Les suites intrusives et unités archéennes reprises durant l'orogenèse grenvillienne peuvent être considérées comme propre au parautochtone tant le métamorphisme et l'activité tectonique ont été importants, (Daigneault & Allard 1994) et les ont remaniés et différenciés de leurs formes pré-grenvilliennes. La limite nord-ouest de la ceinture parautochtone est le Front du Grenville et correspond à la frontière de la Province de Grenville avec les roches archéennes autochtones. Ce Front du Grenville, n'est pas une suture, mais est une structure majeure composée de chevauchements, de rampes et de failles renversées à l'échelle de la croûte et est localement associé avec des variations en profondeur du Moho (Carr et al. 2000, Martignole et al. 2000).

La ceinture allochtone :

Récemment encore la ceinture allochtone, regroupant des terrains paléo- et mésoprotérozoïques chevauchant sur la ceinture parautochtone, était subdivisée en deux domaines. La ceinture allochtone polycyclique, qui a subit plus d'un cycle orogénique et la ceinture allochtone monocyclique qui n'aurait subi que l'orogenèse grenvillienne (Rivers et al. 1989). Cependant les dernières études démontrent que les roches de la ceinture allochtone monocyclique sont elles aussi polycycliques et constituées d'assemblages supracrustaux d'âges variés avec des composantes grenvilliennes et d'autres plus vieilles jusqu'à l'orogenèse Pinwarien dans le sud-ouest de la Province (Wodicka et al. 2004) et Labradorienne pour le nord-est (Gower & Krogh 2003).

La ceinture allochtone a été largement construite au travers d'évènements magmatiques de la fin du Paléoprotérozoïque et du Mésoprotérozoïque le long de la marge laurentienne. Ces roches ont été impliquées dans des orogenèses pré-Grenvilliennes. La limite entre la ceinture allochtone et la ceinture parautochtone est marquée par une zone de chevauchements majeure, parallèle à l'orogène, la Limite Chevauchante Allochtone.

5.3 Histoire Géotectonique de la Province de Grenville

Une série d'orogenèses accrétionnaires pré-Labradoriennes (orogenèse Pénokéenne, Makkovikienne et Kétilidien), entre 1.9 et 1.79 Ga, ont abouti à la création du continent Laurentia, qui forme une bonne partie de l'Amérique du Nord actuelle. C'est à partir de 1.8 Ga jusqu'à 1.24 Ga que la Province de Grenville se construit au travers d'arcs continentaux de type andin, de magmatisme intracontinental d'arrière-arc et d'accrétions latérales d'arc magmatique (Rivers 1997, Gower & Krogh 2002). Les traces

des évènements Pré-Labradorien se retrouvent dans la partie Est de la Province de Grenville à l'intérieur et au sud du Parautochtone (Gower & Krogh 2003), mais sont limitées au Parautochtone dans l'ouest de la Province (Ketchum & Davidson 2000). Suite à cette période d'accrétion, entre 1.79 et 1.75 Ga, une partie de la croûte Sud-Est de Laurentia se serait séparée à cause du développement d'une faille de décrochement majeure ou suite à une extension d'arrière arc, alors que la marge Laurentienne était tectoniquement inactive (Rivers 1997). L'orogenèse Labradorien se produit par la suite entre 1.71 et 1.6 Ga, et est définie par la subduction de la croûte océanique rattachée à Laurentia vers le sud sous un arc jusqu'à 1.665 Ga. Ces roches sont accrétées à la marge Laurentienne Pré-Grenvillienne déformées, migmatisées et métamorphosées à haut grade (Gower & Krogh 2003). Cette accrétion engendre un magmatisme felsique avec la mise en place du batholite Trans-Labradorien (~1.654 à 1.646 Ga), puis trimodal (mafique, anorthositique et monzonitique (~1.650 à 1.620 Ga) jusqu'à 1.6 Ga, alors que la marge continentale Laurentia redevient passive, accumulant les sédiments.

Entre 1.5 et 1.23 Ga, un arc magmatique, appelé ceinture granite-rhyolite, orienté nord-est – sud-ouest s'étendait du Labrador jusqu'au Texas. Cet arc était en subduction sous la marge Sud-est de Laurentia et une partie y aurait été incorporée lors des différentes orogénies qui ont affecté la région, de l'orogenèse Pinwarien jusqu'à l'orogenèse Grenvillienne. On retrouve ainsi dans la Ceinture Métasédimentaire Centrale du Québec une série de complexes gneissiques granitiques à tonalitiques datés de 1.4 Ga à 1.35 G, qui possède une signature d'arrière arc ainsi que des affinités d'arc océanique (Blein et al. 2003b, Wodicka et al. 2004). Dans le groupe de Montauban des roches volcaniques d'arc, de 1.45 Ga, sont particulièrement bien préservées (Corrigan & van Breemen 1997, Hanmer et al. 2000). Au cours de son existence l'arc était caractérisé par une alternance entre des périodes compressives et extensives. Les périodes d'extension correspondaient au développement de plusieurs petits bassins d'arrière arc (Rivers & Corrigan 2000). Un magmatisme d'arc et d'arrière arc relié à l'orogenèse Pinwarienne est documenté dans la ceinture allochtone en Ontario. Il est associé à la mise en place de granitoïdes de type-A, qui suggère un contexte extensif d'arrière arc (Corrigan et al. 1994, Ketchum & Davidson 2000). Les périodes en compression correspondent à la fermeture de ces bassins. Ces périodes compressives sont associées à des orogenèses accrétionnaires, soit les orogenèses Pinwarienne et Elzevérienne. Les composantes Pinwarienne documentées attestent d'une période importante d'ajout de croûte juvénile dans un arc magmatique le long de la marge Laurentienne.

L'orogenèse accrétionnaire Elzévirienne est associée à la fermeture du bassin marginal de la Ceinture Métasédimentaire Centrale (Rivers 1997, Rivers & Corrigan 2000), adjoint à un métamorphisme régional important. D'un point de vue tectonique l'orogenèse Elzévirienne correspond à l'accrétion d'une partie des terrains développés en environnement d'arc au sein de la Ceinture Métasédimentaire Centrale, ainsi que l'accrétion de certains de ces terrains au continent Laurentia (Gower & Krogh 2002). Cependant la nature des événements qui sé sont produits durant cette orogénie et qui ont mené à la formation et la constitution actuelle de la Ceinture Métasédimentaire Centrale reste encore très discutés (Hanmer et al. 2000). L'orogenèse accrétionnaire fait place ensuite à l'orogenèse Elsonnienne qui peut également être nommée le magmatisme Elsonnien de 1.45 à 1.25 Ga qui est caractérisé par un magmatisme de type AMCG et par le remaniement de gneiss préexistants (Gower & Krogh 2002).

Cette période est suivie par le « cycle orogénique grenvillien » qui est défini par une collision continent-continent (Rivers & Corrigan 2000). Cette collision a résulté en une imbrication d'importants domaines et terrains formant, le long de zones de cisaillements, un empilement d'échelle crustale avec un pendage de direction Sud-Est (Rivers 1997) et constituant les domaines autochtones, parautochtones et allochtones de la Province de Grenville. L'identité du continent qui est rentré en collision lors de cette phase orogénique est incertaine. Wasteneys et al (1995) propose par reconstitution paléotectonique et par géochronologie que ce continent puisse être l'Amérique du Sud. Le « cycle orogénique grenvillien » correspond à trois « pulsions » de raccourcissement crustal (orogenèse de Shawinigan, de l'Outaouais, et de Rigolet). Ces pulsations étaient associées à des déplacements le long de cisaillements d'échelles crustales. La nature des déplacements le long de ces zones de déformation n'a pas encore été clairement établie, le contexte accrétionnaire vers le nord-ouest voudrait que ces zones soient chevauchantes, mais certaines ont été décrites comme associées à un mouvement décrochant, qui résulte de mouvements de terrains vers le Nord, comme le terrain de Morin (Martignole et al. 2000). Les pulsations ont été suivies par des périodes d'extension qui sont attribuées à un affaissement de l'empilement crustal lors de son refroidissement (Busch et al. 1996). Certaines des failles associées à ces périodes d'extension étaient d'échelle crustale, alors que d'autres correspondaient à des décollements prenant racine à des profondeurs crustales moyennes (White et al. 2000, Rivers et al. 2002).

L'histoire tectonique de la Province de Grenville est riche et complexe, avec entre autres l'existence d'arcs magmatiques et les nombreuses phases orogéniques qui ont favorisé le développement d'un magmatisme varié, ainsi qu'un métamorphisme important. Cette série d'évènements a emmené l'édification de la Province et de ces composantes tels que connue actuellement.

5.4 Contexte géologique de la Ceinture Métasédimentaire Centrale au Québec

La Ceinture Métasédimentaire Centrale est localisée, à la partie sud-ouest de la Province de Grenville (Figure 13), en Ontario et au Québec. Elle est interprétée, en Ontario, comme résultant d'un assemblage d'arcs magmatiques exotiques durant l'orogenèse Elzevirienne et est nommée la Ceinture d'Arc Composite (Carr et al. 2000). Cependant ce modèle reste très discuté, certains auteurs soutenant une origine de marge andine de 1.45 à 1.3 Ga puis à une période d'extension d'arrière arc de 1.3 à 1.24 Ga, qui aurait fini en collision continent-continent de 1.2 à 1.0 Ga (Hanmer et al. 2000).

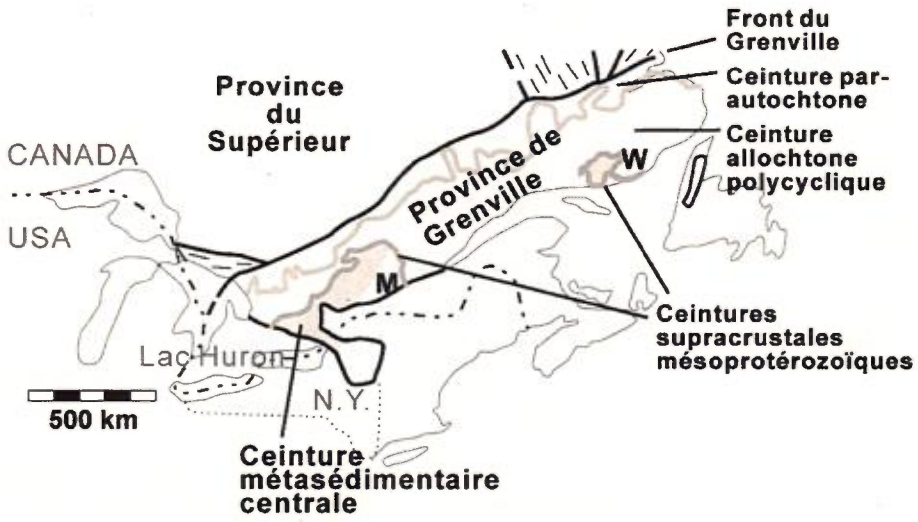


Figure 13 : Représentation Schématique des principaux domaines et ceintures de la province géologique du Grenville (Rivers et al. 1989). La Ceinture Métasédimentaire Centrale est localisée dans la partie SW de la province.

En Ontario, la Ceinture Métasédimentaire Centrale est subdivisée en trois principaux terrains, qui sont les terrains de Bancroft, Elzevir, et Frontenac (Easton 1992, Davidson 1995). Au Québec, elle est comprise à l'intérieur des régions d'Ottawa (feuillet SNRC 31G), Mont-Laurier (feuillet SNRC 31J) et Kempt Lake (feuillet SNRC 31O) qui correspondent au terrain de Mont-Laurier. Le métamorphisme régional varie du faciès des schistes verts à celui des granulites (Easton 2000).

Dans la province du Québec la Ceinture Métasédimentaire Centrale est composée de trois associations lithologiques distinctes (Wynne-Edwards et al. 1966, Wynne-Edwards 1969), on retrouve deux domaines majeurs d'axe et de grain structural NNE-SSO (Figure 15) :

- le domaine riche en marbre au nord-ouest dominé par des marbres calcitiques et dolomitiques avec des roches calco-silicatées, environ 80%, des paragneiss migmatitiques métamorphisés au faciès des amphibolites (Hogarth 1981, Gauthier 1982, Madore et al. 1994, Corriveau 2003)
- le domaine riche en quartzite au sud-est, composé de plus de 60% de quartzite dans un ensemble de roches métasédimentaires migmatisées. À l'échelle de l'affleurement et en carte, on retrouve intercalés des niveaux décimétriques à kilométriques de métapélite, de gneiss quartzofelspathiques à biotite ou graphite, de marbre, de roche calco-silicatée et d'amphibolite, ainsi que des feuillets de tonalite de 1280 Ma (Wynne-Edwards et al. 1966, Friedman & Martignole 1995, Corriveau & Jourdain 2000, Martignole & Corriveau 2000).
- Le domaine de gneiss quartzofelspathiques au faciès des granulites. Au total, on dénombre une dizaine de complexes de gneiss. Ils sont dominés par des assemblages de gneiss quartzofelspathiques, d'origine incertaine, et d'orthogneiss granitiques à tonalitiques métamorphisés au faciès des granulites (Corriveau et al. 1997, Corriveau 2003). Le plus important de ces complexes se situant dans la Ceinture Métasédimentaire Centrale au Québec est le complexe gneissique de Bondy. C'est un dôme structural important de 15 km sur 30 km, allongé NNE-SSO. Ce dôme est essentiellement composé

de gneiss quartzofelspathiques, granitiques à tonalitiques et est également l'hôte d'un système hydrothermal, le tout métamorphisé au faciès des granulites (Corriveau et al. 1997). Il est structuralement au dessous des domaines de quartz et de marbres grenvilliens. Ce complexe d'âge 1.39 Ga (Wodicka et al. 2004) s'est formé dans un contexte qui semble être celui d'un bassin d'arrière-arc, et d'un arc volcanique de 1.4 Ga développé dans une zone de rift à la marge d'un continent (Figure 14) (Corriveau et al. 1998, Blein et al. 2003b).

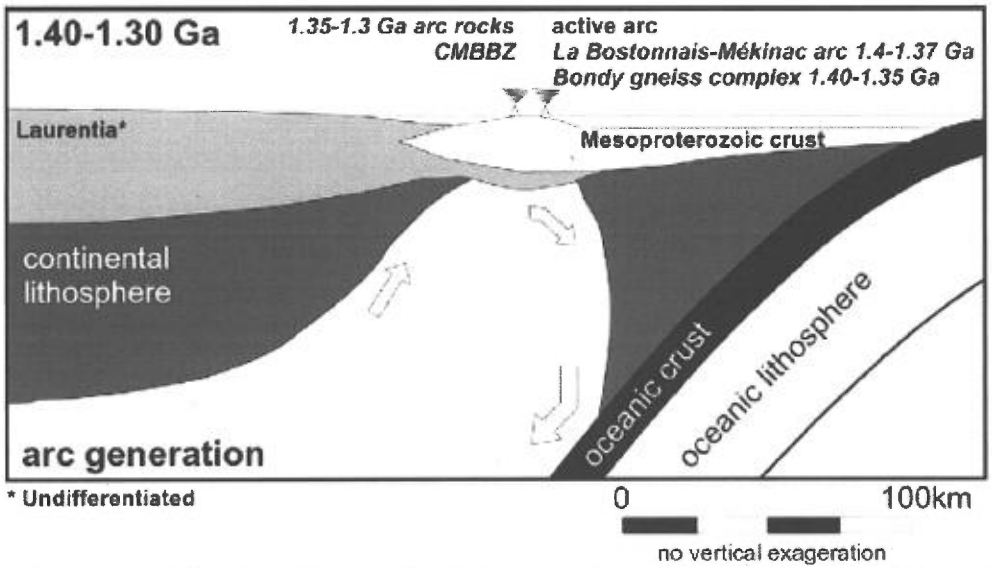


Figure 14 : Coupe schématique illustrant l'évolution tectonique au sud-est de la marge Laurentienne entre 1.4 et 1.2 Ga (Blein et al. 2003b)

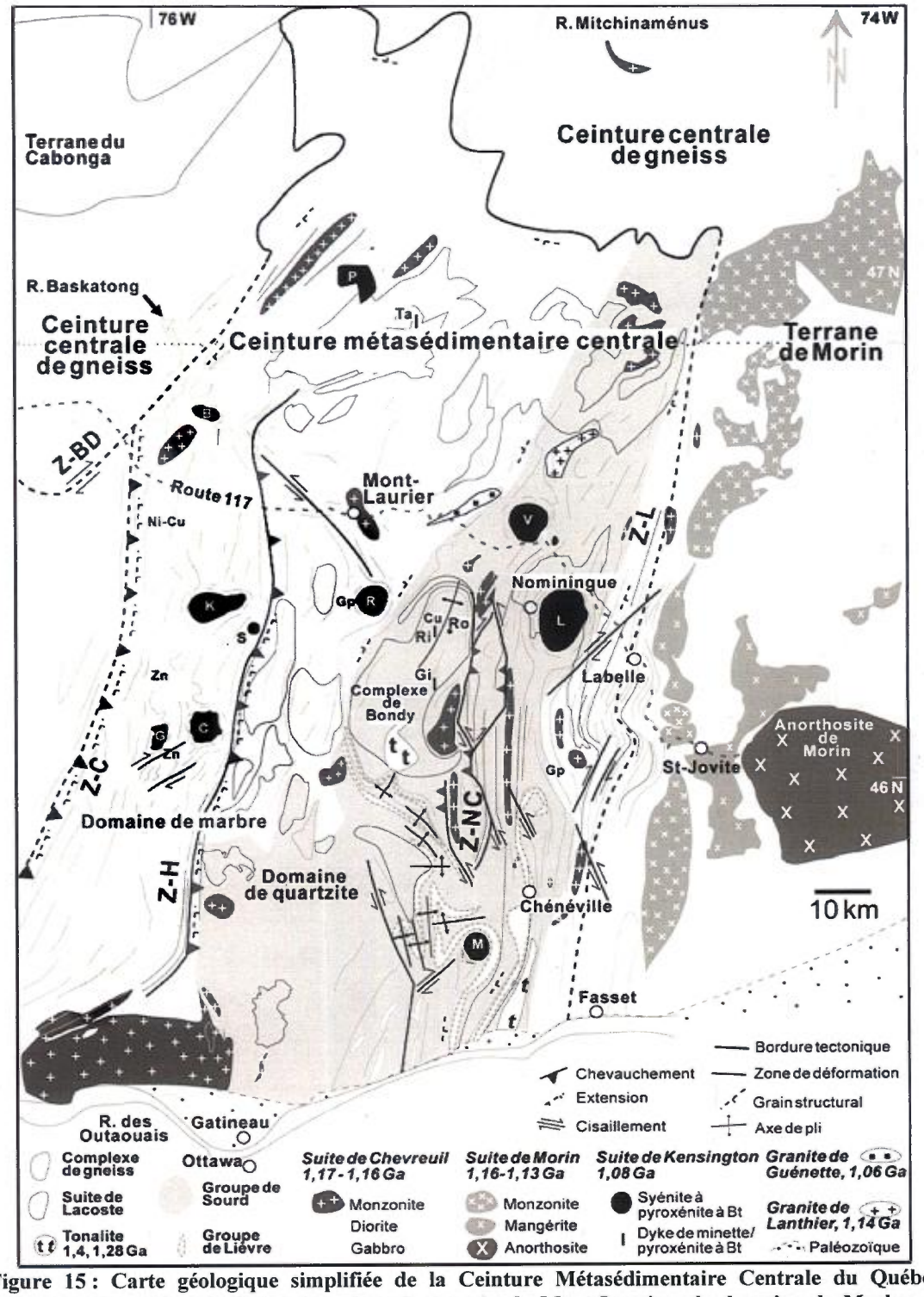


Figure 15 : Carte géologique simplifiée de la Ceinture Métasédimentaire Centrale du Québec, présentant les trois principaux domaines du terrain de Mont-Laurier : le domaine de Marbre, le domaine de Quartzite et le domaine de gneiss quartzofelspathiques, ainsi que les principaux plutons et suites ignées et les structures majeures, Z-C : Zone de déformation de Cayamant; Z-H : Zone de déformation de Heney; Z-NC : Zone de déformation de Nomininque-Chénéville; Z-L : Zone de déformation de Labelle (Corriveau & van Breemen 2000).

Les secteurs à l'ouest et au nord de la Ceinture Métasédimentaire Centrale, sont composés de terrains appartenant à la Ceinture Centrale de Gneiss. Elle constitue la marge Grenvillienne pré-Laurentienne, et est composée de gneiss paléoprotérozoïques et archéens remobilisés, sa partie nord est constituée d'une croûte parautochtone, tandis que sa partie sud est composée de domaines orthogneissiques interprétés comme allochtones (Carr et al. 2000, Ketchum & Davidson 2000). La limite lithologique, entre ces deux domaines, est marquée par un linéament majeur, la zone de déformation de Cayamant (Z-C, Figure 15 ou BSZ, Figure 16) (Madore et al. 1994, Sharma et al. 1999), qui correspond à une rampe crustale majeure d'après le profil sismique Lithoprobe (Martignole et al. 2000).

Au Québec le terrain voisin à l'est du terrain de Mont-Laurier est le terrain de Morin, qui est constitué de grands complexes plutoniques dominés par la suite AMCG (Peck et al. 2005). La frontière entre ces deux domaines est marquée par la zone de déformation de Labelle (Z-L, Figure 15 ou LSZ, Figure 16) (Martignole & Corriveau 1991, 2000), qui longe la rivière Kinonge, de Fasset à Labelle, et se poursuit au Nord. Les dernières études de cette zone de déformation lui attribuent une composante senestre importante liée à la remonté vers le nord du terrain de Morin (Figure 16) (Martignole et al. 2000), seulement cette composante décrochante reste encore discutée.

Le domaine de quartzite présente une zone de très forte déformation : la zone de déformation de Nominingue-Chénéville (Z-NC, Figure 15), qui est localisée dans la partie sud-est de la Ceinture Métasédimentaire Centrale. Cette zone de 10 km de large longe la zone de labelle sur environ 40 km et passe par les lacs d'orientation N-S de Monjoie, Gagnon, Preston et Simon pour se poursuivre dans la rivière Outaouais.

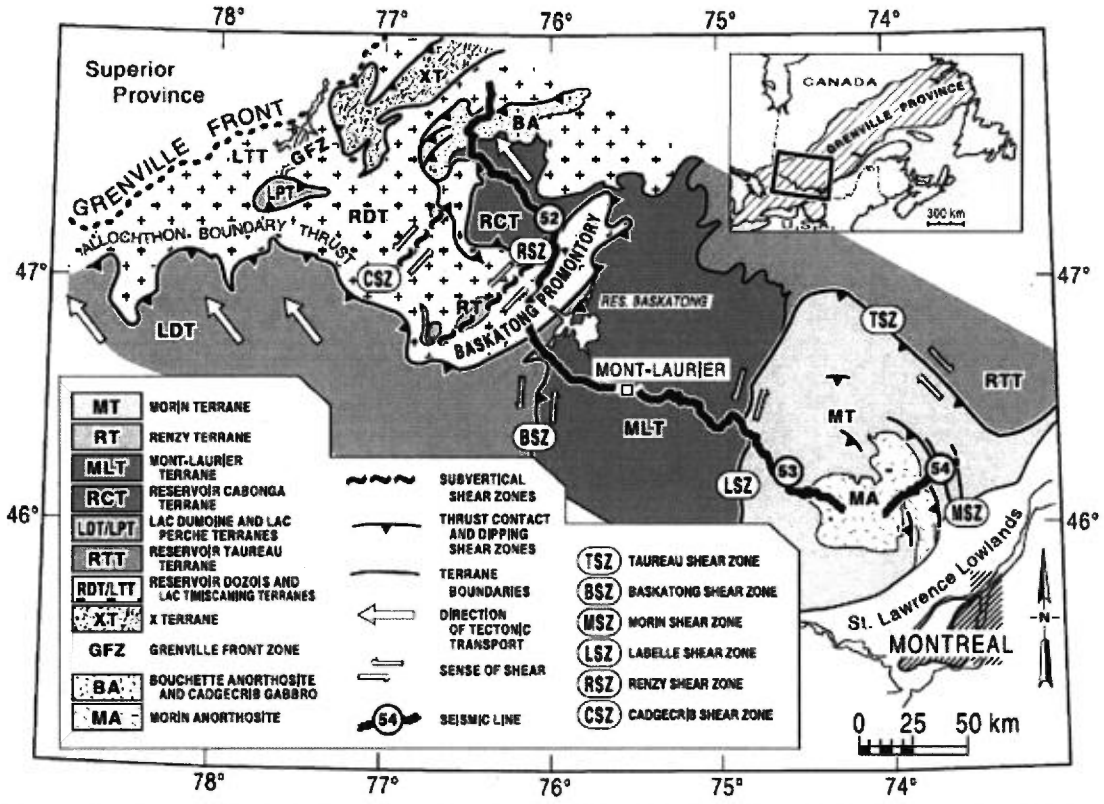


Figure 16 : Cadre lithotectonique de la Province de Grenville dans l'ouest du Québec et localisation des lignes 52, 53, 54 du profil sismique de la Figure 17 (Martignole et al. 2000)

La zone de cisaillement de Heney (Z-H, Figure 15) segmente en deux le domaine de marbre et marque la limite ouest de l'affleurement des complexes gneissiques. Cette zone est interprétée comme étant la prolongation de la zone de déformation de Robertson Lake qui est la limite Ouest du terrain Sharbot Lake en Ontario (Hanmer & Ciesielski 1984).

La plupart des zones de déformations décrites précédemment apparaissent dans les interprétations des coupes sismiques du programme Lithoprobe (Figure 17 a)) (Ludden & Hynes 2000a). Martignole et al. (2000) décrivent, à partir des coupes sismiques, un amincissement de la croûte qui passe de 44 km d'épaisseur au niveau du Front du Grenville, à 36 km plus au sud-ouest (Figure 17 c)). Cet amincissement de la croûte peut être expliqué par une extension le long des structures majeures de la Province comme le Front du Grenville à pendage sud-est et s'étendant jusqu'au Moho. D'autres zones crustales relativement minces, mais moins prononcées, se perçoivent là où la croûte protérozoïque chevauche la croûte archéenne, c'est-à-dire sous le terrain de Mont-Laurier (et possiblement lié à la Limite Chevauchante Allochtone) et également sous le terrain de Morin (Figure 17 c)) (Martignole et al. 2000). Au dessus de ces zones, des régions de faibles réflectivités sont observées dans la croûte inférieure. La combinaison de ces caractéristiques semble se rapprocher des caractères du dépôt d'Olympic Dam et pourrait impliquer la présence d'une croûte fertile dans la partie sud du terrain du Cabonga et du Réservoir Dozols (Figure 17) dans le sud-ouest de la Province de Grenville (Corriveau et al. 2007).

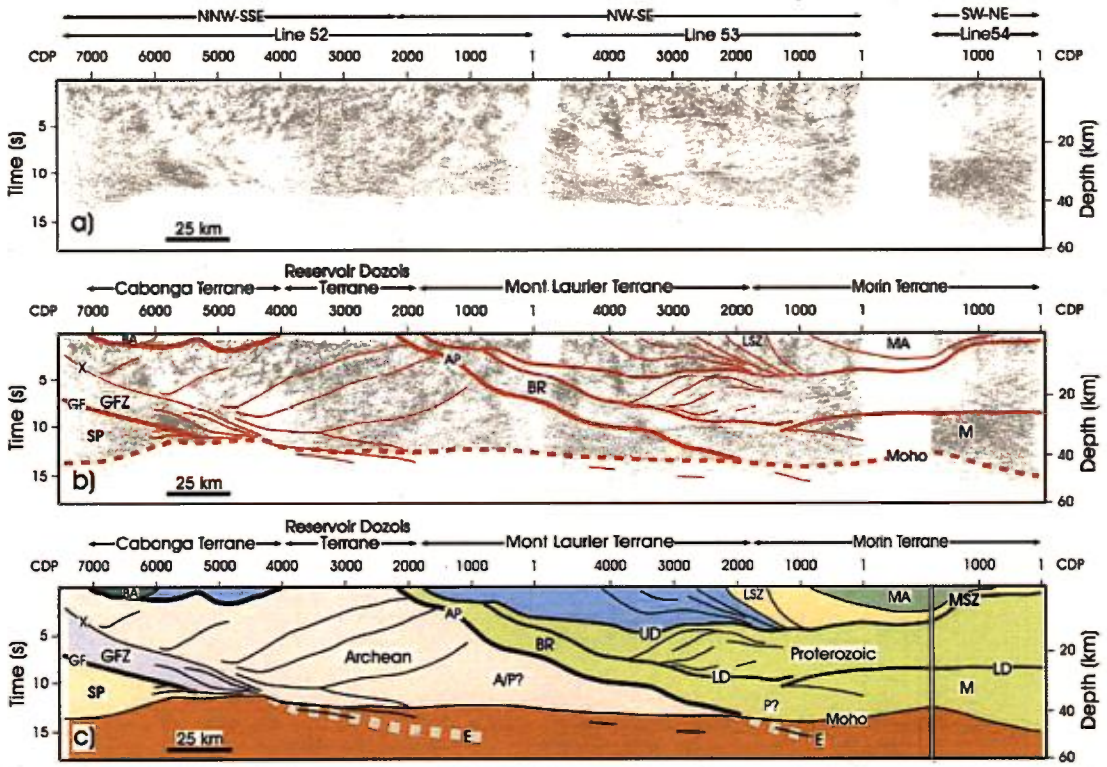


Figure 17 : Sections sismiques (lignes 52, 53, 54) et interprétation tectonique au travers de la Ceinture Métasédimentaire Centrale à l'ouest du Québec (a) coupe sismique (b) lignes dessinées pour marquer les changements dans la réflectivité crustale (c) interprétation de la coupe (b) en termes de blocs crustaux. Ligne en pointillée ; moho, GF : front du Grenville; GFZ : Zone du Front du Grenville; SP : Province du Supérieur; X : limite prévisionnelle entre X et le terrain Dozois : BA : Anorthosite de Bouchette; AP : limite Archéenne-Protérozoïque; BR : Rampe Baskatong; LD : décollement moyen; UD : décollement supérieur; LSZ : Zone de Déformation de Labelle; MSZ : Zone de déformation de Morin; MA : anorthosite de Morin; M : limite de changement ce réflectivité de la croûte inférieur; P : croûte inférieure Protérozoïque; A/P : croûte inférieure Archéenne ou Protérozoïque; E : réflecteurs mantelliques (Martignole et al. 2000).

5.5 Le potentiel en ressource minérale de la Province de Grenville

La province du Grenville est encore sous explorée, essentiellement parce qu'elle est composée de terrains gneissiques et granitiques qui ne sont pas des terrains privilégiés par les compagnies minières. L'importance du métamorphisme accroit les difficultés d'identification des protholites des gneiss et de leur contexte géodynamique de formation. De plus on a longtemps inféré que le processus de déshydratation durant le métamorphisme régional entraînait un lessivage des éléments d'intérêts économiques et rendait les terrains gneissiques stériles (Marshall et al. 2000, Vokes 2000).

5.5.1 *Exploitations*

La Province de Grenville n'est cependant pas stérile dans le sens où, malgré le métamorphisme, des exploitations sont présentes et relativement diversifiées. En effet, c'est la plus importante province au monde productrice de titane (Stanaway 1996), et elle est le site du plus important dépôt mondial de zinc « non sulfuré » (Hitzman et al. 2003). Les districts de zinc de classe mondiale sont situés plus au sud-ouest de notre région d'étude, il s'agit des districts de Franklin Furnace – Sterling Hill au New Jersey et de Balmat-Edwards dans l'état de New York. La Province de Grenville est également une source importante de gisements de fer au Canada (Neal 2000). De plus, de nombreuses mines moins importantes ont été exploitées par le passé ou le sont encore actuellement, comme les mines de Zn-Pb-Ag-Au (±Cu) de New Calumet et de Montauban, des mines d'uranium comme Bicroft et d'autres dans le district de Bancroft. De nombreuses autres petites exploitations d'or, de fer, de molybdénite…etc., sont ou étaient en activité dans la Province de Grenville (Gauthier et al. 2004, Gauthier & Chartrand 2005). Mais, paradoxalement le sud-ouest de la province, incluant la Ceinture Métasédimentaire Centrale restent encore sous exploités et sous exploités (Tollo et al. 2004).

5.5.2 *Spéculations*

Récemment, quatre nouveaux modèles pétrogénétiques et métallogéniques sont apparus pour estimer le potentiel minier dans la Province de Grenville (Gauthier & Chartrand 2005). Ils mettent en lueur le potentiel en dépôts de rutiles métamorphiques, en dépôts de zinc de type SEDEX, en dépôts magmatiques de Fe-Ti, Ni, Cr, éléments du groupe du platine, et en dépôts de type oxydes de fer à cuivre-or (IOCG). Les dépôts de type IOCG semblent particulièrement attrayants comme cibles d'exploration, et en particulier pour le sud-ouest de la Province de Grenville au Québec. Plusieurs revues faisant état de l'évolution métallogénique et minier de la province, considèrent ce type de minéralisation comme très prometteur (Faure 2003, Corriveau 2005, Gauthier & Chartrand 2005, Corriveau et al. 2007).

Durant l'histoire finale de formation de la province, trois périodes d'érosion continentale, d'effondrement extensionnel et de magmatisme ont été proposées pour les trois différentes orogénies du « cycle orogénique grenvillien » (Rivers 2005). Gauthier et Chartrand (2005) propose que chacune de ces périodes soit associée à une période de formation de dépôts de type IOCG pour le contexte extensionnel, et de dépôts Ti-Fe lors du magmatisme anorthositique. Par conséquence trois épisodes de minéralisation de type IOCG ont pu exister (Gauthier & Chartrand 2005). Actuellement trois phases de plutonisme anorthositique liées avec des dépôts Ti-Fe ont été identifiées. Par contre seulement deux épisodes de minéralisation de type IOCG ont été enregistrés, un dans le district Manitou avec le dépôt majeur est Kwyjibo 0.97-0.95 Ga (Magrina et al. 2005) et l'autre dans les Adirondack Highlands dans l'Est de la province, avec le secteur de la Montagne Lyon ~1.045 Ga (McLelland et al. 2002) (Figure 18). Ceci laisse supposer qu'au moins une troisième période de minéralisation de type IOCG ait pu exister durant le « cycle orogénique grenvillien ».

La Ceinture Métasédimentaire Centrale au Québec parait être un site propice pour la découverte de nouvelles zones minéralisées de type IOCG. Un des premiers attributs étayant cette théorie est l'existence d'une zone de faible réflectivité sur les coupes

sismiques Lithoprobe passant au travers de cette région (Figure 17) comparables à celle décrite par Drummond (2006) pour le gisement d'Olympic Dam (Figure 9). De plus, la Ceinture Métasédimentaire Centrale au Québec, présente déjà des indices pouvant s'apparenter à de la minéralisation de type IOCG. En effet, des activités volcano-plutoniques d'arc et d'arrière arc et la présence d'un système hydrothermal fossile, ont été mis en évidence dans les gneiss au faciès des granulites du complexe gneissique de Bondy (Boggs et al. 1994, Blein et al. 2003a, Wodicka et al. 2004). De plus, dans le domaine de quartzite, l'assemblage de gneiss pélitiques et quartzofelspathiques forment un contexte, qui hormis l'intense déformation et le métamorphisme de haut grade, pourrait rappeler celui des dépôts de sulfures massifs de la province sud-ibérique (Leistel et al. 1992), qui est aussi un site de minéralisation de type IOCG (Tornos & Casquet 2005).

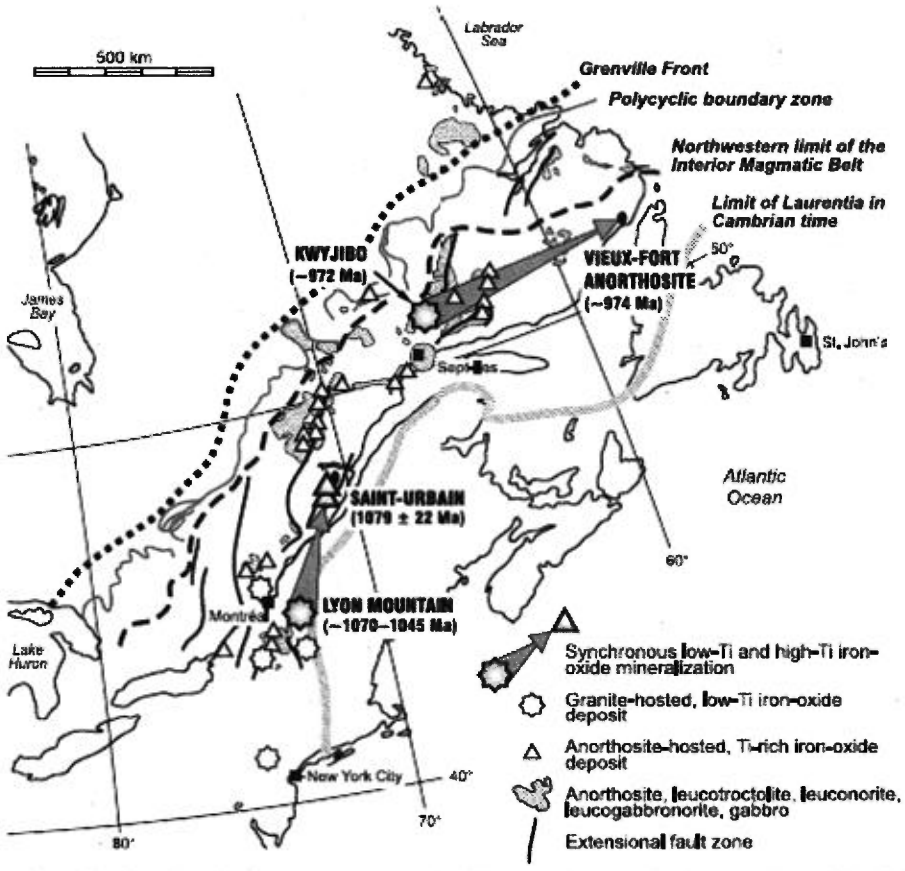


Figure 18 : distribution des dépôts contemporains d'oxydes de fer faible en titane, IOCG (bas-Ti) dans les granites, et d'oxydes de fer riche en Titane Ti-Fe (haut-Ti) dans les anorthosites dans la Province de Grenville (Gauthier et al. 2004).

Groves et Bierlein (2007) ont décrit les gisements majeurs pouvant se former en contexte initial de marge convergente (

Figure 1). Or certaines composantes de la Province de Grenville ont été formées dans des environnements d'arcs océaniques ou continentaux. Cela implique que certains gisements se formant dans ces environnements ont pu exister lors de l'histoire précoce de

la province. C'est le cas par exemple de la minéralisation de type porphyrique ou SMV qui peut s'être développée dans la province en contexte d'arc (Barley et al. 2002) avant les périodes accrétionnaires et a possiblement été déformée et métamorphisée. En conséquence la construction d'arcs océaniques et continentaux, leurs accrétions et la superposition de plusieurs périodes orogéniques à l'intérieur de la Province de Grenville compliquent l'identification de minéralisation précoce, car la plupart des modèles d'exploration actuels sont basés sur des compilations de dépôts non déformés et non métamorphisés (Hogson 1990). Malgré cela, les évènements tectono-métamorphiques grenvilliens qui semblent destructeurs peuvent être bénéfiques pour la préservation de dépôts préexistants (Gauthier & Chartrand 2005). En effet, les éléments économiques précoces disséminés peuvent être remobilisés et concentrés dans des structures plus jeunes pour créer des zones minéralisées contrôlées par des structures fragiles-ductiles post-métamorphiques.

6 Problématiques et objectifs

Le contrôle structural est fondamental sur la genèse de nombreux gisements comme les dépôts porphyriques Cu-Au, les dépôts de sulfures épithermaux, de type SEDEX, de sulfures massives volcanogènes (SMV), et d'oxydes de fer à cuivre-or. De ce fait, les problèmes et questions posés dans ce devis sont axés autour des implications structurales liées à la formation et l'évolution de zones minéralisées dans le sud-ouest de la Province de Grenville. L'étude structurale se fera à l'échelle régionale par l'étude de failles crustales ou lithosphériques impliquées dans la répartition d'indices minéralisés et par l'identification de cibles potentielles, ainsi qu'à l'échelle locale pour caractériser les possibles vecteurs de la minéralisation et les possibles remobilisations de celles-ci. L'accent sera porté sur la possible présence de gîtes de type oxydes de fer à cuivre-or dont le potentiel a récemment été réévalué à la hausse pour la province (Gauthier & Chartrand 2005, Corriveau et al. 2007), dans des terrains gneissique de haut grade métamorphique qui ne semble pas actuellement propice au développement et ni à la préservation de zones minéralisées. Cependant si la présence de minéralisation IOCG n'était pas déceler dans ces terrains, le projet tentera d'établir les implications structurales liées aux types de minéralisation présents.

La problématique concernant l'origine, l'histoire et les implications pour l'exploration des accidents crustaux, examinée dans cette étude se divise en quatre principales parties : **1)** l'identification et la caractérisation des linéaments à partir d'imagerie géophysique, **2)** la détermination d'un rapport spatial entre les indices de minéralisation et les accidents crustaux correspondant aux linéaments déterminés lors de la première problématique, **3)** l'identification de la nature des linéaments et l'étude de l'histoire de réactivation le long de certains de ces accidents qui traversent ou sont à proximité du terrain d'étude, et **4)** la définition de nouvelles cibles pour l'exploration basées sur l'interprétation des linéaments.

De plus l'histoire géologique de la Province de Grenville est longue et complexe, et nous ne savons pas quels ont pu être les effets du métamorphisme et des déformations successives sur des gîtes potentiels anciens ni comment ces évènements ont pu conditionner ou influencer la possible mise en place de zones minéralisées syn ou post

métamorphiques. Cela emmène à se demander si la minéralisation possible peut être liée à la remobilisation de gîtes anciens ou à la réactivation plus tardive de structures en contexte extensif. De ce fait, la seconde partie de ce projet examinera les implications structurales dans la formation de zones minéralisées à une échelle locale en se basant sur l'approfondissement d'une zone déjà connue et présentant des possibilités de minéralisation : le complexe gneissique de Bondy dans la Ceinture Métasédimentaire Centrale au Québec (Figure 15). Cette étude emmènera en conséquence à se demander : **5)** quels sont les implications structurales sur le contrôle de la minéralisation en terrain de haut grade métamorphique pour déterminer quels sont les vecteurs contrôlant la formation de zones minéralisées et s'il y a des possibilités de remobilisation, **6)** et si le modèle géodynamique régional est en accord avec les informations recueillies sur le terrain.

(1) <u>Quels sont les linéaments, dans le sud-ouest de la Province de Grenville, identifiables à partir de l'imagerie géophysique?</u>

(a) Les cartes de linéaments : La précédente étude de linéaments réalisée par Faure (2003) couvrait la majeure partie de la province du Québec (Figure 19). Lors de cette étude, Faure (2003) a classé certains linéaments dans la Province de Grenville comme ductiles. Il a également noté la présence de linéaments francs et crustaux sud-est – nord-ouest, qui sont les plus abondants et qui traversent toutes les provinces géologiques, perpendiculairement au Front du Grenville, et se trouvent même au large du Golf du Saint-Laurent. Bon nombre de ces linéaments délimitent des domaines de gravité contrastée et correspondent probablement à des accidents crustaux anciens (Faure 2003).

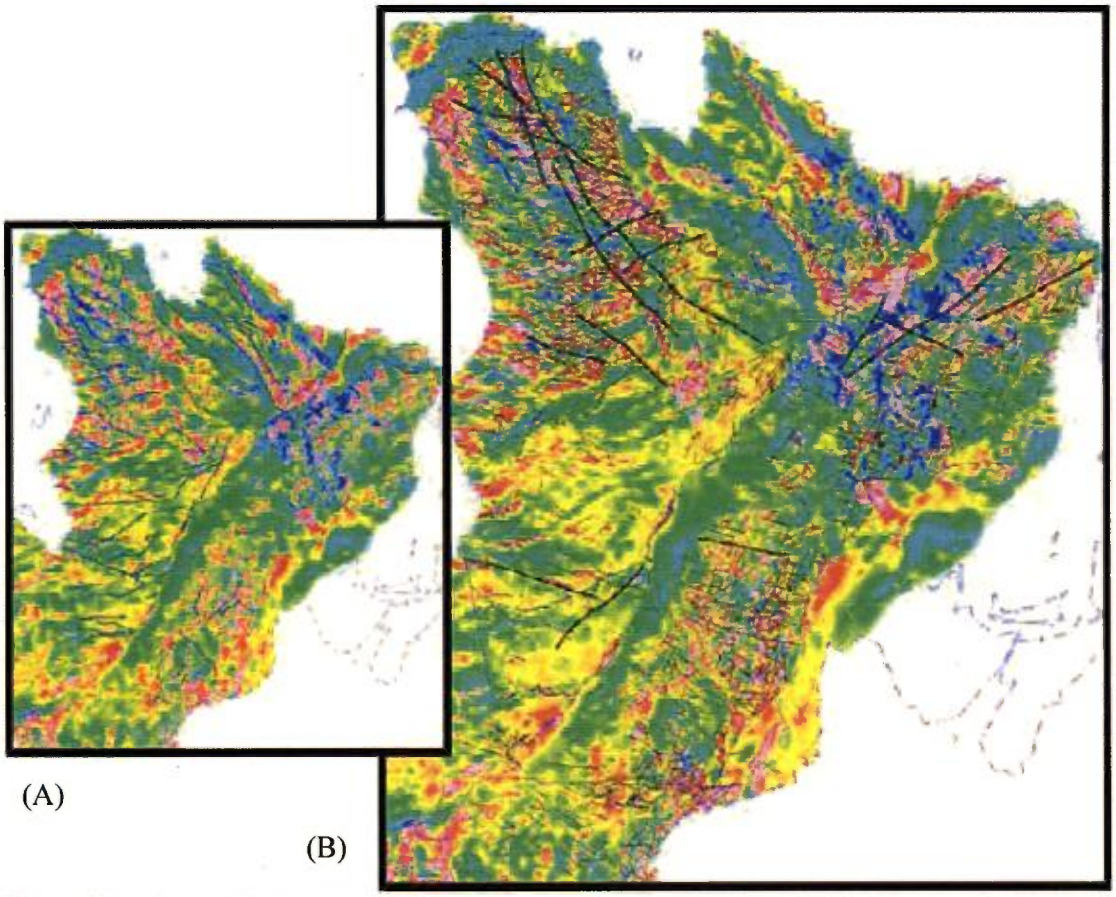


Figure 19 : Cartes de linéaments interprétées par Faure (2003). (A) Linéaments géophysiques d'entrainement (ligne bleue) interprétés à partir de la carte de champs magnétique total (98 linéaments). (B) Linéaments géophysiques francs (ligne noire) interprétés à partir de la carte du champ magnétique total (1913 linéaments). Les linéaments tracés en traits larges sont de longueurs égales ou supérieures à 200 km.

Lors de ce projet, l'étude se focalisera sur une région plus petite de la Province de Grenville, majoritairement au sud-ouest du Québec mais aussi à l'est de l'Ontario (Figure 21), dans l'intérêt d'obtenir des cartes de linéaments plus détaillées permettant une étude plus approfondie de cette région. Certains traitements géophysiques, qui n'ont pas été faits par Faure (2003), seront entrepris lors de cette étude. La plupart de ces traitements ont déjà été effectués et seront plus amplement décrits dans le chapitre 7 de ce devis « Méthodologie ».

→ Cette première étude aboutira à la réalisation d'une nouvelle carte de linéaments qui couvrira l'ensemble du sud-ouest de la Province du Grenville au Québec, ainsi qu'une partie de la province en Ontario.

(b) Quels sont les linéaments d'origine profonde? La présence de zones de cisaillement d'échelle crustale ou lithosphérique ou de failles divergentes est considérée comme un élément clé pour la formation des IOCG (Hitzman 2000a, Sillitoe 2003). Ces structures exercent un contrôle important sur la minéralisation et sont associées à un important magmatisme (Chernicoff et al. 2002, Crafford & Grauch 2002). Les chapitres 3 et 5 de ce devis présentent le contexte géodynamique et une revue les principaux types de

structures crustales impliqués dans la formation de gîtes, et pouvant être présents dans la Province de Grenville. Ces structures peuvent être matérialisées par des linéaments dont la trace se prolonge et s'observe toujours à des niveaux profonds. Ainsi une meilleure connaissance des linéaments qui prennent « racine » en profondeur et ceux qui sont peu profonds permettraient de définir des structures profondes et de cibler des secteurs favorables pour la présence de minéralisation.
→ L'interprétation des grilles gravimétriques de « prolongation vers le haut » permettra de déterminer les linéaments se manifestant en profondeur. Une hiérarchisation suivant l'évolution en profondeur des linéaments déterminés lors la problématique sera ensuite établie **[(1) (a)]**.

(2) <u>Est-ce qu'il existe une relation spatiale entre les indices de minéralisation et les linéaments?</u>

Le sud-ouest de la Province de Grenville présente des indices de minéralisation et quelques anciennes mines, qui ont été compilés par Sangster et al. (1992) et Gauthier et Chartrand (2005) et qui sont disponibles dans les bases de données gouvernementales (Sigeom 2006). Lors d'une étude préliminaire dans cette région, Lyal Harris (non publiée) a observé une coïncidence remarquable entre la localisation de quelques dépôts ou indices avec les linéaments proéminents définis à partir de l'imagerie gravimétrique du gradient vertical et représentant des failles majeures.
→ L'étude établira si les mines ou les indices possèdent une relation spatiale avec de grands linéaments déterminés à l'aide de l'imagerie géophysique. L'objectif étant de savoir si les indices de minéralisation se situent le long ou à l'intersection de linéaments pour établir un lien génétique entre une ou plusieurs failles ou structures crustales ou pas et la formation de zones minéralisées. Une attention particulière sera portée aux indices de gisements de fer, SEDEX et d'Uranium déjà connus, possédant des caractères communs avec les IOCG, mais qui n'ont jamais été réexaminés en terme de potentiel IOCG (Corriveau et al. 2007).

(3) <u>Quelle est la nature géologique des linéaments? Et des informations dégagées à partir de l'imagerie géophysique?</u>

(a) Quelle est l'expression géologique des linéaments? La nature des linéaments dans la plupart des cas n'est pas connue, à l'exception de ceux marquant des structures majeures comme le Front du Grenville ou encore la Limite Chevauchante Allochtone. Pour pouvoir valider ou discréditer certains résultats des objectifs précédents, il faudra caractériser la plupart des linéaments et déterminer leur nature géologique, ou auquel cas les exclure de l'étude. Cette démarche ne se fera pas après les problématiques (1) et (2), mais parallèlement. La Province de Grenville est un ancien orogène collisionnel, et présente donc les structures fondamentales qui y sont associées, comme les chevauchements parallèles à la direction générale de l'orogène. Ces chevauchements seront vraisemblablement matérialisés par des linéaments parallèles à l'orogène qui marquent les contacts d'unités géologiques différentes. Des structures sub-perpendiculaires à l'orogène associées aux périodes de subduction peuvent également apparaitre. Les linéaments associés à ce genre de structures, et leurs expressions

géologiques sont actuellement mal connus. Par exemple au sud-ouest du Promontoire Baskatong, les axes de plis sont orientés nord-ouest – sud-est (perpendiculairement à l'orogène) contrairement à l'orientation régionale où l'orientation dominante des axes de plis régionaux est subparallèle à l'orogène. La nature de ce changement d'orientation n'est pas clairement définie, mais la présence de linéaments associée à cette différence d'orientation pourrait lui attribuer une implication géologique.

→ La comparaison entre les bases de données existantes et les cartes de linéaments produites durant l'étude permettra si possible d'établir la correspondance entre certains linéaments et des structures connues.

→ Les linéaments pourront ensuite être catalogués suivant leur orientation et cela permettra éventuellement de déterminer leur nature : ductile, fragile…etc. et évaluer leur influence : changement d'orientation de plis, variation de la foliation régionale…etc.

(b) Est-ce que les contacts localisés par les « worms » possèdent une expression géologique sur le terrain? Les études de linéaments sont utilisées depuis quelques dizaines d'années pour aider à comprendre et localiser les structures géologiques. Récemment un nouveau procédé : les maximums de la dérivée, dit des « worms » ou « worming » (Archibald et al. 1999, Hornby et al. 1999), permet de connaître l'évolution en profondeur des contacts déterminés à partir de l'imagerie gravimétrique. Cette méthode est maintenant utilisée pour la recherche de nouveaux gisements, en plus d'études de linéaments classiques (Bierlein et al. 2006). Cette technique a déjà été testée comme outil de cartographie dans le nord-est de la Province de Grenville (Parsons 2006), cependant elle n'a encore jamais été appliquée pour localiser et caractériser des structures dans la Ceinture Métasédimentaire Centrale au Québec. Nous ne connaissons donc pas actuellement ce que peut matérialiser, sur le terrain d'étude, les « worms », ni s'il existe un lien entre leurs distributions et la présence de zones minéralisées.

→ À partir des cartes produites, il sera intéressant de comparer à une échelle locale la localisation des zones minéralisées avec la position des « worms »; et ainsi de déterminer s'il existe une relation spatiale entre les deux.

→ Même si les zones minéralisées et les cartes de « worms » ne coïncident pas, il sera toujours possible de déterminer l'existence d'une expression géologique des « worms » passant à proximité des secteurs d'intérêt.

(4) <u>Quels sont les secteurs favorables à la présence de minéralisation de type oxydes de fer à cuivre-or ou d'autres minéralisations?</u>

Le projet propose aussi d'examiner la possibilité de minéralisation IOCG ou d'autres styles, associée à des zones de cisaillement normales développées durant l'affaissement orogénique et de réactivation en extension de structures crustales ou lithosphériques. Des zones de cisaillements extensionnelles crustales régionales à la suite de l'assemblage de terrains, sur la marge Laurentienne vers 1.2 Ga, ont été interprétées pour le sud-ouest de la Province de Grenville au Québec par Harris et al. (non publié) à partir des coupes de sismique réflexion du programme Lithoprobe. Les études sur les linéaments et leur nature faites dans ce doctorat combinées aux données gravimétriques et aéromagnétiques vont permettre de définir certaines zones possédant des contextes similaires à ceux des gisements de type IOCG dans le monde (superposition d'anomalies

aéromagnétiques et gravimétriques, linéaments crustaux ou intersection de linéaments…etc.).
→ L'information dégagée lors des problématiques précédentes permettra de cibler des secteurs pouvant être associés à la minéralisation de type oxydes de fer à cuivre-or.

(5) <u>Études structurales de zones minéralisées en terrains de haut-grade</u>

(a) Quelle est la chronologie relative de la minéralisation par rapport au métamorphisme régional? Les dépôts formés précocement dans l'évolution tectonique d'un terrain géologique, comme ceux associés au développement d'un arc peuvent être déformés et métamorphisés pendant l'assemblage des terrains et les évènements tectoniques ultérieurs. Les dépôts IOCG peuvent se produire à n'importe quel moment par rapport au métamorphisme régional, non métamorphisé (ex: Great Bear magmatic zone, Canada; Gandhi 2003), syn-pic de métamorphisme (ex: Osborne, région du Mt Isa, Australie; Mustard 2004) et post-pic de métamorphisme (ex: Ernest Henry, Australia; Mark et al. 2006). Dans chacun des cas la zone d'altération originale ainsi que la minéralisation a pu être transformée en un assemblage minéralogique de haut grade (Bonnet & Corriveau 2007) qui a pu ne pas être remarqué lors de campagnes de cartographie.
→ Une étude structurale approfondie de terrain (couplée avec les résultats d'études pétrologiques et géochimiques du même secteur faite durant le projet parallèle de Vladimir Antonoff) fournira une interprétation sur l'origine de la minéralisation et sur sa chronologie relative par rapport au métamorphisme régional.

(b) Quels sont les vecteurs de la minéralisation? Est ce qu'il y a des possibilités de remobilisation? A cause de l'intense déformation et métamorphisme que les terrains gneissiques de haut grade ont subi, il est difficile de déterminer ce qui contrôle la minéralisation dans ce genre de terrain. Ce projet de doctorat tentera de montrer le possible contrôle structural lors du développement de la minéralisation, ainsi que le type de structures associées aux corps minéralisés.
→ L'étude essayera de démontrer le possible contrôle structural lors de la formation de la minéralisation et de caractériser le type de structures associées.
→ Cela permettra aussi de tester l'éventuelle remobilisation des éléments économiques dans des structures tardives.

(6) <u>Apport au modèle géodynamique</u>

L'ensemble des données structurales prises sur le terrain ou déterminées en laboratoire autour des zones d'études ainsi que l'apport de données aéromagnétiques et gravimétriques vont permettre de rafiner l'histoire tectonique de la Ceinture Métasédimentaire Centrale au Québec et éventuellement d'éclaircir les mouvements relatifs des terrains de Mont-Laurier et de Morin.

7 Méthodologie

7.1 Traitement et intégration des données au sein d'un système d'Information géoréférencé

7.1.1 Données et logiciels utilisés

Les données utilisées durant cette étude sont des données gravimétriques (maillage 1000 m), aéromagnétiques (maillage 200 m) et de radioactivité (maillage 1000 m) qui, proviennent du Ministère des Ressources Naturelles du Canada (www.nrcan-rncan.gc.ca). Les logiciels utilisés pour visualiser, gérer, traiter ou modifier les données ou les formats sont :

- ArcGIS d'ESRI, qui est un système d'information géographique (SIG). Il construit une base de données géoréférencées, et permet ainsi à partir de diverses sources, de rassembler, d'organiser, de gérer, d'analyser, de combiner, d'élaborer et de présenter des informations localisées géographiquement. Le groupement d'informations au sein du SIG peut ainsi permettre une interprétation, nouvelle et plus complète, à partir de données préexistantes (Porwal et al. 2006). Certaines études notamment de cartographie à différentes échelles sont entièrement basées sur l'utilisation de SIG (Roy et al. 2006).
- Oasis Montaj viewer de Geosoft, qui permet d'importer, de visualiser, de traiter et de gérer des données scientifiques, des grilles et des images. Ce logiciel a essentiellement été utilisé pour faciliter la conversion de formats de certaines grilles géophysiques après le traitement pour pouvoir les visualiser au sein du logiciel ArcGIS.
- La suite de logiciels géophysique, qui a été conçue par Pierre Keating. Ces petits utilitaires vont permettre d'appliquer des filtres sur les grilles géophysiques préexistantes pour aider leur interprétation. Ils seront utilisés pour générer entre autres les grilles de dérivée verticale (première et seconde), et les cartes de « worms ».
- Les logiciels de la compagnie Entrepid Geophysics seront eux aussi essayés, comme alternative pour la production et la visualisation de « worms ».

7.1.2 Données gravimétriques disponibles et filtres appliqués

L'anomalie de Bouguer : Les anomalies gravimétriques de Bouguer correspondent à des variations latérales de densité et à des variations de la masse dans le manteau supérieur et dans la croûte. La plupart des anomalies de hautes fréquences sont dues à la présence de contacts entre des roches de densités significativement différentes près de la surface .

Dérivée horizontale : A l'échelle locale, les anomalies sont dues à la juxtaposition de roches de densité relativement faible et de roches de densité relativement élevée. Le gradient horizontal atteint son maximum à l'aplomb du contact entre des unités lithologiques de densité contrastante, ou à peu de distance de ce contact. Ce filtre permet ainsi de mieux distinguer de possibles contacts quelque soit leur origine.

Dérivée première verticale : La grille de données gravimétriques de Bouguer a été convertie dans le domaine des fréquences à l'aide d'une transformation de Fourier rapide. La fonction de transformation de la dérivée verticale a alors été appliquée aux données du domaine des fréquences afin d'accentuer les plus hautes fréquences. Les données ont par la suite été reconverties dans le domaine spatial en utilisant une transformation de Fourier

rapide inverse. Les anomalies de courte longueur d'onde, qui reflètent l'existence de contraste de densité près de la surface, sont rehaussées par le filtre de la dérivée verticale.

Prolongation vers le haut : Les grilles de prolongation vers le haut filtre permet de voir l'évolution des anomalies à différentes profondeurs. Le filtre « prolongation vers le haut » tend à atténuer les courtes longueurs d'ondes, attribuées aux sources en surface, et rehausse les longues longueurs d'ondes, attribuables aux sources profondes. L'intérêt dans son utilisation est de pouvoir suivre l'évolution des linéaments en profondeur et déterminer lesquels se prolongent le plus profondément.

Les maximums de la dérivée horizontale (les « worms ») : Les « worms » correspondent à une représentation 3-D des contacts, symbolisés par l'évolution des valeurs maximales du gradient horizontal en profondeur. L'interprétation d'imagerie géophysique (linéaments) est en grande partie visuelle et peut différer d'une personne à l'autre. Les cartes de « worms » ont été développées pour limiter les divergences d'interprétation et les doutes provoqués par la vision de chacun, en s'appuyant sur des opérations mathématiques. La technique de « worming » détecte automatiquement la position des valeurs maximales du gradient horizontal (Hornby et al. 1999) et applique un filtre de prolongation vers le haut suivant différentes hauteurs à chacun de ces points, permettant de connaître l'attitude des limites en profondeur (Figure 20) (Archibald et al. 1999, Hornby et al. 1999, Archibald et al. 2001, Milligan 2002). Cette technique fournit une information sur le pendage et l'évolution latérale en profondeur des contacts déterminés par le gradient horizontal.

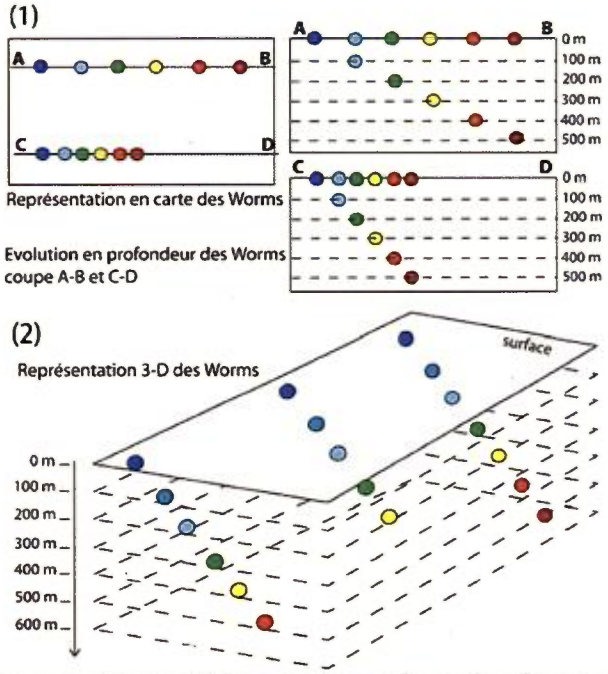


Figure 20 : Schéma expliquant les caractéristiques de représentation des « worms ». La direction de pendage est indiquée par le code de couleur, le plongement s'effectue du bleu vers les autres couleurs et chaque couleur correspond à une profondeur établie (suivant un pas donné) permettant de connaître l'évolution du contact (1) schéma représentatif de l'évolution des « worms » en carte et en coupe, la coupe A-B montre un faible pendage vers B, la coupe C-D montre un fort pendage vers D. (2) représentation 3-D d'un série de « worms » symbolisant l'évolution latérale d'un contact en profondeur.

7.1.3 Données aéromagnétiques disponibles et filtres appliqués

La composante résiduelle du champ magnétique total : Cette grille illustre les petites variations du champ magnétique à l'intérieur du Canada, appelées «anomalies magnétiques». Ces variations sont en grande partie attribuables aux variations des propriétés magnétiques de la croûte terrestre. La composante résiduelle du champ magnétique total est calculée en soustrayant du champ magnétique total observé le Champ géomagnétique international de référence, un modèle du champ géomagnétique qui inclut la variation séculaire et qui varie donc quelque peu d'une année à l'autre. Le résultat obtenu représente la composante du champ total qui est dominée par les effets magnétiques attribuables aux unités lithologiques de la croûte.

Dérivée première verticale : La grille de la dérivée première verticale de la composante résiduelle du champ magnétique total quantifie le taux de variation du champ magnétique suivant la verticale. La grille de données magnétiques à maille de 200 m a été convertie dans le domaine des fréquences à l'aide d'une transformation de Fourier rapide. La fonction de transformation de la dérivée verticale a alors été appliquée aux données du domaine des fréquences afin d'accentuer les plus hautes fréquences. Les données ont par la suite été reconverties dans le domaine spatial en utilisant une transformation de Fourier rapide inverse. Ce filtre a pour effet d'éliminer la composante de grande longueur d'onde et de faciliter la résolution des anomalies rapprochées, voire superposées (Commission Géologique du Canada 2006). Ces transformations amplifient également le bruit dans les données ce qui limite l'utilisation de dérivées d'ordre supérieur. La dérivée verticale est souvent employée pour tracer les contacts entre les domaines magnétiques à grande échelle, car sa valeur est de zéro à l'aplomb des contacts verticaux (Hood 1965).

Dérivée seconde verticale : Comme la dérivée première verticale, cette grille a été calculée à partir de la de la composante résiduelle de champ magnétique total. La transformation effectuée sur cette grille suit la même démarche que la grille de la dérivée verticale. Cette transformation est appliquée deux fois dans le but d'accentuer à l'extrême les contacts entre les domaines magnétiques à grande échelle. Il n'est pas intéressant d'effectuer des dérivées verticales d'ordre supérieur à deux car les artefacts générés dans les données seraient trop importants et fausseraient l'identification des contacts qui sont recherchés.

Ombrage du champ total : L'ombrage du champ total est un effet visuel qui simule la présence d'un soleil (d'une source de lumière). La source de lumière peut être placée, par rapport à l'image, suivant deux facteurs :

- l'altitude, selon un angle A par rapport à l'horizontale,
- la position autour de l'image, selon un angle B par rapport au Nord (0°).

Une source lumineuse placée à B=0° ou 360°, simulera une illumination provenant du Nord et tendra à faire apparaître les structures est - ouest qui sont perpendiculaires à l'illumination. Plus l'angle A sera important et plus la source de lumière sera élevée. Il est préférable d'utiliser des angles faibles qui marquent mieux les « reliefs ». Il n'existe pas d'angle privilégié, des tests suivant différentes altitudes sont préconisés pour déterminer le meilleur visuel. La finalité de cette méthode est de faire apparaître les structures suivant une orientation prédéfinie.

7.1.4 Données Radioactives

La spectrométrie gamma est une méthode efficace pour mesurer les concentrations des éléments radioactifs individuels (en particulier, K, U, Th), lesquels, en raison de leurs signatures radioactives caractéristiques, servent de base pour cartographier les roches et les sols.

7.1.5 Superficie couverte par les données géophysiques

La couverture des données géophysiques utilisées couvrent un secteur bien plus important que la partie sud-ouest de la Province de Grenville (Figure 21). Cette surface importante nous permettra premièrement de suivre les linéaments qui se prolongent hors de la province, mais également de limiter les effets de bord lors des traitements effectués qui pourraientt fausser l'information recherchée.

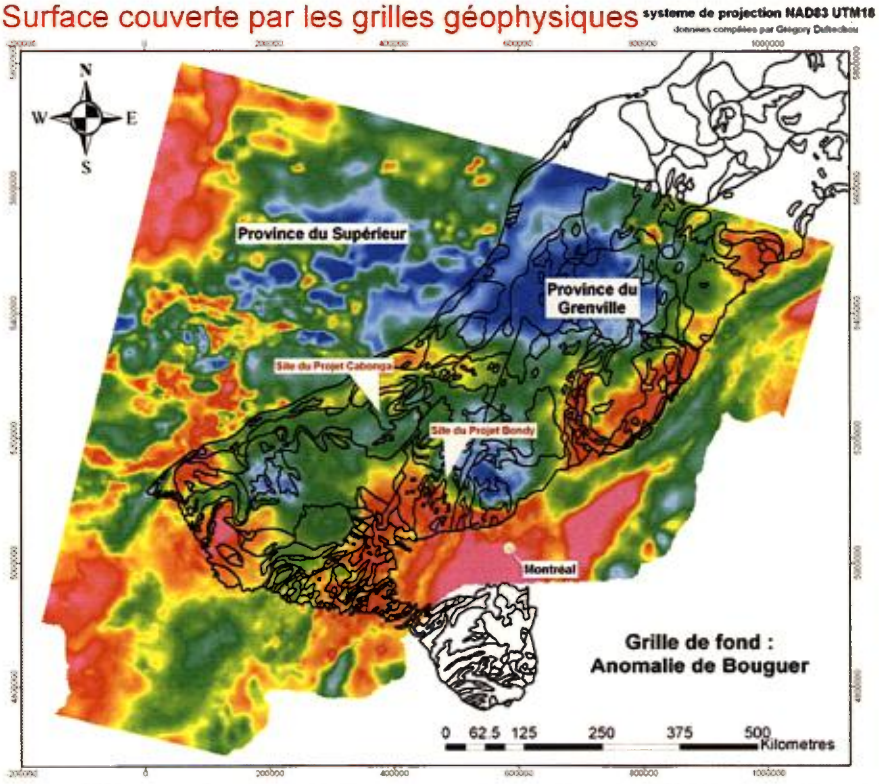


Figure 21 : Superficie des données géophysiques utilisées lors de l'étude. La grille géophysique recouvre entièrement la Ceinture Métasédimentaire Centrale au Québec et en Ontario, seule la partie américaine de la province, les Adirondacks, n'est pas couverte.

7.2 Étude de linéaments régionaux

Dans l'intérêt de comprendre les relations entre les structures crustales et la formation de zones minéralisées, ainsi que l'histoire géotectonique régionale, une étude géophysique à l'échelle régionale sur le sud-ouest de la Province de Grenville sera effectuée (Figure 21) et sera accès sur l'étude de cartes de linéaments. Ces cartes seront

produites au sein d'ArcGIS à partir de l'interprétation des grilles gravimétriques de l'anomalie de Bouguer, des dérivées verticales et horizontales et de prolongation vers le haut de l'anomalie de Bouguer, ainsi que sur celle des grilles aéromagnétiques avec la composante résiduelle du champ total, la dérivée première et seconde verticale, l'ombrage du champ total.

Les cartes de linéaments vont permettre de cibler de possible manifestation des grandes zones de déformation, comme les zones de cisaillement. Les linéaments majeurs sont ceux dont la trace se prolonge le plus en profondeur. Ils seront déterminés à l'aide de l'interprétation des grilles de prolongation vers le haut des données gravimétriques de l'anomalie de Bouguer. Cette méthode permettra d'avoir une hiérarchisation des linéaments suivant leur profondeur. Les données aéromagnétiques vont apporter une information sur des évènements ductiles et renseignera sur l'orientation des plis régionaux par exemple. Cela permettra de d'identifier au niveau régional les changements d'orientation des plis pour tenter de corréler certains changements d'orientation avec la présence de linéaments.

La comparaison des cartes de linéaments avec les bases de données gouvernementales (indices de minéralisation, mines actives ou fermées, failles, contacts lithologiques...etc.), permettra d'étudier la nature des linéaments et les liens possibles avec des zones minéralisées.

7.3 Mesures géophysiques

Les grilles géophysiques disponibles sont régionales, ce qui implique une résolution trop grossière pour pouvoir effectuer une étude locale fiable. L'utilisation des « worms » dans cette étude nécessitera la mesure de nouvelles stations gravimétriques. Les nouvelles stations gravimétriques seront mesurées à l'intérieur et autour du complexe gneissique de Bondy, pour générer de nouvelles grilles gravimétriques plus précises des zones d'intérêts.

Le matériel nécessaire à la mesure des stations, sera soit prêté par une compagnie spécialisée dans la location d'instruments géophysiques, soit fourni par la commission géologique du Canada. Les mesures de stations se feront probablement durant un court séjour sur le terrain de deux semaines en début d'été.

Ces nouvelles données permettront de mieux cibler des zones potentiellement minéralisées, de comparer les cartes de « worms » générées à partir de la grille gravimétrique régionale avec celle générée à partir de la nouvelle grille locale et d'estimer la fiabilité des données régionales pour une application locale.

7.4 Travaux de terrain

7.4.1 Recherche préliminaire de zones minéralisées

Une campagne de terrain a été effectuée durant l'été 2006 et s'est déroulée en partenariat avec une équipe de prospection de la compagnie *Richmond Minerals Inc* operateur pour le projet Grenville. Cette période fut dédiée à la recherche de zones présentant un potentiel économique qui seront étudiées et approfondies lors de cartographies ou d'études structurales durant ce projet.

Les secteurs visités durant cette campagne correspondent à des concessions d'exploration minière de la compagnie, et coïncident avec des anomalies magnétiques régionales. Les concessions minières étaient localisées autour du réservoir Cabonga dans la réserve faunique de la Verendrye, qui était défini par la compagnie comme le « projet Cabonga » et dans le secteur de Mont Laurier, incluant le complexe gneissique de Bondy, défini comme le « projet Bondy » (Figure 21).

7.4.2 Cartographie et étude structurale

Une cartographie détaillée sera effectuée sur les secteurs d'étude qui auront été défini lors de la recherche de zones minéralisées et permettra de définir la nature des indices minéralisés, ainsi que la ou les roches encaissantes.

Une analyse structurale des zones minéralisées, se fera d'abord sur le terrain, par l'étude détaillée des affleurements et la mesure de données structurales : éléments planaires et linéaires, foliation régionale/locale, directions de pendages, stries de failles, fabriques c/s et autres indicateurs cinématiques. Ces données permettront de caractériser la nature des déformations (fragile, fragile-ductile, ductile), pour comprendre la géométrie et la chronologie de mise en place des zones minéralisées par rapport à la déformation régionale (plis et failles).

Des coupes structurales seront également réalisées de façon à étudier les possibles phénomènes géologiques matérialisés par les linéaments, spécialement ceux qui sont censés représenter des accidents profonds, mais aussi les « worms » calculés à partir des données gravimétriques régionales et locales. Ces coupes permettront en conséquence de déterminer si les linéaments ou « worms » sont associés à des expressions géologiques : failles ou zones de déformation, changement d'orientation de la foliation, des plis ou d'autres structures ductiles, changements lithologiques ou la présence de zones d'altération...etc.

7.4.3 Échantillonnage

L'échantillonnage sur le terrain se fera avec une scie à béton équipée d'une lame à diamants. L'utilisation de la scie permettra de découper des blocs de tailles conséquentes (environ 10x10x20 cm) de roches « fraiches », non altérées. Ces blocs seront orientés, pour permettre l'étude des différentes fabriques et ainsi compléter les données structurales prises sur le terrain. Ils pourront par la suite être utilisés pour les études géochimiques faites par Vladimir Antonoff dans le cadre de son doctorat. Cependant, compte tenu du poids et de l'encombrement de la scie, l'échantillonnage pourra être compliqué dans certains secteurs très éloignés de routes ou difficiles d'accès.

7.5 Étude des échantillons en laboratoire

L'étude structurale en laboratoire des blocs orientés, prélevés sur le terrain, vont permettre de compléter l'information structurale obtenue sur le terrain. L'équipement présent au sein du centre Eau, Terre, Environnement de l'INRS va nous permettre de scier les blocs orientés suivant différents plans dans le but de caractériser précisément la nature des fabriques présentes ainsi que les relations entre elles.

Des analyses minéralogiques et géochimiques seront effectuées lors du projet de Vladimir Antonoff, sur les mêmes blocs utilisés lors de l'étude structurale. Ces données seront accessibles dans le cadre de ce doctorat et pourront être compilées avec les données structurales pour favoriser la compréhension du modèle de minéralisation observé sur le terrain.

7.6 Modélisation analogique de structures ou de contextes géologiques liés à la réactivation de structures profondes du socle et de la mise en place de minéralisation

Dépendant des résultats des études sur le terrain et de laboratoire ci-dessus, un programme expérimental pourra être entrepris s'il est considéré comme pertinent. Alternativement, si des priorités de temps ou de recherches indiquent qu'un tel programme de modélisation physique ne soit pas faisable dans le présent projet, il pourra être entrepris par un autre étudiant et les résultats seront utilisés dans ce projet doctoral.

Les modélisations qui seront potentiellement effectuées durant cette étude seront des modèles en centrifugeuse (Figure 22 (A)). Une centrifugeuse à forte accélération spécifiquement adaptée pour la modélisation géologique permet de recréer dans les modèles, des conditions dynamiques analogues à celles des structures de la croûte moyenne à profonde à l'aide de silicone, de pâte à modeler ou de mélange des deux. Les modèles en centrifugeuse sont particulièrement utiles là où les forces ou les instabilités gravitationnelles du corps sont importantes, ou encore par exemple pour étudier la remobilisation des sulfures nickélifères dans des zones de cisaillement (Harris et al. 2006). De plus la présence d'un scanner CT (Figure 22 (B)) au laboratoire de modélisation physique à l'INRS-ETE et la possibilité de l'utiliser permettrait d'exploiter au maximum les modèles et d'en tirer le maximum d'informations.

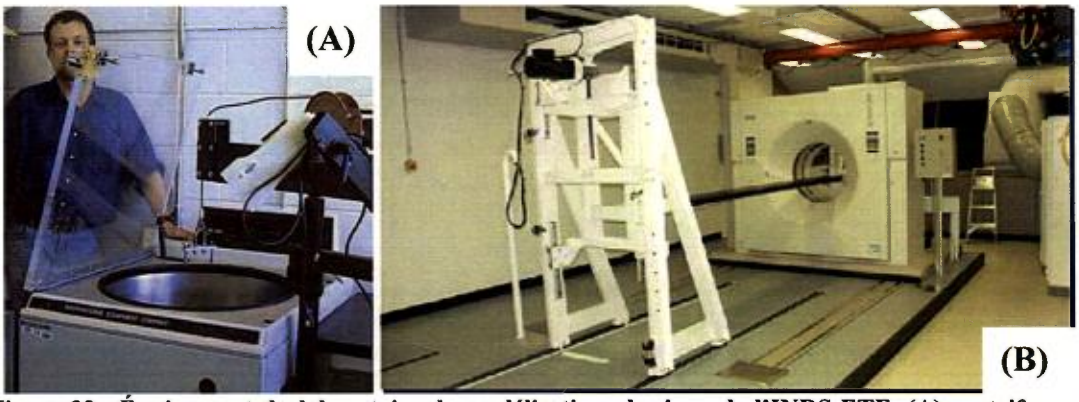


Figure 22 : Équipement du laboratoire de modélisation physique de l'INRS-ETE. (A) centrifugeuse (B) scanner CT.

Les modèles analogiques constitueraient un soutien non négligeable pour la compréhension des mécanismes de mise en place de minéralisations liées à la réactivation de structures de socle. Le choix exact des modèles réalisés durant l'étude sera essentiellement guidé par les résultats et les structures découverts sur les zones minéralisées lors des campagnes de terrain. Il est probable que les modèles essaieront de reproduire un contexte géodynamique similaire à celui décrit lors de l'étude structurale

du ou des secteurs clés, en tenant compte du contexte plus régional. Ce modèle permettra d'argumenter et éventuellement d'expliquer la mise en place de la minéralisation si celle-ci est liée à un évènement tectonique local, ou à certains évènements tectoniques régionaux comme l'origine et le mouvement de la zone de cisaillement de Labelle (Figure 16).

8 Travaux entrepris/en cours

8.1 Les cours suivis

Deux cours obligatoires ont été complétés:

- GEO9604 Analyse structurale des tectoniques.
- GEO9913 Terrains de haut-grade métamorphiques.

Deux cours, ont également été suivis en tant qu'auditeur libre

- EAU430 Télédétection: principes de bases.
- EAU431 Télédétection : extraction de l'information.

8.2 Compilation des données

En plus des données géophysiques décrites précédemment, un nombre important de données, le plus souvent d'informations géographiques ont été intégrés au sein du SIG, dans le but de compiler le maximum d'informations. Les données suivantes ont donc été ajoutées à la base de données géophysiques :

- La carte géologique de la Province de Grenville 1/2 000 000 (Davidson 1998).
- La carte géologique des feuillets SNRC 31J02, 03, 06 au 1/250 000.
- Les données numériques de la Base Nationale de Données Topographiques (BNDT) à l'échelle 1/50 000 et 1/250 000 et incluant :
  - Lignes de niveaux.
  - Rivières, cours d'eau et lacs.
  - Réseau routier (de l'autoroute jusqu'aux sentiers) et ferroviaires.
  - Communes.
- L'ensemble des mines et indices de minéralisation.
- La localisation des concessions minières de la compagnie *Limestone Basin Exploration Ltd* et *Richmond Minerals Inc.*
- La position et une description détaillée, des affleurements visités par Louise Corriveau durant les années 90 dans la région de Mont-laurier.
- La position des échantillons, ainsi qu'une succincte description de l'affleurement, prélevés lors de la campagne de terrain 2006

8.3 Campagne de terrain 2006

8.3.1 Sécurité

Une formation de secourisme en régions isolées a été suivie par tous les intervenants de l'INRS-ETE impliqués dans ce projet et présents sur le terrain, dans l'intérêt de minimiser les risques et de garantir des soins adéquats si nécessaire. Le

maximum de précautions a été pris lors des journées de travail dans les secteurs « à risques » : des équipes de deux étaient formés, le trajet journalier et les lieux de travaux de chacun étaient connus, chaque membre était équipé d'une trousse de 1^{iers} soins, de cartes, d'un GPS faisant émetteur-récepteur. L'ensemble des précautions prises lors de l'été ont permis d'éviter tous problèmes importants.

8.3.2 Projet Cabonga

La documentation de ce secteur est relativement faible, et le manque de précision des cartes géologiques du ministère sont des preuves de la méconnaissance actuelle de la région. Cette méconnaissance est facilement explicable par la pauvreté de l'affleurement constatée, à l'exception des bords de lacs, durant la période de recherche. De plus l'importante superficie de la région d'étude, située sur six feuillets SNRC : 31N/01, 31N/02, 31N/07, 31N/08, 31N/09, 31N/10, et l'éloignement des concessions (Figure 23), n'a pas permis la découverte de secteurs dignes d'intérêts.

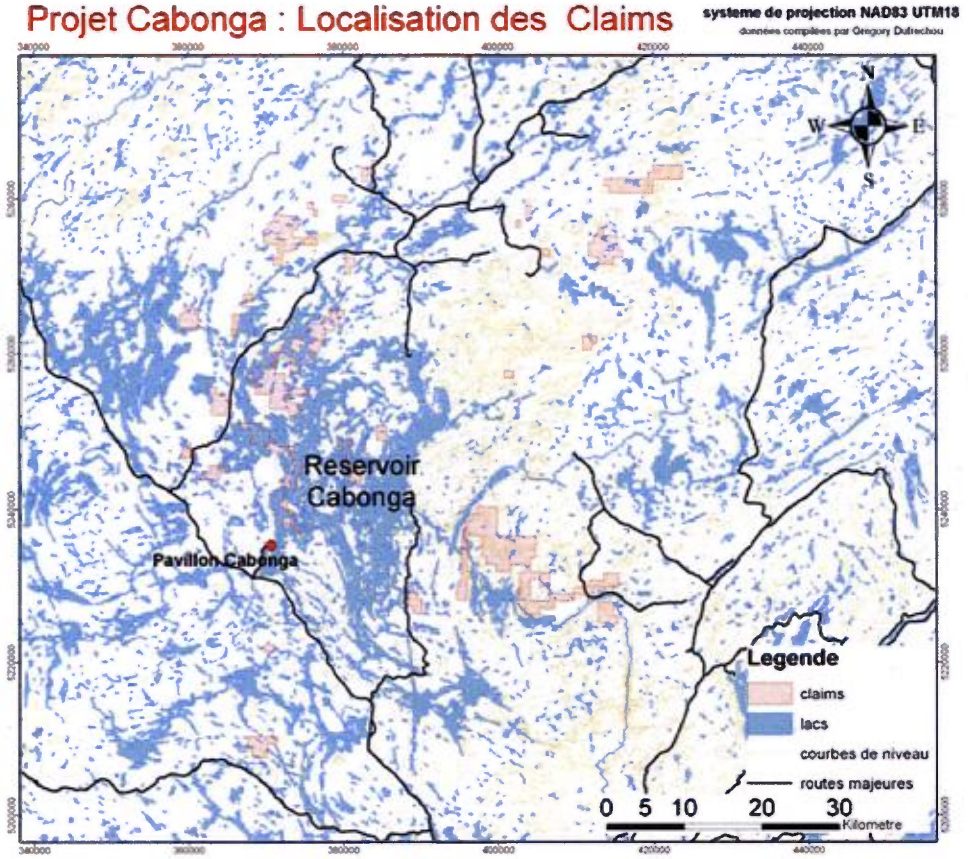


Figure 23 : Localisation des différentes concessions minières (claims) de *Limestone Basin Exploration Ltd* et *Richmond Minerals Inc*, correspondant au projet Cabonga, dans la réserve faunique de la Verendrye. Le pavillon Cabonga est le site d'hébergement lors de la campagne

8.3.3 Projet Bondy

Le projet Bondy s'est déroulé principalement dans le complexe gneissique de Bondy, qui est localisé dans la réserve faunique de Papineau-Labelle au sud de Mont-Laurier (Figure 24). Les concessions de la compagnie étaient situées dans le Feuillet SRNC 31J/06. Il existait déjà une bonne documentation de ce secteur (Corriveau et al. 1997, Blein et al. 2003b), ainsi qu'une carte géologique détaillée (Corriveau & Jourdain 1993).

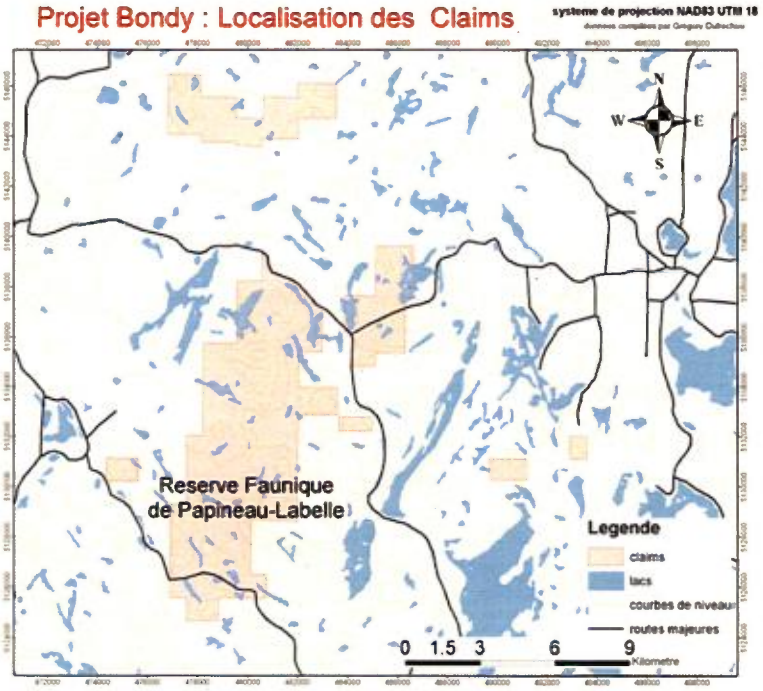


Figure 24 : Localisation des différentes concessions d'exploration minières (claims) de *Limestone Basin Exploration Ltd* et *Richmond Minerals Inc*, correspondant au projet Bondy, dans la réserve faunique de Papineau-Labelle.

Les travaux effectués durant l'été dans ce secteur ont permis de découvrir, plusieurs secteurs minéralisés, tous situés dans le complexe gneissique de Bondy. Des structures de déformation ductiles ont été identifiées, mais aussi de la déformation plus fragile. Les fabriques relevées ont mis en avant la complexité de l'histoire tectonique des zones découvertes et la présence de mylonites, ainsi que le possible lien entre les zones minéralisées et des structures extensives.

9 Échéancier/travaux futurs

session	activités
hiver 2007	Examen doctoral. Analyse des échantillons en laboratoire. Planification d'étude de terrain
été 2007	Compilation et étude des données de terrain. Mesure de station gravimétrique sur le terrain pour générer des cartes gravimétriques plus précises autour des secteurs minéralisés (2 semaines en juin ou juillet) Traitement géophysique des nouvelles grilles et étude sur la validité des linéaments à l'échelle locale. Campagne(s) de terrain ciblée(s) (fin août-début septembre).
automne 2007	analyse des nouveaux échantillons en laboratoire et interprétation des données de terrains. Définition d'une hypothèse du contexte de formation des secteurs minéralisé, du timing par rapport au métamorphisme régional et détermination du rôle structural à partir des observations de terrain et des échantillons.
hiver 2008	Identification et caractérisation des structures crustales ou lithosphériques à l'échelle régionale et détermination de secteurs présentant les caractéristiques d'une zone de minéralisation IOCG à l'aide de l'imagerie géophysique. Commencer modèle physique en centrifugeuse.
été 2008	Campagne de terrain, et vérifier le modèle proposé pour caractériser la zone minéralisée. Déterminer l'expression des linéaments ou des Worms à l'échelle locale. Début de rédaction d'un ou deux articles sur les linéaments et les Worms au point de vue régional et/ou local.
automne 2008	Finir modèle physique en centrifugeuse. Début de rédaction d'un article sur l'étude structurale de/des zone(s) d'étude.
hiver 2009	Finir la rédaction des articles en cours. Rédaction d'un article sur le modèle physique en centrifugeuse. Début de rédaction du Mémoire.
été 2009	rédaction du mémoire.
automne 2009	Soutenance du doctorat.

10 Conclusion

Le projet défini dans ce devis propose une révision multidisciplinaire, mais principalement structurale du mode minéralisation dans le sud-ouest de la Province de Grenville, en se basant sur le modèle de minéralisation de type oxydes de fer à cuivre-or et sur la possible réactivation en contexte extensif de failles crustales. L'utilisation de données géophysiques régionales constituera une base de données majeure pour cette étude. Cela permettra de localiser et d'identifier des zones de déformation crustales, ainsi que la possible correspondance entre ces structures profondes et les gîtes ou indices de minéralisation connus.

L'information dégagé lors de l'étude régionale, servira à définir des cibles potentielles de gîtes à oxydes de fer à cuivre-or de minéralisations en se basant sur les caractéristiques des gîtes IOCG majeurs.

Le possible contrôle structural de minéralisation sera également développé à l'échelle locale, en se focalisant sur un secteur déjà connu : le complexe gneissique de Bondy, qui présente un potentiel en terme de minéralisation IOCG. Cette approche locale permettra d'éclaircir les implications structurales intervenant dans la formation de zones minéralisées d'un terrain de haut grade en définissant, la chronologie relative par rapport au métamorphisme régional, et les vecteurs structuraux guidant la mise en place ou abritant les corps minéralisés.

Ce doctorat tentera donc de prouver l'implication régionale de structures crustales dans la formation zones minéralisées et essaiera de déterminer quelles sont les structures plus locales susceptibles d'intervenir dans la formation des zones minéralisées. Les résultats obtenus lors de cette étude pourront également être utilisés par l'industrie minière comme base pour de futures campagnes de prospection de zones minéralisées en terrain de haut grade similaire.

Références bibliographiques

Archer, P., Chapelaine, M. & Huot, F. 2004. Discovery of high grade metamorphosed volcanogenic massive sulphides in the Coulon belt, James Bay. In: *Québec Exploration 2004*. Abstract of oral presentation, Québec, 73.

Archibald, N. J., Gow, P. A. & Boschetti, F. 1999. Multiscale edge analysis of potential field data. *Exploration Geophysics* **30**, 38-44.

Archibald, N. J., Holden, D., Mason, R., Power, B., Boschetti, F., Horowitz, F. & Hornby, P. 2001. There's a worm in my soup: wavelet based analysis for interpretation of crustal scale potential field data and implications for identification of giant hydrothermal ore systems. In: *2001—a hydrothermal odyssey* (edited by EGRU). James Cook University Queensland,, Townsville, 5-7.

Baker, T. 1998. Alteration, mineralization, and fluid evolution at the Eloise Cu-Au deposit, Cloncurry district, Northwest Queensland, Australia. *Economic Geology* **93**, 213-1236.

Barley, M. E., Rak, P. & Wyman, D. 2002. Tectonic controls on magmatic-hydrothermal gold mineralization in the magmatic arcs of SE Asia. In: *The Timing and Location of Major Ore Deposits in an Evolving Orogen* (edited by Blundell, D. J., Neubauer, F. & von Quadt, A.) **204**. Geological Society of London Special Publications, 39-47.

Barton, M. D. & Johnson, D. A. 2000. Alternative brine sources for Fe-oxide(-Cu-Au) systems: Implications for hydrothermal alteration and metals. In: *Hydrothermal iron oxide copper-gold and related deposits a global perspective* (edited by Porter, T. M.). Australian Mineral Foundation, Glenside, South Australia, 43-60.

BHP Billiton. 2006. Olympic Dam Analyst Presentation. http://www.bhpbilliton.com/bbContentRepository/20061215115738/olympicdam2006.pdf.

Bierlein, F. P., Murphy, F. C., Weinberg, R. F. & Lees, T. 2006. Distribution of orogenic gold deposits in relation to fault zones and gravity gradients: targeting tools applied to the Eastern Goldfields, Yilgarn Craton, Western Australia. *Mineralium Deposita* **41**, 107-126.

Blein, O., Laflèche, M. R. & Corriveau, L. 2003a. Geochemistry of the granulitic Bondy gneiss complex: a 1.4 Ga arc in the Central Metasedimentary Belt, Grenville Province, Canada. *Precambrian Research* **120**, 193-217.

Blein, O., LaFlèche, M. R. & Corriveau, L. 2003b. Geochemistry of the granulitic Bondy Gneiss Complex: A 1.4 Ga arc in the Central Metasedimentary Belt, Grenville Province, Canada. *Precambrian Research* **120**, 193-218.

Boggs, K. J. E., van, B., O., Corriveau, L. & Sawyer, E. W. 1994. New insights on metamorphism in the Central Metasedimentary Belt of Quebec, Grenville Province. In: *V. M. Goldschmidt Conference; extended abstracts.* (edited by Harte). *Mineralogical Magazine* **58a**. Mineralogical Society, London, United Kingdom, 105-106.

Bonnet, A.-L. & Corriveau, L. 2007. Alteration vectors to metamorphosed hydrothermal systems in gneiss terranes. In: *Mineral Resources of Canada: A Synthesis of Major Deposit-types, District Metallogeny, the Evolution of Geological*

Provinces, and Exploration Methods (edited by Goodfellow, W. D.). Geological Association of Canada, Special Volume, (in press).

Budd, A. 2006. Hiltaba–GRV A- and I-type supersuites: relationship to IOCG and Au mineralisation. In: *IOCG Workshop Geoscience Australia*, Adelaide.

Busch, J. P., Van Der Puim, B. A., Hall, C. M. & Essene, E. J. 1996. Listric normal faulting during postorogenic extension revealed by 40Ar/39Ar thermochronology near the Robertson Lake shear zone, Grenville orogen, Canada. *tectonics* **15**, 387-402.

Carr, S., Easton, R. M., Jamieson, R. A. & Culshaw, N. G. 2000. Geologic transect across the Grenville orogen of Ontario and New York. *Canadian Journal of Earth Sciences* **37**(2-3), 193-216.

Charlton, T. R. 1991. Postcollision extension in arc-continent collision zones, eastern Indonesia. *Geology* **19**, 28-31.

Chernicoff, C. J., Richards, J. P. & Zappettini, E. O. 2002. Crustal lineament control on magmatism and mineralization in northwestern Argentina: geological, geophysical, and remote sensing evidence. *Ore Geology Reviews* **21**, 127–155.

Chiaradia, M., Banks, D., Cliff, R., Marschik, R. & Haller, A. d. 2006. Origin of fluids in iron oxide-copper-gold deposits: constraints from δ37Cl, 87Sr/86Sri and Cl/Br. *Mineralium Deposita* **41**(6), 565-573.

Clark, D. A. 1997. Magnetic petrophysics and magnetic petrology: aids to geological interpretation of magnetic surveys. *AGSO Journal of Geology and Geophysics* **17**(2), 83-103.

Clark, D. A. & Emerson, D. W. 1991. Notes on rock magnetization caracteristics in applied geophysical studies. *Exploration Geophysics* **22**(3), 547-555.

Clark, T. 2003. Métallogenie des métaux usuels et précieux, des éléments radioactifs et des éléments des terres rares, région de la moyenne Côte-Nord. In: *Géologie et Ressources minérales de la Partie Est de la Province de Grenville* (edited by Brisebois, D. & Clark, T.). Ministère des Ressources naturelles de la Faune et des Parcs, Québec, DV 2002-03, 269-326.

Commission Géologique du Canada. 2006. Entrepôt de données géoscientifiques. http://gdr.nrcan.gc.ca/index_f.php.

Corrigan, D., Culshaw, N. G. & Mortensen, J. K. 1994. Pre-Grenvillian evolution and Grenvillian overprinting of the Parautochtonous Belt in Key Harbour, Ontario: U-Pb and field constraints. *Canadian Journal of Earth Sciences* **31**, 583-596.

Corrigan, D. & van Breemen, O. 1997. Anorthosite and related granitoids in the Grenville orogen: a product of convective thinning of the lithosphere? *Geology* **25**(1), 61-64.

Corriveau, L. 2003. Architecture 4D de la ceinture métasédimentaire cenrale au Québec, Province de Grenville - Un exemple d'analyse de terrains de haut-grade métamorphique. *Bulletin de la Commission Géologique du Canada*, (non publié).

Corriveau, L. 2005. Introduction to the Grenville Province: a geological and mineral resources perspective derived from government and academic research initiatives1, 2. *Canadian Journal of Earth Sciences* **42**, 1637-1642.

Corriveau, L. 2007. Fe oxide copper-gold deposits: a Canadian perspective. In: *Mineral Deposits of Canada: A Synthesis of Major Deposit-types, District Metallogeny, the Evolution of Geological Provinces, and Exploration Methods* (edited by

Goodfellow, W. D.). Geological Association of Canada, Mineral Deposits Division, Special Publication, xx-xx.

Corriveau, L., Blein, O. & LaFlèche, M. 1997. Progress report on the Bondy gneiss complex and its cupriferous hydrothermal system, Mont-Laurier area. Ministère des Ressources naturelles, Québec, GM 54804, 1 carte, 133.

Corriveau, L. & Bonnet, A.-L. 2005. Pinwarian (1.5 Ga) volcanism and hydrothermal activity at the eastern margin of the Wakeham Group, Grenville Province, Quebec. *Canadian Journal of Earth Sciences* **42**, 1749-1782.

Corriveau, L. & Clark, T. 2005. The Grenville Province: A geological and mineral resources perspective derived from gouvernment and academic research initiatives. *Canadian Journal of Earth Sciences* **42**, 1637-1642.

Corriveau, L. & Jourdain, V. 1993. Geology of the Lac Nominingue area, Québec (NTS 31J/6). Scale 1:50 000. *Geological Survey of Canada* **Open file 2641.**

Corriveau, L. & Jourdain, V. 2000. Lac Nominingue - 31J06. In: *carte SI-31J06-C3G-99L*. Ministère des Ressources naturelles, Québec.

Corriveau, L., Perreault, S. & Davidson, A. 2007. Prospective metallogenic settings of the Grenville Province. In: *Mineral Deposits of Canada: A Synthesis of Major Deposit-types, District Metallogeny, the Evolution of Geological Provinces, and Exploration Methods* (edited by Goodfellow, W. D.). Geological Association of Canada, Mineral Deposits Division, Special Publication 5, xx-xx.

Corriveau, L., Rivard, B. & van Breemen, O. 1998. Rheological controls on Grenvillian intrusive suites; implications for tectonic analysis. In: *Extraction, transport and emplacement of granitic magmas.* (edited by Benn, K ; Cruden, R ; Sawyer & W ; Evans). *Journal of Structural Geology* **20**. Pergamon, Oxford-New York, International, 1191-1204.

Corriveau, L. & van Breemen, O. 2000. Docking of the Central Metasedimentary Belt to Laurentia in Geon 12; evidence from the 1.17-1.16 Ga Chevreuil Intrusive Suite and host gneisses, Quebec. *Canadian Journal of Earth Sciences* **37**, 253-269.

Crafford, A. E. J. & Grauch, V. J. S. 2002. Geologic and geophysical evidence for the influence of deep crustal structures on Paleozoic tectonics and the alignment of world-class gold deposits, north-central Nevada, USA. *Ore Geology Reviews* **21**, 157-184.

Craske, T. E. 1995. Geological aspects of the discovery of the Ernest Henry Cu-Au deposit, northwest Queensland. *Australian Institute of Geoscientists Bulletin* **16**, 95-109.

Daigneault, R. & Allard, G. O. 1994. Transformation of Archean structural inheritance at the Grenville foreland parautochton transition zone, Chibougamau, Quebec. *Canadian Journal of Earth Sciences* **31**, 470-488.

Davidson, A. 1984. Identification of ductile shear zones in the southwestern Grenville Province of the Canadian Shield. *Precambrian tectonics illustrated. IUGS subcommission on Precambrian structural type regions, final report*, 263-279.

Davidson, A. 1995. Tectonic history of the Grenville Province, Ontario. Precambrian '95. Field trip guidebook A5. *Geological Survey of Canada* **Open File 3142**, 150.

Davidson, A. 1998. Carte géologique de la Province de Grenville, Canada et parties adjacentes des États-Unis d'Amérique. Commission Géologique du Canada., échelle 1/2 000 000, Carte 1947A.

Davidson, A. 2001. The Chief Lake complex revisited, and the problem of correlation across the Grenville Front south of Sudbury, Ontario. *Precambrian Research* **107**(1-2), 5-29.

de Boorder, H., Spakman, W., White, S. H. & Wortel, M. J. R. 1998. Late Cenozoic mineralization, orogenic collapse and slab detachment in the European Alpine Belt. *Earth and Planetary Science Letters* **164**, 569-575.

Dewey, J. F. 1988. Extensional collapse of orogens. *tectonics* 7, 1123-1139.

Dewey, J. F. & Burke, K. C. 1973. Tibetan, Variscan and Precambrian basement reactivation: Products of continental collision. *Journal of Geology* **81**, 683-692.

Drummond, B., Lyons, P., Goleby, B. & Jones, L. 2006. Constraining models of the tectonic setting of the giant Olympic Dam iron oxide–copper–gold deposit, South Australia, using deep seismic reflection data. *Tectonophysics* **article in press**, available online at www.sciencedirect.com.

Easton, R. M. 1992. The Grenville Province and the Proterozoic history of central and southern Ontario. In: *Geology of Ontario* (edited by P.C. Thurston, H. R. W., R.H. Sutcliffe, and G.M. Scott). Ontario Geological Survey, special volume 4, 715-904.

Easton, R. M. 2000. Metamorphism of the Canadian Shield, Ontario, Canada II. Proterozoic Metamorphic History *The Canadian Mineralogist* **38**, 319-344.

Eilu, P. 2004. Review of gold mineralization in Finland.

Eilu, P. & Niiranen, T. 2002. Iron oxide-copper-gold deposits in Finland. Geological Survey of Finland, Report M 10.1/2002/4, 6 p.

Faure, S. 2003. Les gisements protérozoïques d'oxydes de fer polymétalliques: Cibles d'exploration au Québec. In: *Unpublished Report*. CONSOREM.

Friedman, R. & Martignole, J. 1995. Mesoproterozoic sedimentation, magmatism, and metamorphism in the southern part of the Grenville Province (western Quebec): U-Pb geochronological constraints. *Canadian Journal of Earth Sciences* **32**, 2103-2114.

Galley, A., Hannington, M. & Jonasson, I. 2007. Volcanogenic massive sulphide deposits. In: *Mineral Deposits of Canada: A Synthesis of Major Deposit-types, District Metallogeny, the Evolution of Geological Provinces, and Exploration Methods* (edited by Goodfellow, W. D.). Geological Association of Canada, Mineral Deposits Division, Special Publication 5, xx-xx.

Gandhi, S. S. 1992. Magnetite-rich breccia of the Mar deposit and veins of the Nod prospect, southern Great Bear magmatic zone, Northwest Territories. *Geological survey of Canada* **Current Research, Part C Paper 92-1C**, 237-249.

Gandhi, S. S. 2003. An overview of the Fe oxide-Cu-Au deposits and related deposit types: CIM Montreal 2003. *mining Industry Conference and Exhibition, Canadian Institute of Mining, Technical Paper, CD-ROM.*

Garwin, S. 2000. The geologic setting of intrusion-related hydrothermal systems near the Batu Hijau Porphyry copper-gold deposit, Sumbawa, Indonesia. In: *Integrated methods for discovery: Global exploration in the 21st Century* (edited by Glodfarb, R. J. & Nielsen, R. L.). Society of Economic Geologists, special Publication No. 9, 333-336.

Garwin, S. 2002. Tectonic setting and gold-copper mineralization in Cenozoic magmatic arcs of southeast Asia. In: *Geological Society of America 2002 Denver annual*

Meeting. http://gsa.confex.com/gsa/2002AM/finalprogram/abstract_38550.htm, Denver.

Gauthier, M. 1982. Métallogénie du zinc dans la région de Maniwaki-Gracefield. ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec, 2 cartes à l'échelle du 1/20 000.

Gauthier, M. & Chartrand, F. 2005. Metallogeny of the Grenville Province revisited. *Canadian Journal of Earth Sciences* **42**, 1719-1734.

Gauthier, M., Chartrand, F., Cayer, A. & David, J. 2004. The Kwyjibo Cu–REE–U–Au–Mo–F property, Quebec: a Mesoproterozoic polymetallic iron oxide deposit in the Northeastern Grenville Province. *Economic Geology* **99**, 1177-1196.

Gobeil, A., Brisebois, D., Clark, T., Verpaelst, P., Madore, L., Wodicka, N. & Chevé, S. 2003. Synthèse géologique de la région de Manitou-Wakeham (moyenne-côte-nord). In: *Géologie et Ressources minérales de la Partie est de la Province de Grenville* (edited by Brisebois, D. & Clark, T.). ministère des Ressources naturelles de la Faune et des Parcs, Québec, DV 2002-03, 9-58.

Gow, P. A., Upton, P., Zhao, C. & Hill, K. C. 2002. Copper-Gold mineralisation in New-Guinea: Numerical modelling of collision, fluid flow and intrusion-related hydrothermal systems. *Australian Journal of Earth Sciences* **49**(4), 753-771.

Gower, C. F. & Krogh, T. E. 2002. A U–Pb geochronological review of the Proterozoic history of the eastern Grenville Province. *Canadian Journal of Earth Sciences* **39**, 795-829.

Gower, C. F. & Krogh, T. E. 2003. A U-Pb geochronological review of the Pre-Labradorian and Labradorian geological history of the eastern Grenville Province. In: *Géologie et Ressources minérales de la partie est de la Province de Grenville* (edited by Brisebois, D. & Clark, T.) **DV 2002-03**. ministère des Ressources Naturelles de la Faune et des Parcs, Québec, , 147-172.

Groves, D. I. & Bierlein, F. P. 2007. Geodynamic settings of mineral deposit systems. In: *Journal of the Geological Society* **164**, London, 19-30.

Groves, D. I. & Vielreicher, N. M. 2001. The Phalbowra (Palabora) carbonatite-hosted magnetite copper sulfide deposit, South Africa: an end member of the iron oxide copper-gold-rare earth element deposit group? *Mineralium deposita* **36**, 189-194.

Hanmer, S. & Ciesielski, A. 1984. A structural reconnaissance of the northwest boundary of the Central Metasedimentary Belt, Grenville Province, Ontario and Quebec. In: *Paper 84-1B*. Geological Survey of Canada, 121-131.

Hanmer, S., Corrigan, D., Pehrsson, S. & Nadeau, L. 2000. SW Grenville Province, Canada: the case against post–1.4 Ga accretionary tectonics. *Tectonophysics* **319**, 33-51.

Harris, L. B., Konstantinovskaya, E. A., Johnson, E. L., Poulin, J., Ivanov, G. & Fournier, T. 2006. Le nouveau laboratoire de simulation physique à l'INRS-ETE – applications en exploration minérale et pétrolière. In: *Québec Exploration*, Québec.

Hart, C. J. R., Goldfarb, R. J., Qiu, Y., Snee, L., Miller, L. D. & Miller, M. L. 2002. Gold deposits of the northern margin of the North China Craton: multiple late Paleozoic-Mesozoïc mineralizing events. *Mineralium Deposita* **37**, 326-351.

Haynes, D. W. 2000. Iron Oxide Copper (-Gold) Deposits: Their position in the Ore deposit Spectrum and modes of Origin. In: *Hydrothermal Iron Oxide Copper-*

Gold & Related Deposits: A Global Perspective (edited by Porter, T. M.). Australian Mineral Foundation, adelaide, 9-25.

Haynes, D. W. 2002. Giant iron oxide–copper–gold deposits: are they in distinctive geological settings? In: *Giant ore deposits: characteristics, genesis and exploration* (edited by Cooke DR, P. J.) **Special Publication 4**, Hobart, Tasmania, 57–77.

Haynes, D. W., Cross, K. C., Bills, R. T. & Reed, M. H. 1995. Olympic Dam ore genesis: a fluid-mixing model. *Economic Geology* **90**, 281–307.

Hill, K. C., Kendrick, R. D., Crowhurst, P. V. & Gow, P. A. 2002. Copper-gold mineralisation in New Guinea: tectonics, lineaments, thermochronology and structure *Australian Journal of Earth Sciences* **49**(4), 737-752.

Hitzman, M. W. 2000a. Iron Oxide-Cu-Au Deposits: What, Where, When and Why. *Australian Mineral Foundation, Adelaide*, 9-25.

Hitzman, M. W. 2000b. Source basins for sediment-hosted stratiform Cu deposits: implications for the structure of the Zambian Copperbelt. *Journal of African Earth Sciences* **30**(4), 855-863.

Hitzman, M. W., Oreskes, N. & Einaudi, M. T. 1992. Geological characteristics and tectonic setting of proterozoic iron oxide (Cu---U---Au---REE) deposits. *Precambrian Research* **58**(1-4), 241-287.

Hitzman, M. W., Reynolds, N. A., Sangster, D. F., Allen, C. A. & Carman, C. E. 2003. Classification, genesis, and exploration guides for nonsulfide zinc deposits. *Economic Geology* **98**, 685-714.

Hogarth, D. D. 1981. Partie ouest de la région de Quinnville. ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec, 28, 2 cartes à l'echelle du 1/10 000.

Hogson, C. J. 1990. Uses (and abuses) of ore deposits models in minéral exploration. *Geoscience Canada* **17**, 79-89.

Hood, P. J. 1965. Gradient measurements in aeromagnetic surveying. *Geophysics* **30**, 891-902.

Hornby, P., Boschetti, F. & Horowitz, F. 1999. Analysis of potential field data in the wavelet domain. *Geophysical Journal International* **137**, 175-196.

Kerrich, R., Goldfarb, R., Groves, D. & Garwin, S. 2000. The geodynamics of world-class gold deposits: characteristics, space-time distribution and origins. *Reviews of Society of Economic Geologists* **13**, 501-551.

Ketchum, J. W. F. & Davidson, A. 2000. Crustal architecture and tectonic assembly of the Central Gneiss Belt, southwestern Grenville Province, Canada: A new interpretation. *Canadian Journal of Earth Sciences* **37**(2-3), 217-234.

Ketchum, J. W. F., Heaman, L. M., Krogh, T. E., Culshaw, N. G. & Jamieson, R. A. 1998. Timing and thermal influence of late orogenic extension in the lower crust: a U---Pb geochronological study from the southwest Grenville orogen, Canada. *Precambrian Research* **89**(1-2), 25-45.

Lalor, J. H. 1987. The Olympic Dam copper-uranium-gold-silver deposit, South Australia. . In: *4th Circum-Pacific Energy and Mineral Resources ConferenceTransactions* (edited by Horn, M. K.), Singapore1986, 561-567.

Leistel, J. M., Bonijoly, D., Braaux, C., Freyssinet, Ph, Kosakevitch, A.,, Leca, X., Lescuyer, J.L., Marcoux, E., Milési, J.P., Piantone, P., Sobol, & F., T., M., Thiéblemont, D., and Viallefond, L. 1992. The massive sulphide deposits of the

South Iberian pyrite province: geological setting and exploration criteria. In: *Documents du BRGM 234*, 243.

Ludden, J. & Hynes, A. 2000a. The Abitibi–Grenville Lithoprobe transect part III: introduction. *Canadian Journal of Earth Sciences* **37**, 115-116.

Ludden, J. & Hynes, A. 2000b. The Lithoprobe Abitibi–Grenville transect: two billion years of crust formation and recycling in the Precambrian Shield of Canada. *Canadian Journal of Earth Sciences* **37**, 459-476.

MacCready, T., Goleby, B. R., Goncharov, A., Drummond, B. J. & Lister, G. S. 1998. A framework of overprinting orogens based on interpretation of the Mount Isa deep seismic. *Economic Geology* **93**, 1422-1434.

Madore, L., Sharma, K. N. M., Globensky, Y. & Giguère, E. 1994. Synthèse géologique de la région de Fort-Coulonge (SNRC 31F). In: *MB 94-39*. ministère des Ressources naturelles, Québec, 23.

Magrina, B., Jébrak, M. & Cuney, M. 2005. Le magmatisme de la région de Kwyjibo, Province du Grenville (Canada) : intérêt pour les minéralisations de type fer-oxydes associées. *Canadian Journal of Earth Sciences* **42**, 1849–1864.

Malcolm, S. 2005. Lineament tectonics for oil and ore. PIRSA, South Australia. .

Mark, G., Nicholas, H. S. O. & Williams, P. J. 2006. Mineralogical and chemical evolution of the Ernest Henry Fe oxide–Cu–Au ore system, Cloncurry district, northwest Queensland, Australia. *Mineralium Deposita* **V40**(8), 769-801.

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

Marshall, B., Vokes, F. M. & Larocque, A. C. L. 2000. Regional metamorphic remobilization: upgrading and formation of ore deposits. In: *Metamorphic and metamorphogenic ore deposits* (edited by P.G. Spry, B. M., and F.M. Vokes) **11**. Reviews in Economic Geology, 19-38.

Martignole, J., Calvert, A. J., Friedman, R. & Reynolds, P. 2000. Crustal evolution along a seismic section across the Grenville Province (western Quebec). *Canadian Journal of Earth Sciences* **37**(Lithoprobe Publication 1123), 291-306.

Martignole, J. & Corriveau, L. 1991. Lithotectonic studies in the Central Metasedimentary Belt of the southern Grenville Province: lithology and structure of the Saint-Jovite map area, Québec. *Current Res., Part C, Geological Survey of Canada* **91-1C**, 77-88.

Martignole, J. & Corriveau, L. 2000. Saint-Jovite - 31J02. In: *carte SI-31J02-C3G-99L*. ministère des Ressources naturelles, Québec.

Mathur, R., Marschik, R., Ruiz, J., Munizaga, F., Leveille, R. A. & Martin, W. 2002. Age of mineralization of the Candelaria Fe oxide Cu-Au deposit and the origin of the Chilean iron belt, based on Re-Os isotopes. *Economic Geology* **97**, 59-71.

McLelland, J., Morrison, J., Selleck, B., Cunningham, B., Olson, C. & Schmidt, K. 2002. Hydrothermal alteration of late- to post-tectonic Lyon Mountain Granitic Gneiss, Adirondack Mountains, New York: Origin of quartz-sillimanite segregations, quartz-albite lithologies, and associated Kiruna-type low-Ti Fe-oxide deposits. *Journal of metamorphic Geology* **20**, 175-190.

Milligan, P. 2002. Strings, Polylines and Balloons (Structure from Potential Fields). Geoscience Australia spatial information for the nation, http://www.intrepid-geophysics.com/ig/knowledgebase/usermeetings_nov2002/milligan_worms.pdf.

MIM Holding. 2007. Ernest Henry *http://archive.xstrata.com/mim/www.mim.com.au/ehm.html*.

Moore, J. M. & Thompson, P. H. 1980. The Flinton Group: a late Precambrian metasedimentary succession in the Grenville Province of eastern Ontario. *Canadian Journal of Earth Sciences* **7**, 1685-1707.

Mustard, R., McKeagney, C., Blenkinsop, T., Huddlestone-Holmes, C., Partington G., and Baker, T. . 2004. New perspectives on IOCG deposits, Mt Isa Eastern Succession, northwest Queensland. *http://www.kenex.co.nz/PDF/SEG2004IOCG.pdf*.

Neal, H. E. 2000. Iron deposits of the Labrador Trough. *Exploration and Mining Geology* **9**, 113-121.

O'Driscoll, E. S. T. 1985. The application of lineament tectonics in the discovery of the Olympic Dam Cu-Au-U deposit at Roxby Downs, South Australia. . *Global Tectonics and Metallurgy* **3**, 43-57.

O'Driscoll, E. S. T. 1986. Observations of the lineament-ore relation. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* **A317**, 195-218.

O'Driscoll, E. S. T. & Boucher, R. 1998. The metal-rich west-northwesterly crustal corridor through the Curnamona Craton, South Australia. *http://www.linex.com.au/publ/98c.html*.

Ohmoto, H. 2003. Nonredox transformations of magnetite-hematite in hydrothermal systems. *Economic Geology* **98**, 157-161.

Olhoeft, G. R. & Johnson, G. R. 1989. Densities of Rocks and Minerals. In: *Practical handbook of Physical Properties of Rocks and Minerals* (edited by Carmichael, R. S.). CRC Press, Florida.

Oliver, N. H. S., Holcombe, R. J., Hill, E. J. & Pearson, P. J. 1991. Tectono-metamorphic evolution of the Mary Kathleen fold belt, northwest Qeensland: a reflection of mantle plume processes. *Australian Journal of Earth Sciences* **38**, 425-455.

Parsons, S. M. 2006. Production of robust geological maps through the integration and analysis of field and remotely-sensed data in a gis environment: an example from the eastern Grenville province, Quebec. Unpublished maîtrise thesis, Université du Québec. Institut National de la Recherche Scientifique - Eau, Terre, Environnement.

Partington, G. A. & Williams, P. J. 2000. Proterozoic lobe gold and (iron)-copper-gold deposits: A comparaison of Australian and global exemples. *Reviews of Society of Economic Geologists* **13**, 69-101.

Peck, W. H., DeAngelis, M. T., Meredith, M. T. & Morin, E. 2005. Polymetamorphism of marbles in the Morin terrane, Grenville Province, Quebec. *Canadian Journal of Earth Sciences* **42**, 1949-1965.

Platt, J. P. & Vissers, R. L. M. 1989. Extensional collapse of thickened continental lithosphere: A working hypothesis for the Alboran Sea and Gibraltar Arc. *Geology* **17**, 540-543.

Pollard, P. J. 2000. Evidence of a Magmatic Fluid and Metal Source for Fe-Oxide Cu-Au Mineralisation. In: *Hydrothermal Iron Oxide Copper Gold & Related Deposits: A Global Perspective* (edited by in Porter, T. M. E.). Australian Mineral Foundation, Adelaide, 27-41.

Pollard, P. J. 2006. An intrusion-related origin for Cu–Au mineralization in iron oxide–copper–gold (IOCG) provinces. *Mineralium Deposita* **41**(2), 179-187.

Pollard, P. J., Mark, G. & Mitchell, L. C. 1998. Geochemistry of post-1540 Ma granites in the Cloncurry district, Northwest Qeensland. *Economic Geology* **93**, 1330-1344.

Porwal, A., Carranza, E. J. M. & Hale, M. 2006. Tectonostratigraphy and base-metal mineralization controls, Aravalli province (western India): New interpretations from geophysical data analysis. *Ore Geology Reviews* **29**(3-4), 287-306.

Ray, G. E. & Lefebure, D. V. 1999. A Synopsis of Iron Oxide ± Cu ± Au ± P ± REE Deposits of the Candelaria-Kiruna-Olympic Dam Family. *Geological Fieldwork*, paper 2000-1.

Requia, K., Stein, H., Fontboté, L. & Chiaradia, M. 2003. Re–Os and Pb–Pb geochronology of the Archean Salobo iron oxide copper–gold deposit, Caraja´ s mineral province, northern Brazil. *Mineralium Deposita* **38**, 727-738.

Rivers, T. 1983. The northern margin of the Grenville Province in western Labrador — anatomy of an ancient orogenic front. *Precambrian Research* **22**(1-2), 41-73.

Rivers, T. 1997. Lithotectonic elements of the Grenville Province: Review and tectonic implications. *Precambrian Research* **86**, 117-154.

Rivers, T. 2005. Architecture and tectonic evolution of the Grenville Province: part of a long-lived hot wide orogen on the southeastern margin of laurentia. In: *The geology and metallogeny of the Grenville Province* (edited by Therriault, R. T. U. o. W. O. a. t. S. o. E. G., London Student Chapter), London, Ontario, 4-6.

Rivers, T. & Corrigan, D. 2000. Convergent margin on southeastern Laurentia during the Mesoproterozoic: tectonic implications. *Canadian Journal of Earth Sciences* **37**, 359-383.

Rivers, T., Ketchum, J. W. F., Indares, A. & Hynes, A. 2002. The High Pressure belt in the Grenville Province: architecture, timing, and exhumation. *Canadian Journal of Earth Sciences* **39**, 867-893.

Rivers, T., Martignole, J., Gower, C. F. & Davidson, A. 1989. New tectonic divisions of the Grenville Province, southeast Canadian Shield. *Tectonics* **8**(1), 63-84.

Roberts, D. E. & Hudson, G. R. T. 1983. The Olympic Dam copper-uranium-gold-silver deposit, Roxby Downs, South Australia. *Economic geology* **78**, 799-822.

Rotherham, J. F., Blake, K. L., Cartwright, I. & Williams, P. J. 1998. Stable isotope evidence for the origin of the mesoproterozoïc Starra Au-Cu deposit, Cloncurry district, Northwest Queensland. *Economic Geology* **93**, 1435-1449.

Roy, R., Cassard, D., Cobbold, P. R., Rossello, E. A., Billa, M., Bailly, L. & Lips, A. L. W. 2006. Predictive mapping for copper-gold magmatic-hydrothermal systems in NW Argentina: Use of a regional-scale GIS, application of an expert-guided data-driven approach, and comparison with results from a continental-scale GIS. *Ore Geology Reviews* **29**(3-4), 260-286.

Sangster, A. L., Gauthier, M. & Gower, C. F. 1992. Metallogeny of structural zones, Grenville Province, northeastern North America. *Precambrian Research* **58**, 401-426.

Sharma, K. N. M., Singhroy, V. H., Madore, J. L., Lévesque, J., Hébert, C. & Hinse, M. 1999. Use of radar images in the identification of major regional structures in the

Grenville Province, western Quebec. *Canadian Journal of Remote Sensing* **25**, 278-290.

Sigeom. 2006. Ressources naturelles et Faune, Québec.

Sillitoe, R. H. 1997. Characteristics and controls of the largest porphyry copper–gold and epithermal gold deposits in the circum-Pacific region. *Australian Journal of Earth Sciences* **44**, 373-388.

Sillitoe, R. H. 2003. Iron oxide-copper-gold deposits: an Andean view. *Mineralium Deposita* **38**, 787-812.

Sinclair, W. D. 2007. Porphyry deposits. In: *Mineral Deposits of Canada: A Synthesis of Major Deposit-types, District Metallogeny, the Evolution of Geological Provinces, and Exploration Methods* (edited by Goodfellow, W. D.). Geological Association of Canada, Mineral Deposits Division, Special Publication 5, xx-xx.

Skirrow, R. 2004. *Iron oxide Cu-Au deposits: An Australian perspective on their unifying characteristics.* Abstracts of the 17th Australian Geological Convention, Hobart, Tasmania. February 8 - 13.

Skirrow, R. G. & Walshe, J. L. 2002. Reduced and Oxidized Au-Cu-Bi Iron Oxide Deposits of the Tennant Creek Inlier, Australia: An Integrated Geologic and Chemical Model. *Economic Geology* **97**, 1167–1202.

Smith, R. J. 2002. Geophysics of Iron Oxide Copper-Gold deposits. In: *Hydrothermal Iron Oxide Copper-Gold & Related Deposits: A Global Perspective* (edited by Porter, T. M. E.) **2**. PCG publishing, Adelaide, 357-367.

Stanaway, K. 1996. The eastern North American titanium province - a review. *Lithology and Mineral Resources* **31**, 509-517.

The Northern Miner. 2006. http://www.northernminer.com/products/default.asp.

Tollo, R. P., Corriveau, L., McLelland, J. & Bartholomew, M. J. 2004. Proterozoic tectonic evolution of the Grenville orogen in North America: An Introduction. In: *Proterozoic tectonic evolution of the Grenville orogen in North America* (edited by America, G. S. o.) **197**, 1-18.

Tornos, F. & Casquet, C. 2005. A new scenario for related IOCG and Ni–(Cu) mineralization: the relationship with giant mid-crustal mafic sills, Variscan Iberian Massif. *Terra Nova* **17**(3), 236-241.

Twyerould, S. C. 1997. The Geology and Genesis of the Ernest Henry Fe-Cu-Au Deposit, NW Queensland, Australia., University of Oregon.

Valenta, R. K. 2000. Structural controls on mineralization of ironstone-hosted Cu-Au deposits In: *Fe-Oxide-Cu-Au deposits: a discussion of critical issues and current developments* (edited by M.D. Roberts & M.C. Fairclough). EGRU, 67-69.

Virginia Gold Mines Inc. 2005. Éléonore project-Roberto: 20,66 g/t Au / 12,05m to a depth of 550 m. Emergence of new gold-bearing zones in periphery. Virginia Gold Mines Inc. (edited by http://www.virginia.qc.ca).

Vokes, F. M. 2000. Ores and metamorphism: Introduction and historical perspective. In: *metamorphic and metamorphogenic ore deposits* (edited by P.G. Spry, B. M., and F.M. Vokes) **11**. Reviews in Economic Geology, 1-18.

Wasteneys, H. A., Clark, A. H., Farrar, E. & R.J., L. 1995. Grenvillian granulite-facies metamorphism in the Arequipa Massif, Peru: A Laurentia-Gondwana link. *Earth Planet Science Letter* **132**, 63-73.

White, D. J., Forsyth, D. A., Asudeh, I., Carr, S. D., Wu, H., Easton, R. M. & Mereu, R. F. 2000. A seismic-based cross-section of the Grenville Orogen in southern Ontario and western Quebec. *Canadian Journal of Earth Sciences* **37**, 183-192.

Williams, P. J., Barton, M. D., Johnson, D. A., Fontboté, L., de Haller, A., Mark, G., Oliver, N. H. S. & Marschik, R. 2005. Iron Oxide Copper-Gold Deposits: Geology, Space-Time Distribution, and Possible Modes of Origin. In: *Economic Geology 100th Anniversary Volume* (edited by Society of Economic Geologists, I.), 371-405.

Williams, P. J. & Pollard, P. J. 2001. Australian Proterozoic Iron Oxide-Cu-Au Deposits: An Overview with New Metallogenic and Exploration Data from the Cloncurry District, Northwest Queensland. *Exploration and Mining Geology* **10**(3), 191-213.

Windley, B. F. 1986. Comparative tectonics of the western Grenville and the western Himalaya. *The Grenville Province*, 341-348.

Wodicka, N., Corriveau, L. & Stern, R. A. 2004. SHRIMP U-Pb zircon geochronology of the bondy gneiss complex: Evidence for circa 1.39 Ga arc magmatism and polyphase Grenvillian metamorphism in the central Metasedimentary Belt, Grenville Province, Quebec. *Geological Society of America* **197**, 243-266.

Wong, S. Y. M., Ton, A. & Wortel, M. J. R. 1997. Slab detachment in continental collision zones: An analysis of controlling parameters. *Geophysical Research Letters* **24**, 2095-2098.

Wyborn, L. A. I. 1998. Younger ca. 1500 Ma granites of the Williams and Naraku batholiths, Cloncurry district, eastern Mt Isa Inlier: Geochemistry, origin, metallogenic significance and exploration indicators. *Australian Journal of Earth Sciences* **45**, 397-411.

Wynne-Edwards, H. R. 1969. Tectonic overprinting in the Grenville Province, southwestern Quebec. In: *Special Paper 5*. Geological Association of Canada, 163-182.

Wynne-Edwards, H. R., Gregory, A. F., Hav, P. W., Giovannella, C. A. & Reinhardt, E. W. 1966. Mont-Laurier and Kempt Lake map-areas, Québec. Geological Survey of Canada, paper 66, 32.

Preliminary results of geophysical, field, and geochemical studies applied to mineral exploration in the Bondy gneiss complex, Grenville Province, SW Quebec

Progress report prepared for
Richmond Minerals Inc., November 2007

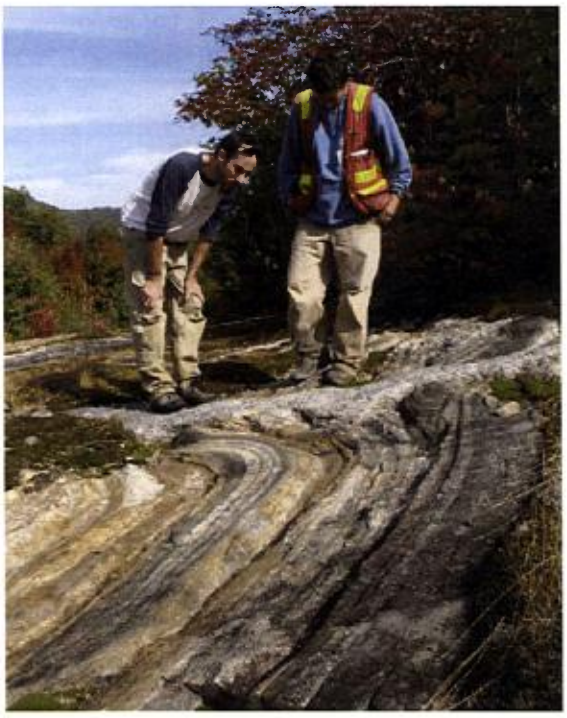
Vladimir Antonoff
Grégory Dufréchou
Lyal Harris
Marc Richer-Laflèche

GM 65498

Ressources Naturelles
Secteur mines

18 NOV. 2010

Bureau Régional Val-d'Or



La science en ACTION pour un monde en ÉVOLUTION
INRS

1067254

Université du Québec
Institut national de la recherche scientifique
Eau, Terre et Environnement

Preliminary results of geophysical, field, and geochemical studies applied to mineral exploration in the Bondy gneiss complex, Grenville Province, SW Quebec

Progress report, November 2007, prepared for Richmond Minerals Inc.

Vladimir Antonoff
PhD student
INRS-ETE, 490 de la Couronne, Québec G1K 9A9
vladimir_antonoff@ete.inrs.ca

Grégory Dufréchou
PhD student
INRS-ETE, 490 de la Couronne, Québec G1K 9A9
gregory.dufrechou@ete.inrs.ca

Lyal Harris
Geologist : *Member, Ordre des géologues du Québec #1037 and Member, The Australian Institute of Geoscientists #2764.*
INRS-ETE, 490 de la Couronne, Québec G1K 9A9
lyal_harris@ete.inrs.ca

Marc Richer-Laflèche
Geologist : *Member, Ordre des géologues du Québec.*
INRS-ETE, 490 de la Couronne, Québec G1K 9A9
Marc_Richer-Lafleche@ete.inrs.ca

Disclaimer: *This report is based on preliminary data and research results. Outcomes and conclusions are subject to modification and should not be used for final reporting or advertising. This is especially so concerning the gravity image and interpretations where furthermore precise processing is underway.*
Structural and geophysical research by the students was supervised by Lyal Harris.
Geochemical aspects of this research were supervised by Marc Richer-Laflèche.
The authors are not responsible for the validity of information presented therein nor for any actions that may be undertaken on the basis of this report.

Table of contents

Summary v

1. Preamble 1
2. Processing and analysis of regional Geological Survey of Canada gravity data 1
3. Detailed gravity survey over the Bondy gneiss complex and surrounding area 8
4. Reprocessing and preliminary interpretation of aeromagnetic data 12
5. Radiometrics 19
6. Field studies 21
6.1. "Breccia trail" 21
6.2 EM anomaly 1 ("EM1") 25
6.3 "Lac Harvey showing." 28
6.4 Lac Bing area ("Bing showing") 29
6.5 "EM2" locality 32
7. Geochemistry 32
8. Recommendations for further exploration of the Bondy area claims 33
9. Recommendations for regional exploration 35
10. Discussion and conclusions 35
Appendices 37
Appendix 1. Gravity survey Logistics 37
Appendix 2: Position of main samples cited in the text 41
Appendix 3: 42

Table of figures

Figure 1: Regional gravity "worms". 2
Figure 2: Gravity "worms" in the area of the Bondy and Sainte Anne du lac claims. 3
Figure 3: Relationship between the Bing "showing" and gravity "worms". 4
Figure 4: Interpretation. 6
Figure 5: Cross-section of an oblique extensional shear zone in paragneisses along the "worm" west of the Bondy gneiss complex that passes through Lac des Îles. 7
Figure 6: Superposition of gravity "worms' on a simplified regional geological map. 8
Figure 7: Position of gravity stations measured in this study. 9
Figure 8: First vertical derivative of preliminary Bouger gravity. 10
Figure 9: Gravity modelling of a profile across the Ekströmsberg (Ek) and Vieto (Vi) deposits in Sweden. 11
Figure 10: Regionally corrected total magnetic intensity image of the SW portion of the Bondy gneiss complex shows the position of areas of exploration interest. 13
Figure 11: Horizontal gradient of aeromagnetic data overlain by linework of previous geological map. 14
Figure 12: Location of main showings on aeromagnetic horizontal gradient image. 15
Figure 13: Geosoft TDX filter. 16
Figure 14: Shaded (15°→320°) aeromagnetic image highlighting cross-cutting N-, NNE- and NW- and ENE-striking structures 17

Figure 15: Enlargement showing a preliminary interpretation of cross-cutting structures in the vicinity of the EM1 & 2 showings. 18
Figure 16: Distribution of K over the study area with linework of regional geology and claims. 19
Figure 17: Ratio of K/Th. 20
Figure 18: Position of main sample sites in the SW part of the study area. 22
Figure 19: Typical breccia rocks in the "breccia trail" area. 23
Figure 20: Mineralized quartzofeldspatic biotitic gneiss (Sample DA07-037B2, Breccia trail). 23
Figure 21: Magnetite breccia (Sample DA07-047G, Breccia trail). 24
Figure 22: Sulphides separated from the sample DA06-047A. 24
Figure 23: Magnetite separated from the sample DA06-045A. 25
Figure 24: Stripping of soil and vegetation exposed the outcrops in the vicinity of the EM1 anomaly. 26
Figure 25: Mylonite in the area of the EM1 anomaly. 26
Figure 26: Mineralized biotite garnet pyrite quartzofeldspatic gneiss on the electromagnetic anomaly EM1. 27
Figure 27: Mineralized aluminous gneiss. 28
Figure 28: Mineralized K-altered quartzofeldspatic gneiss (Sample DA07-097E, Lac Harvey showing). 29
Figure 29: Position of main samples in the Lac Bing area. 30
Figure 30: Mineralized sample (Sample DA06-006E2), Bing showing. 31
Figure 31: Sulphides separated from the sample DA06-67162 from the Bing showing. 32
Figure 32: The EXPLORANIUM GR-135 handheld Isotope Identifier 42

Summary

Geophysical, geological and geochemical studies were undertaken by INRS-ETE researchers over part of the Grenville Province of SW Quebec through a contractual research agreement with Richmond Minerals Inc. Applied research in 2007 was focussed primarily on determining the prospectivity and the characteristics of IOCG- and /or VHMS-style mineralization in the Bondy gneiss complex SE of Mont Laurier. Preliminary results are extremely promising:

1. Application of specialised processing techniques to regional gravity data (to our knowledge previously not undertaken in the Grenville Province) has shown that there is a clear association between regional crustal structures and mineral showings in the Grenville Province of SW Quebec. Some of the mineral exploration claims held by Richmond Minerals cover portions of such structures. The Bing showing in the Bondy gneiss complex occurs at the intersection of two such structures and is still deemed to be highly prospective and worth further investigation.
2. Preliminary results of a gravity survey over claims in the Bondy gneiss complex SE of Mont Laurier show anomalies that suggest the presence of mafic intrusions beneath an area also characterized by an aeromagnetic high. Note that similar mafic bodies are interpreted beneath IOCG-style ore deposits elsewhere (e.g. northern Sweden).
3. Sulphides were discovered at a well defined electromagnetic, K and K/Th anomaly within the aeromagnetic and gravity high. Gneisses show evidence for two periods of alteration and are cut by ductile shear zones. Despite low initial assay values, further investigation is warranted given the size of the anomaly. The possibility that the sulphide compositions change either with depth or laterally must be investigated; this is precluded given the current scarcity of outcrop. Another area on strike E of Lac Harvey is also mineralized.
4. A series of NE-striking mineralized breccia zones were documented on the NE margin of the coincident gravity and aeromagnetic anomaly.

Follow-up stripping, blasting and if possible, drilling is therefore recommended for several locations. Additional ground electrical geophysics would better delineate mineralized zones in the areas selected. Geochemical and isotopic analysis of samples collected this field season is required. Detailed textural and petrological studies of samples by INRS-ETE researchers are also essential to characterize the mineralizing system(s) and determine the relative timing of mineralization, metamorphism and deformation.

1. Preamble

This report presents the main outcomes of geophysical, field, and geochemical research this year applied to Richmond Minerals' exploration leases in the Bondy gneiss complex, Grenville Province, SW Quebec. Data and results should be considered preliminary. This is especially so concerning the gravity interpretations where further more precise processing is underway. A more detailed description of sites and samples will be subsequently provided as samples collected have yet to be studied in detail.

Vladimir Antonoff and Grégory Dufréchou devoted much of the beginning of the year preparing for and successfully completing their pre-doctoral examinations. Preparation for this examination involved a thorough literature survey of IOCG and VHMS mineralization, with emphasis on geochemistry and petrology of alteration systems and structural controls, geophysics of ore deposits, and regional geology of the Grenville Province. This exercise therefore provided a solid academic background directly applicable in the project and targeted the required research activities. Fieldwork comprised a gravity survey over the Bondy gneiss complex, examination of key sites in the Bondy gneiss complex, and regional studies in an attempt to determine the nature of structures on gravity imagery. Areas targeted for fieldwork undertaken in the fall by Vladimir Antonoff, Grégory Dufréchou and Lyal Harris were based on the interpretation of geophysical imagery coupled with the analyses of the samples of the previous year.

2. Processing and analysis of regional Geological Survey of Canada gravity data.

Upward continuation and wavelet processing of the regional Geological Survey of Canada gravity dataset covering the SW Grenville Province of Quebec was undertaken using software developed by P. Keating (GSC) to highlight major crustal structural discontinuities and investigate their relationship with mineral occurrence and intrusives. The resulting images commonly referred to as "worm maps", "worm images" or simply "gravity worms" have been successfully used to delineate major crustal structures in exploration targeting elsewhere, especially in Australia, but to our knowledge this is the first time the technique has been applied to the Grenville Province.

The regional worm image (**Figure 1**) and the enlargement in the area of Richmond Minerals claims near Mont Laurier (**Figure 2**) illustrate a striking relationship between mineral showings and interpreted structures. Although major regional shear zones such as the Grenville Front (boundary between the Grenville and Superior provinces) and the Baskatong-Desert shear zone (boundary between the Central Gneiss Belt and Central Metsasedimentary Belt) are delineated by worms most worms do not correspond to previously mapped structures. They may represent the expression of deeper level structures with no surface expression or, as outcrop is exceptionally poor in the vicinity of worms, worms may mark structures that whilst they attain the surface have not been identified due to the paucity of outcrop. NE trending structures represent early NW-directed thrusts formed during terrane assembly that are thought to have been reactivated as extensional shear zones during collapse following crustal thickening in the Elzevirian orogeny. Structures that are deemed important for mineralization strike NW to E (except for E-striking structures in the central-east of the map) as they are interpreted as an

expression of deep transfer zones that may focus hydrothermal fluids. Note that Cu, W, Ag, Zn, Pb and Ni showings occur on "worms", especially near their termination or near the area of their change in orientation. It is interesting to note that there does not appear to be a correlation between U mineralization and "worms" in the area NE of Mont Laurier; U showings appear aligned parallel to the "worm" to the west of them which may imply a parallel structure that is not imaged.

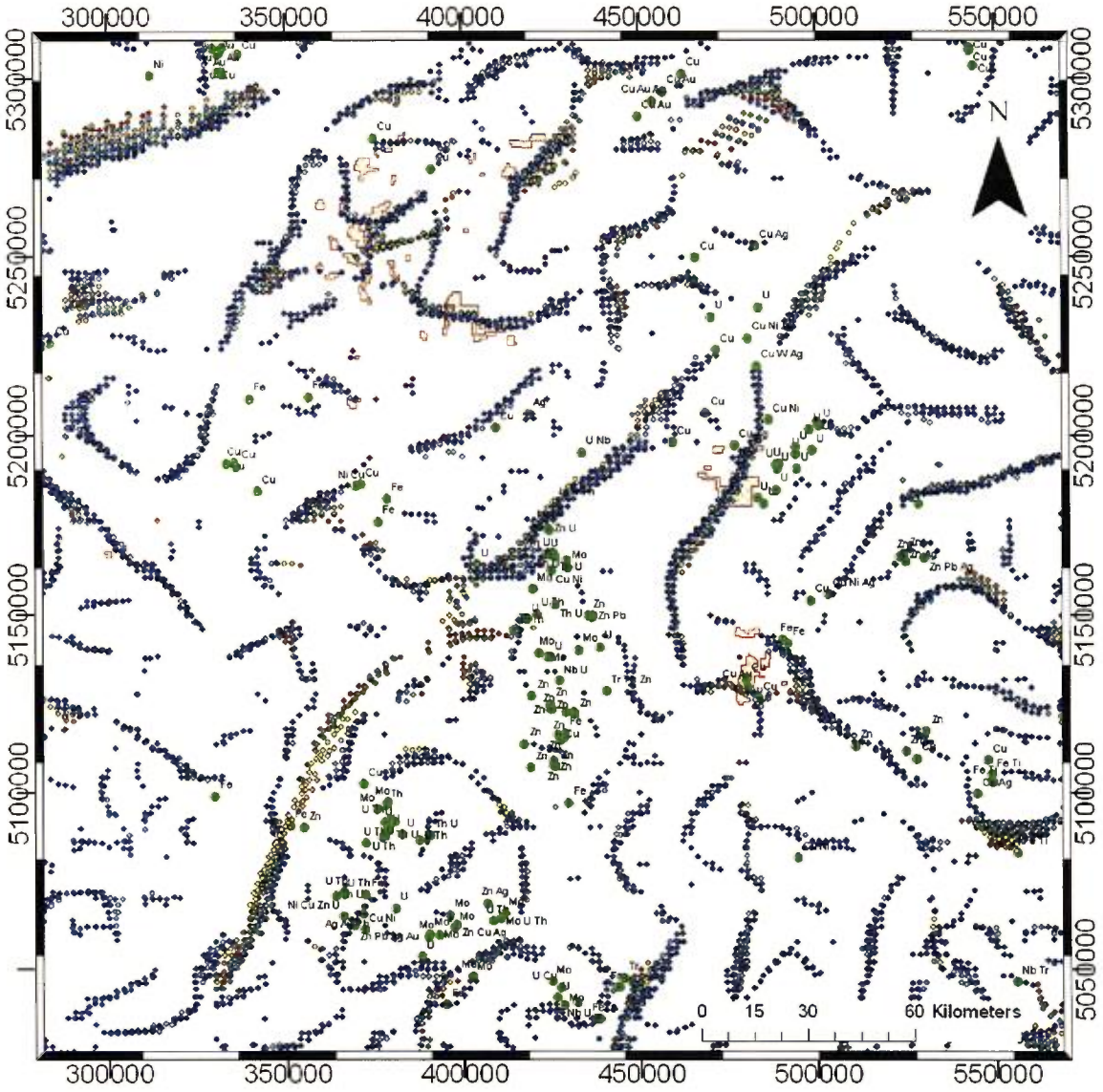


Figure 1: Regional gravity "worms". Gravity "worms" (marked by small coloured circles) over part of the SW Grenville Province interpreted as marking the edges of major crustal discontinuities. Cold to warm colours indicate respectively shallow to deeper anomalies, providing an indication of dip. Note the spatial association between worms and mineral showings (green circles) from the Quebec *Ressources Naturelles et de la Faune* database. Position of initial Limestone Basin Exploration claims indicated by orange rectangles. Note that the location of current claims has not been updated on this map.

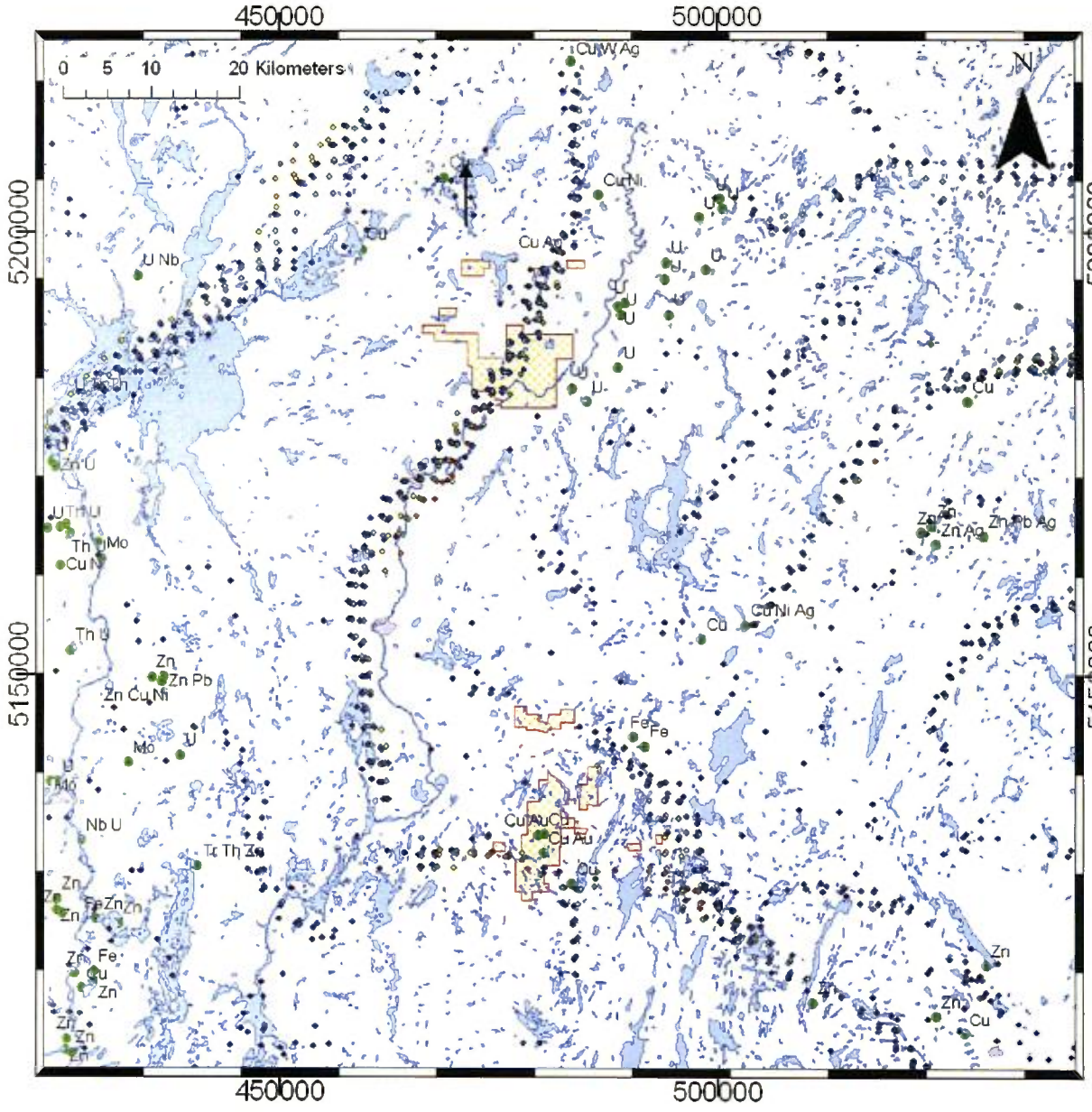


Figure 2: Gravity "worms" in the area of the Bondy and Sainte Anne du lac claims.
Several of Richmond Minerals' claims are cut by the "worms" suggesting that they occur over major crustal structures. Mauve area = Mont Laurier. The Baskatong Desert shear zone (top NW corner, cutting NW-SE across the reservoir) is clearly imaged by gravity worms. Most other worms do not correspond to previously mapped structures and may represent the expression of deeper level structures.
Note that Cu, W, Ag, Zn, Pb and Ni showings occur on "worms", especially near their termination or near the area of their change in orientation. There does not appear to be a correlation between U mineralization and "worms" in the area NE of Mont Laurier; U showings appear aligned parallel to the "worm" to the west of them which may imply a parallel structure that is not imaged.

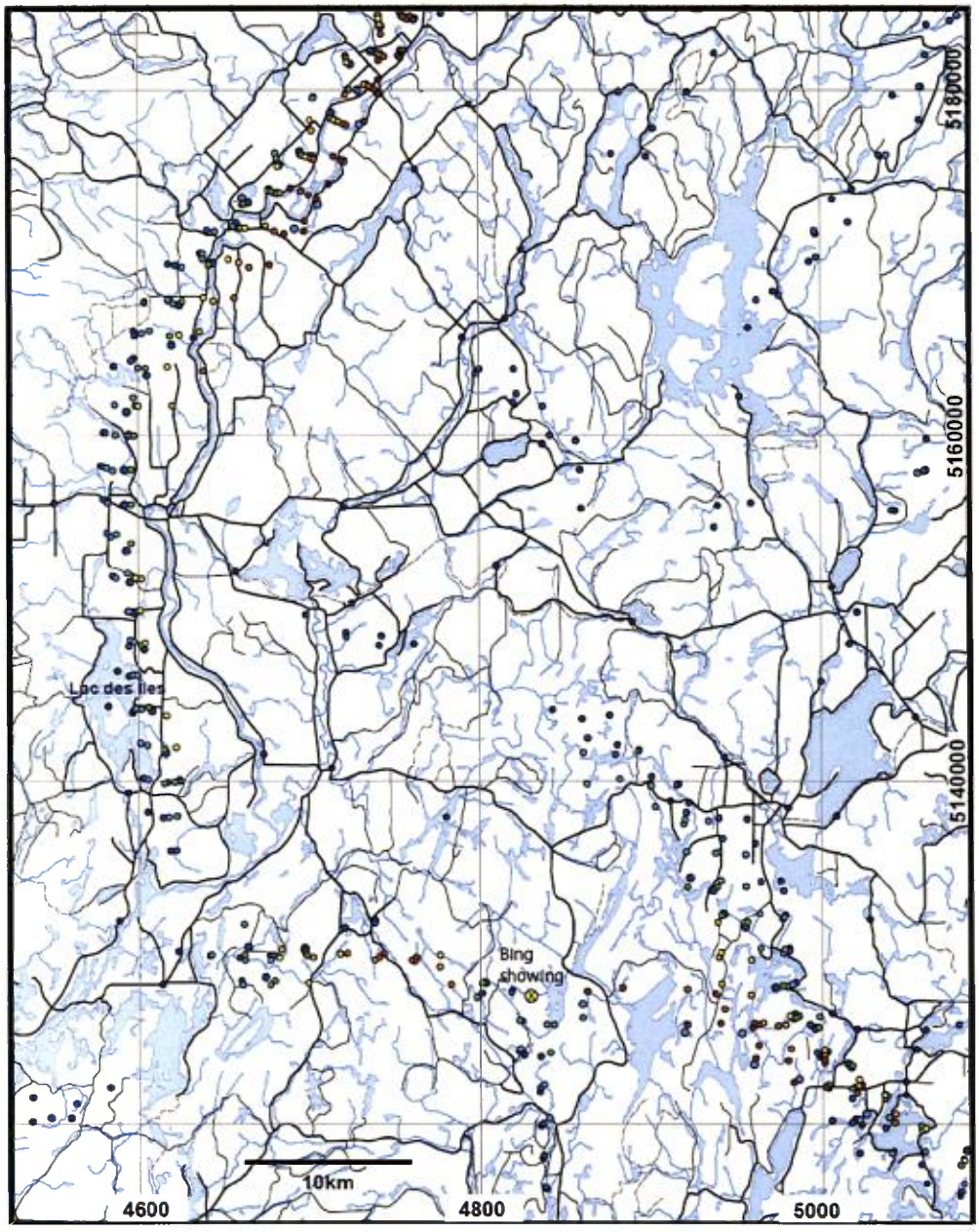


Figure 3: Relationship between the Bing "showing" and gravity "worms". The Bing "showing" occurs at the intersection of E- and approximately N-striking gravity "worms".

The Bing showing (Figure 3), whose significance was recognised in the 2006 field campaign, and is further described in section 6.4, occurs at the intersection of N and E-striking "worms". Such intersections have been the sites of mineralization elsewhere in the SW Grenville Province, as apparent from the regional worm image (**Figure 1**). This association is significant especially as structures developed in the Bing area have not been recognised elsewhere in the Bondy gneiss complex. A simplified structure interpretation (Figure 4) is consistent with a linked transfer zone model. Transfer zones are significant in channelling hydrothermal fluid and may represent very early structures, such as during arc development, that may be repeatedly reactivated. Such a transfer structure is interpreted crossing the Bondy gneiss complex, opening the possibility for several episodes of hydrothermal fluid flow. It appears that the transfer zone here has been structurally modified suggesting further reactivation as E-striking reverse mylonites, and not transcurrent shears, were noted S of the Bing showing.

Regional investigations outside the Bondy gneiss complex were undertaken to determine whether worms have a surface expression. The only clear shear zones in the Mont Laurier area that occur above a gravity "worm" were seen in faces by the roadside opposite Lac des Îles (Figure 3) where broad ductile shear zones in paragneiss striking N-S parallel to the "worm" gave consistently normal displacement with a minor dextral component (Figure 5). The sense of displacement(s) on other structures corresponding to regional gravity "worms" remains to be determined following data compilation and examination of samples collected.

Late gabbro, gabbronorite and monzonite bodies of the ca. 1165 Ma Chevreuil suite are located along "worms" (Figure 6) suggesting that the corresponding deep-seated structures controlled the localization of magma intrusion. This relationship between worms and intrusives is apparent in all the area studied and gives credence to the validity of the automated worm interpretation algorithm.

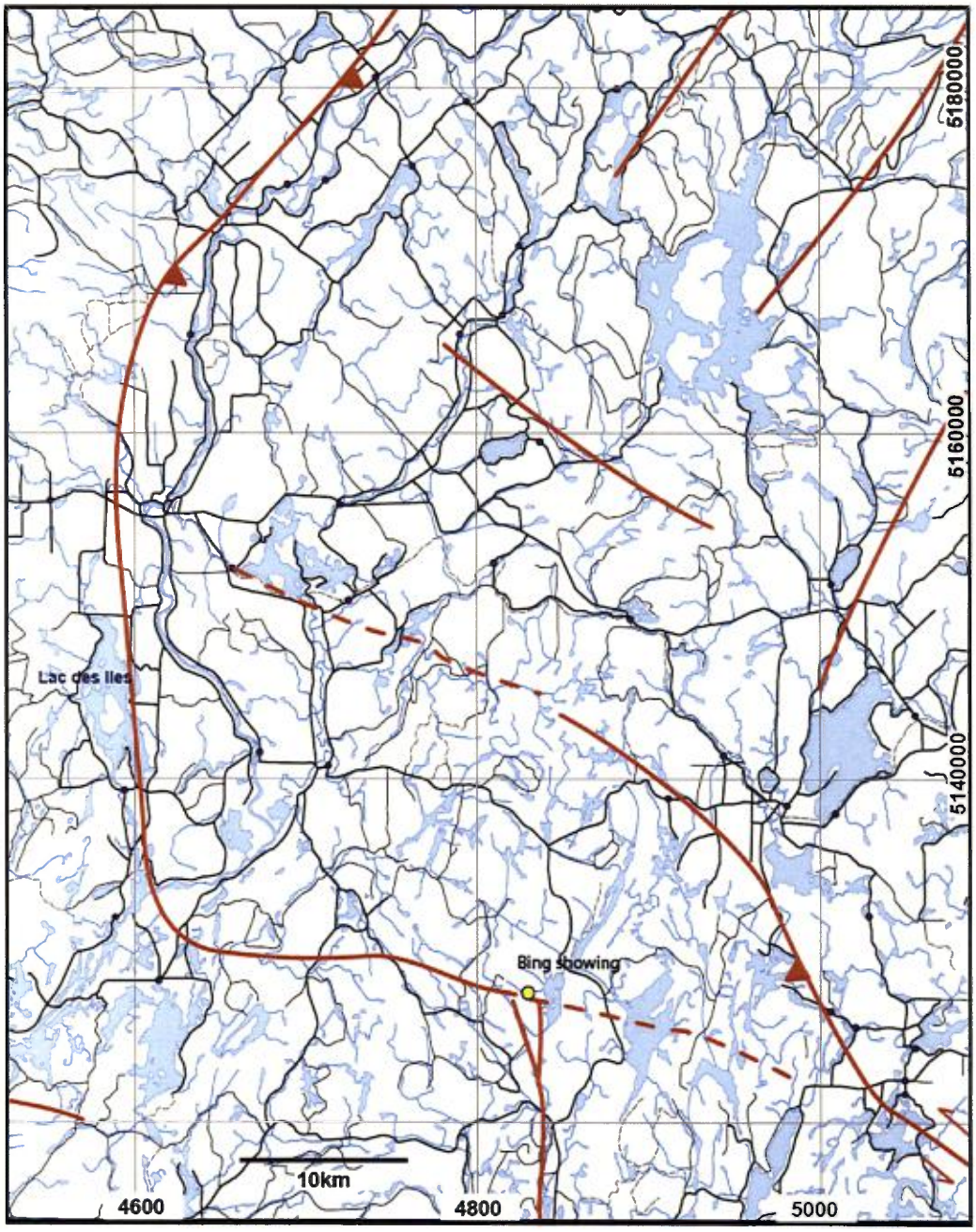


Figure 4: Interpretation.
Interpretation of gravity "worm" data in Figure 3. Triangles mark direction of dip for moderate to shallowly dipping structures. Note that mylonite zones parallel to both worm lineaments within the Bondy gneiss complex were observed only in the Lac Bing area. Normal displacement is probable in N-striking mylonites and reverse displacement along E-striking mylonites (further study of samples is required to confirm field observations). Normal displacement (with a minor dextral component) was observed on shear zones on the eastern side of Lac des Îles. A sinistral offset is interpreted along the structure in the SE corner.



Figure 5: Cross-section of an oblique extensional shear zone in paragneisses along the "worm" west of the Bondy gneiss complex that passes through Lac des Îles.

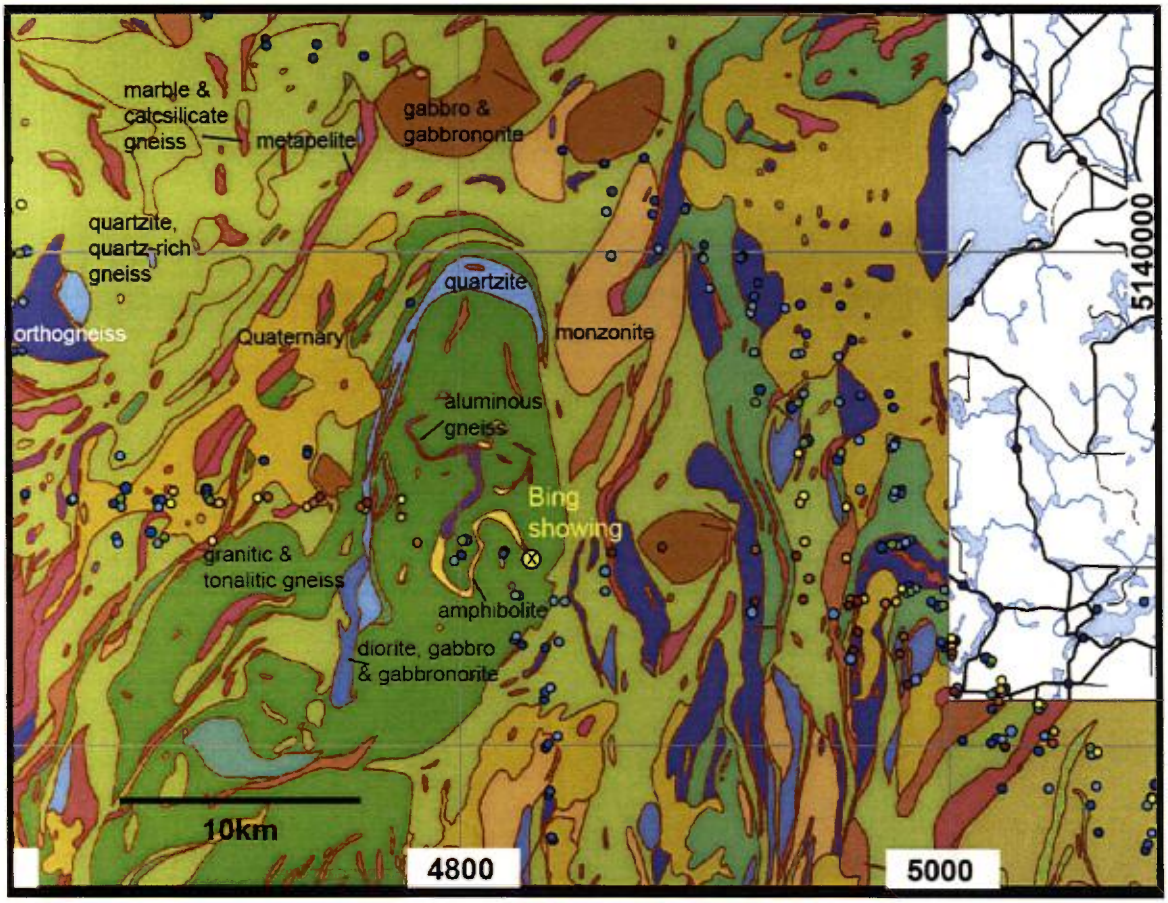


Figure 6: Superposition of gravity "worms' on a simplified regional geological map.

Worms are marked by small coloured circles. Geological map from (Corriveau and Jourdain 1993); note that the geology map requires substantial modification in the light of recent aeromagnetic data, as discussed below. One "worm" crosses the Bondy gneiss complex and another NE to E of the complex passes through the St Anne du lac area. The Bing showing occurs at the intersection of N and E-striking "worms". Late gabbro, gabbronorite and monzonite bodies are located along "worms" suggesting that the corresponding deep-seated structures controlled the localization of magma intrusion.

3. Detailed gravity survey over the Bondy gneiss complex and surrounding area

a) Necessity for a gravity survey

The processing of regional GSC gravity data ("worming") discussed above in Section 2 highlighted the association between regional gravity trends and mineralization. At another sale, previous studies over IOCG deposits in Australia and Scandinavia highlight coincident gravity and aeromagnetic anomalies (Sandrin and Elming 2006; Sandrin and Elming 2007; Sandrin et al. 2007). It was therefore deemed important to undertake a detailed gravity study of the Bondy gneiss complex because the low density of existing gravity stations covering Richmond's claims and surrounding area was insufficient to

establish the presence and localisation of any gravity anomaly that could be used to prioritise exploration and rank targets in combination with detailed aeromagnetic and EM data flown over the property. Survey logistics are outlined in Appendix 1.

b) Preliminary results

This survey involved the measurement of 112 new gravity stations in a perimeter of 22 by 21 kilometres covering the north of the Papineau-Labelle Fauna Reserve (Figure 7).

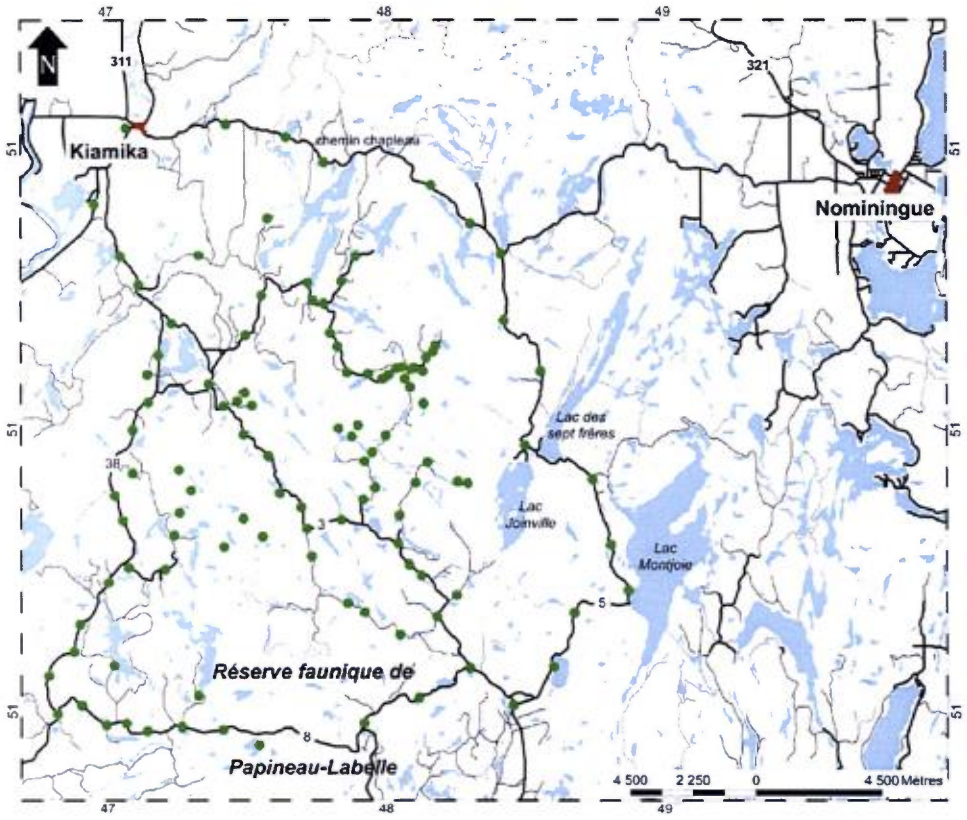


Figure 7: Position of gravity stations measured in this study.
Gravity stations are marked by green circles.

Preliminary Bouger anomalies were calculated by G. Dufrechou using a mean rock density for the study area. Note that as part of this year's field program, samples were collected from each gravity station to measure densities and the final Bouger data will be recalculated to obtain a more precise image. Data were gridded at 200m centres and processed by Lyal Harris using Geosoft's Oasis Montage software. The first vertical derivative of the preliminary Bouger gravity data shows well-defined positive anomalies that correlate with (a) mapped intrusives and, more significantly, (b) a previously unknown broad positive anomaly localised in the SW of the study area in the vicinity of the alteration zone previously mapped by Louise Corriveau.

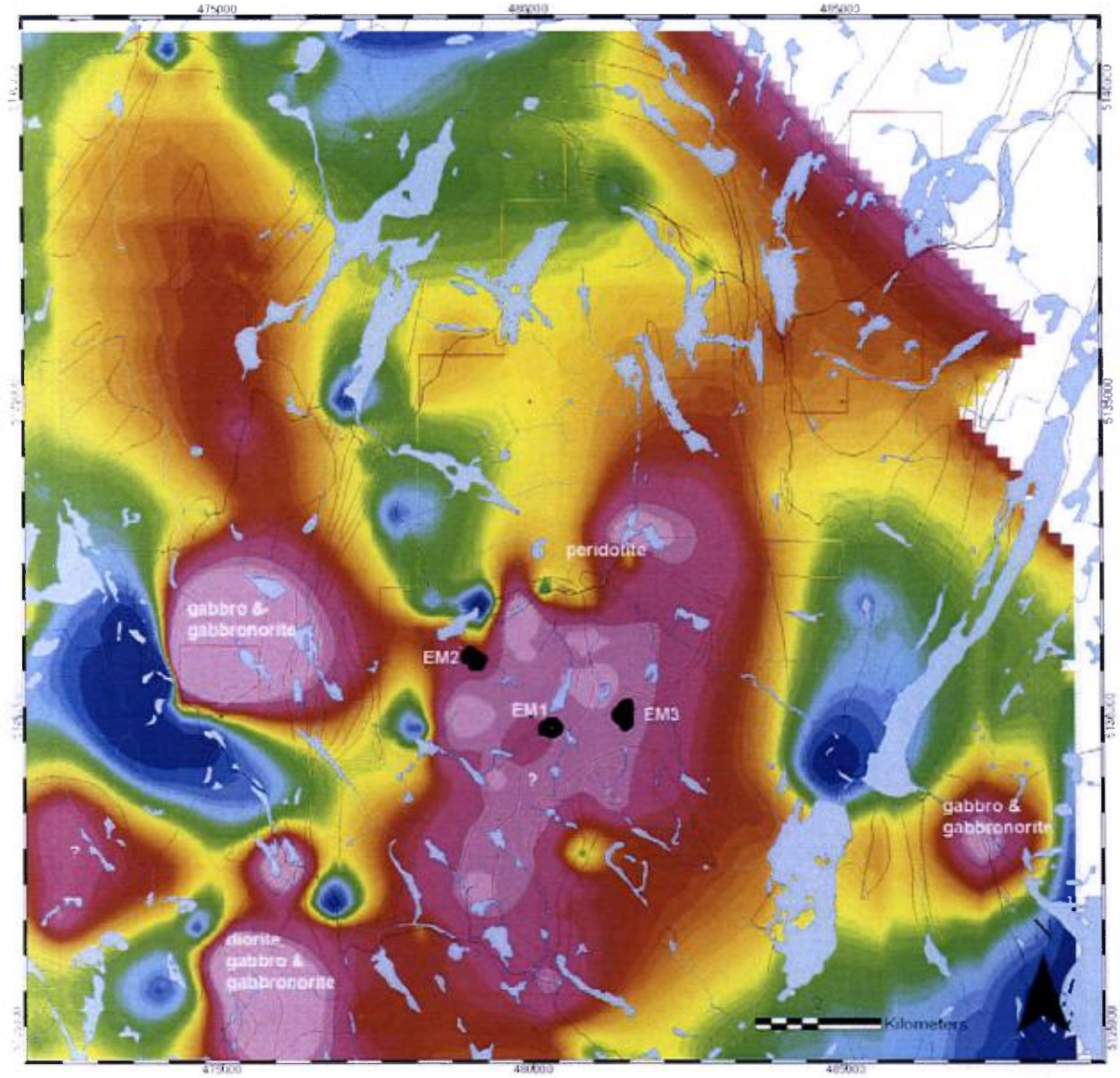


Figure 8: First vertical derivative of preliminary Bouger gravity. Warm colours indicate positive anomalies, pale pink being the highest, whilst dark blue represents the most negative anomalies). Outlines of the geological map as shown in **Figure 6** are overlain. Rectangles mark initial claims (note outline of newer claim in the SE of the map is not shown).
Note that this image may change when more detailed Bouger calculations are made when density measurements for each gravity station are used instead of an average density, so any conclusions based on this image must remain tentative.

The majority of positive anomalies in **Figure 8** correspond with mapped gabbro, diorite, gabronorite and peridotite intrusions. The source of the two positive anomalies marked by "?" is unknown. The large, central positive anomaly is of special interest as it

contains the EM anomalies 1-3, a large part of the aluminous gneiss interpreted by (Corriveau et al. 1994) to represent a metamorphosed hydrothermal system, and mineralized breccia zones and mylonites.

The second unknown anomaly in the SW corner (**Figure 8**) occurs in an area mapped as part of the tonalitic Bondy gneiss. It is possible that these two anomalies likewise represent the expression of mafic to ultramafic intrusions that do not outcrop, indeed EM3 occurs over a norite body indicating that such intrusions may exist in the area of the central anomaly. Alternatively or perhaps in addition, the central gravity anomaly may be associated with regional magnetite alteration. It is important to note that IOCG deposits are commonly associated with positive gravity anomalies either due to the increase in density due to the addition of magnetite of due to mafic intrusives beneath the deposits. For example, in Sweden, most of the known IOCG ore deposits are located within gravity highs and in the proximity to significant gravity gradients (Sandrin et al. 2007). Gravity highs associated with the Ekströmsberg and Vieto deposits (**Figure 9**) result from gabbro intrusions directly beneath the deposits so the possibility for intrusions beneath the EM anomalies and the zone of the interpreted metamorphosed alteration system enhances the prospectivity of this area.

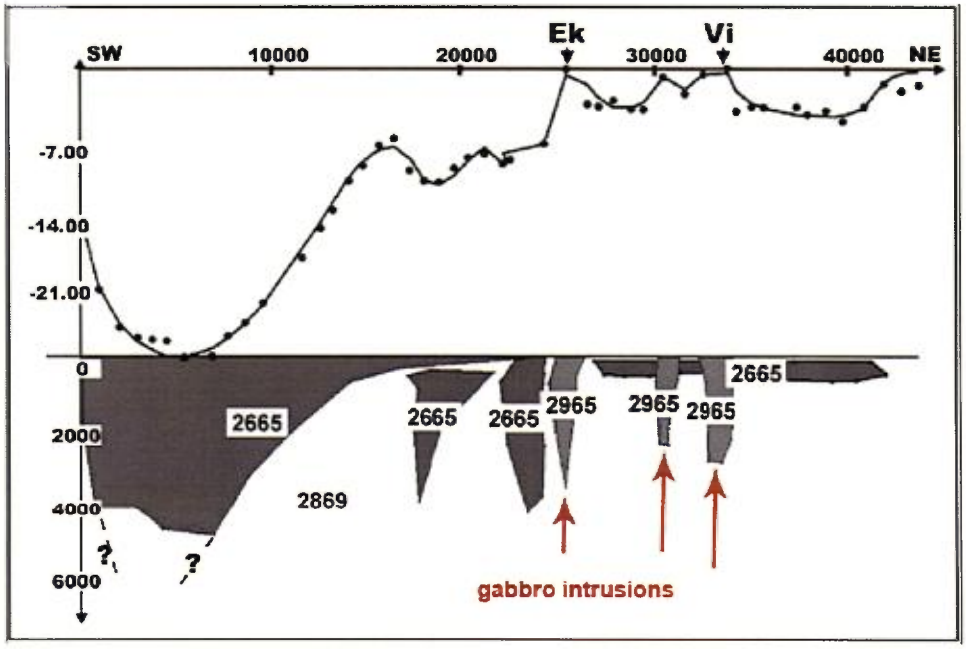


Figure 9: Gravity modelling of a profile across the Ekströmsberg (Ek) and Vieto (Vi) deposits in Sweden. The Vieto deposit contains magnetite, pyrrhotite, pyrite, chalcopyrite, and sphalerite mineralization whereas Ekströmsberg is an apatite iron ore deposit with magnetite and hematite, mineralization. This model suggests that the two deposits are underlain by gabbro intrusions. *Densities of 2965 kg/m^3 correspond to gabbroic intrusions and 2665 kg/m^3 correspond to granitic intrusions. Greenstones and basic volcanics have an average density of 2869 kg/m^3. Modified after (Sandrin et al. 2007).*

The deposits are marked by gravity highs that correspond to gabbro intrusions at depth beneath the deposits that are hosted in rhyodacite and metadiabase and metabasalt. Tonalite-gabbro-(norite) plutons are also associated with IOCG mineralization in the Iberian Variscan massif (Tornos and Casquet 2005; Tornos et al. 2005). It is planned that modelling of gravity profiles over the anomalies in the Bondy gneiss complex based on the densities calculated from collected samples will be undertaken to determine if a gabbroic body at depth may explain the anomaly and if so, its approximate depth.

4. Reprocessing and preliminary interpretation of aeromagnetic data

The only treatments of the detailed aeromagnetic and EM survey over the Bondy gneiss complex (Fugro 2007) were the regionally corrected total magnetic field (RMI) and first vertical derivative. As such, they were of little use for structural interpretation and inadequate for detailed targeting and field mapping. Aeromagnetic grids subsequently provided by Fugro Airborne Surveys were therefore processed by Lyal Harris using Oasis Montage software. Aeromagnetic images were integrated with EM and field data in a GIS. This combination proved invaluable in the field in target generation. Subsequent detailed structural interpretation of these images will be undertaken by Grégory Dufréchou. Information obtained from geochemical analyses of samples taken during the autumn 2006, along with the preliminary results of the gravity survey airborne aeromagnetic and EM survey, defined new sectors to be explored within the complex gneissic of Bondy.

Note that whilst lithological contacts and structures are not clear on the regionally corrected total magnetic intensity image Figure 10, the TMI data shows that EM 1 and Lac Harvey showings occur within a positive magnetic anomaly, with the EM1 showing coincident with a local magnetic high. EM 2, Bing and the northern continuation of the Bing ("Bing north") showings occur on the margin of a magnetic high. Note that no indications of mineralization were found in the aeromagnetic high to the east of the Bing. This is consistent with observations in other ore deposits that deposits commonly do not correspond to the maxima but are on flanks of anomalies.

The overall horizontal gradient image (Figure 11) and the enlargement (Figure 12 showing the location of main areas of exploration interest) clearly localises the contacts between units of different lithology enabling units to be traced accurately and fold closures to be determined. Detailed interpretation is yet to be completed. Whilst the general form of the previous geological mapping (as shown in Figure 6) is supported by aeromagnetic data many major differences are apparent (Figure 11) which have important repercussions for exploration. Note that whilst the lithologies may differ, the Lac Harvey (LH), EM1 and EM2 showings occur in the same stratigraphic position in a more discontinuous, possibly boudinaged horizon, whereas the "breccia trail" showing (B) lies to the east of this horizon – the area west of presently sampled locations in the Breccia Trail area in this horizon should therefore be investigated. This horizon lies to the west of the mapped hydrothermal system between EM1 and EM2.

The Bing and showings to the north of the Bing are clearly seen to occur in the same rock unit whose form is completely different to that previously mapped opening the way for further exploration along this horizon. No mineralization was however

encountered in traverses several km south and north of the Bing. The horizon that contains the Bing showing appears to have been folded about an isoclinal fold so that it reappears east of the Bing (position of the "g" in Bing on the map).

Additional shading angles have been performed to better locate structures of different orientations. These will be used to make the final structural map of the study area.

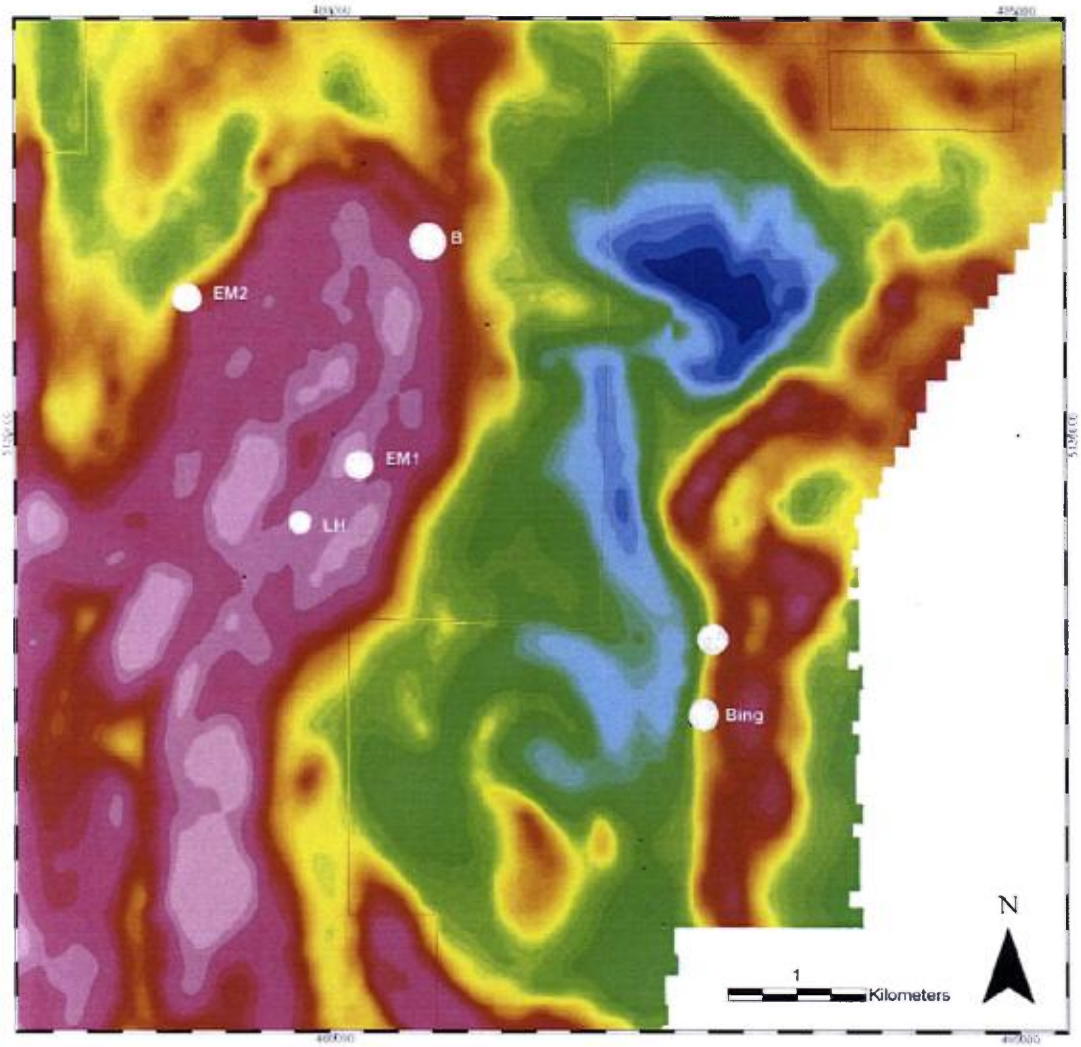


Figure 10: Regionally corrected total magnetic intensity image of the SW portion of the Bondy gneiss complex shows the position of areas of exploration interest. EM1 and EM2 = two prominent EM anomalies on Fugros EM images. LH = Lac Harvey, B = general position of "breccia trail" area. See **Figure 18** and **Figure 29** for detailed locations of sample sites at showings. Whole scale bar is 1 km long with internal divisions of 250 m.

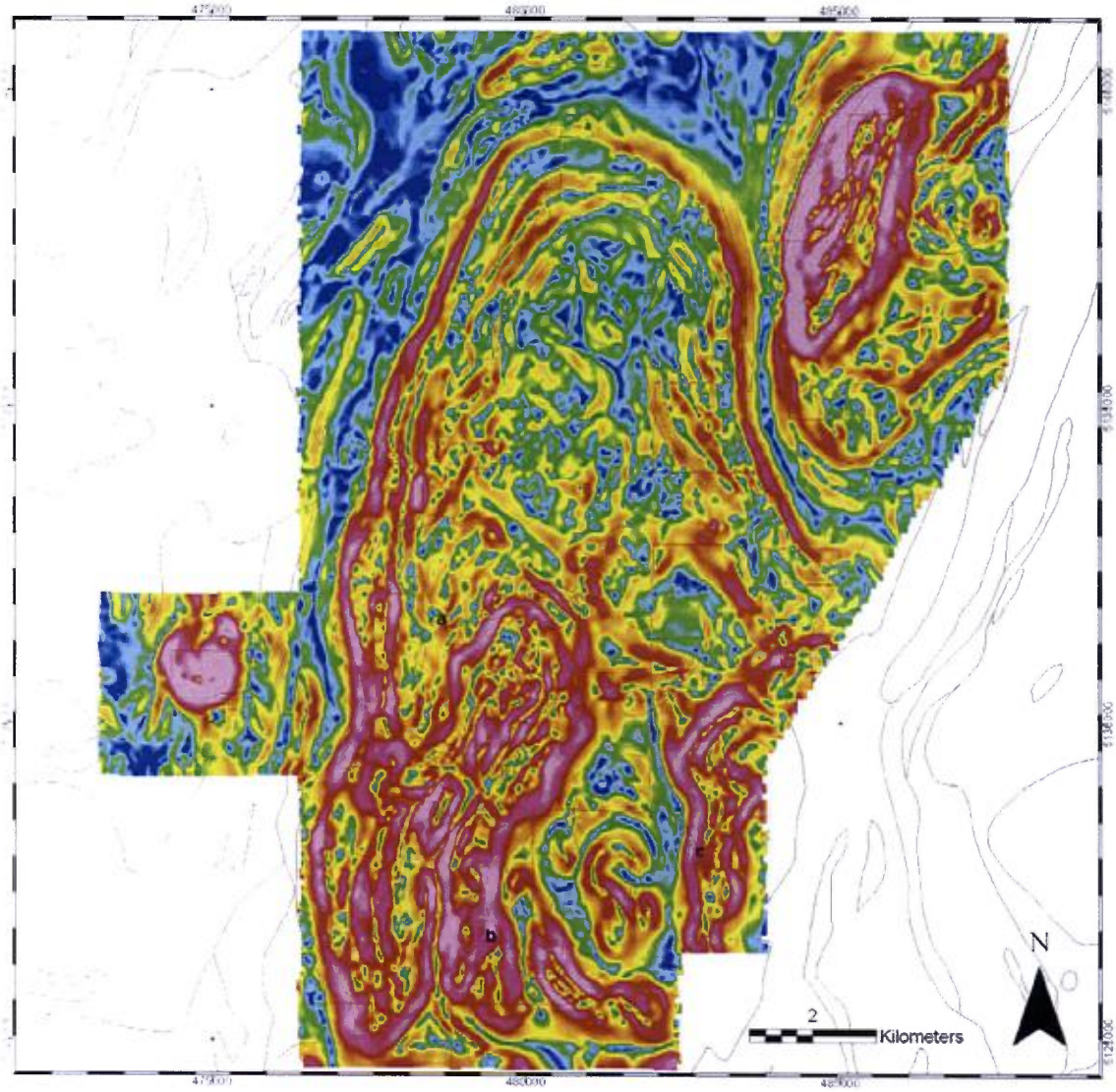


Figure 11: Horizontal gradient of aeromagnetic data overlain by linework of previous geological map. In the areas of exploration interest:

- The geometry of aluminous gneisses and amphibolite differs significantly. In the area "a" the fold is seen to close approx. 2km south of the mapped fold closure. Near "b" the fold closes to the west instead of to the east.
- There is no continuity between aluminous gneisses and amphibolite as previously mapped.
- Between "b" and "c" the geological map is erroneous. The aluminous gneiss in the SE extremity of the mapped "snake" where the Bing showing occurs does not connect with the system to the west but clearly strikes N-S then bends to a NE orientation. The Bing showing and the showing north of the Bing ("Bing north") occur in the same N-S striking horizon. This greater and different extent of a possible early alteration system suggests greater prospectivity of the eastern part of the Bondy complex than previously thought.

Note whole scale bar is 2 km long.

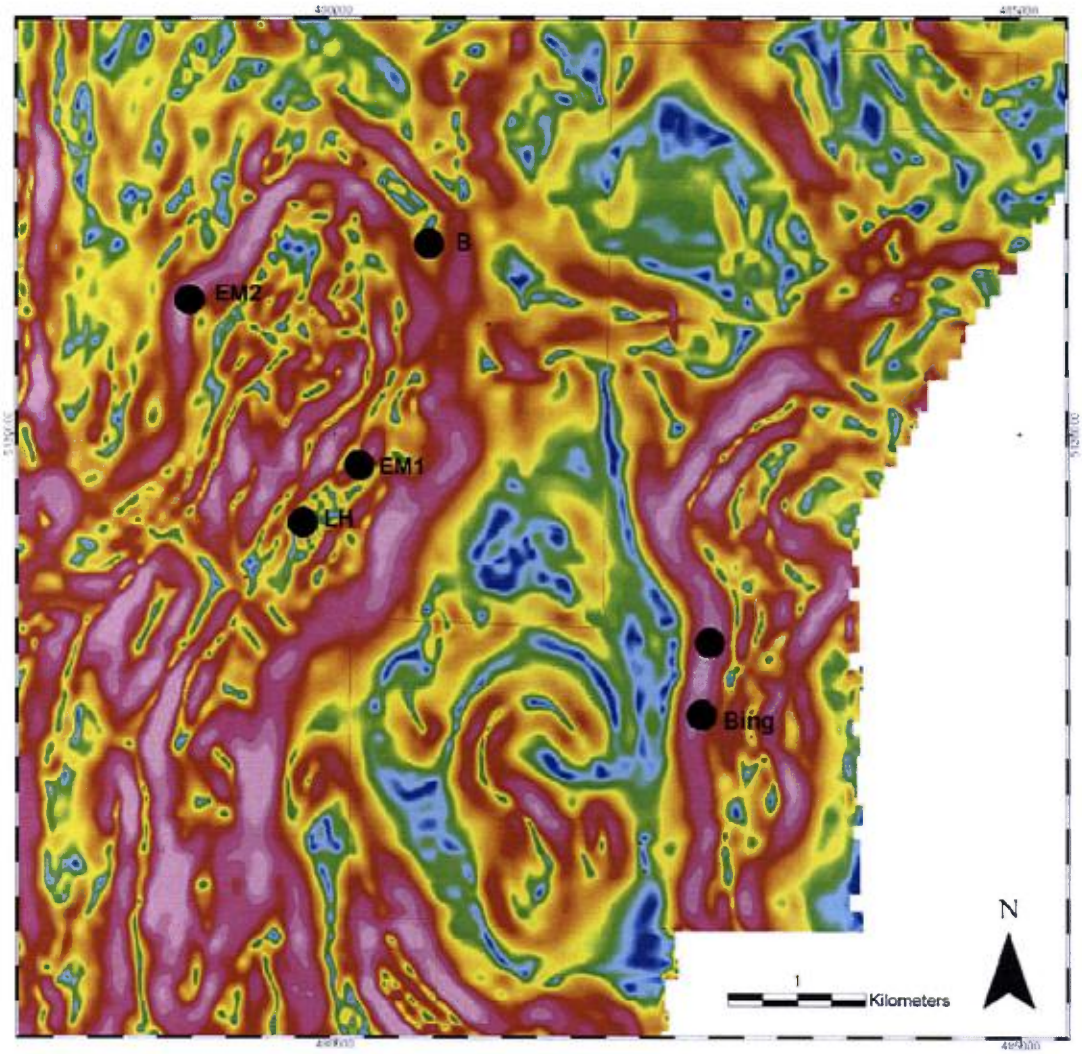


Figure 12: Location of main showings on aeromagnetic horizontal gradient image. See detailed maps (**Figure 18** and **Figure 29**) for location of main samples in these areas.

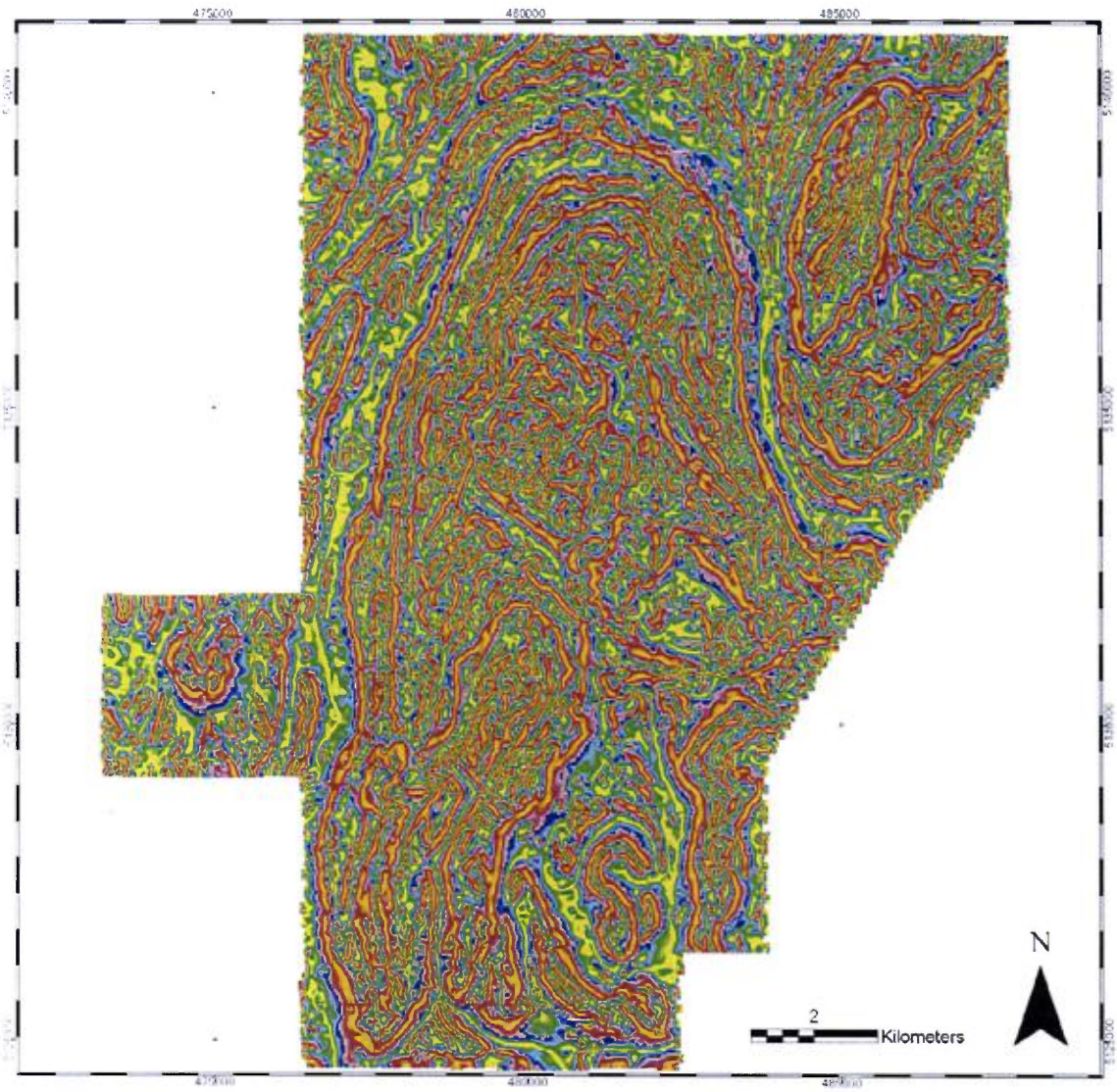


Figure 13: Geosoft TDX filter. The TDX Derivative = $\tan^{-1}$ (horizontal gradient / vertical_derivative).

Application of the Geosoft *TDX filter* (Figure 13) further "skeletonizes" the magnetic data aiding interpretation of lithological contacts in problem areas, although it may also introduce artefacts along fault or shear zones.

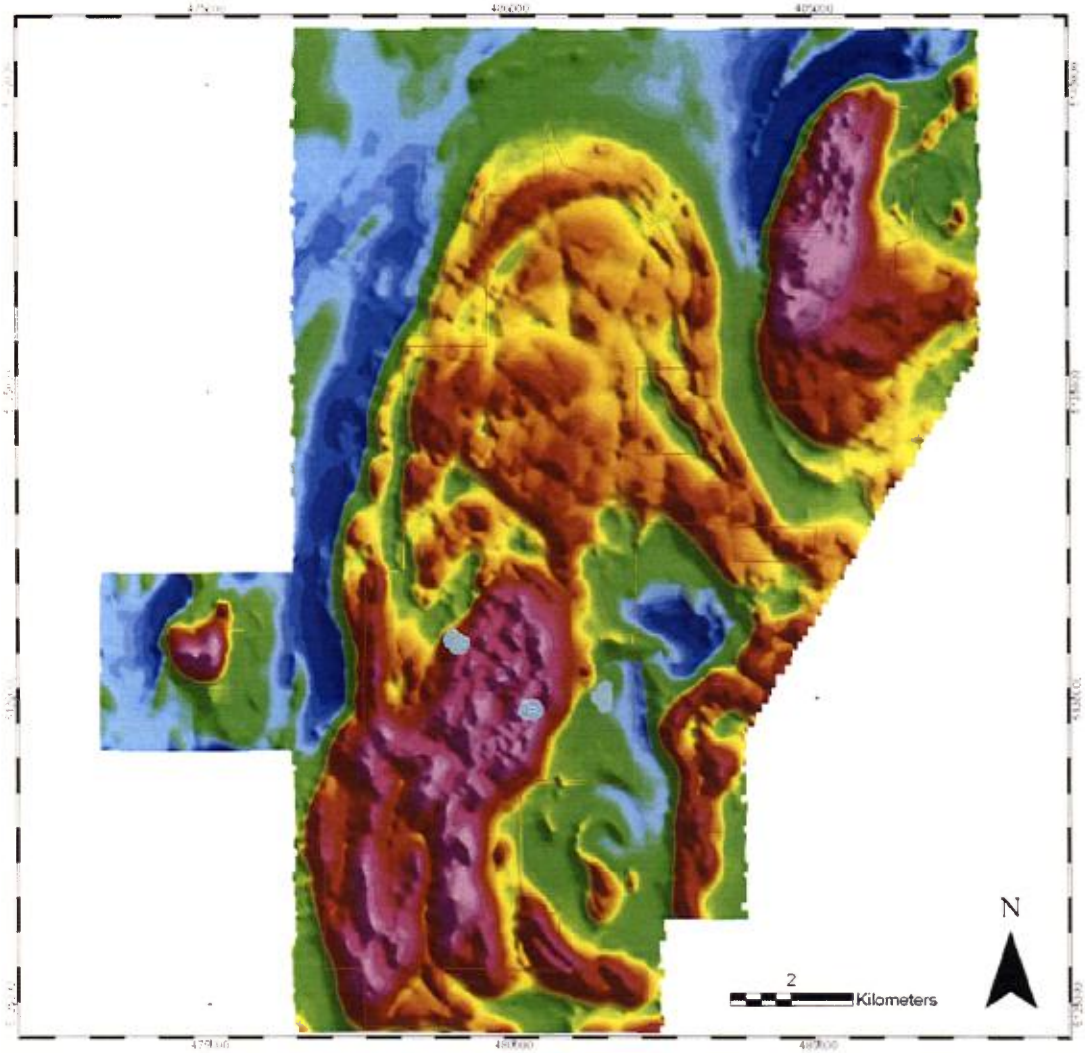


Figure 14: Shaded (15°→320°) aeromagnetic image highlighting cross-cutting N-, NNE- and NW- and ENE-striking structures. The superposed 3 pale blue areas show the position of prominent EM anomalies; the two westernmost ones lie in the area if mapped aluminous gneisses interpreted as a metamorphosed alteration system whilst the eastern anomaly is associated with an intrusive body.

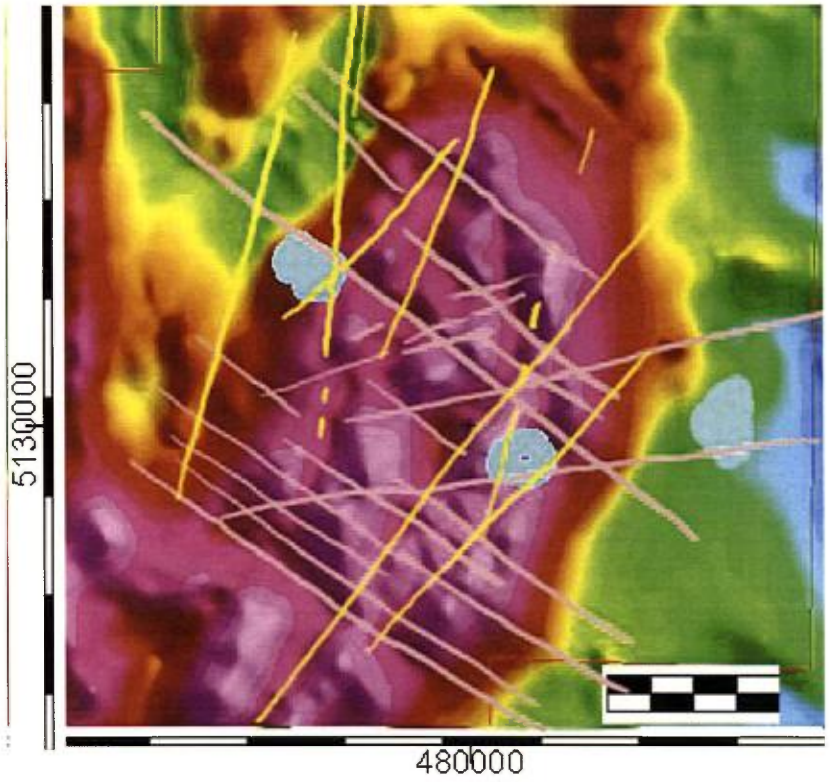


Figure 15: Enlargement showing a preliminary interpretation of cross-cutting structures in the vicinity of the EM1 & 2 showings. Yellow lines are thought to represent early ductile to brittle-ductile shear zones whereas pale brown lines most likely represent younger more brittle structures. Further detailed interpretation is in progress.
Scale-bar divisions are 250 m.

Note that it appears that both showings are on early shear zones and indeed mylonites have been observed at showings with similar orientation. Note that 045° striking structures were seen to be mineralized along the "breccia trail".

5. Radiometrics

Airborne radiometric data from the NRCAN Cheneville 1993 200m survey[♦] was processed in Oasis Montage. EM1, Breccia trail (B) and Lac Harvey (LH) showings are associated with high K anomalies whereas the Bing showings and EM2 are in areas of moderate K (Figure 16). EM1, Lac Harvey (LH) and Bing north and showings are associated with high K/Th ratios and the Bing, breccia trail (B) and EM2 are in areas of moderate K/Th ratio on the margin of a high (Figure 17).

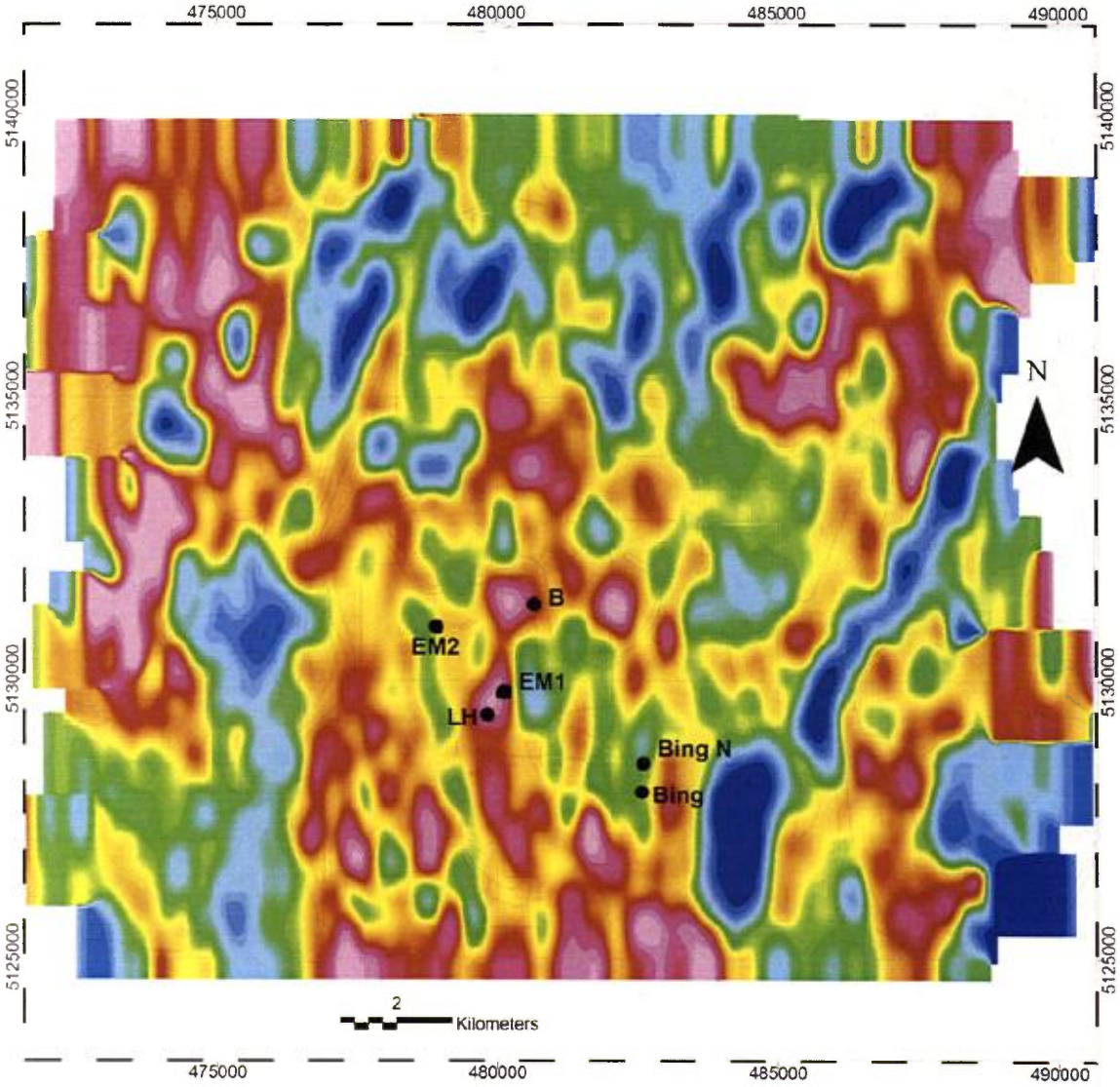


Figure 16: Distribution of K over the study area with linework of regional geology and claims. Black circles mark the position of showings. EM1, Breccia trail (B) and Lac Harvey (LH) showings are associated with high K anomalies. Bing showings and EM2 are in areas of moderate K.

[♦] http://gdrdap.agg.nrcan.gc.ca/geodap/index_e.html.

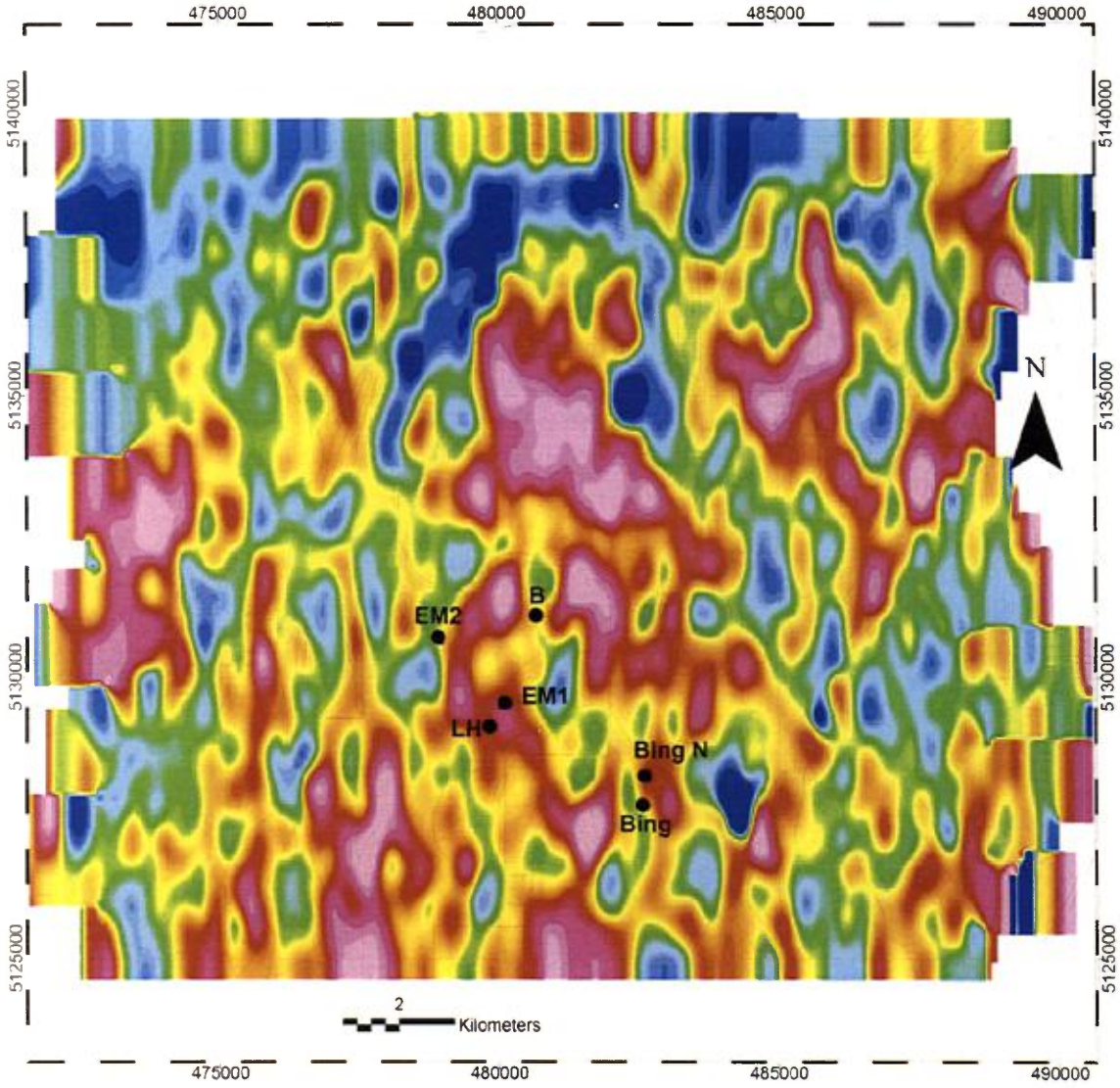


Figure 17: Ratio of K/Th.
The K/Th ratio was calculated from NRCAN data. Black circles mark the position of showings. Note that high values of K/Th ratio have been associated with IOCG-type mineralization elsewhere. EM1, Lac Harvey (LH) and Bing north and showings are associated with high K/Th ratios. Bing, breccia trail (B) and EM2 are in areas of moderate K/Th ratio on the margin of a high.

6. Field studies

New sectors within the Bondy gneissic complex were inspected in the fall of 2007 based on information provided by the processing of geophysical data. The most promising sectors found during summer 2006 were also re-examined in order to gain a better comprehension of the origin and extent of mineralization. The coordinates of main samples are given in Apendix 2. *In situ* analyses of K, Th and U were obtained using an EXPLORANIUM GR-135 handheld Isotope Identifier (Appendix 3). The following section provides a summary of the areas deemed to be the most prospective.

6.1. "Breccia trail"

Outcrops of highly magnetic and brecciated banded quartzofeldspathic gneiss, metabasite and calc-silicate horizons along a 4WD track in an area NE of the magnetic anomaly (Figure 18) were identified during the summer of 2006 and were further studied in detail in 2007. This area is informally called the "breccia trail". The area lies on the NE margin of an aeromagnetic high (Figure 18, top). Breccia zones crop out over 2 to 3 metres in width, although the nature of outcrop precludes the determination of their maximum width. Breccia zones are typically bounded by and cross-cut by anastomosing brittle ductile shear zones approximately 5cm wide (Figure 19). Although their strike is variable, breccia and anastomosing brittle-ductile shear zones appear to lie within a corridor of deformation with a general 040° orientation. The asymmetry of the foliation around clasts suggests a reverse displacement (samples were collected for verification, but are yet to be studied). Note that the style of deformation in this area is not seen elsewhere in the complex and due to the more brittle nature of the deformation, structures here are most probably younger than elsewhere in the Bondy gneiss complex. Their orientation combined with the preliminary shear determination however suggests that they are compatible with the regional NW-SE shortening during one of the main periods of deformation known regionally in the SW Grenville Province.

Much of this area is within the area mapped as a possible metamorphosed hydrothermal system by Corriveau and Jourdain (1993). The lower horizontal gradient image in Figure 18 indicates that several different lithological units have been affected by these cross-cutting structures, including quartzofeldspatic biotitic gneiss (Figure 20). Some quartzofeldspathic gneiss shows a postassic alteration (averaging 5% but up to 7%). Some breccias (e.g. sample DA06-45A) also show potassic alteration however unlike high magnetite content, potassic alteration is not ubiquitous. Breccia/deformation zones are characterized by a high concentration of biotite, an increase of magnetite (Figure 21) and by the presence, for some of them (e.g. samples **DA06-047**[§]) of sulphides as blebs, disseminated grains or within veins along a main direction of 040°. Some layers of pyrite-chalcopyrite associated with magnetite (Sample **DA07-037B2**, Figure 20) have also been found. Host rocks of some breccias show potassic alteration (with up to 7% K). An uranium anomaly (26 ppm in Sample **DA06-047A**, 6.7 ppm in the sulfide 047A, is indicated in one sample (Figure 22). REE analyses of magnetite indicate concentrations of 454 ppm REE in one breccia (Sample **DA06-045A**, Figure 23).

[§] See Figure 18 for the location of sample sites.

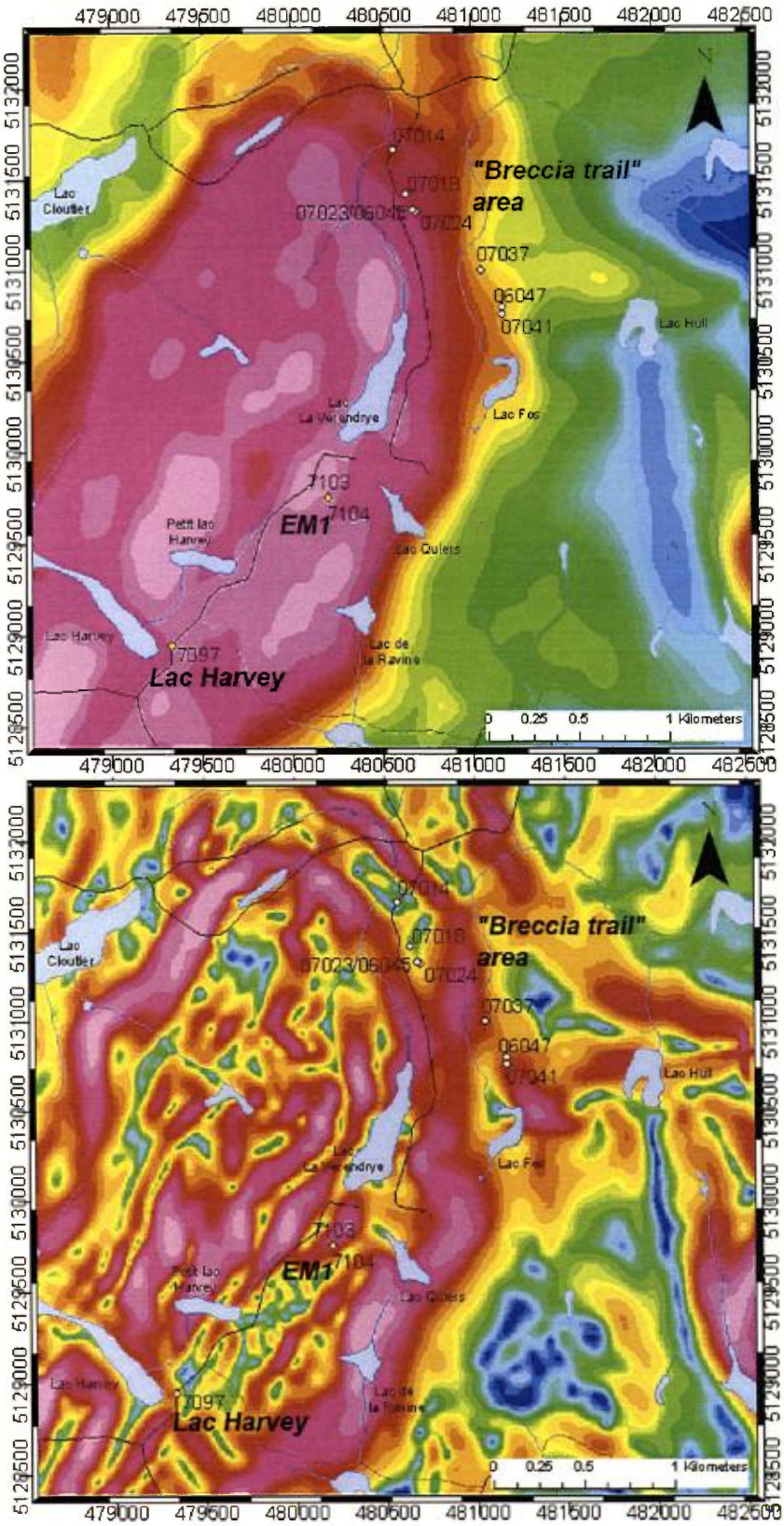


Figure 18: Position of main sample sites in the SW part of the study area.

Top: Sites superposed on total magnetic intensity image. Bottom: Sites superposed on horizontal gradient image.



Figure 19: Typical breccia rocks in the "breccia trail" area.
Left: Overall view of outcrop characterized by breccia cut by anastomosing, centimetric-scale shears. **Right:** limit between breccia and host rock marked by a brittle-ductile shear zone.



Figure 20: Mineralized quartzofeldspatic biotitic gneiss (Sample DA07-037B2, Breccia trail).
The sample is characterized by a high concentration of magnetite and by a layer of sulphides (pyrite and chalcopyrite).



Figure 21: Magnetite breccia (Sample DA07-047G, Breccia trail).
The sample is characterized by a high concentration of magnetite and biotite.

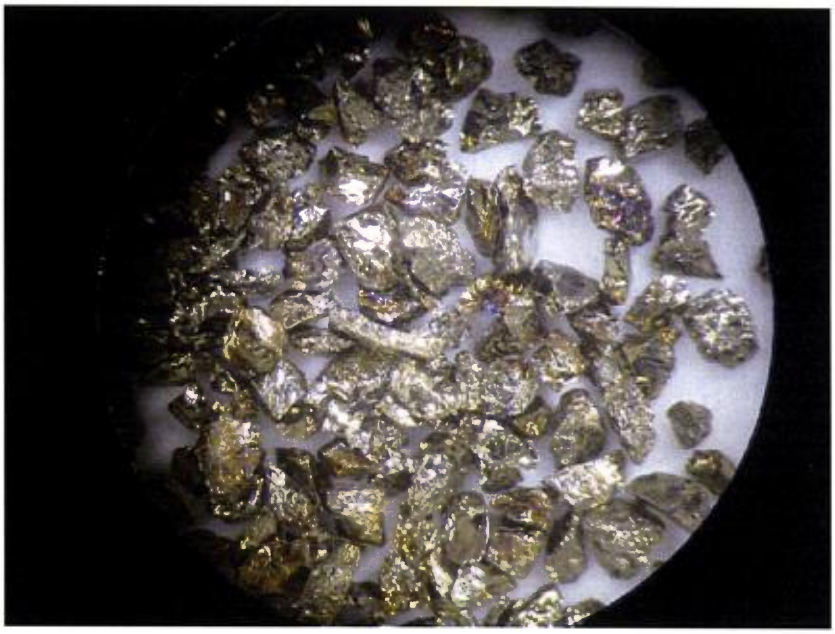


Figure 22: Sulphides separated from the sample DA06-047A.
These sulphides present an uranium anomaly (6.72 ppm). Size of minerals is approximately 425µm.



Figure 23: Magnetite separated from the sample DA06-045A.
These sulphides present a REE anomaly (∑ REE 454 ppm). Size of minerals is approximately 425µm.

6.2 EM anomaly 1 ("EM1")

An extremely interesting, sulphide-rich zone was discovered this summer (EM1) coincident with an electromagnetic anomaly south-west of the breccia trail zone between "Petit lac Harvey" and "Lac Quiers" (see Figure 12 for the general location and Figure 18 for the location of samples). The site must be accessed by foot and outcrops are sparse, however relief and vegetation suggest that it would not be difficult for equipment to access the site. The sample sites were discovered by stripping soil and vegetation cover in the area of the anomaly (Figure 24). There is no indication that the site was previously examined by the Richmond Minerals prospecting team.

Two types of mineralized rocks were found on the EM anomaly. These rocks have a similar fabric, characterized by a foliation striking approximately 220° and dipping 80° NW (i.e. 220°/80°). A mylonitic zone with a similar orientation was also recognised. A reverse sense of displacement is tentatively suggested from field exposures (Figure 25), but this must be yet confirmed from oriented samples. The first rock type, as in sample **DA07-103A** (Figure 26), is composed of biotite (up to 30%), quartz, garnet, plagioclase and blebs, veinlets and disseminated pyrite (up to 10%). This rock may represent a metamorphosed hydrothermal Mg-K-Fe alteration zone. The second rock (**DA07-104-2**, Figure 27) is composed of aluminous silicate (20% sillimanite and kyanite), quartz, K-feldspar?, magnetite and blebs and disseminated sulphide (up to 20% pyrite and pyrrhotite). This rock is interpreted as having been derived from an advanced-argillic alteration (Si-Al). This alteration suggests extreme leaching of the protholith by

hot and strongly acidic fluids. K and Fe are superposed on the argillic alteration during a second K-Fe alteration phase. Advanced argillic alteration is known to occur in various ore deposit (VHMS, porphyry deposit, epithermal deposit). K-Fe alteration is a key feature of IOCG deposits. The low concentrations of Cu of the mineralized rocks do not exclude a Cu, or other metal, enrichment at depth due to the possibility of a vertical sulfide zonation (e.g. as commonly found in VHMS and IOCG deposits).

The observation of strongly altered rocks, high concentrations of sulphides and coinciding electromagnetic anomaly, provides a very good target for further investigation. Note that the orientation of foliation and shear zones is similar between those in the magnetic zone of "breccia trail" area and the mylonitic sulphide-rich rocks of "EM1" area which are aligned approximately along a 040° strike, however deformation at EM1 appears more ductile.



Figure 24: Stripping of soil and vegetation exposed the outcrops in the vicinity of the EM1 anomaly. A portable rock/concrete saw was used to cut slices and oriented samples removed for analysis and or structural study. Note shallow soil and vegetation cover making mechanical stripping desirable and feasible to expose more outcrop.

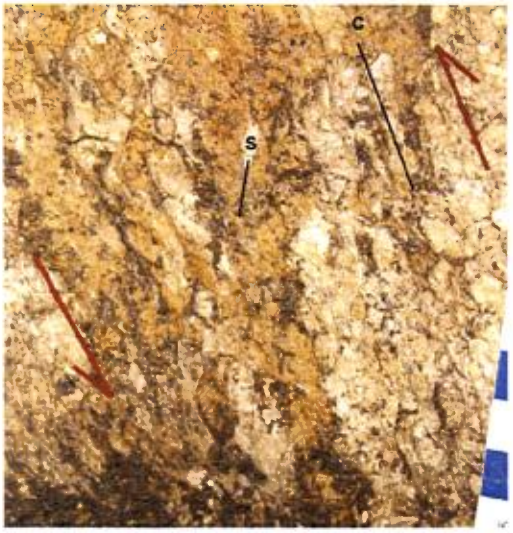


Figure 25: Mylonite in the area of the EM1 anomaly.
S (flattening foliation defined by elongated feldspars) and C (mylonitic shear foliation) relationships suggest a reverse component of displacement. Samples were collected for structural interpretation as well as geochemical analysis



Figure 26: Mineralized biotite garnet pyrite quartzofeldspatic gneiss on the electromagnetic anomaly EM1.
(Sample DA07-103A4, EM1 anomaly).



Figure 27: Mineralized aluminous gneiss.
(Sample DA07-104-2, EM1 anomaly) found on the electromagnetic anomaly. The mineralization comprises disseminated and blebby pyrite, disseminated pyrrhotite and magnetite. Two phases of alteration have been identified.

6.3 "Lac Harvey showing."

The Lac Harvey showing at the eastern extremity of Lac Harvey (Figure 18), initially identified in mapping by L. Corriveau and sampled during Richmond Minerals' 2006 study, was further investigated in 2007 as despite the relatively low initial analyses, chalcopyrite was identified in samples collected by L. Harris. Its location on strike from EM1, a coincident magnetic, gravity and K/Th anomaly with EM1 (Figure 17), and its location closer to the E-striking gravity worm (Figure 6) also raised interest in this site. Analyses indicate that indeed gneisses are associated with a potassic anomaly (up to 7.8% K). Most of the rocks of the outcrop are rich in magnetite, and may contain centimetric-scale layers of massive magnetite. The gneissic foliation strikes 190° and dips 75° W. Breccia where clasts are rimmed by sulphides is locally developed, as in Figure 28.

Disseminated sulphides occur in most of the rocks of the outcrop but Cu values are usually low. A new rock type was found this summer containing 5534 ppm Cu (Sample **DA07-097E**, Figure 28). The rock corresponds to a non-magnetic K-rich, Na-poor gneiss. The presence of this rock approximately 500m of **EM1** suggests that this area is also worthy of further investigation.



Figure 28: Mineralized K-altered quartzofeldspatic gneiss (Sample DA07-097E, Lac Harvey showing). Pyrite and chalcopyrite occurs as veins and rimming breccia fragments.

6.4 Lac Bing area ("Bing showing")

This sector appears as the most promising mineralized zone. Five mineralized outcrops have been found in the area which contain a foliation striking 345°. Regionally, these showing are aligned along a N15° direction at the limit between a high-magnetic and a low-magnetic domain (Figure 29) for a distance of 800 metres (Figure 29). The south part of the Bing showing (outcrop DA06-006) was reinvestigated during the campaign 2007

to find possible extension of the Bing showing in the south. Unfortunately, no mineralized outcrop was discovered, but the important vegetation cover does not exclude a possible extension further south.

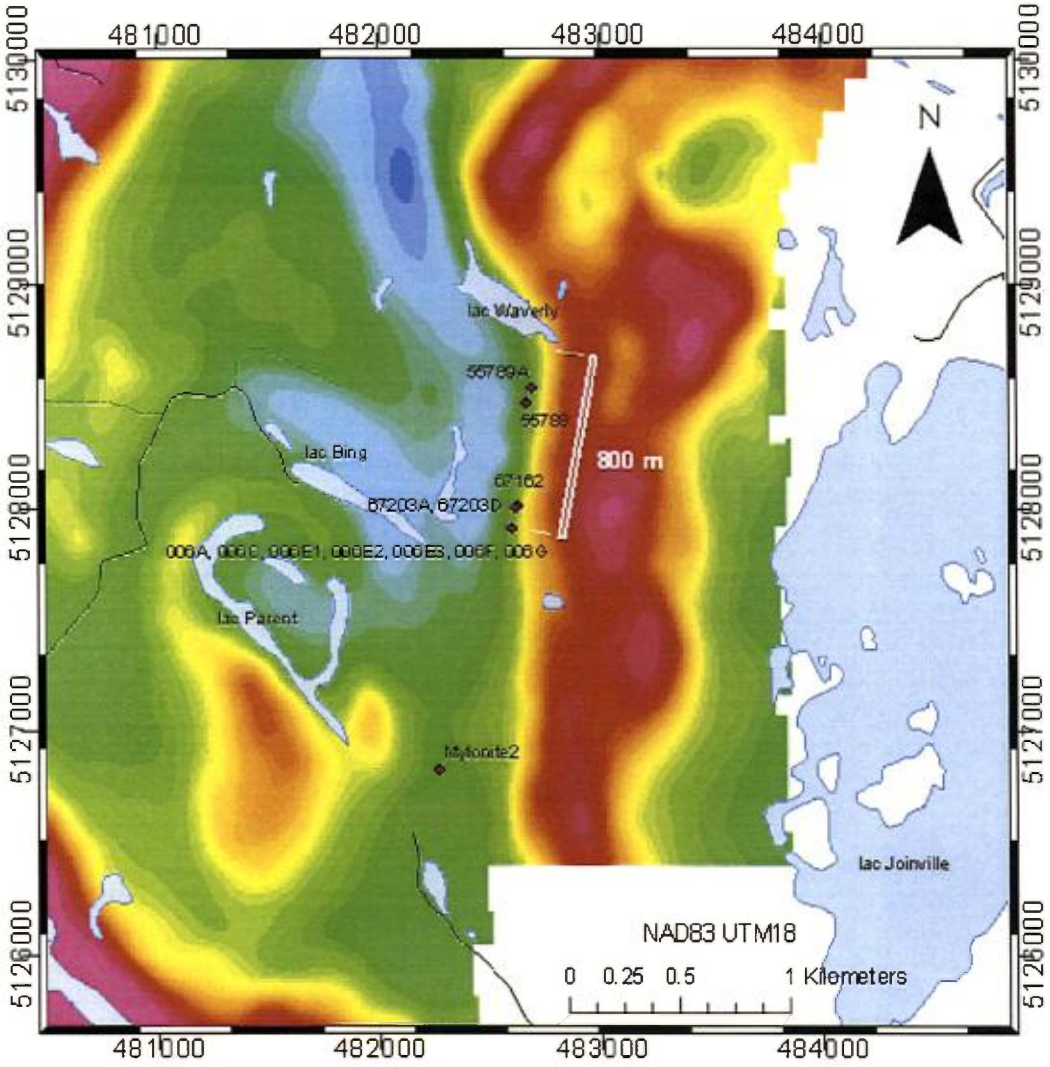


Figure 29: Position of main samples in the Lac Bing area.
Note that the first showing discovered next to the access track correspond to samples DA06-006. Samples with mineralization are aligned along a N15° direction over a potential distance of 800 meters, on the margin between two contrasting aeromagnetic domains.

The highest values of copper of the Bondy Gneiss Complex (Table 1) have been found in the Bing showing during the summer 2006 (Sample DA06-006E1). The mineralization consists of blebs, veins and disseminated chalcopyrite, pyrite, magnetite in a coarse grained clinopyroxene-garnet rich calcosilicate rock characterized by a foliation striking 345° which dips 75° E. Seven samples have been taken on the outcrop. The 3 richest rocks were taken every meter (**DA06-006E1**, **E2**, **E3**, Figure 29), the farthest sample (**DA06-006G**) taken 10 meters away from **DA06-006E** still has high Cu values

suggesting the presence of a broad mineralized zone. Four outcrop containing disseminated sulphides were found, defining a continuation of the principal showing (**DA06-55788, DA06-55789, DA06-67203, DA06-67162**, Figure 29). Samples **DA06-67203A** and **DA06-67162** are also associated with a coarse grained clinopyroxene-garnet rich calcosilicate rock, samples **DA06-55788** and **DA06-55789** with metabasites. All the sulphides of the Bing showings have a Ag anomaly (9.2 to 66.6 ppm, Figure 31) not recognised at other sites in the Bondy gneiss complex.



Figure 30: Mineralized sample (Sample DA06-006E2), Bing showing.
The rock is principally composed of pyroxene, garnet, magnetite, plagioclase, with vein and disseminated chalcopyrite.

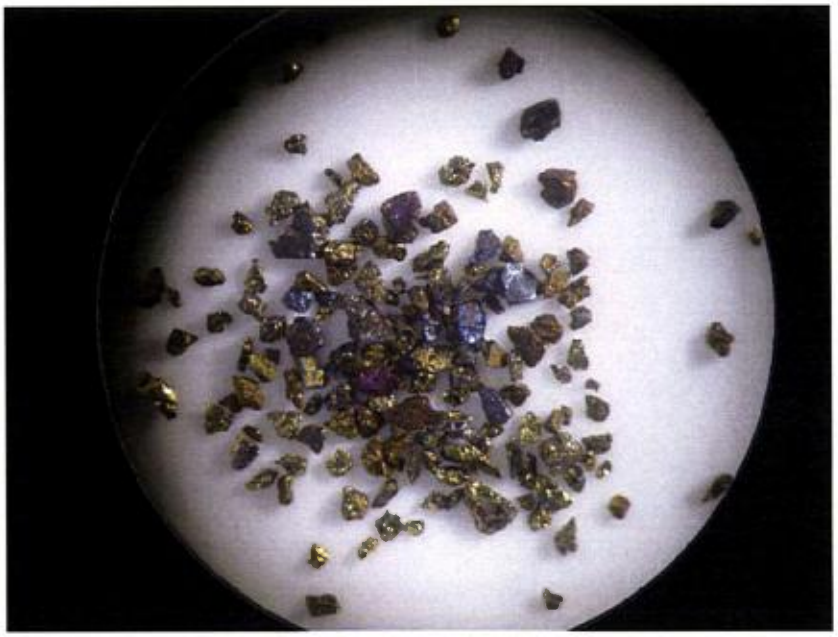


Figure 31: Sulphides separated from the sample DA06-67162 from the Bing showing.
These sulphides present a silver anomaly (66.6 ppm) not identified in other sites. Size of minerals is approximately 106µm.

6.5 "EM2" locality

The second EM anomaly (EM2) is located on the NW margin of the magnetic (Figure 10) and gravity (Figure 8) highs in the SW part of the study area in a continuation of the same stratigraphic level as EM1 and Lac Harvey (Figure 12). This locality comprises metabasite and calcosilicate rocks where only disseminated sulphides were found in pyroxene gneiss. This zone has already been prospected in the summer 2006 by the Richmond team (Sample 67049). No interesting mineralized zone was found this summer.

7. Geochemistry

A first series of analysis has been accomplished during the summer 2007 on 32 more or less mineralized samples collected during 2006 fieldwork. All samples have been analyzed for their major-element composition by inductively coupled plasma – atomic emission spectrometry (ICP-AES) and for rare-earth elements (REE) and trace elements (Ba, Rb, Sr, Cs, Th, U, Hf, Nb, Ta, Pb) by inductively coupled plasma – mass spectrometry (ICP-MS) at the analytical facilities of INRS-ETE. All the preparations have been carried out by Vladimir Antonoff. Because the sample preparation for analysis was undertaken by fusion of rock powder in a Pt-Au crucible, Pt and Au could not be determined. Analysis by neutron activation will be done latter for Au, Pt...for all mineralized samples.

Approximately 100 samples have been collected during the 2007 field season by Vladimir Antonoff and Grégory Dufréchou which will also be analyzed for major-elements, REE, and trace elements. A first series of analysis has been already completed. Separation of sulphides and magnetites from mineralized samples has been done (4 magnetites, 6 sulphides) and their REE's compositions were analyzed in order to compare our data with different ore deposits REE signatures. The best samples are characterized by high concentrations of copper (Table 1). No zinc, nickel or lead has been found.

Table 1: Copper and sulphur concentrations of some mineralized samples.
Samples DA06-006 correspond to Bing showings. Samples DA06-55788, DA06-55789, DA06-67203 and DA06-67162 correspond to the Bing north extension. Samples DA06-047 corresponds to the Breccia trail. Sample DA07-097 corresponds to the Lac Harvey showing. Samples DA07-103 and DA07-104 correspond to the electromagnetic anomaly 1 (EM1).

Sample	**Cu** ppm (±0.01ppm)	**S** wt%. (±0.00001%)
DA06-006A	1153.2	0.036
DA06-006C	934.5	0.136
DA06-006E1	27883.4	1.103
DA06-006E2	25351.2	0.927
DA06-006E3	3799.7	0.198
DA06-006F	1385.2	0.056
DA06-006G	4338.8	0.346
DA06-047Abis	1235.4	0.503
DA06-047D1	2711.9	1.046
DA06-047D2	1522.7	0.368
DA06-047F	2382.3	1.029
DA06-55788	12119.1	0.312
DA06-55789A	8905.4	0.287
DA06-67203A	4263.2	0.261
DA06-67162	4604.4	0.208
DA07-097E	5534.7	0.793
DA07-103-A4	308.4	1.122
DA07-104-2	425.9	1.492

8. Recommendations for further exploration of the Bondy area claims

In the light of the new observations, analysis, data, geophysical processing etc., several of the localities examined have the potential for mineralization and are worthy of further examination depending on the available budget. Note that the team of Marc Richer-Laflèche at INRS-ETE has equipment and expertise to undertake electrical geophysical examination of areas under contract should this be possible.

1. Stripping, ground geophysics, and drilling of the EM1 locality.

The most promising area that is worth follow-up investigation is the EM1 area as:

- The EM1 locality is marked by coincident high EM, gravity, aeromagnetic, K and K/Th anomalies.
- Lithologies that suggest superposed alteration systems and that contain a high concentration of sulphides are present.
- Detailed gravity suggests the possibility of an underlying gabbro or gabbronorite intrusion; such intrusions are spatially associated with IOCG-style mineralization elesewhere.
- The showing is in proximity to a corridor (a gravity "worm") interpreted from regional gravity data interpreted to correspond to a deep-seated crustal break representing a transfer zone.
- Several shear and fault zones, especially 040°-striking shears seen to be important in localising mineralization in the nearby "breccia trail" have been interpreted from aeromagnetic imagery. The presence of mylonite with this orientation has been verified in the field.

Whilst initial analyses show only the presence of pyrite and pyrrhotite, this site is considered worthy of further testing. The anomaly may be zoned, and the poor state of current outcrop precludes any detailed mapping. The thickness of vegetation and soil cover does not permit the determination of the size of the mineralized zones, their relations with host rocks and structures, and the possible presence of zonation. Stripping the outcrop around **DA07-103** and **DA07-104** (Figure 18) would permit these gaps to be infilled. Access to the area is not an insurmountable problem, and stripping early winter when ground initially freezes may be easier and would reduce environmental damage and would permit further examination in the spring. Ground electrical geophysics may also be used to better delineate the anomaly. As EM anomalies potentially represent mineralization at depth, drilling on EM1 toward the south-east would be important to confirm the presence of sulphide at depth and potentially whether sulphide zonation is present.

2. Stripping of the Lac Harvey showing.

Stripping the northeast part of the Lac Harvey showing is recommended at the same time that equipment is in this area to strip the EM1 locality to observe if the mineralization **DA07-097E**, located on the margin of outcrops, is just local or if further mineralization extends on strike toward EM1. Further work here would depend on the results of stripping.

3. Stripping, blasting or drilling in the Lac Bing area.

Because the highest values of Cu(-Ag) are at the Bing showing and other localities on strike to the north, a complementary work as to be done from outcrop **DA06-006** to **DA06-55789**. Two operations could be undertaken:

- Stripping the area toward the north to follow the mineralization.
- Blasting the outcrop **DA06-006** to see if mineralization is still present at depth is recommended prior to drilling as it is impossible to tell the extent and continuity of mineralization on existing data.

4. Stripping, blasting or drilling in the Breccia trail area.

More investigations have to been done at the Breccia trail. Every breccia observed was situated between, and perpendicularly, to a road and a wood which does permit the strike extent of the breccias to be determined. It is recommended to strip the vicinity of the most promising breccias along this trail and further SW where the on-strike continuation of breccia zones intersects the stratigraphic horizon containing the EM1 and Lac Harvey showings. Drilling across breccia zones would then be based on analysis of the stripped area. Ground electrical geophysics across the breccia zone along the track and on parallel traverses could also be used to detect if there are any indications of mineralization at depth.

9. Recommendations for regional exploration.

Intersections and terminations of regional structures detected on gravity "worm" images should be examined in a regional exploration program. Worming methods used in this study should be undertaken in any future exploration program in similar terrains. Note that production of additional worm images of other areas and further targeting in the SW Grenville Province could be undertaken by the INRS-ETE research group under separate contract if required.

10. Discussion and conclusions

This study illustrates the advantages of integrating:

- regional and prospect-scale geophysics incorporating processing methods not generally undertaken by industry,
- detailed petrology and geochemistry of rocks, including research for alteration systems,
- field structural analysis, and
- application of metallogenic models

in applied research.

Edge detection of upwards continued gravity data ("worming") is successful in identifying crustal structures in the Grenville Province of Quebec. This study shows significant correlation between structures interpreted in this manner from publicly available gravity data and known mineral showings. This method is therefore verified as an important tool in regional claim selection and ranking of target areas. Filtering of aeromagnetic data over the Bondy gneiss complex has provided images extremely useful in identifying lithological contacts and structures and has highlighted several major errors in previous regional mapping with important exploration repercussions. The geology map must therefore be redrawn to take into account this recent magnetic data (to be undertaken in this ongoing project).

Field studies have identified new mineralized sites of which four are deemed worthy of follow-up (stripping, ground electrical geophysics, blasting and / or drilling). Preliminary research results suggest that there are distinct differences in the timing of alteration and mineralization with respect to deformation events, the orientation and ductuility of controlling structures, the ore minerals present and geochemistry between different showings. The Bing and EM1 showings have undergone more ductile

deformation during mineralization than seen at sites along the "Breccia trail" suggesting mineralization may be older. The same orientation and sense of displacement along structures (NE-striking reverse shear zones) however is observed at both the Breccia trail and EM1 localities. Mylonites in the Bing area may be different to those observed in other areas, with preliminary field investigations suggesting N-striking normal and E-striking reverse ductile shear zones. Such structures are not present in the other sites. There are also differences in the geochemistry between the Bing showing and other sites, e.g. the Bing sulphides are richer in Ag. Further geochemical, petrological, and isotopic analysis will be undertaken to better characterize the different types of mineralization. The final aim will be to propose a model of mineralization in high grade terrains and, consequently, develop a new tool to predict the presence of mineralization in highly metamorphosed terrains.

Acknowledgements
Louise Corriveau (Adjunct Professor, INRS-ETE) provided advice on alteration systems and their recognition in high-grade terrains and the characteristics of IOCG deposits. Grégory Dufréchou is the recipient of an INRS-ETE scholarship. Facilities for geophysical analysis are part of a laboratory for physical, numerical and geophysical simulations funded by the Canadian Foundation for Innovation, the Quebec Ministère d'Éducation, de Loisirs et du Sport and INRS-ETE. Geochemical analyses were carried out by Réal Gosselin in the laboratory facilities of INRS-ETE.

Appendices

Appendix 1. Gravity survey Logistics

The gravimetric survey presented in this report was carried out between 9/07/2007 to 11/07/2007 and 20/07/2007 to 02/08/2007 by Grégory Dufréchou and Jimmy Poulin (MSc student at INRS-ETE with a geomatics background from undergraduate studies at Laval University). This study was carried out with the collaboration of Diane Jobin and Carey Gagnon of the division of geodetic surveys of Natural Resources Canada, Ottawa. This collaboration enabled the free loan of the gravimeter, instruction in its use and the PCGravVB511 software used for the data processing, as well as technical advice in completion of the survey. The gravimeter used was the G0498 model of Lacoste and Romberg. The base station used to correct measurements was station 9263-1969 in Mont Laurier. A differential GPS system was leased from another research group at INRS at a nominal fee.

During the period 9/07/2007 to the 11/07/2007, a GPS with real-time processing was used to record the position of the stations. This system was centered around a GPS installed at a base on a point of known coordinates. This base is associated with a radio transmitter with a range from 5 to 8 km, which sent a correction of position in real time to a second mobile GPS which recorded the coordinates of the gravity stations. However, the significant vegetation cover and the high relief prevented the radio signal from crossing the forest and did not allow the mobile GPS to receive the corrections of the GPS base station. The problems in achieving adequate reception to precisely locate gravity stations required a return in Quebec to find a system of positioning more adapted to the environment in the Papineau Labelle Fauna Reserve. In returning to the field, the GPS was reconfigured to calculate an approximate position without initial correction. A subsequent correction of the positions was carried out to obtain a precision in height to less than 50 cm. The positioning of each station by the GPS was done according to reference system WGS 84. The approximate co-ordinates were corrected while being based on the recordings of the permanent geodesic station of Mont Laurier with the software *Trimble Geomatic Office* that was hired for this purpose. The datum used is NAD83 SCRS and the model geoide is HTV2.0.

Gravity stations were measured, where possible, on or near outcrops to limit the effects of Quaternary deposits. Spacing between the stations is very variable, as it was dependent on the presence or not of outcrops combined with an open sky without too much vegetation to enable precise GPS positioning. The stations are spaced overall 500 m by 2 km inside the sector of study, spacing can be more significant (up to 3.5 km between stations) on the edges. Large gaps between stations correspond to areas which are inaccessible because the roads are not passable (especially with a sensitive instrument) or non-existent. "Closures" make it possible to judge the quality of the measurements made at the time of each cross-section by comparing the values measured with the Mont Laurier reference base station mornings and evenings. Traverse closures are overall correct, the most significant error being 0.034 mGal for the first traverse. The values of closures obtained reflect the good conditions of the traverses within the reserve

(in particular due to the favourable weather conditions allowing access on tracks). At the time of this survey, 11 repetitions were carried out, on which 9 stations were repeated once (1503, 1528, 1530, 1555, 1556, 1564, 1582, 1589, 1603) and a station was repeated twice (1574). The average difference of the repetitions at the time of this survey is of 0.0167 mGal, the variation the greatest east of 0.047 mGal for the station 1530 and the weakest variation is 0.002 for the station 1603. The whole of the data collected during this survey will eventually be integrated into the governmental data base available online on the site of the Geological Survey of Canada.

Table 2: Gravity station data.

Stations	Value recorded	Date	Time (hhmm)	Northing Nad83 Utm18	Easting Nad83 Utm18	Elevation (m)	Gravity observed	Free air	Bouguer
1501	4262.408	10.07.2007	1252	5140523.442	470514.046	226.200	980644.415	-33.28	-58.60
1502	4260.537	26.07.2007	2226	5137821.127	469363.993	230.635	980642.243	-31.88	-57.70
1503	4257.892	26.07.2007	2210	5134942.964	470947.087	256.083	980639.547	-24.39	-53.05
1504	4243.262	26.07.2007	2157	5133582.921	472129.995	336.102	980624.617	-13.52	-51.14
1505	4242.397	26.07.2007	2100	5130792.168	474491.199	371.445	980623.757	-1.21	-42.79
1506	4244.709	26.07.2007	2114	5131096.357	474763.877	365.215	980626.110	-1.03	-41.91
1507	4245.150	26.07.2007	2132	5130650.889	475015.754	364.816	980626.553	-0.35	-41.18
1508	4245.647	26.07.2007	2045	5131417.513	473478.569	325.329	980627.081	-12.62	-49.04
1509	4241.926	26.07.2007	2034	5130628.361	473998.957	346.614	980623.289	-9.21	-48.00
1510	4240.756	26.07.2007	2021	5129604.759	474712.52	361.44	980622.102	-4.99	-45.44
1511	4229.618	24.07.2007	1852	5126616.614	474699.255	430.782	980610.754	7.49	-40.72
1512	4232.567	24.07.2007	1834	5125617.28	474007.594	412.404	980613.773	5.66	-40.50
1513	4233.381	24.07.2007	1910	5125975.24	475399.404	429.234	980614.588	11.37	-36.67
1514	4242.438	24.07.2007	1256	5136057.851	483975.713	355.76	980623.944	-10.18	-50.00
1515	4230.022	24.07.2007	1315	5133685.864	484081.43	419.6	980611.272	-1.22	-48.18
1516	4232.789	24.07.2007	1332	5131875.527	485391.401	395.391	980614.097	-4.39	-48.65
1517	4252.574	24.07.2007	1349	5129221.92	484832.857	284.833	980634.291	-16.16	-48.04
1518	4254.358	24.07.2007	1407	5128008.911	487247.937	278.314	980636.111	-15.36	-46.52
1519	4244.948	24.07.2007	1423	5125691.502	487903.162	301.478	980626.504	-15.94	-49.68
1520	4249.201	24.07.2007	1437	5124078.833	488538.716	267.213	980630.843	-20.86	-50.77
1521	4246.386	24.07.2007	1457	5123289.533	486599.7	293.335	980627.966	-15.03	-47.87
1522	4254.598	24.07.2007	1514	5121357.819	485843.015	252.968	980636.343	-17.54	-45.85
1523	4255.389	24.07.2007	1544	5121318.992	482847.591	258.37	980637.142	-15.04	-43.95
1524	4251.373	24.07.2007	1601	5123139.365	481671.267	288.957	980633.036	-11.18	-43.52
1525	4250.760	24.07.2007	1618	5124609.861	481098.799	305.651	980632.404	-7.86	-42.07
1526	4248.827	24.07.2007	1632	5125738.174	480269.838	329.423	980630.425	-3.42	-40.29
1527	4238.442	24.07.2007	1239	5137124.548	482876.425	373.582	980619.863	-9.62	-51.44
1528	4230.259	24.07.2007	1224	5138482.041	481469.764	411.336	980611.507	-7.43	-53.47
1529	4244.092	24.07.2007	2021	5139308.641	477610.103	331.225	980625.495	-18.83	-55.90
1530	4247.772	25.07.2007	1345	5134283.547	477591.795	324.503	980629.41	-12.90	-49.22
1531	4254.686	24.07.2007	1529	5120002.903	484392.343	254.700	980636.429	-15.81	-44.32
1532	4248.894	24.07.2007	1714	5126580.88	478228.238	335.107	980630.475	-2.29	-39.80
1533	4245.483	24.07.2007	1738	5126259.3	476983.363	355.197	980626.982	0.68	-39.08
1534	4239.797	25.07.2007	1435	5135965.88	478747.469	365.017	980621.273	-9.90	-50.76
1535	4240.872	25.07.2007	1450	5135087.679	478246.989	360.024	980622.369	-9.63	-49.93
1536	4252.029	25.07.2007	1547	5131879.626	481162.191	316.741	980633.747	-9.01	-44.46
1537	4247.484	25.07.2007	1600	5131999.343	480854.477	339.207	980629.104	-6.81	-44.78
1538	4247.261	25.07.2007	1612	5131938.462	480703.769	339.879	980628.872	-6.79	-44.83
1539	4250.588	25.07.2007	1639	5132779.322	481627.02	325.267	980632.258	-8.60	-45.01
1540	4249.362	25.07.2007	1651	5132579.202	481530.314	328.901	980631.001	-8.57	-45.39
1541	4252.591	25.07.2007	1703	5132355.077	481291.266	313.104	980634.292	-9.97	-45.02
1542	4234.590	25.07.2007	1731	5130725.438	481184.973	411.604	980615.904	3.36	-42.71
1543	4241.258	25.07.2007	1743	5131301.77	480706.924	376.242	980622.704	-1.22	-43.33
1544	4245.459	25.07.2007	1754	5131600.482	480519.833	352.317	980626.986	-4.56	-44.00
1545	4246.922	25.07.2007	1842	5132015.13	480401.502	341.871	980628.453	-6.66	-44.92
1546	4243.152	25.07.2007	1854	5131977.922	480208.284	361.149	980624.598	-4.53	-44.95

1547	4239.055	25.07.2007	1910	5131734.489	479927.757	385.838	980620.408	-0.90	-44.09
1548	4241.896	25.07.2007	2000	5131769.602	479199.986	363.356	980623.283	-4.99	-45.66
1549	4239.822	25.07.2007	2013	5131821.964	478449.451	374.307	980621.161	-3.78	-45.67
1550	4240.326	25.07.2007	2029	5131598.271	479719.294	380.542	980621.668	-1.16	-43.76
1551	4246.439	25.07.2007	2056	5133234.262	477830.564	333.869	980627.898	-10.66	-48.03
1552	4243.330	25.07.2007	2127	5132749.86	478100.299	352.61	980624.716	-7.67	-47.14
1553	4248.503	25.07.2007	2152	5134398.52	477215.366	321.432	980629.991	-13.36	-49.33
1554	4248.864	25.07.2007	2222	5135033.384	477023.045	315.21	980630.354	-15.43	-50.71
1555	4249.551	26.07.2007	1425	5127286.576	479013.155	334.704	980631.226	-2.24	-39.71
1556	4240.849	26.07.2007	1505	5128976.623	479328.733	381.147	980622.347	1.83	-40.83
1557	4240.247	26.07.2007	1557	5129528.205	478606.972	381.623	980621.729	0.92	-41.80
1558	4233.576	26.07.2007	1620	5129821.292	478130.006	410.837	980614.910	2.88	-43.11
1559	4237.205	26.07.2007	1655	5129939.413	478824.315	399.373	980618.601	2.93	-41.77
1560	4235.128	26.07.2007	1735	5129570.913	479826.771	410.142	980616.461	4.41	-41.50
1561	4240.801	26.07.2007	1833	5128654.28	479063.72	380.763	980622.216	1.85	-40.77
1562	4241.157	26.07.2007	1910	5127721.396	479444.802	378.45	980622.555	2.23	-40.13
1563	4246.716	27.07.2007	1359	5126734.444	480323.232	342.595	980628.327	-2.26	-40.61
1564	4241.802	27.07.2007	1445	5127889.003	480898.561	366.828	980623.329	-0.72	-41.78
1565	4243.249	27.07.2007	1518	5128623.459	481326.2	362.561	980624.813	-1.15	-41.73
1566	4241.277	27.07.2007	1600	5127875.747	482761.53	360.597	980622.801	-3.17	-43.53
1567	4242.389	27.07.2007	1644	5127921.719	482404.158	357.333	980623.928	-3.08	-43.08
1568	4249.201	27.07.2007	1754	5123912.172	482364.894	302.079	980630.851	-9.95	-43.76
1569	4242.952	27.07.2007	1904	5124988.94	480658.663	351.841	980624.427	-1.89	-41.27
1570	4239.817	27.07.2007	1958	5125283.699	477167.847	383.627	980621.189	4.45	-38.49
1571	4243.618	27.07.2007	2050	5123627.396	478463.706	353.077	980625.033	0.22	-39.30
1572	4243.939	27.07.2007	2128	5123310.278	479066.566	348.131	980625.339	-0.75	-39.71
1573	4245.235	27.07.2007	2212	5122502.559	480339.828	332.928	980626.643	-3.48	-40.75
1574	4259.232	28.07.2007	1347	5135960.429	470301.257	234.543	980641.075	-30.33	-56.58
1575	4248.682	28.07.2007	1444	5136006.042	473118.495	308.133	980630.342	-18.40	-52.89
1576	4243.909	28.07.2007	1544	5137320.324	475591.054	337.676	980625.494	-15.21	-53.01
1577	4249.062	28.07.2007	1722	5133153.909	474793.599	319.404	980630.752	-12.20	-47.95
1578	4245.118	28.07.2007	1815	5134572.972	475362.361	338.874	980626.705	-11.39	-49.33
1579	4243.071	28.07.2007	1916	5128842.32	475601.907	354.116	980624.578	-4.15	-43.79
1580	4246.289	28.07.2007	1956	5127016.404	476786.786	344.635	980627.844	-2.33	-40.91
1581	4243.125	28.07.2007	2047	5131737.825	471263.789	342.52	980624.568	-10.08	-48.42
1582	4243.155	28.07.2007	2129	5132441.463	471663.944	338.594	980624.572	-11.87	-49.77
1583	4241.698	29.07.2007	1402	5130762.629	471297.288	345.79	980623.156	-9.69	-48.40
1584	4242.790	29.07.2007	2210	5129769.633	470749.176	342.85	980624.162	-8.79	-47.16
1585	4247.791	29.07.2007	1511	5128214.168	470748.221	324.918	980629.420	-7.79	-44.16
1586	4248.291	29.07.2007	1553	5127431.973	470096.644	320.389	980629.950	-8.02	-43.89
1587	4240.582	29.07.2007	1626	5126550.893	470389.622	359.423	980622.089	-3.12	-43.35
1588	4242.175	29.07.2007	1705	5124889.437	470599.917	366.287	980623.718	1.98	-39.02
1589	4238.924	29.07.2007	1842	5124819.068	471902.489	379.238	980620.369	2.68	-39.77
1590	4230.339	29.07.2007	1920	5128344.325	472399.458	421.463	980611.582	4.05	-43.13
1591	4229.201	29.07.2007	1954	5127616.144	472830.893	430.909	980610.395	6.37	-41.86
1592	4236.406	29.07.2007	2038	5126826.451	472420.471	394.343	980617.714	3.05	-41.09
1593	4240.327	29.07.2007	2114	5126018.789	472225.883	371.35	980621.688	0.58	-40.98
1594	4244.806	24.07.2007	1932	5127530.284	476014.557	358.994	980626.241	0.08	-40.10
1595	4246.624	30.07.2007	1436	5140205.368	476260.004	314.606	980628.192	-21.98	-57.20
1596	4251.809	30.07.2007	1508	5140660.505	474100.556	284.472	980633.504	-26.33	-58.17

1597	4241.042	01.08.2007	1259	5124354.663	469872.582	372.025	980622.344	2.81	-38.83
1598	4244.332	01.08.2007	1312	5122862.569	468843.976	356.348	980625.707	2.56	-37.33
1599	4247.574	01.08.2007	1324	5121890.058	468631.325	340.495	980629.022	1.77	-36.34
1600	4251.340	01.08.2007	1336	5121049.419	467731.252	324.698	980632.871	1.43	-34.91
1601	4256.161	01.08.2007	1348	5119698.531	468034.034	295.609	980637.798	-1.52	-34.61
1602	4247.648	01.08.2007	1401	5119998.73	468906.036	338.82	980629.116	2.89	-35.04
1603	4243.483	01.08.2007	1412	5119298.855	469787.049	359.953	980624.871	5.73	-34.56
1604	4240.008	01.08.2007	1435	5121411.515	470064.029	375.187	980621.339	5.18	-36.82
1605	4240.536	01.08.2007	1503	5119361.556	470496.645	375.021	980621.896	7.35	-34.63
1606	4239.325	01.08.2007	1517	5119087.086	471251.623	384.472	980620.670	9.26	-33.77
1607	4237.303	01.08.2007	1542	5120334.241	473084.938	390.098	980618.623	7.93	-35.74
1608	4242.355	01.08.2007	1557	5119238.841	472491.961	366.432	980623.790	6.69	-34.33
1609	4237.880	01.08.2007	1624	5119129.396	473959.601	387.127	980619.240	8.61	-34.73
1610	4236.742	01.08.2007	1707	5118590.735	475264.943	392.306	980618.102	9.50	-34.41
1611	4252.505	01.08.2007	1725	5119370.247	479035.669	286.419	980634.200	-7.73	-39.78
1612	4244.008	01.08.2007	1738	5120263.64	481012.053	321.415	980625.532	-6.33	-42.30

Appendix 2: Position of main samples cited in the text.

Table 3: Coordinates of main samples referred to in the text.

Outcrop	x (NAD 83)	y (NAD 83)
DA06-006	482596	5127910
DA06-045	480682	5131345
DA06-047	481132	5130797
DA06-55788	482665	5128470
DA06-55789A	482688	5128534
DA06-67203A	482618	5127996
DA06-67162	482621	5128007
DA07-037	481053	5131006
DA07-097	479334	5128942
DA07-103	480205	5129754
DA07-104	480206	5129752

Appendix 3: The EXPLORANIUM GR-135 handheld Isotope Identifier.

A new device, the **EXPLORANIUM GR-135** handheld Isotope Identifier (Figure 32), was used this field season to easily detect K, U and Th anomalies. The detector is a gamma-ray spectrometer which permits the user to obtain in less than 200s the potassium concentration of a rock (in %), the uranium concentration (in ppm) and the thorium concentration (in ppm). Fieldwork results and laboratory analyses have been compared, and the results are quite identical. The device was lent by the GSC of Ottawa through Louise Corriveau.



Figure 32: The EXPLORANIUM GR-135 handheld Isotope Identifier used in the field.

References

Corriveau, L., and Jourdain, V. 1993. Geology of the Lac Nominingue area, Québec (NTS 31J/6). Scale 1:50 000. Geol. Surv. Canada, Open file, **2641**.

Corriveau, L., Morin, D., and Madore, L. 1994. Géologie et cibles d'exploration de la partie centre-est de la Ceinture métasedimentaire du Québec, Province de Grenville. Current Research Part C, Geol. Surv. Canada, **1994-C**: 355-365.

Fugro 2007. Magnetic Interpretation Report, Airborne Magnetic and GEOTEM Survey, BONDY LAKE QUEBEC Job No. 06421.

Sandrin, A., and Elming, S.-Å. 2006. Geophysical and petrophysical study of an iron oxide copper gold deposit in northern Sweden. Ore Geology Reviews, **29**: 1-18.

Sandrin, A., and Elming, S.-Å. 2007. Physical properties of rocks from borehole TJ71305 andgeophysical outline of the Tjårrojåkka Cu-prospect, northern Sweden. Ore Geology Reviews, **30**: 56-73.

Sandrin, A., Berggren, R., and Elming, S.-Å. 2007. Geophysical targeting of Fe-oxide Cu-(Au) deposits west of Kiruna, Sweden. Journal of Applied Geophysics, **61**: 92-101.

Tornos, F., and Casquet, C. 2005. A new scenario for related IOCG and Ni(Cu) mineralization: the relationship with giant mid-crustal mafic sills, Variscan Iberian Massif. Terra Nova, **17**: 236-241.

Tornos, F., Casquet, C., and Relvas, J.M.R.S. 2005. Transpressional tectonics, lower crust decoupling and intrusion of deep mafic sills: A model for the unusual metallogenesis of SW Iberia. Ore Geology Reviews, **27**: 133-163.

Geophysical, field, and geochemical studies applied to mineral exploration in the Bondy gneiss complex, Grenville Province, SW Quebec - Progress report, January 2008

Vladimir Antonoff
Grégory Dufréchou
Lyal Harris
Marc Richer-Laflèche

Ressources Naturelles
Secteur mines

18 NOV. 2010

Bureau Régional Val-d'Or



January, 2008

1067254

Université du Québec
Institut national de la recherche scientifique
Eau, Terre et Environnement

Geophysical, field, and geochemical studies applied to mineral exploration in the Bondy gneiss complex, Grenville Province, SW Quebec - Progress report, January 2008

Vladimir Antonoff
PhD student
INRS-ETE, 490 de la Couronne, Québec G1K 9A9
vladimir_antonoff@ete.inrs.ca

Grégory Dufréchou
PhD student
INRS-ETE, 490 de la Couronne, Québec G1K 9A9
gregory.dufrechou@ete.inrs.ca

Lyal Harris
Geologist : *Member, Ordre des géologues du Québec #1037 and Member, The Australian Institute of Geoscientists #2764.*
INRS-ETE, 490 de la Couronne, Québec G1K 9A9
lyal_harris@ete.inrs.ca



Marc Richer-Laflèche
Geologist : *Member, Ordre des géologues du Québec.*
INRS-ETE, 490 de la Couronne, Québec G1K 9A9
Marc_Richer-Lafleche@ete.inrs.ca

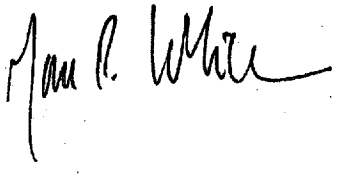


Table of contents

1. Preamble 4

2. Laboratory work 4

3. New interpretation of EM1 4

4. Regional geophysical study 7

5. Abstract of the presentation for Geological association of Canada meeting 2008 7

References 7

Appendix 1. Abstract pending approval for presentation at the GAC-MAC annual meeting, May 2008 8

Table of figures

Figure 1 : Mineralized aluminous gneiss (Sample DA07-104-2, EM1 anomaly) found on the electromagnetic anomaly. The mineralization comprises disseminated and blebby pyrite, disseminated pyrrhotite and magnetite. 5

Figure 2 : Chondrite-normalized concentrations of rare earth elements in sample DA07-104-2. The rock is enriched in light REE and is characterized by an unusual depletion in the middle to heavy REE (Gd through Ho). 6

Figure 3 : Chondrite-normalized concentrations of rare earth elements in four whole-rock samples of kyanite quartzite (from Owens and Pasek 2007). Rocks are enriched in light REE and are characterized by an unusual depletion in the middle to heavy REE (Gd through Ho). 6

Table 1 : Major elements composition (wt%) of Alunite-kaolinite ore (from Mutlu et al. 2005) and of sample DA07-104-2. 7

1. Preamble

This report presents research undertaken during December 07 and January 08. During this period research activity was slowed down by Christmas holidays (additional annual leave not taken over summer was taken at this time), however new results, especially concerning rocks in the vicinity of the EM1 anomaly, were discovered. Data and results, in this report, should be considered preliminary as they are subject to ongoing study.

2. Laboratory work

New sulphide (pyrite, chalcopyrite and pyrrhotite) and magnetite separations have been undertaken in December 2007 on 11 samples by Vladimir Antonoff to compare with pre-existing data. A first series of chemical analysis results has been obtained on 21 December 2007. Preparations and analysis of the last samples will be carried out during January and February.

3. New interpretation of the EM1 locality

Sample **DA07-104-2** (Figure 1) was first interpreted to result from an advanced argillic alteration superposed by a potassic alteration. Comparison with rock descriptions from published literature suggests that the non-metamorphic equivalent of these rocks was the same as those produced in high-sulphidation environments described in recent studies of epithermal mineralization. The REE signature of sample **DA07-104-2** (Figure 2) shows the same profile as kyanite quartzite of the Piedmont Province of Virginia (Figure 3) interpreted to result from a severe leaching in a high-sulphidation (advanced argillic) alteration system (Owens and Pasek 2007).

Major element composition of sample **DA07-104-2** shows similarities with rocks of the Sphane alunite deposits, Western Anatolia, Turkey (Tableau 1, Mutlu et al. 2005). The protholith of **DA07-104-2** is probably equivalent to an alunite-kaolinite-quartz-sulphide rock (alunite: $KAl_3(SO_4)_2(OH)_6$). Alunite corresponds to a potassium-rich source. Aluminium comes from alunite and kaolinite. Our sample has a greater iron concentration due to the high concentration of sulphides. Quartz-alunite rocks are known to occur in Cu-Au-Ag epithermal deposits (Deyell et al. 2005; Juliani et al. 2005; Lerouge et al. 2006; Owens and Pasek 2007). The next step will be to find other typical alteration indicators of epithermal deposits (argillic, propylitic) to confirm or not the presence of this kind of system.

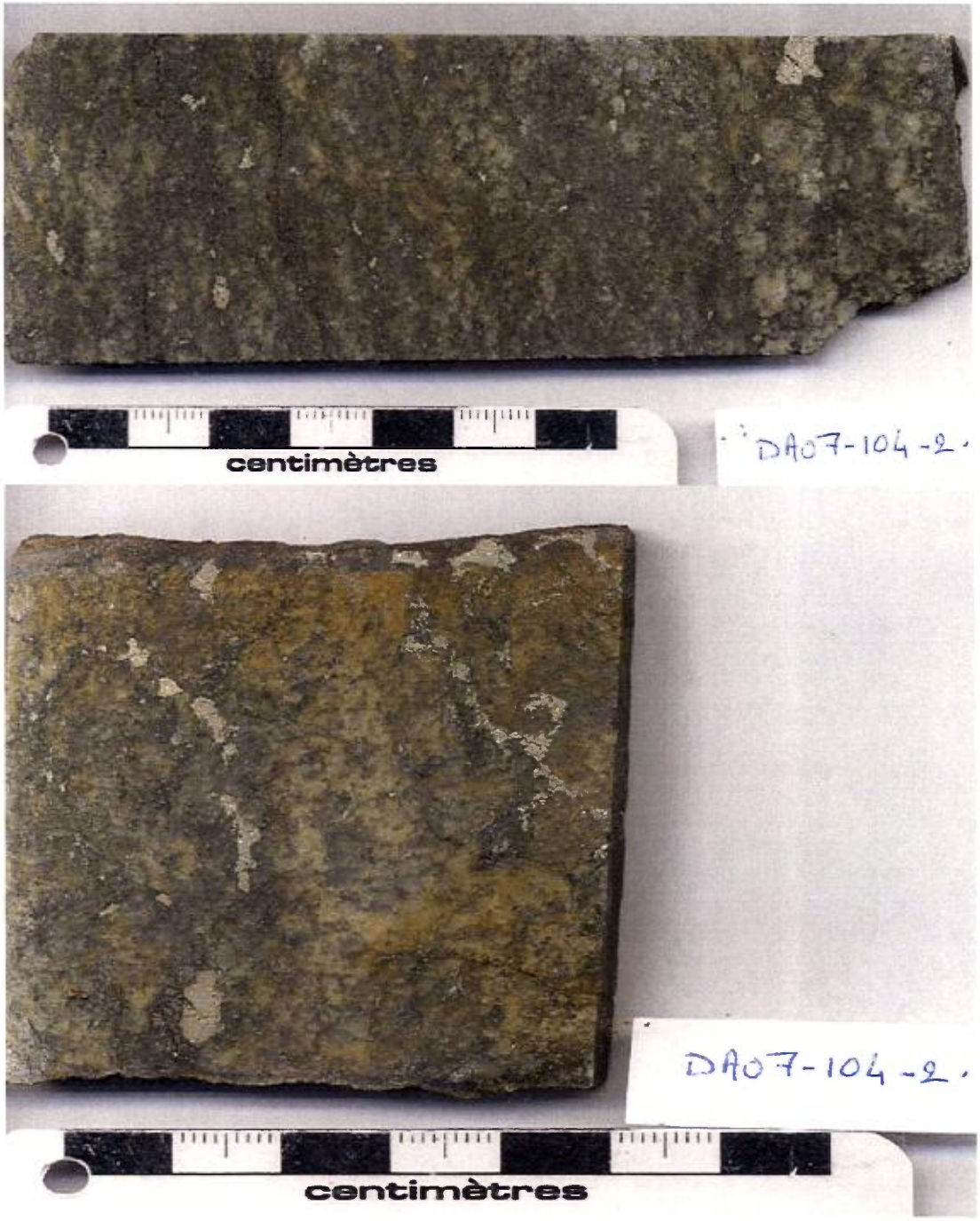


Figure 1 : Mineralized aluminous gneiss (Sample DA07-104-2, EM1 anomaly) found on the EM1 electromagnetic anomaly. The mineralization comprises disseminated and blebby pyrite, disseminated pyrrhotite and magnetite.

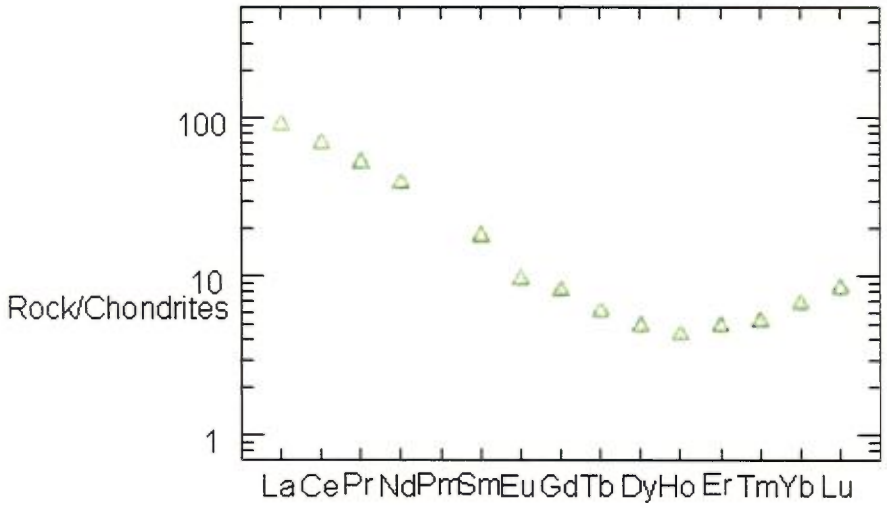


Figure 2 : Chondrite-normalized concentrations of rare earth elements in sample DA07-104-2. The rock is enriched in light REE and is characterized by an unusual depletion in the middle to heavy REE (Gd through Ho).

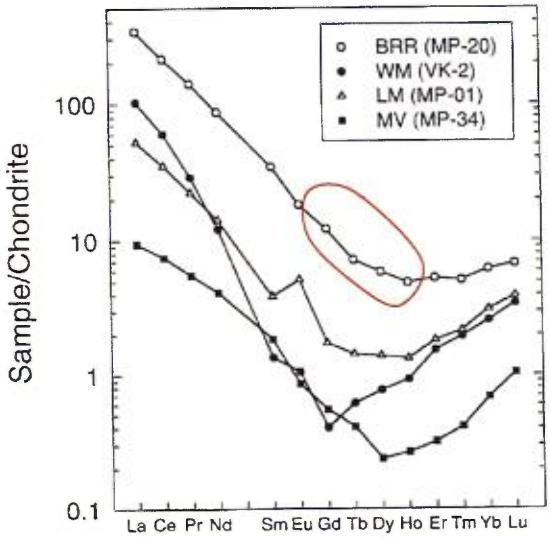


Figure 3 : Chondrite-normalized concentrations of rare earth elements in four whole-rock samples of kyanite quartzite (from Owens and Pasek 2007). Rocks are enriched in light REE and are characterized by an unusual depletion in the middle to heavy REE (Gd through Ho).

	Alunite-Kaolinite Ore	DA07-104-2
SiO_2	52-89%	56,40%
Al_2O_3	10-10%	23%
Fe_2O_3	1-4%	14,50%
K_2O	0,5-6%	2%

Tableau 1 : Comparison of major element composition (wt%) of Alunite-kaolinite ore (from Mutlu et al. 2005) and of sample DA07-104-2.

4. Regional geophysical study

A complete geophysical study of the Central Metasedimentary belt of Quebec (CMB-Q) and of the SW of Grenville Province is in progress. Results will combine "worming" methods with lineament interpretation from gravity and aeromagnetic imagery. The process used for regional interpretation was described in the last progress report. A new geodynamic history of the CMB-Q and new prospective targets will be defined. A detailed report on the regional geophysical study will be completed before summer 2008.

5. Abstract for a poster presentation at the Geological association of Canada meeting, Quebec, in May 2008

An abstract (Appendix 1) was prepared that presents preliminary results of structural investigations of faults and breccia zones in the Bondy gneiss complex. Subject to approval from Richmond Minerals, the abstract will be submitted for poster presentation by Grégory Dufréchou at the GAC-MAC annual meeting in Quebec City, May 26-28, 2008.

References

Deyell, C.L. et al. (2005). Alunite in the Pascua-Lama High-Sulfidation Deposit: Constraints on Alteration and Ore Deposition Using Stable Isotope Geochemistry *Economic Geology* **100**: 131-148.

Juliani, C. et al. (2005). Paleoproterozoic high-sulfidation mineralization in the Tapajo´s gold province, Amazonian Craton, Brazil: geology, mineralogy, alunite argon age, and stable-isotope constraints. *Chemical Geology* **215**: 95-125.

Lerouge, C. et al. (2006). Constraints of stable isotopes on the origin of alunite from advanced argillic alteration systems in Bulgaria. *Journal of Geochemical Exploration* **90**: 166-182.

Mutlu, H. et al. (2005). Geochemistry and origin of the Saphane alunite deposit, Western Anatolia, Turkey. *Ore Geology Review* **26**: 39-50.

Owens, B. E. and M. A. Pasek (2007). Kyanite Quartzites in the Piedmont Province of Virginia: Evidence for a Possible High-Sulfidation System. *Economic Geology* **102**: 495-509.

Appendix 1. Abstract pending approval for presentation at the GAC-MAC annual meeting, May 2008.

Evidence for superposed, post-peak metamorphic magnetite-sulphide mineralization related to NE-striking shear zones in the Bondy gneiss complex, Grenville Province, Quebec

Dufréchou, G., *gregory.dufrechou@ete.inrs.ca,* Antonoff, V., Harris, L.B., and Richer-Laflèche, M., Institut National de la Recherche Scientifique, centre Eau, Terre, et Environnement (INRS-ETE), 490 de la Couronne, Québec, QC, G1K 9A9

The Bondy gneiss complex, a 1.4-1.35 Ga volcano-plutonic arc structurally underlying the marble and quartzite domains of the Central Metasedimentary belt of the Grenville Province in south-western Quebec, comprises tonalitic to granitic orthogneisses intercalated with thin units of layered metabasite and laminated felsic gneiss. Previously interpreted hydrothermal alteration and Cu-Fe-oxide ±Au hydrothermal mineralization within the Bondy gneiss complex has been considered to be arc-related and to pre-date granulite facies metamorphism and regional folding. Ductile to brittle-ductile shear zones post-dating folding have not previously been documented in the Bondy gneiss complex. Indeed, apart from late cross-cutting conjugate faults, the complex was thought to have acted as a rigid body during the development of post-folding shear zones in adjacent terrains.

Ductile and brittle-ductile shear zones hosting magnetite-rich breccias (2-3 m wide) locally associated with disseminated sulphides have, however, recently been identified in interlayered metabasite and felsic gneiss within the Bondy complex. Breccias are typically bounded and cross-cut by anastomosing brittle-ductile shear zones of about 5 cm in width with a general NE strike. Kinematic indicators indicate reverse displacement. Disseminated magnetite-sulphide rich biotite-garnet gneisses and aluminous gneisses that contain a foliation which strikes 220° and dips 80° NW are also affected by a NE striking mylonitic zone in which sulphides are present. A reverse sense of displacement is tentatively suggested from field exposures. Magnetite-rich quartzofeldspathic garnet-bearing gneisses locally contain millimetric to centimetric layers of massive magnetite with a 190° striking gneissic foliation dipping 75° W. Some mineralized outcrops are aligned along a SW-NE orientation over a distance of 3 km. The similar strike of rock fabrics and the alignment of outcrops along this same strike thus suggest the existence of one or more previously undocumented shear zones associated with magnetite and sulphide enrichment. Reverse displacement on shear zones is compatible with the regional NW-SE shortening documented in the south-west Grenville Province. Studies are in progress to determine if mylonite- and breccia-related mineralization represents a new mineralizing event or the remobilisation of pre-existing, pre-metamorphic mineralization.

Research was funded by Richmond Minerals. G. Dufréchou is a recipient of an INRS-ETE doctoral scholarship. Processing of geophysical data was undertaken in the laboratory for physical, geophysical and numerical modelling funded by the CFI, MELS and INRS.