Ressources naturelles Canada | Natural Resources Canada

Commission géologique du Canada
Présentation scientifique 78

Minéralisations en Ni-Cu-(EGP) dans la Province de Grenville : État des connaissances et nouvelles perspectives

A.-A. Sappin[1], M.G. Houlé[1] et T. Clark[2,3]

[1] Commission géologique du Canada – Québec
[2] Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue
[3] Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles du Québec

2018

Célébrons 175 ans

Canada

Présentée à Québec Mines 2017
Date de la présentation : 21 novembre 2017

Pour obtenir des renseignements sur les droits de reproduction, veuillez communiquer avec Ressources naturelles Canada à l'adresse nrcan.copyrightdroitdauteur.rncan@canada.ca.

Lien permanent : https://doi.org/10.4095/306387

On peut télécharger cette publication gratuitement à partir de GEOSCAN (http://geoscan.rncan.gc.ca/).

Notation bibliographique conseillée

Sappin, A.-A., Houlé, M.G. et Clark, T., 2018. Minéralisations en Ni-Cu-(EGP) dans la Province de Grenville : État des connaissances et nouvelles perspectives; Commission géologique du Canada, Présentation scientifique 78, 1 fichier .pdf. https://doi.org/10.4095/306387

Les publications de cette série ne sont pas révisées; elles sont publiées telles que soumises par l'auteur.

© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, représentée par le ministre des Ressources naturelles, 2018

Résumé

Les terrains de haut-grade métamorphique, comme la Province de Genville, ne sont pas reconnus traditionnellement comme des terrains à très fort potentiel pour les gîtes de Ni-Cu-(EGP) d'où l'intérêt mitigé au fils des ans pour l'exploration de ce type de minéralisation dans le Grenville. Toutefois, les unités mafiques et ultramafiques prospectives pour ce type de minéralisation sont abondantes dans cette province géologique et nombre d'entre elles sont hôtes d'indices de Ni-Cu-(EGP). Deux indices ont d'ailleurs fait l'objet d'une exploitation dans les années 70 soit: la mine du lac Édouard (69 Kt @ 1,5% Ni, 0,5% Cu: 1973-1974) et la mine du lac Renzy (717 Kt @ 0,7% Ni, 0,7% Cu: 1969-1972).

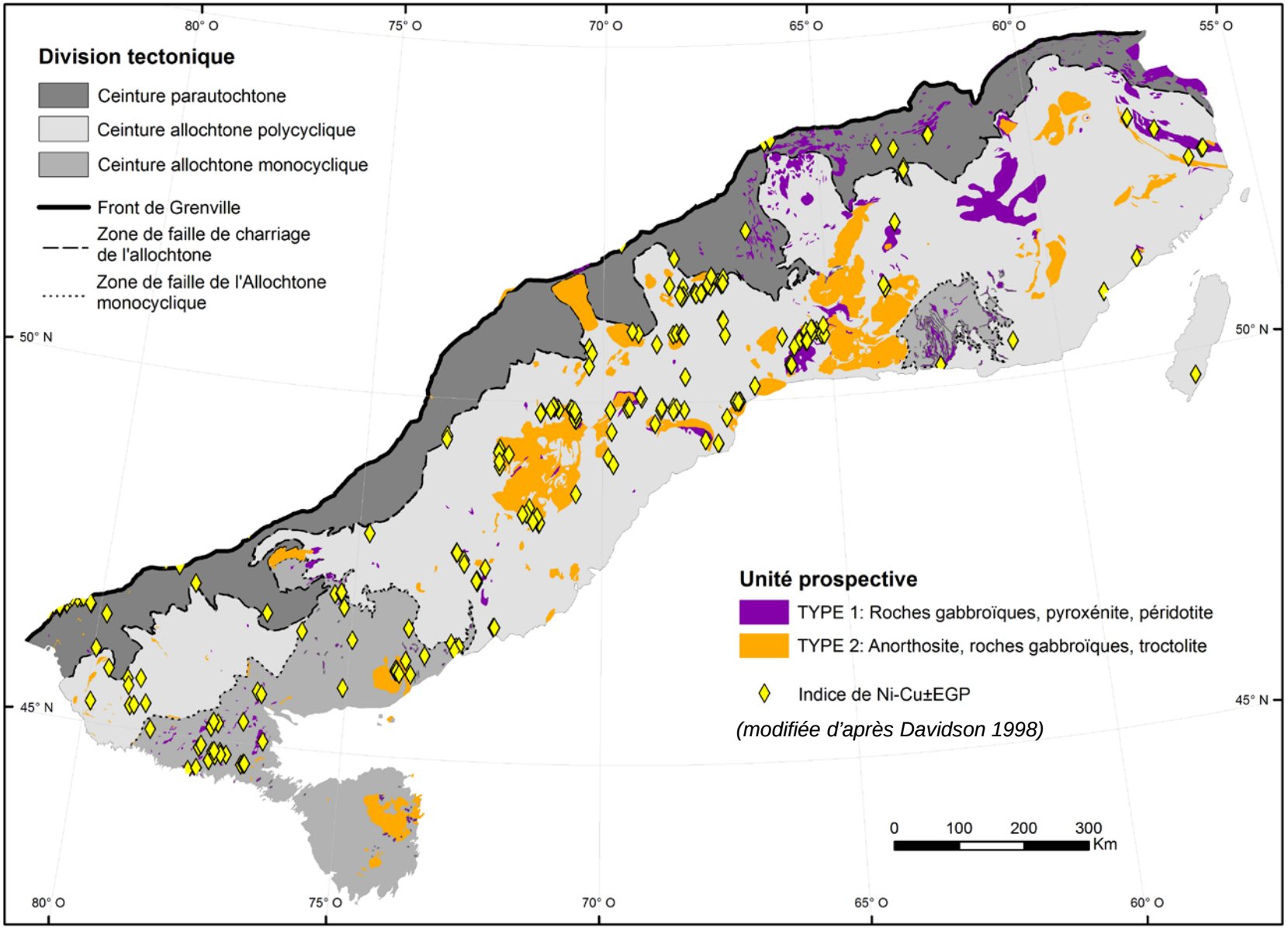
Dans le Grenville, les roches mafiques et ultramafiques forment généralement des intrusions (1) mafiques (mafique >>> ultramafique; ex: Lac Volant), mafiques à ultramafiques (mafique ~ ultramafique; ex: Réservoir) et plus rarement ultramafiques (mafique <<< ultramafique; ex: Lac Édouard, Lac Renzy) ou encore des intrusions (2) associées aux facies de bordure en marge des complexes anorthosite-mangérite-charnockite-granite (AMCG). La majorité des minéralisations en Ni-Cu-(EGP) sont associées au premier type d'intrusion (ex: Lac Édouard, Lac Renzy, River Valley), alors que le second type associé aux massifs AMCG semble représenter un potentiel plus restreint pour les minéralisations de Ni-Cu-(EGP) (ex: McNickel) bien qu'il représente un fort potentiel pour encaisser des gisements de Fe-Ti-V. Dans les deux cas, les minéralisations en Ni-Cu-(EGP) se présentent majoritairement sous forme de sulfures disséminés et localement sous forme de sulfures semi-massifs à massifs (ex: Lac Édouard, Lac Renzy et Lac Volant). Les intrusions de type 1 se sont mises en place sous forme de plutons, de filons-couches, ou de dykes dans des séquences volcano-sédimentaires et volcano-plutoniques au Mésoprotérozoïque reliés à des systèmes d'arc/arrière-arc (ex: Domaine de Portneuf-Mauricie, Lac Renzy, Raglan Hills, terrane de Hart-Jaune) ou à des environnements tectoniques en extension (ex : Lac Volant) et plus rarement au Paléoprotérozoïque reliés à des épisodes de rift (ex: River Valley). Ces intrusions sont généralement litées, zonées ou encore dépourvues de structure interne, mais toutes semblent issues de la cristallisation de magmas parents mafiques, plus ou moins primitifs. Les intrusions de type 2 se sont mises en place essentiellement au Mésoprotérozoïque probablement lors d'épisodes d'extension dans un régime tectonique globalement convergent et seraient associées à des magmas parents mafiques. De façon similaire, elles se retrouvent sous forme de plutons, de filons-couches ou de dykes dépourvus de structure interne ou montrant un litage magmatique. La province de Grenville contient également plusieurs indices de Cu-Ni épigénétiques (ex: 2EZ), formés à la suite de la déformation et du métamorphisme associés aux différentes phases orogéniques ayant affecté cette province géologique. Cependant, ces minéralisations sont généralement marginales et présentent un intérêt économique plus limité. Le degré de déformation et de métamorphisme associé aux terrains de haut-grade métamorphique comme le Grenville représente certainement un défi important pour l'exploration pour les minéralisations de Ni-Cu-(EGP). Toutefois, l'abondance d'unités hôtes pouvant encaisser ce type de minéralisations et l'existence de minéralisations connues peuvent laisser supposer la présence dans le Grenville de ressources de nickel, cuivre et EGP encore non-découvertes.

Abstract

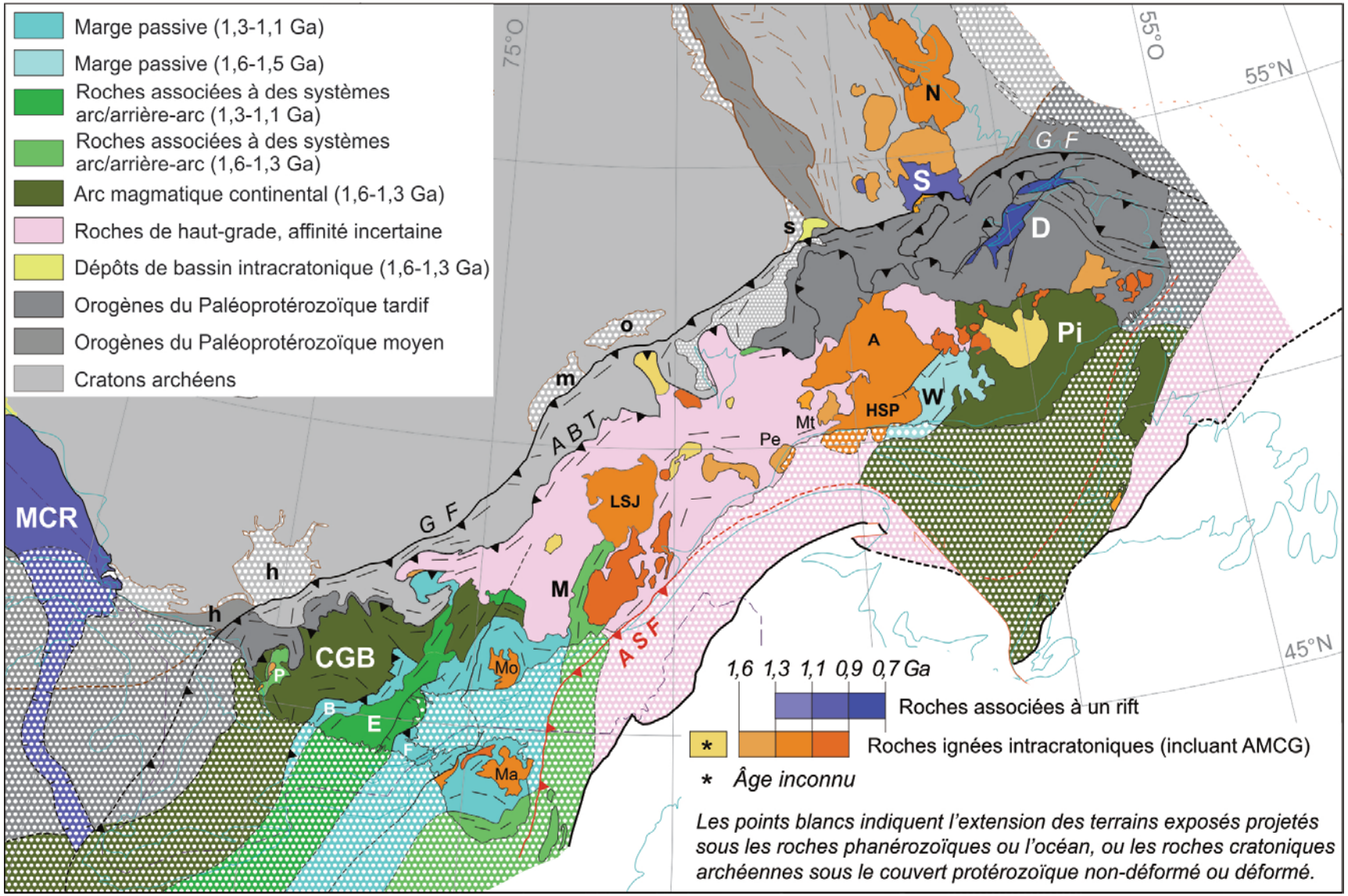
High-grade metamorphic terrains, such as the Grenville Province, are not traditionally known for their strong potential for Ni-Cu-(PGE) deposits, hence the muted interest over the years for this type of exploration target in the Grenville. However, prospective mafic and ultramafic units for this type of mineralization are abundant in this geological province and a number of them host Ni-Cu-(PGE) showings. Two deposits were mined in the 1970s: the Lac Édouard mine (69 kt at 1.5% Ni, 0.5% Cu: 1973-1974) and the Lac Renzy mine (717 kt at 0.7% Ni, 0.7% Cu: 1969-1972).

In the Grenville, mafic and ultramafic rocks generally form: 1) mafic intrusions (mafic >>> ultramafic; e.g., Lac Volant), mafic to ultramafic intrusions (mafic ~ ultramafic; e.g., Réservoir) and, more rarely, ultramafic intrusions (mafic <<< ultramafic; e.g., Lac Édouard and Lac Renzy); and 2) intrusions associated with the border facies around anorthosite-mangerite-charnockite-granite (AMCG) complexes. The majority of Ni-Cu-(PGE) mineralization is associated with the first type of intrusions (e.g., Lac Édouard, Lac Renzy, and River Valley). The second type, associated with AMCG massifs, have lower potential for Ni-Cu-(PGE) mineralization (e.g., McNickel) but strong potential for Fe-Ti-V deposits. In both cases, most occurrences of Ni-Cu-(PGE) mineralization are in the form of disseminated sulphides and, locally, semi-massive to massive sulphides (e.g., Lac Édouard, Lac Renzy, and Lac Volant). Type 1 intrusions were emplaced during the Mesoproterozoic as plutons, sills or dykes in volcano-sedimentary and volcano-plutonic sequences related to arc–back-arc systems (e.g., Portneuf-Mauricie domain, Lac Renzy, Raglan Hills, and Hart-Jaune terrane) or extensional tectonic environments (e.g., Lac Volant). More rarely, these intrusions emplaced during the Paleoproterozoic and are associated with episodes of rifting (e.g., River Valley). Type 1 intrusions are generally layered, zoned or devoid of internal structure, but all these types seem to have crystallized from fairly primitive mafic parental magmas. Type 2 intrusions were emplaced during the Mesoproterozoic, probably during extensional episodes in an overall convergent tectonic regime, and are associated with mafic parental magmas. They also occur as plutons, sills or dykes with no internal structure or some magmatic layering. The Grenville Province also contains several epigenetic Cu-Ni showings (e.g., 2EZ) that formed as a result of the deformation and metamorphism accompanying the various orogenic phases that affected the province. Nevertheless, these occurrences are generally minor and of limited economic interest. The degree of deformation and metamorphism associated with high-grade metamorphic terrains like the Grenville certainly poses a challenge for Ni-Cu-(PGE) exploration, but the abundance of units that could potentially host such mineralization and the existence of known occurrences suggest that nickel, copper, and PGE resources remain undiscovered in the Grenville.

Indices de Ni-Cu±EGP dans le Grenville



Subdivisions du Grenville



(modifiée d'après Davidson 2008)

Minéralisation en Ni-Cu-EGP

- **Style de minéralisation en Ni-Cu±EGP**
  - ***Zone contact***
    - Intrusion de type 1: mafique à ultramafique, sans association apparente aux anorthosite-mangérite-charnockite-granite (AMCG)
    - Intrusion de type 2: mafique à ultramafique, associée aux faciès de bordure en marge des complexes AMCG
  - ***Zone interne***
    - Intrusion de type 1
    - Intrusion de type 2

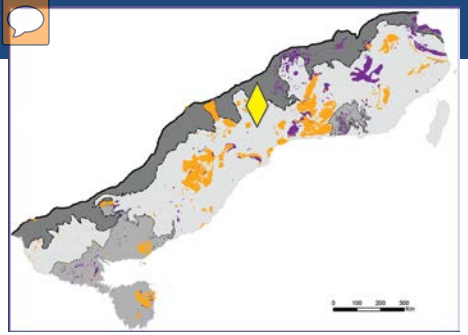
Minéralisation en Ni-Cu-EGP

- **Style de minéralisation en EGP**
  - ***Brèche magmatique***
    - Intrusion de type 1
  - ***Horizon à EGP***
    - Intrusion de type 1

- **Remobilisation épigénetique:** suite à la déformation et au métamorphisme associés aux différentes phases orogéniques du Grenville (minéralisation Cu-Ni marginale économiquement)
  - Intrusion de type 1
  - Intrusion de type 2

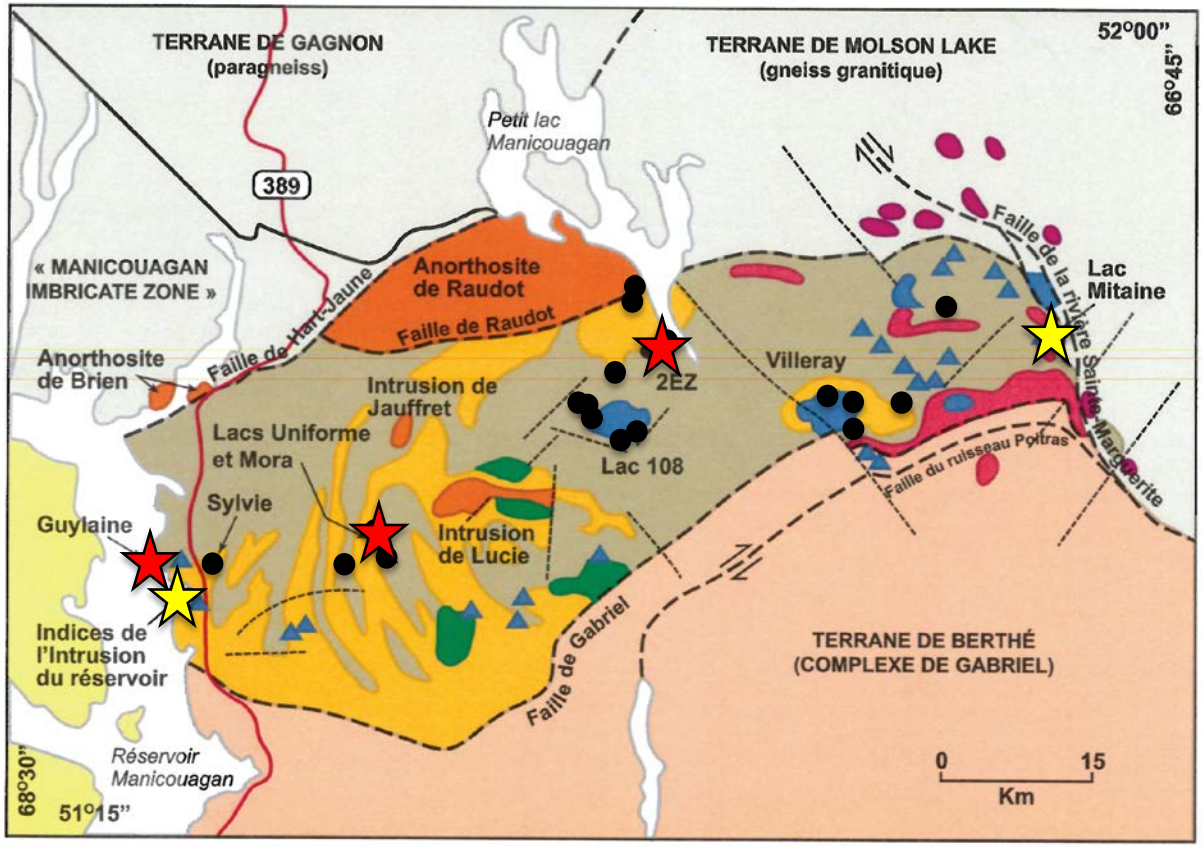
Minéralisation en Ni-Cu±EGP

- **Intrusion de type 1:** mafique à ultramafique, sans association apparente aux AMCG

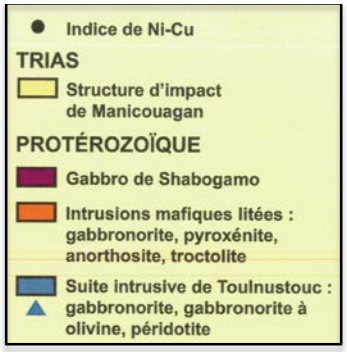


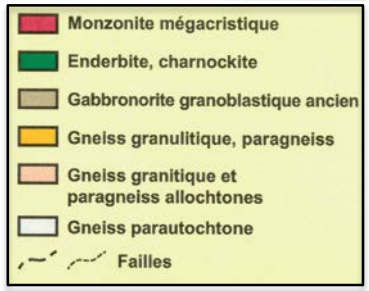
Plateau de Manicouagan

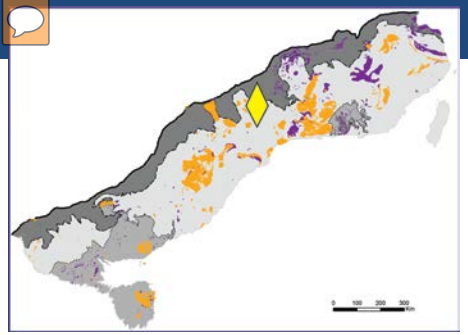
- **Encaissant:** Orthogneiss, roches ignées mafiques et métasédimentaires
- **Âge:**
  - ***Labradorien*** (~1,60 Ga; Clark et al. sous presse)
  - ***Pinwarien*** (1,51 Ga; Clark et al. sous presse)
- **Structure interne:**
  - ***Labradorien:*** filon-couche lité ou massif (★)
  - ***Pinwarien:*** intrusion litée ou massive (★)



(Clark et al. sous presse)



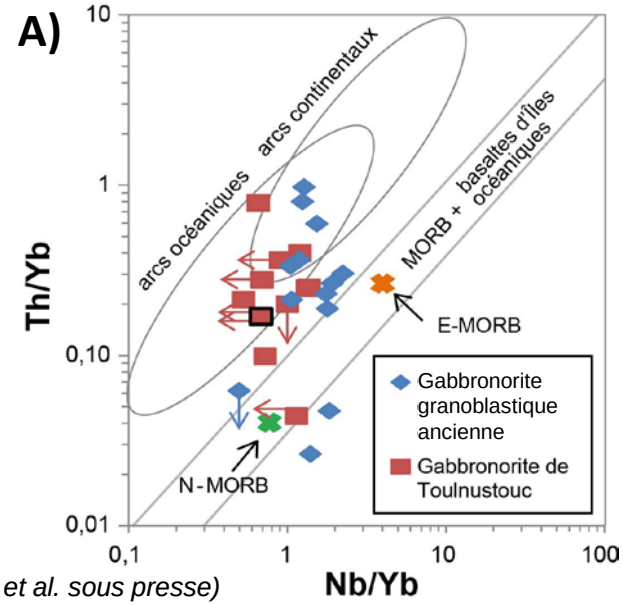




Plateau de Manicouagan

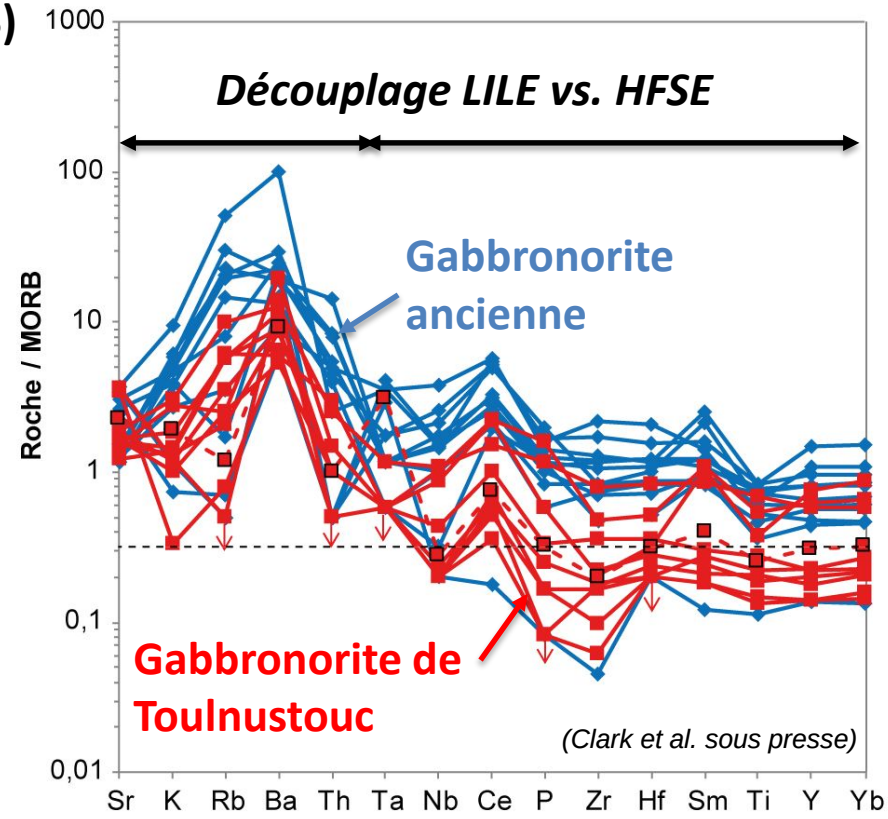
- **Lithologie:**
  - ***Labradorien:*** gabbronorite, norite, rare pyroxenite
  - ***Pinwarien:*** gabbronorite (±Ol), norite, péridotite, pyroxénite (±Ol)

A)

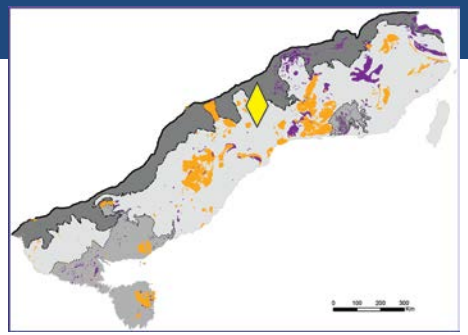


(Clark et al. sous presse)

B)



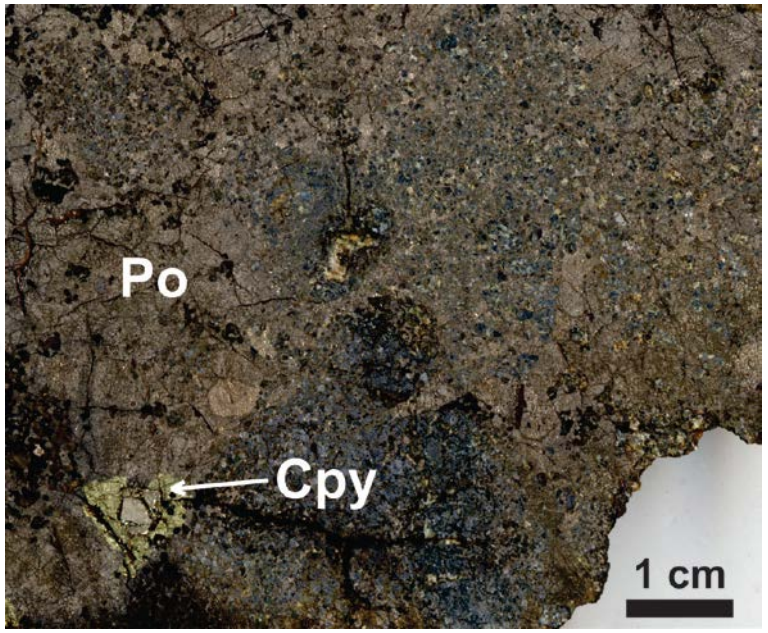
- **Magma parent:** Inconnu
- **Contexte tectonique:** Arc magmatique



Plateau de Manicouagan

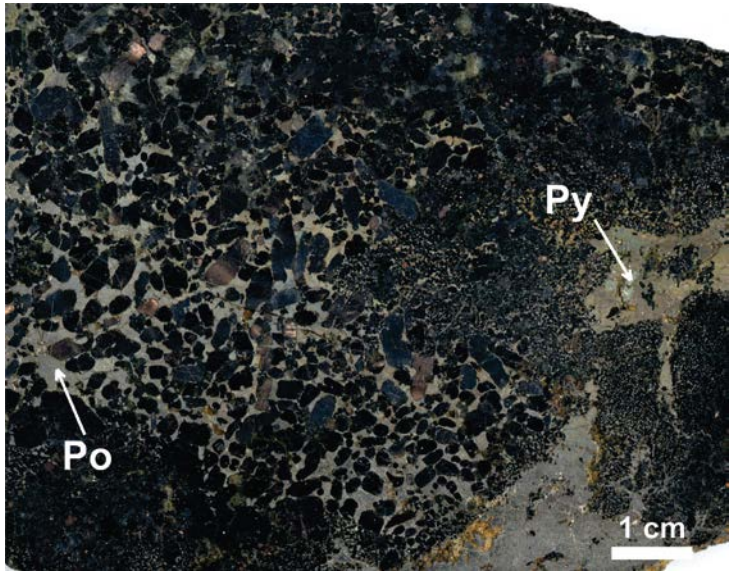
Texture sulfures

- ***Labradorien:*** disséminés et interstitiels près des contacts intrusifs, veines de sulfures semi-massifs à massifs

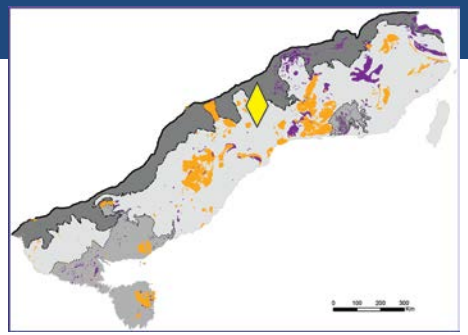


Sulfures semi-massifs, Lac Mora

- ***Pinwarien:*** disséminés dans des unités ou lits en particulier, veines de sulfures semi-massifs à massifs

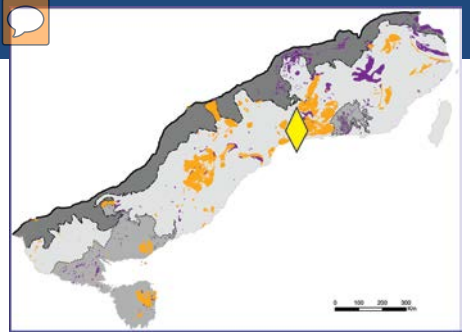


Sulfures semi-massifs d'origine épigénétique(?), zone de la Pointe (intrusion du Réservoir)



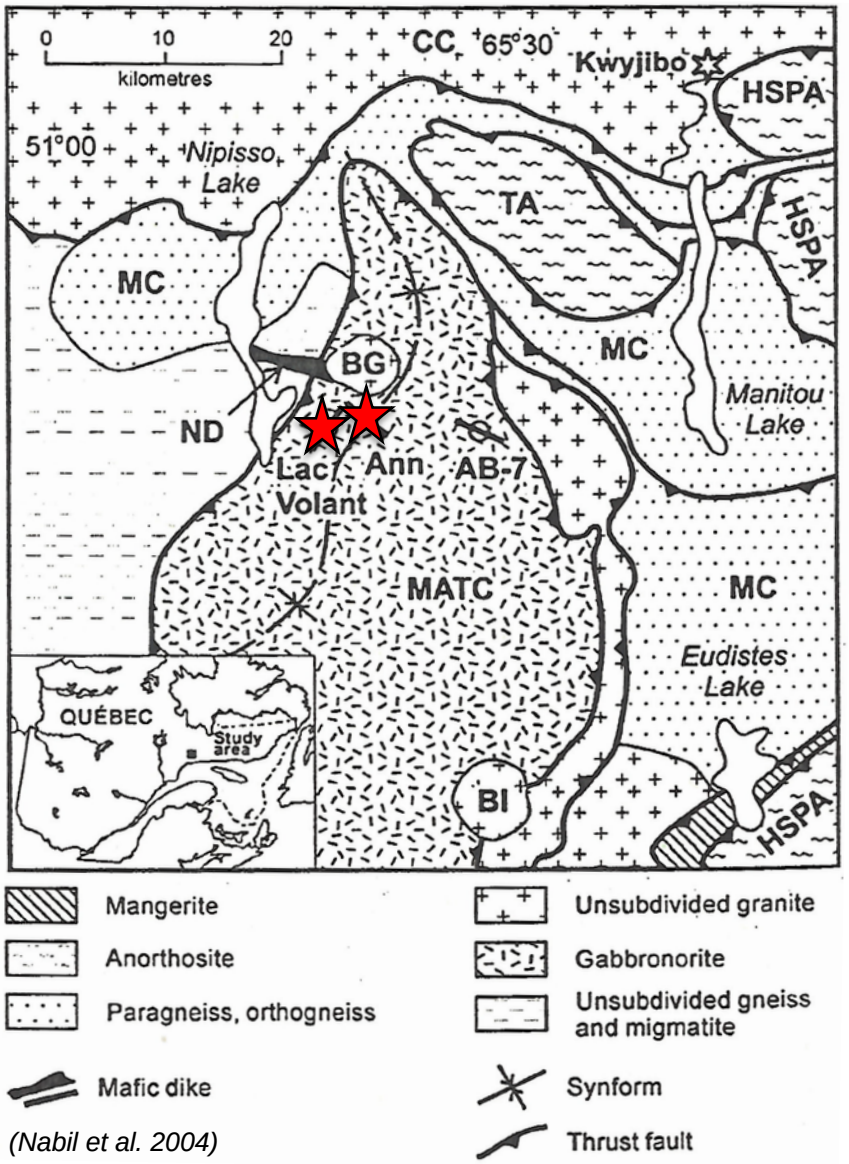
Plateau de Manicouagan

- **Minéralisation:**
  - Po, Cpy, Pn, Py
  - Teneurs jusqu'à 1,4% Ni (Réservoir) et 3,3% Cu (Lac Mora) et en moyenne 74 ppb Pt+Pd (Clark et al. sous presse)
  - Lac Mitaine: Teneurs jusqu'à 0,3 % Ni, 0,4 % Cu, 1,3 ppm Pt, 0,5 ppm Pd (Clark et al. sous presse)

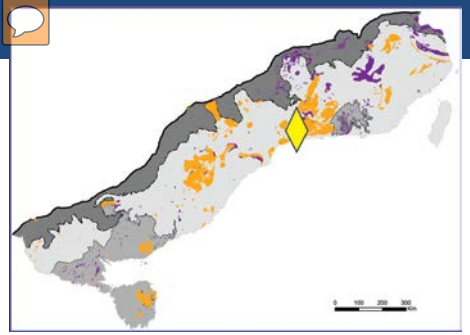


Gîte du lac Volant et indice Ann

- **Encaissant:** Gabbronorite du complexe igné de Matamec
- **Âge:** 1,35 Ga (Lac Volant; Gobeil et al. 1999), similaire à l'anorthosite de Rivière Pentecôte et au complexe de Matamec
- **Structure interne:** Dyke avec structure bréchique
- **Lithologie:** Gabbronorite (contient Pl mégacristique)

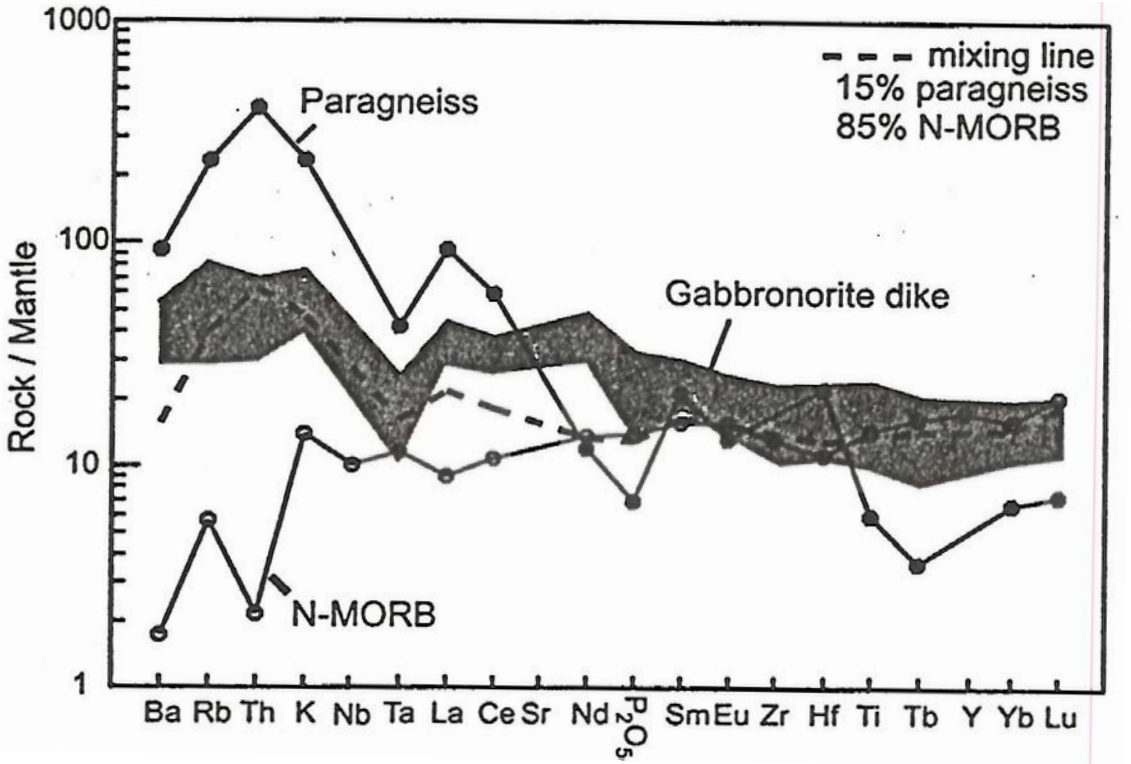


(Nabil et al. 2004)



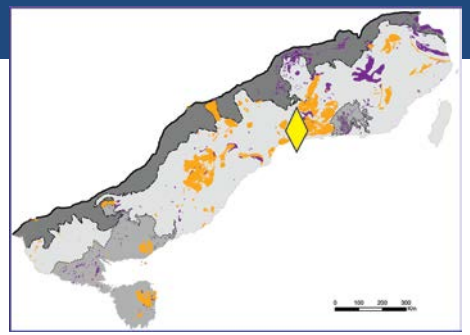
Gîte du lac Volant et indice Ann

- **Magma parent:**
  - Magmas mafiques, relativement évolués, tholéïtiques
  - Association spatiale (en profondeur) et temporelle avec les AMCG



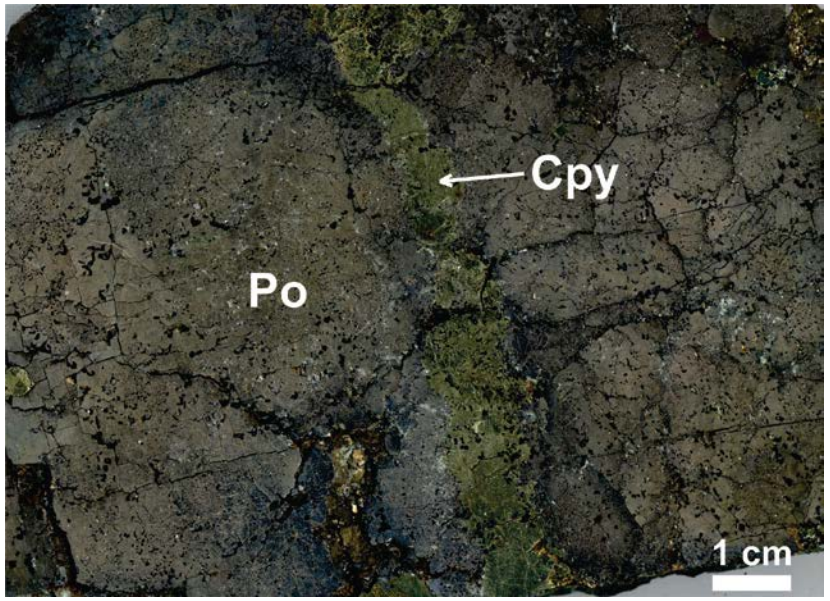
(Nabil et al. 2004)

- **Contexte tectonique:**
  - Environnement intracontinental en extension (zone arrière-arc dans un contexte continental?)
  - Conduits ou ancien conduits nourriciers

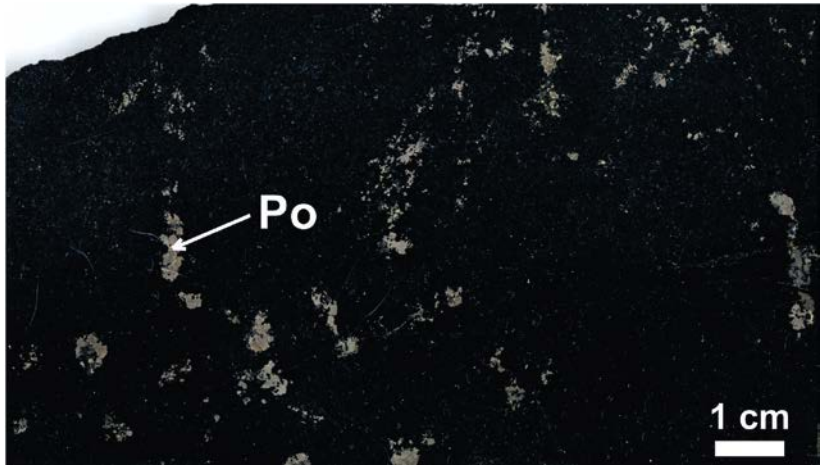


Gîte du lac Volant et indice Ann

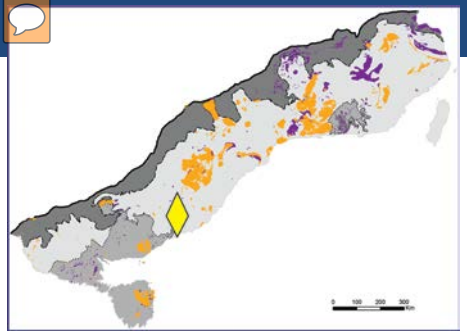
- **Texture sulfures:**
  - Disséminés, textures en filet, sulfures semi-massifs à massifs (accumulés dans une dépression topographique?), bréchiques
  - Ann: également sulfures semi-massifs à massifs filoniens. Position de la minéralisation moins certaine.
- **Minéralisation:**
  - Po, Cpy, Py, Pn
  - Lac Volant: composition moyenne de 1,5% Ni, 2,0% Cu, 0,1% Co, 323 ppb Pt+Pd (Nabil et al. 2004)
  - Ann: jusqu'à 0,9% Ni et 2,7% Cu (Clark 2000)



Sulfures massifs, lac Volant

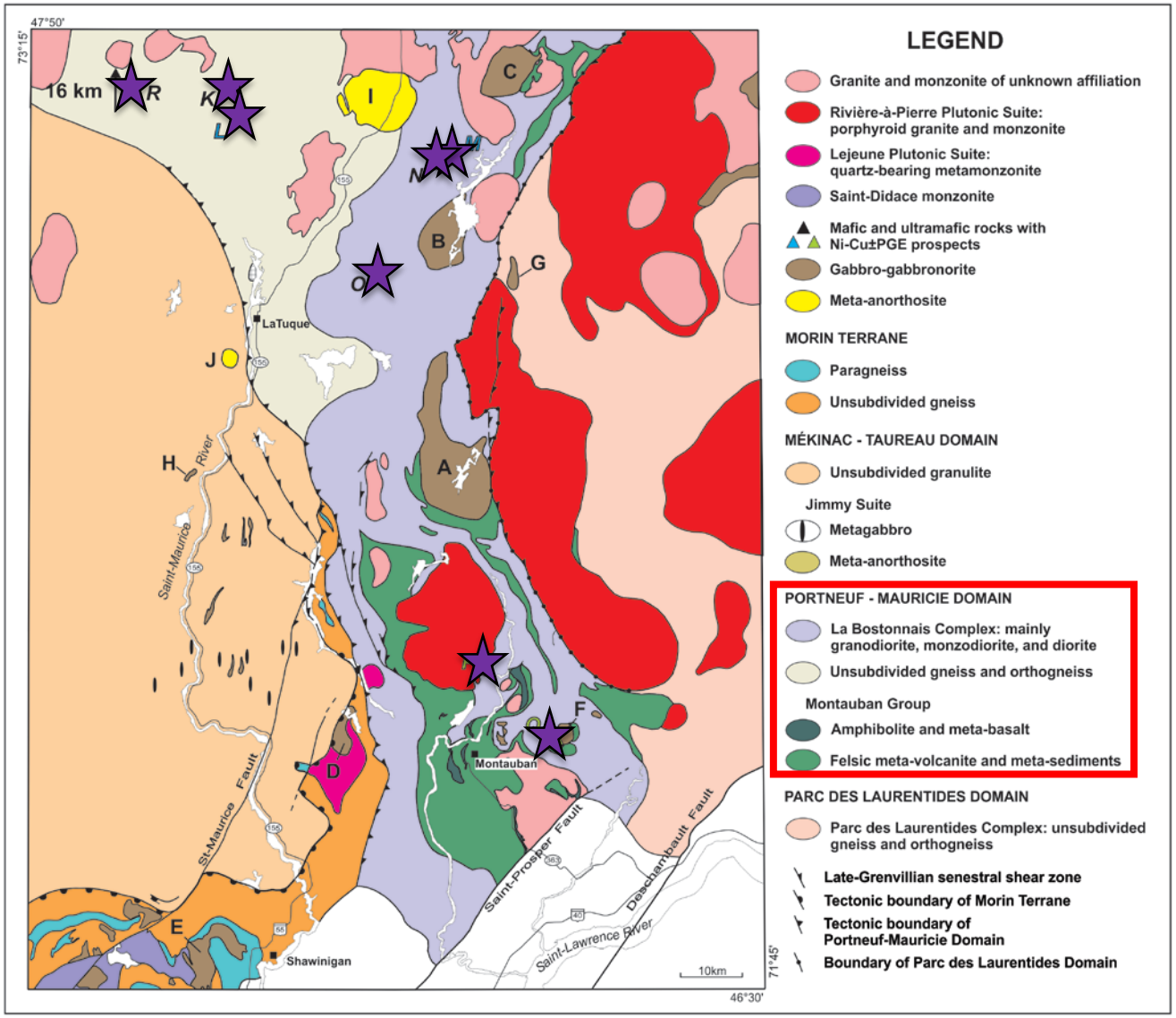


Sulfures interstitiels, Ann

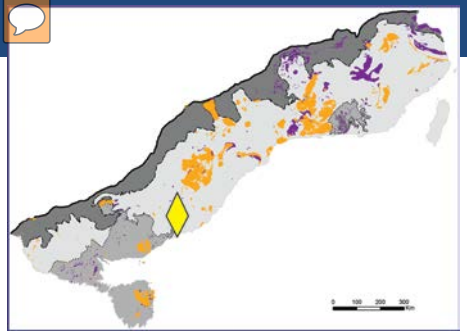


Domaine de Portneuf-Mauricie

- **Encaissant:** Groupe de Montauban, Complexe de La Bostonnais
- **Âge:** 1,40-1,39 Ga (Sappin et al. 2009)
- **Structure interne:** Litées, zonées, ou sans structure interne
- **Lithologie:** Mafique, mafique-ultramafique, ultramafique



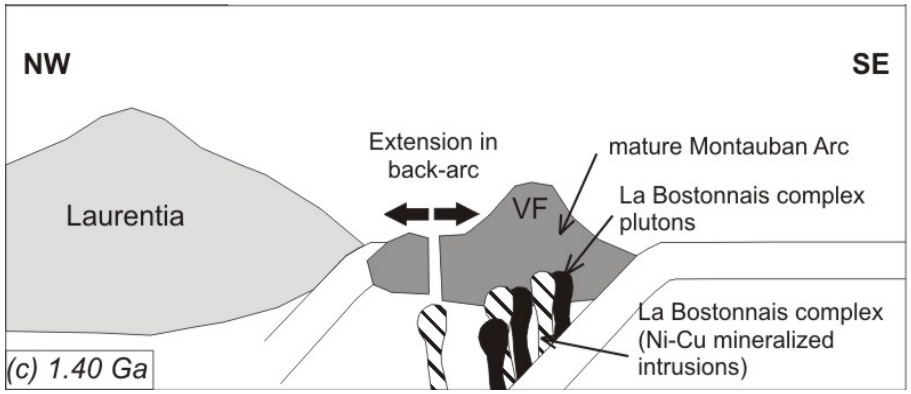
(Nadeau et Brouillette 1994 et 1995)



Domaine de Portneuf-Mauricie

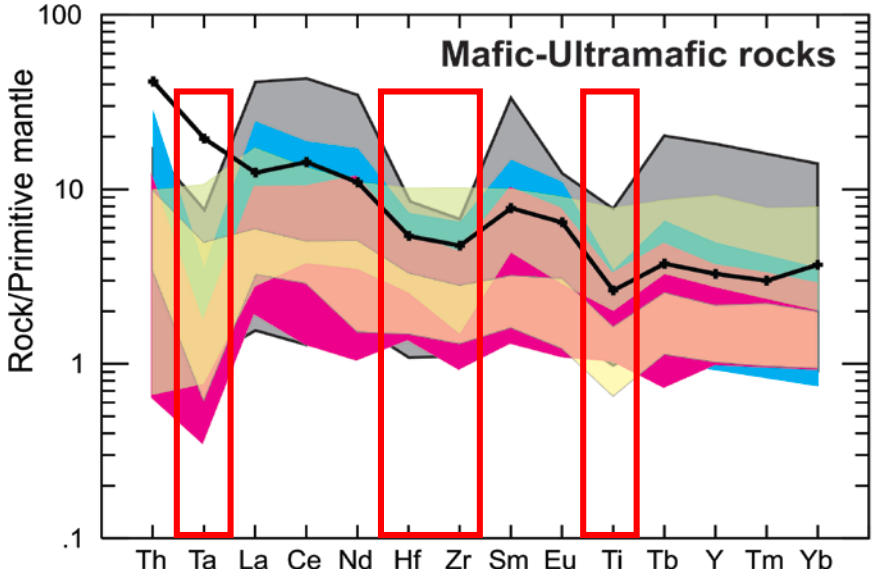
- **Magma parent:**
  - Basalte primitif, tholéïtique, hydraté, avec ~ 10% poids MgO
- **Contexte tectonique:**
  - Front volcanique et zone arrière-arc d'un arc insulaire mature

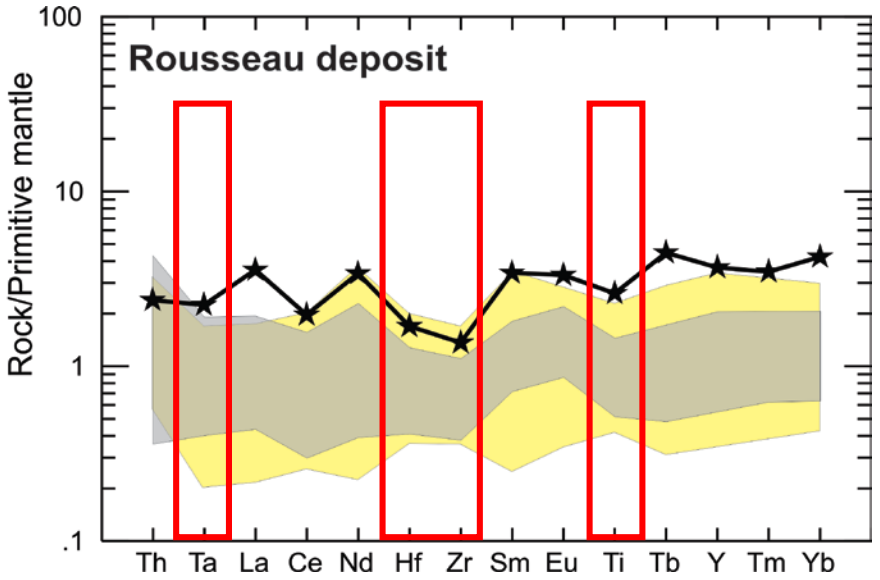
B)



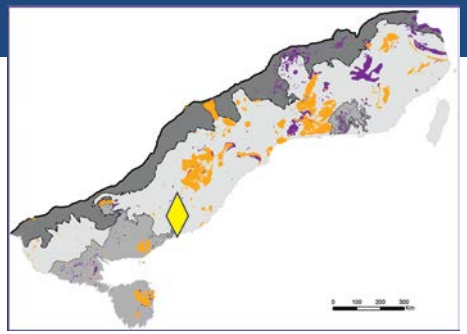
Sappin et al. (2009)

A)



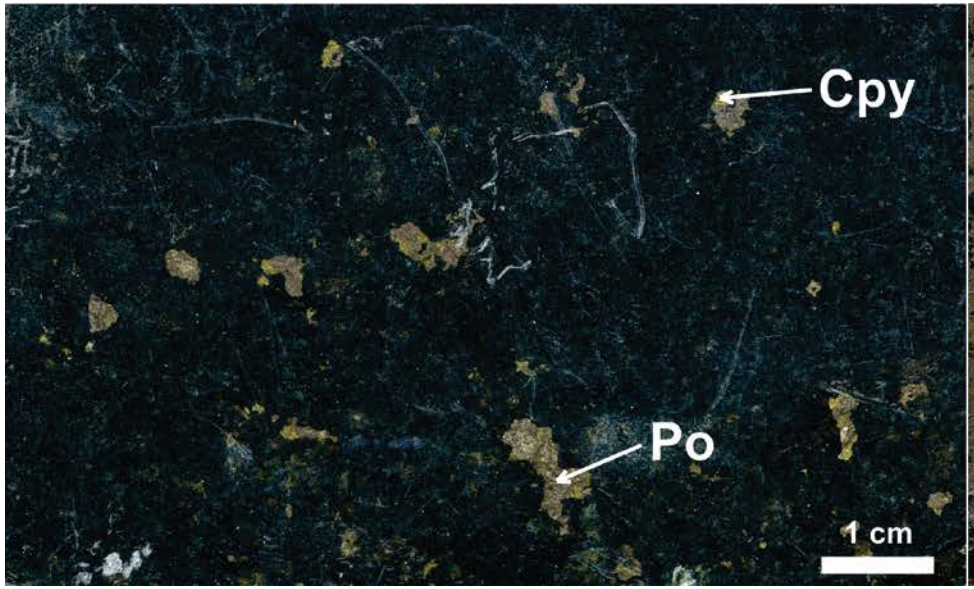


(Normalisation d'après Palme et O'Neill 2004; Valeurs des basaltes de Kohistan d'après Bignold et al. 2006)

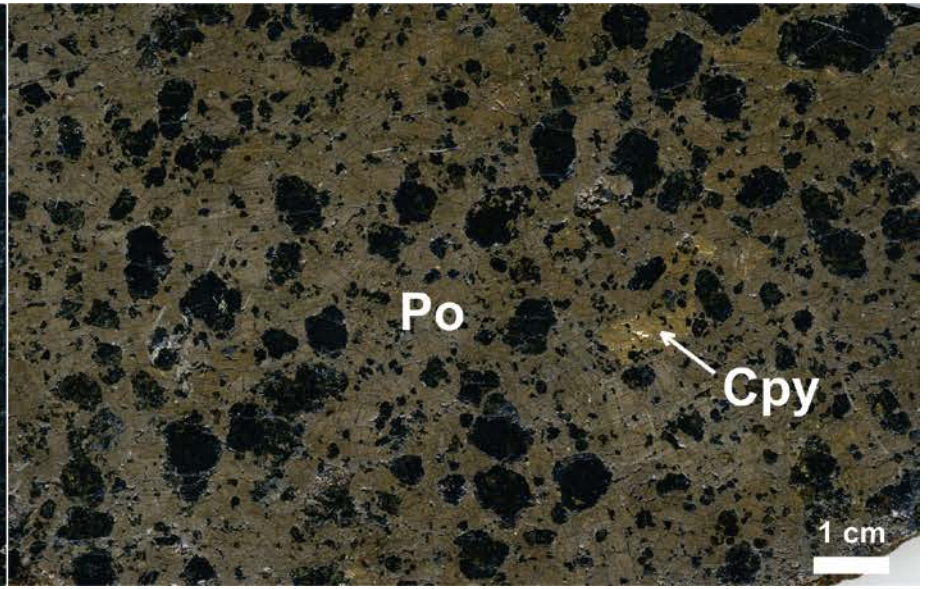


Domaine de Portneuf-Mauricie

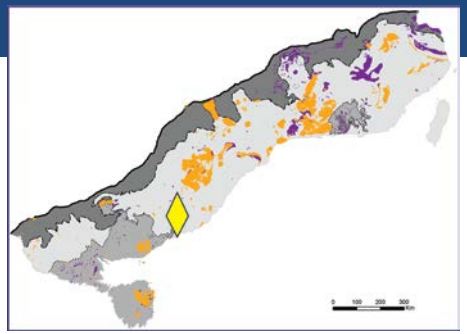
- **Texture sulfures:**
  - Disséminés, textures en filet, ± sulfures semi-massifs à massifs, ± veines
  - Sulfures semi-massifs à massifs concentrés au contact ou à proximité du contact intrusion–encaissant (Ex: Lac Édouard, Rochette Ouest)
  - Sulfures dispersés à travers les intrusions (Ex: Lac Matte, Lac Nadeau)



Sulfures disséminés et globules, Lac Nadeau

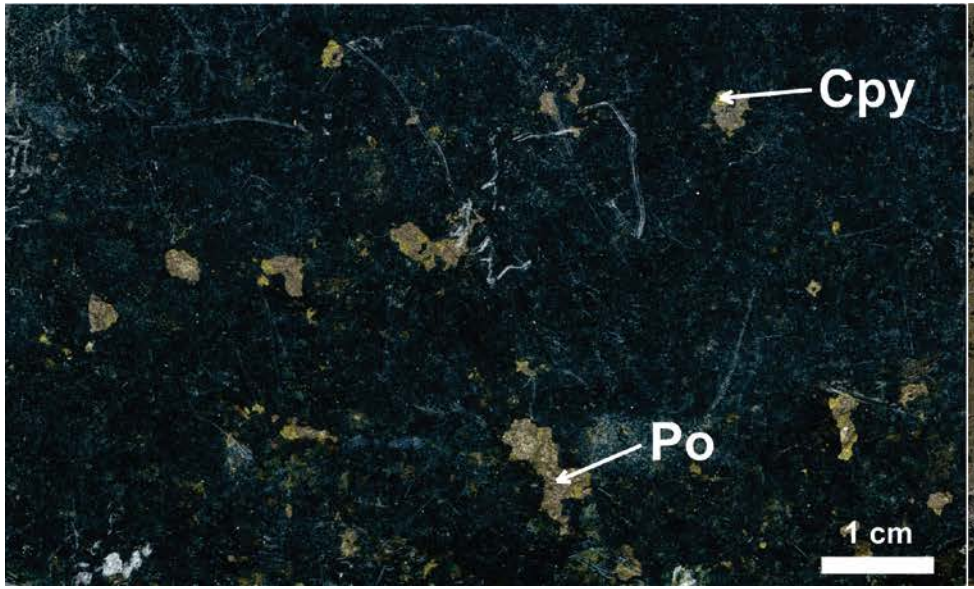


Sulfures semi-massifs, Lac Édouard

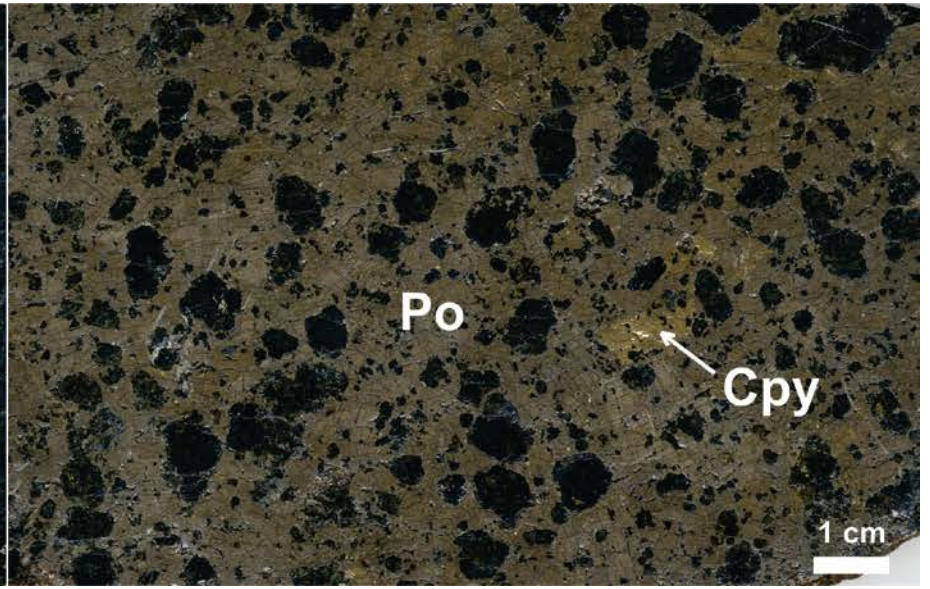


Domaine de Portneuf-Mauricie

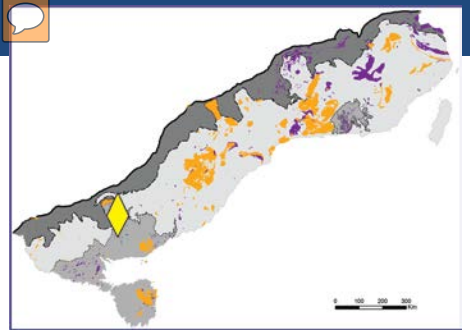
- **Minéralisation:**
  - Po, Pn, ± Cpy, ± Py
  - Lac Édouard: Production de 69 Kt @ 1,5% Ni, 0,5% Cu (1973-1974; Poirier 1988)
  - Lac Nadeau: un échantillon choisi a donné 3 ppm Pt+Pd (Sappin 2012)



Sulfures disséminés et globules, Lac Nadeau

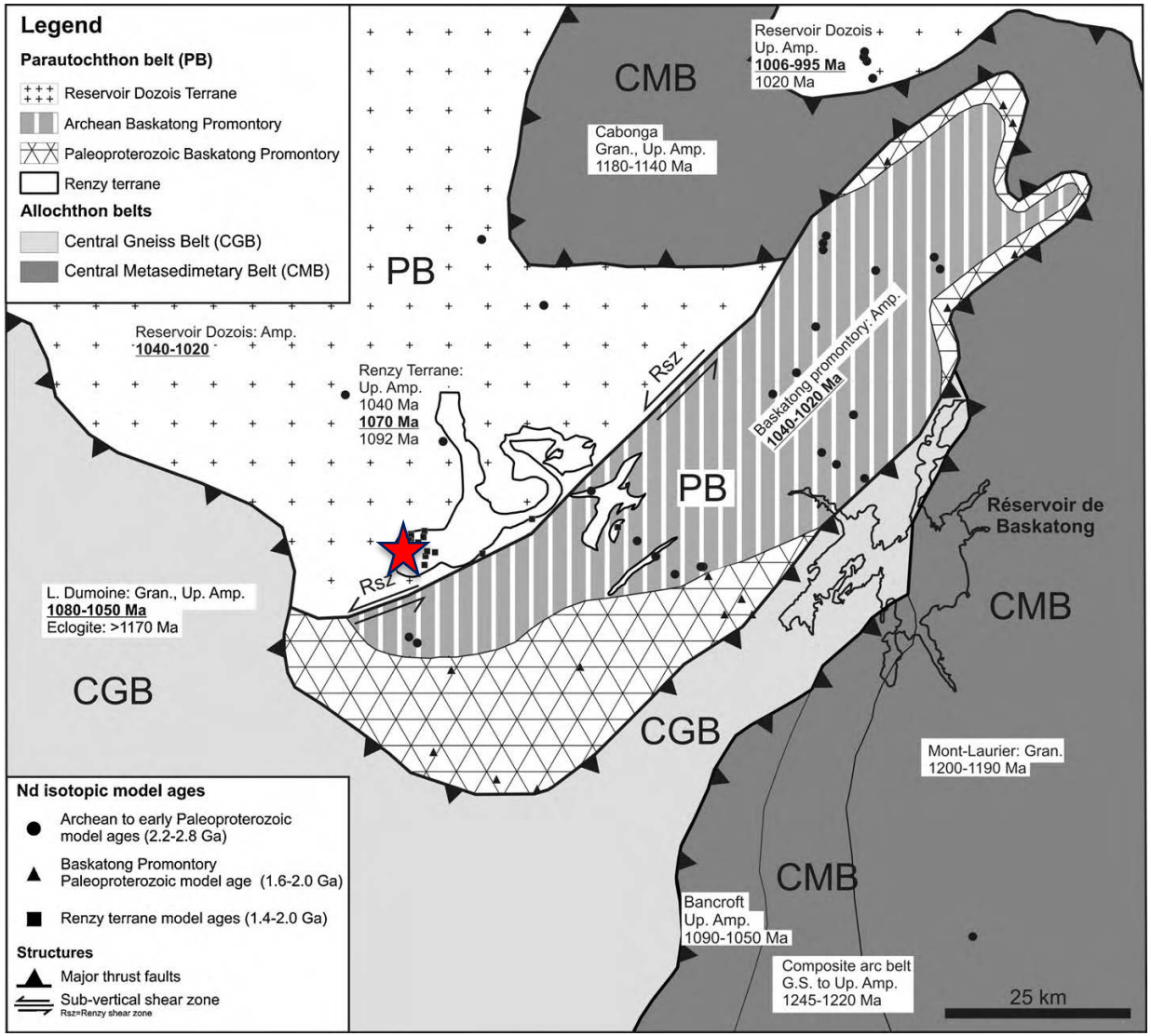


Sulfures semi-massifs, Lac Édouard

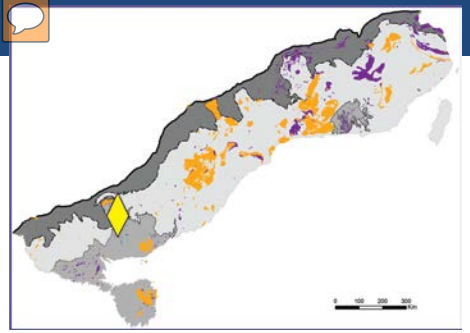


Mine du lac Renzy

- **Encaissant:** Gneiss, amphibolite
- **Âge:** ~1,40 Ga (Montreuil et Constantin 2010)
- **Structure interne:** Litée
- **Lithologie:** Pyroxénite, pyroxénite à Ol, péridotite

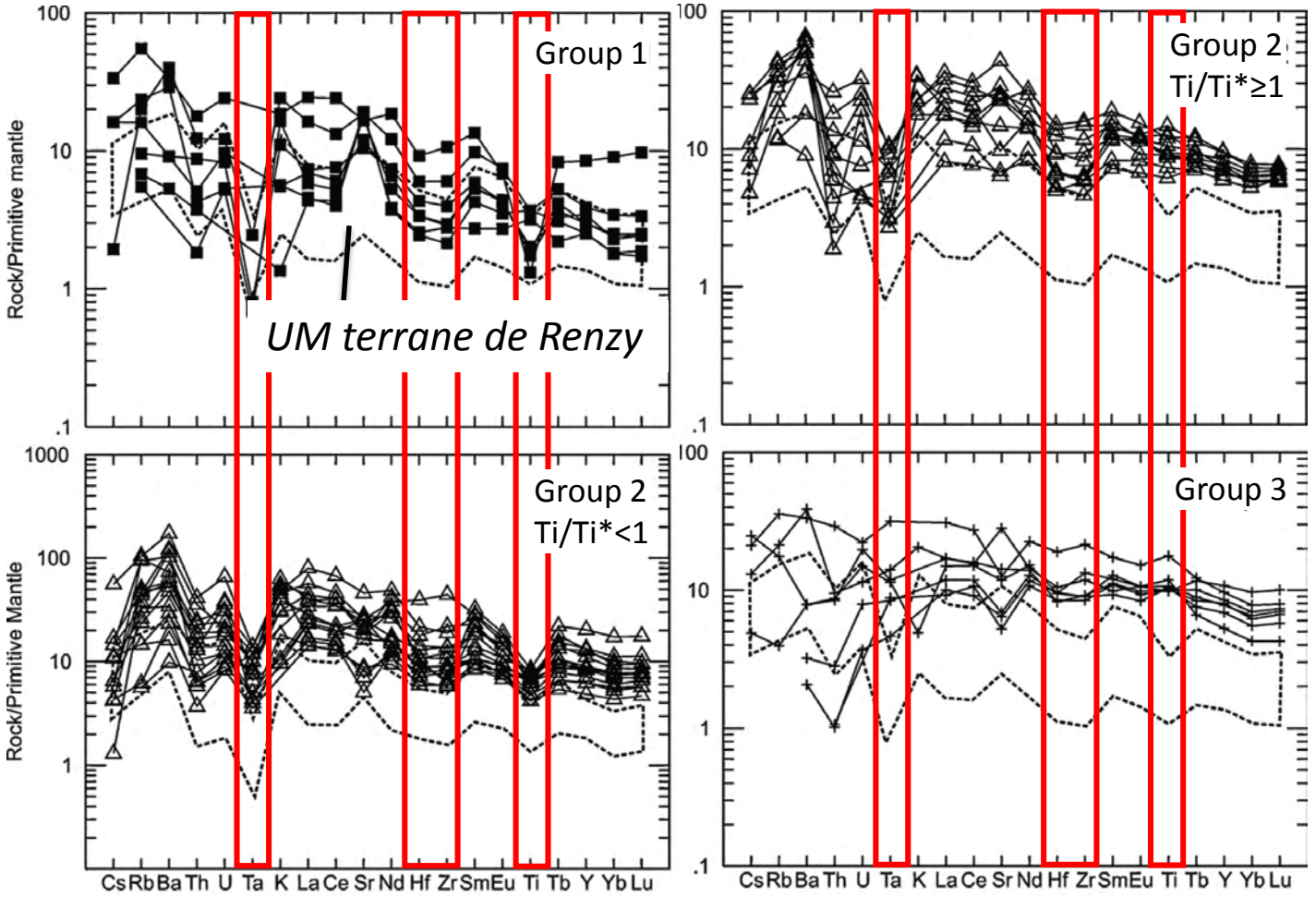


(Montreuil et Constantin 2010)

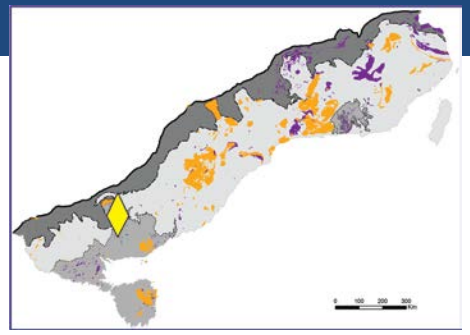


Mine du lac Renzy

- **Magma parent:** Basaltique
- **Contexte tectonique:** Système arc/arrière-arc associé à une zone de subduction

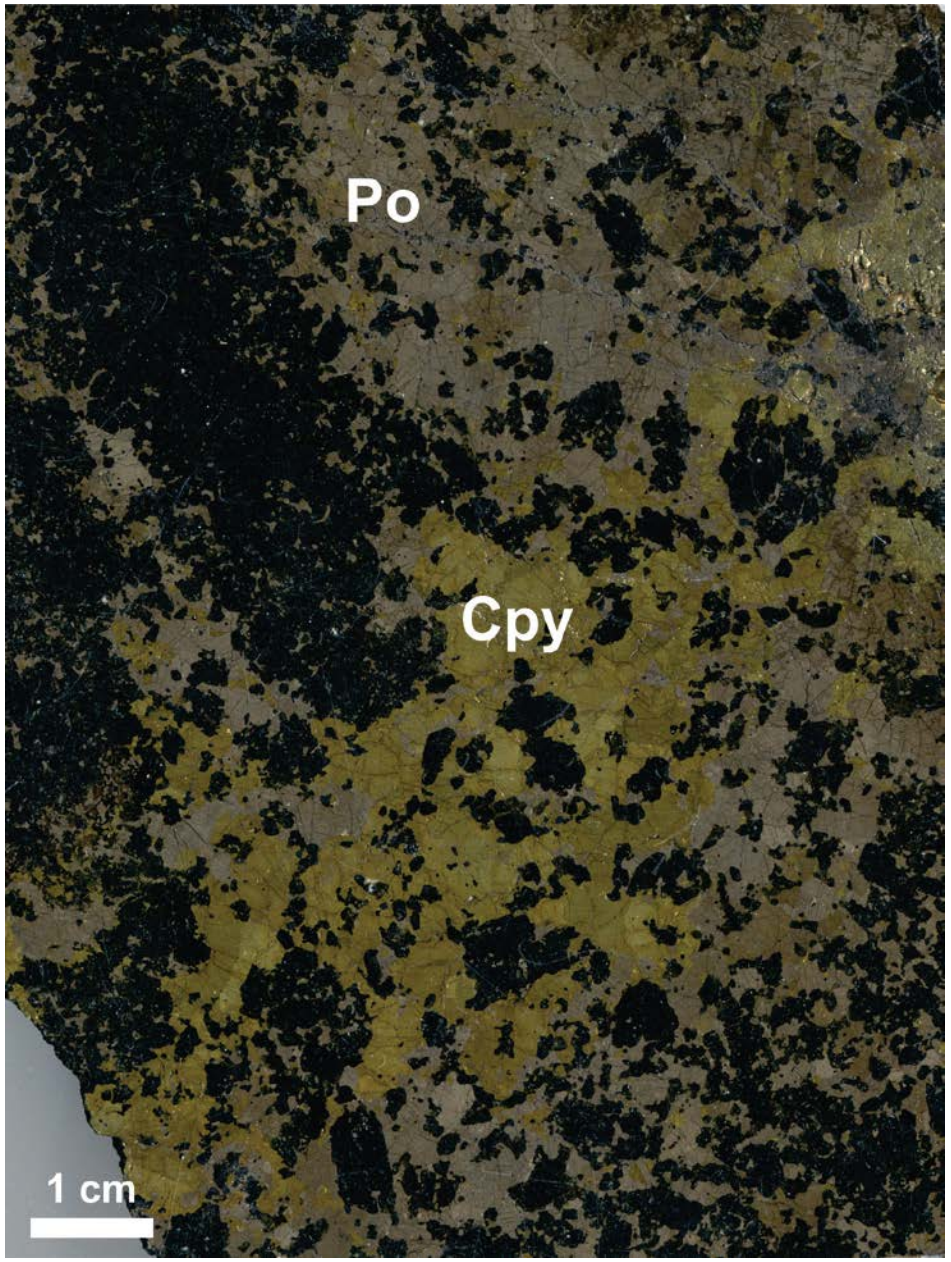


(Montreuil et Constantin 2010)

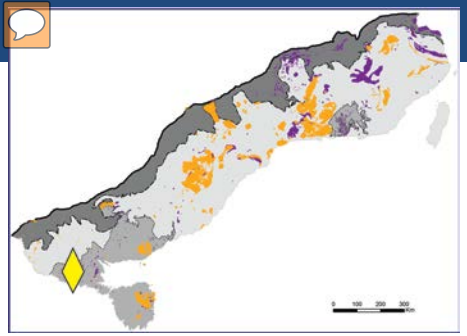


Mine du lac Renzy

- **Texture sulfures:**
  - Disséminés, textures en filet, sulfures semi-massifs à massifs, sulfures bréchiques, veines
  - Lentilles de sulfures concentrées à proximité du contact intrusion–encaissant
- **Minéralisation:**
  - Po, Cpy, Pn, ± Py
  - Production de 717 Kt @ 0,7% Ni, 0,7% Cu (1969-1972) et teneurs moyennes de 109 ppb Pt+Pd (Poirier 1988)

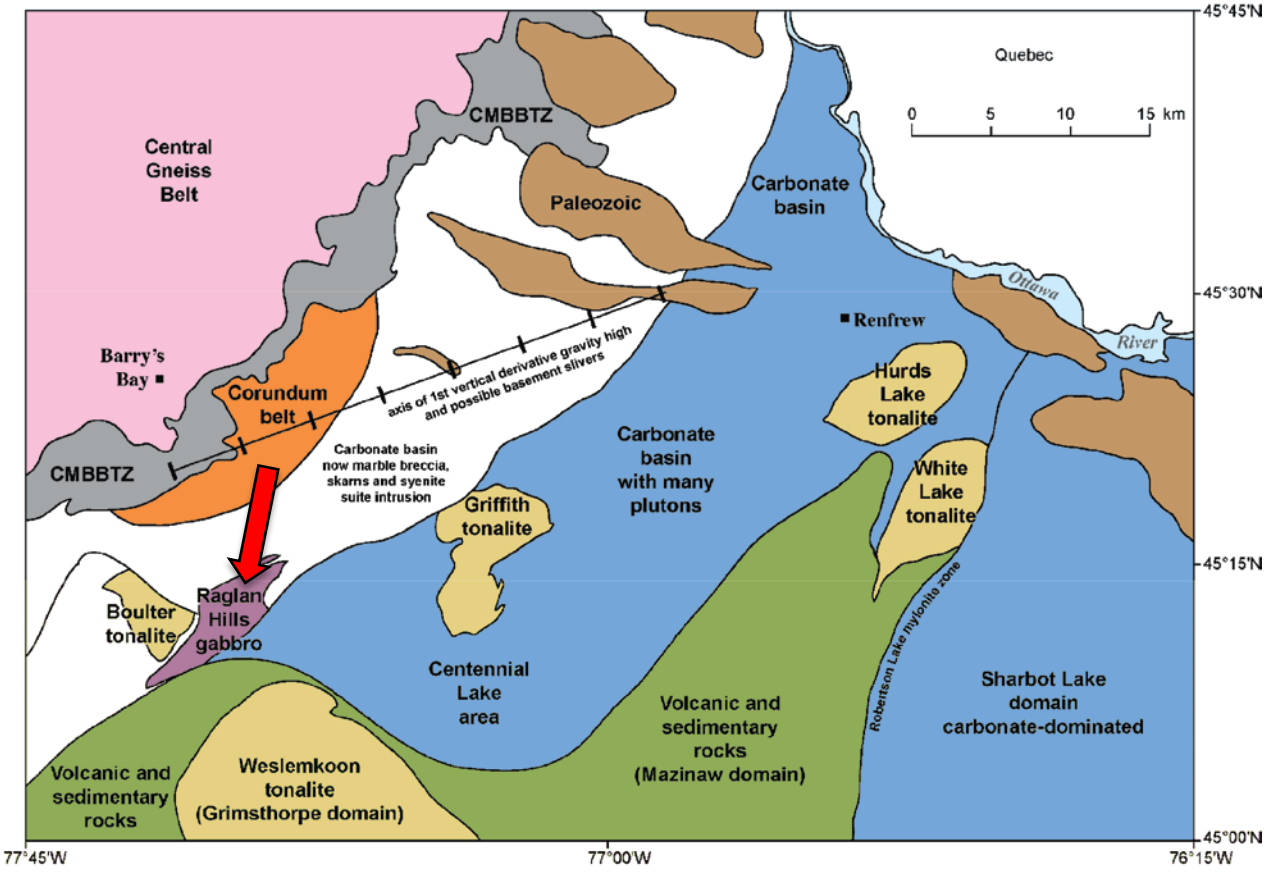


Sulfures semi-massifs, Lac Renzy

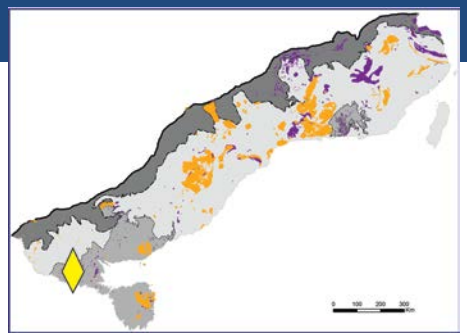


Gabbro de Raglan Hills

- **Encaissant:** Roches méta-sédimentaires
- **Âge:** 1,23 Ga (Pehrsson et al. 1996)
- **Structure interne:** Litée
- **Lithologie:** Roches gabbroïques, rare amphibolite
- **Magma parent:** Issu d'une source mantellique appauvrie
- **Contexte tectonique:** Système arrière-arc associé à une zone de subduction

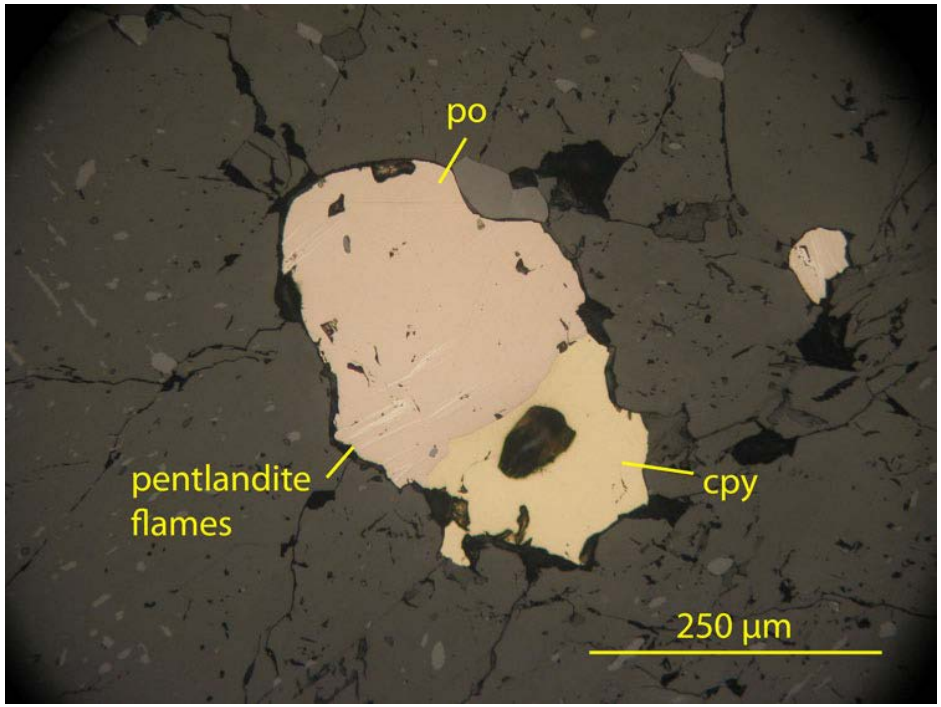


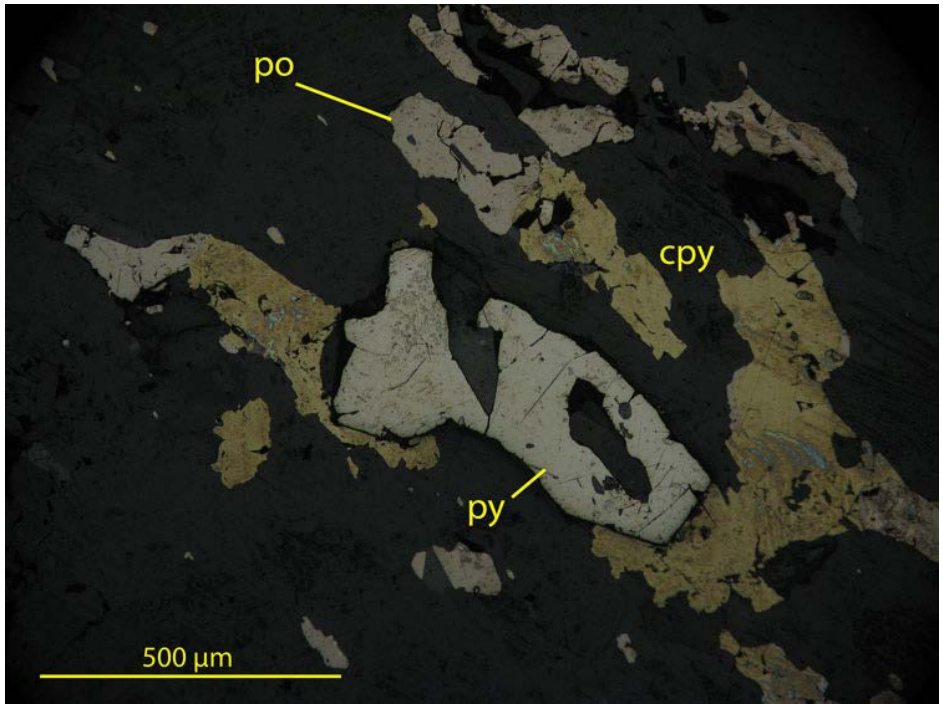
(Easton et al. 2011)



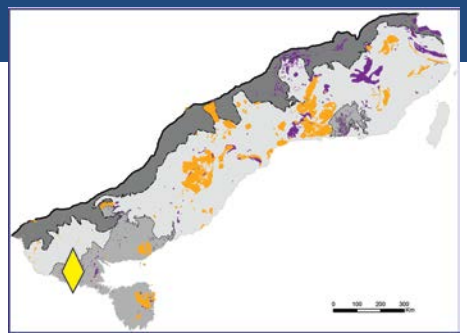
Gabbro de Raglan Hills

- **Texture sulfures:**
  - Disséminés, textures en filet, veines dans zone de cisaillement
  - Sulfures dispersés à travers le gabbro



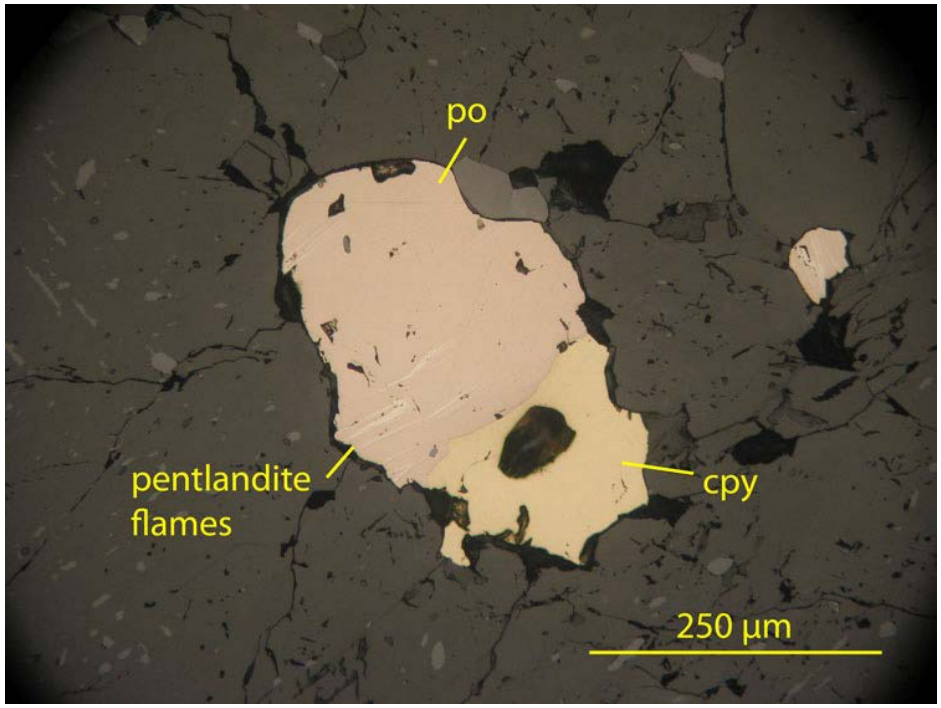


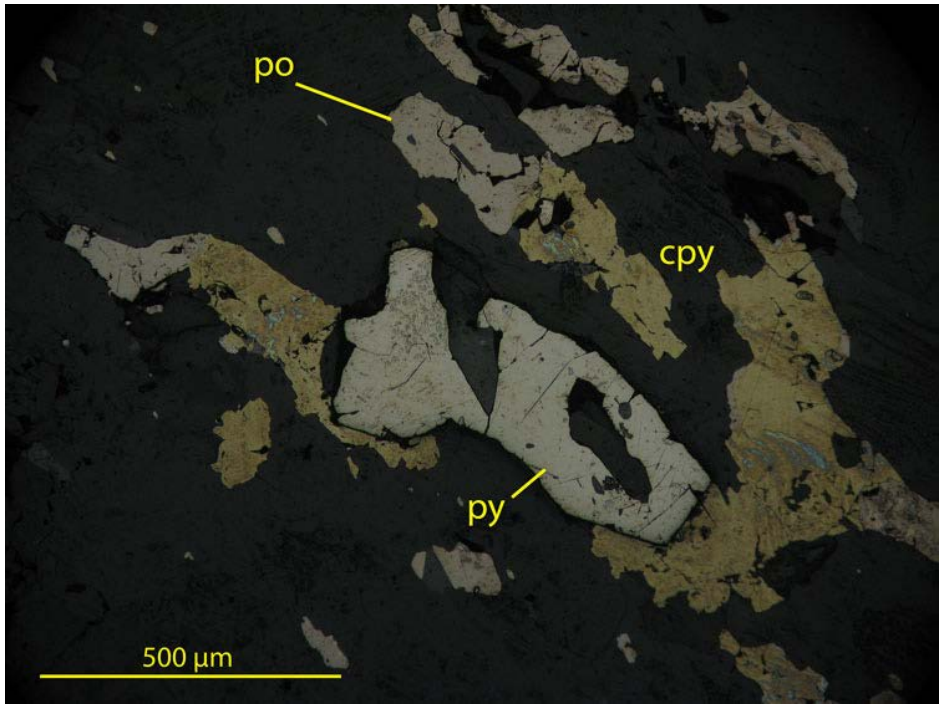
Sulfures disséminés à interstitiels, Raglan Hills (Magnus et al. 2012)



Gabbro de Raglan Hills

- **Minéralisation:**
  - Po, Cpy, Py, ± Pn
  - Teneurs jusqu'à 0,3% Ni, 0,4% Cu, 90 ppb Pt+Pd (Magnus 2013)

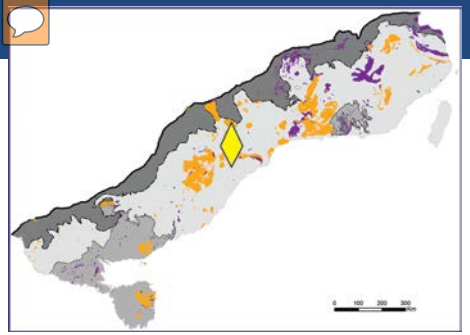




Sulfures disséminés à interstitiels, Raglan Hills (Magnus et al. 2012)

Minéralisation en Ni-Cu±EGP

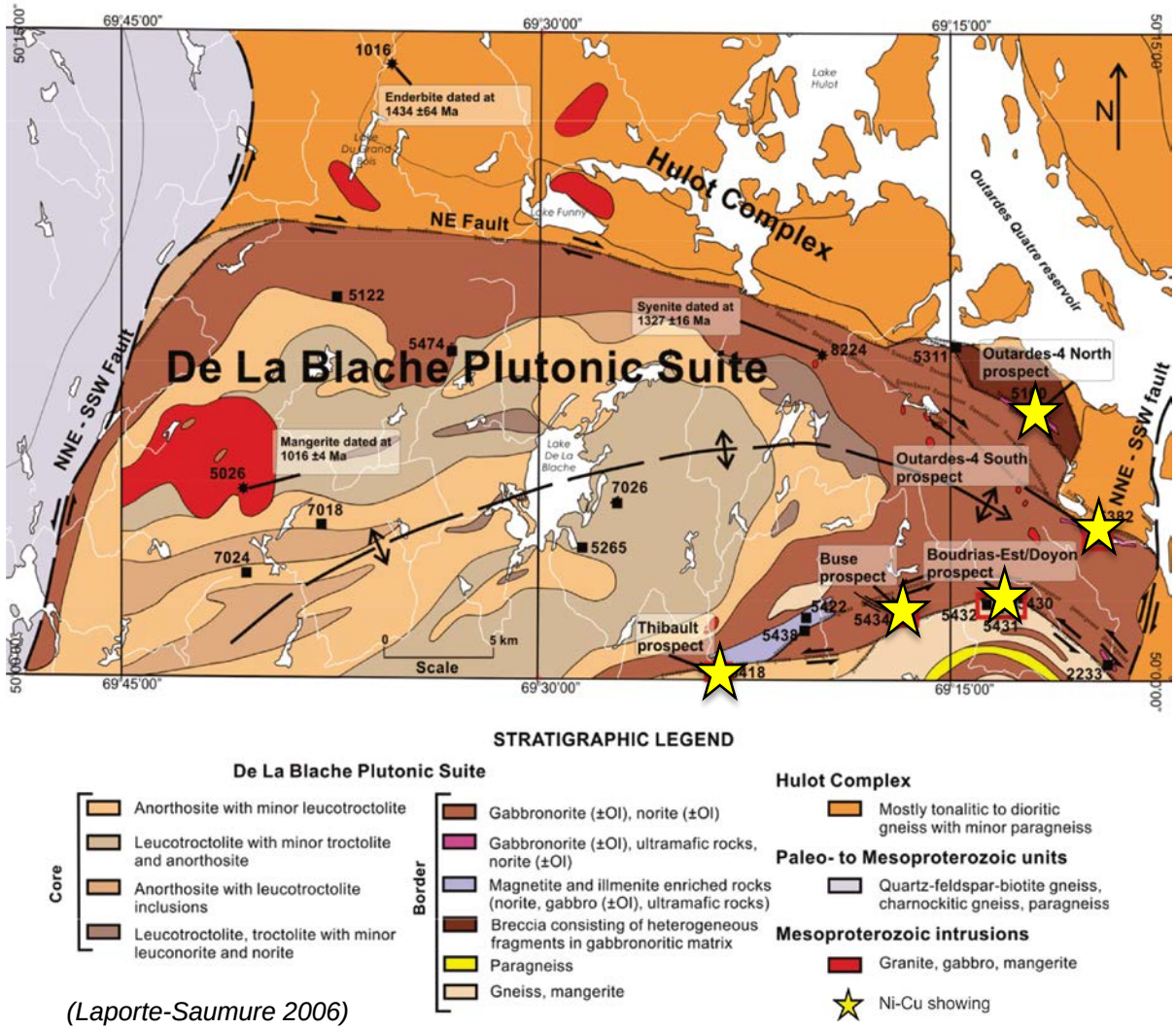
- **Intrusion de type 2:** mafique à ultramafique, associée aux faciès de bordure en marge des complexes AMCG



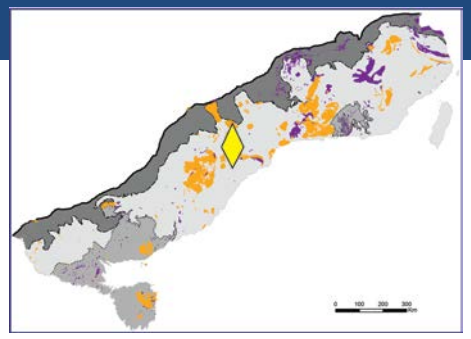
Anorthosite de De La Blache

Ex: Indices du lac De La Blache

- **Encaissant:** Gneiss et roches ignées du Complexe de Hulot
- **Âge:** 1,33 Ga (DLB; Gobeil et al. 2002)
- **Structure interne:** Litage
- **Lithologie:**
  - ***Cœur:*** anorthosite à leucotroctolite
  - ***Bordure:*** norite à gabbronorite (± Ol), dunite, péridotite, pyroxénite à Ol
- **Magma parent:** Inconnu



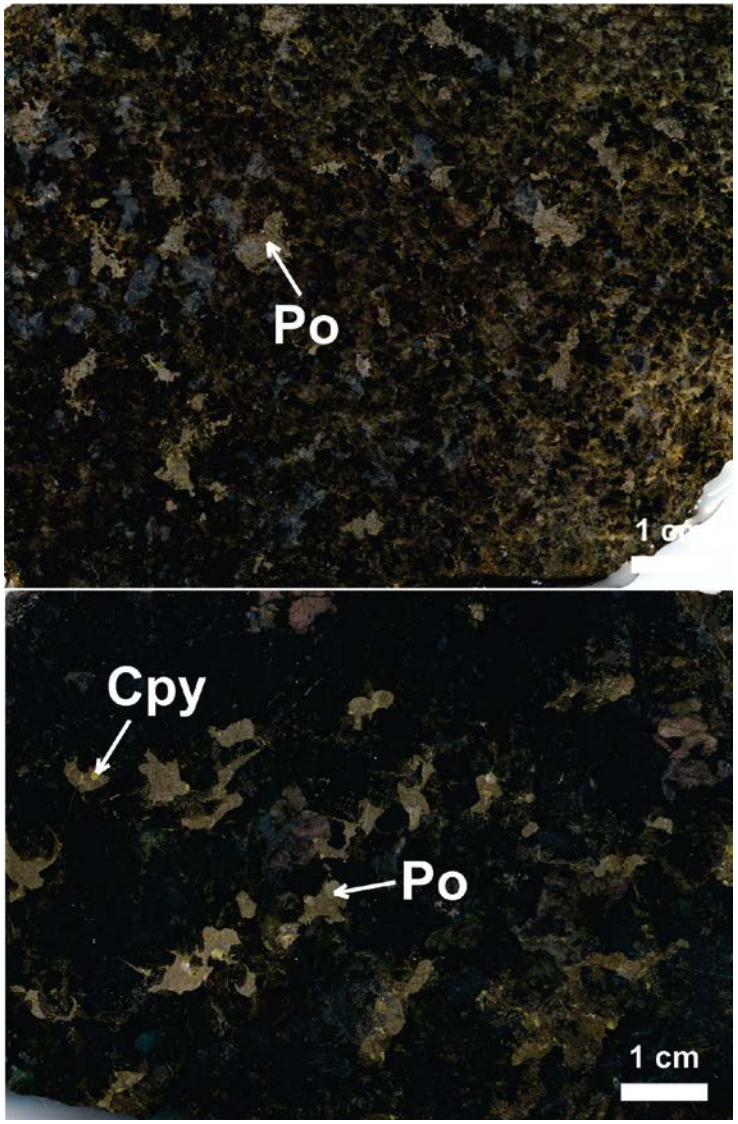
(Laporte-Saumure 2006)



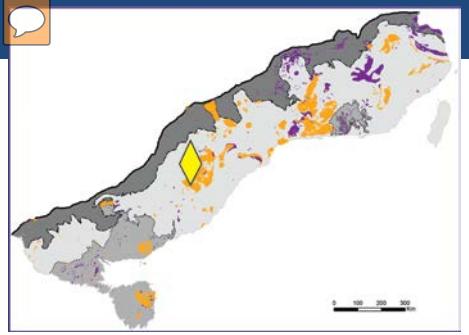
Anorthosite de De La Blache

Ex: Indices du lac De La Blache

- **Contexte tectonique:** Zone arrière-arc dans un contexte continental ou de marge continentale
- **Texture sulfures**
  - Disséminés, textures en filet, rare sulfures semi-massifs et bréchiques
  - Sulfures à proximité du contact avec l'encaissant ou dispersés à travers les intrusions
- **Minéralisation:**
  - Po, Cpy, Pn, Py
  - Meilleurs teneurs (Outardes, bloc sud): 1,3% Ni, 1,4% Cu, 0,07% Co (Gobeil et al. 2002)



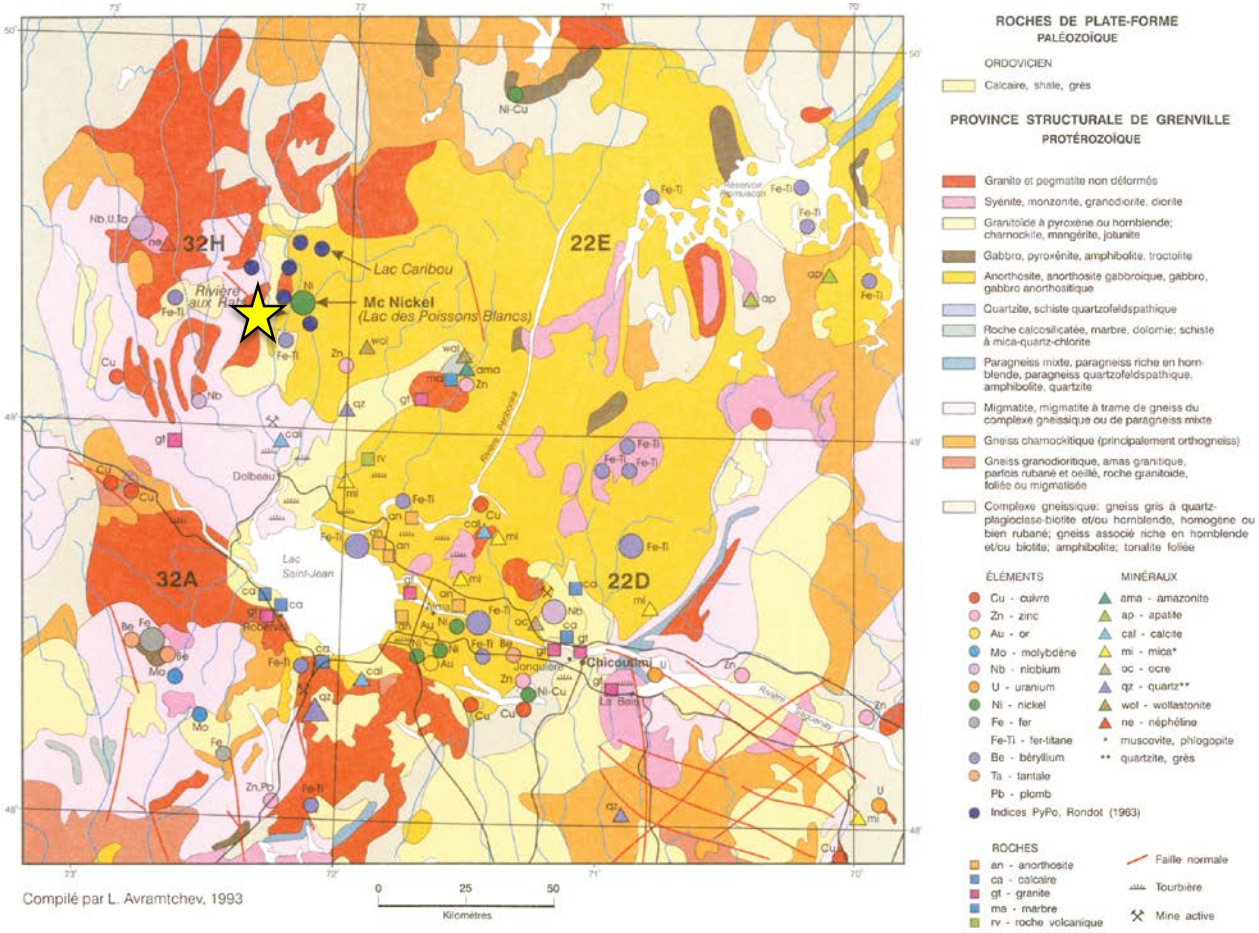
Textures en filet, lac De La Blache



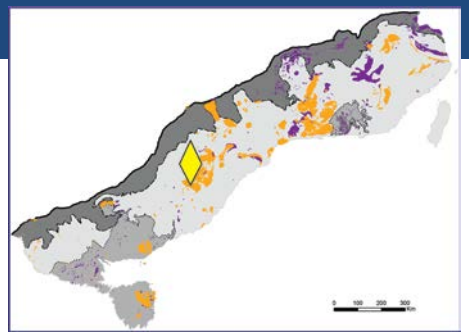
Complexe du Lac-St-Jean

Ex: Indice McNickel

- **Encaissant:** Gneiss et migmatite d'origine ignée, granite
- **Âge:** ~1,15 Ga (LSJ; Higgins et van Breemen 1992)
- **Structure interne:** Partie litée
- **Lithologie:**
  - En marge de la Suite du LSJ
  - Pyroxenite (±Pl, ±Ol) et gabbro plus minéralisés
  - Anorthosite, gabbro riche en Ilm peu minéralisés



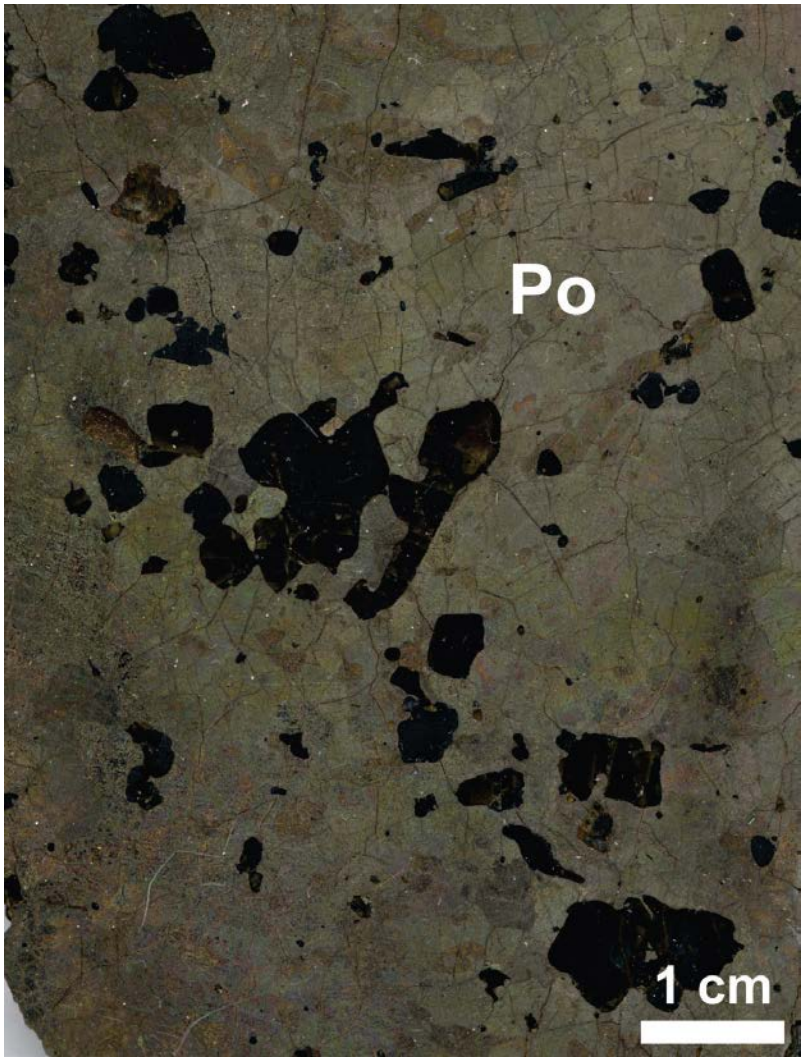
(Clark et Hébert 1998)



Complexe du Lac-St-Jean

Ex: Indice McNickel

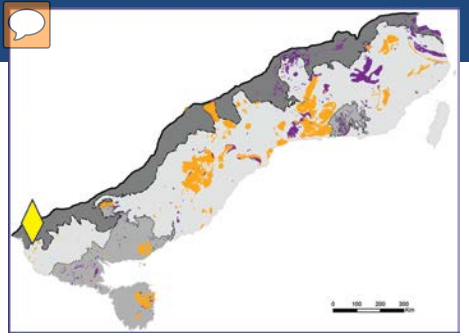
- **Magma parent:** Inconnu
- **Contexte tectonique:** Zone arrière-arc dans un contexte continental ou de marge continentale
- **Texture sulfures:** Disséminés dans des unités ou lits en particulier, filonnets et veines, sulfures semi-massifs à massifs bréchiques
- **Minéralisation:**
  - Po, Py, Cpy, Pn
  - Réserves indiquées de 5,9 Mt @ 0,2% Ni, 0,1% Cu, 0,03% Co (Mountain 1990)



Sulfures massifs, McNickel

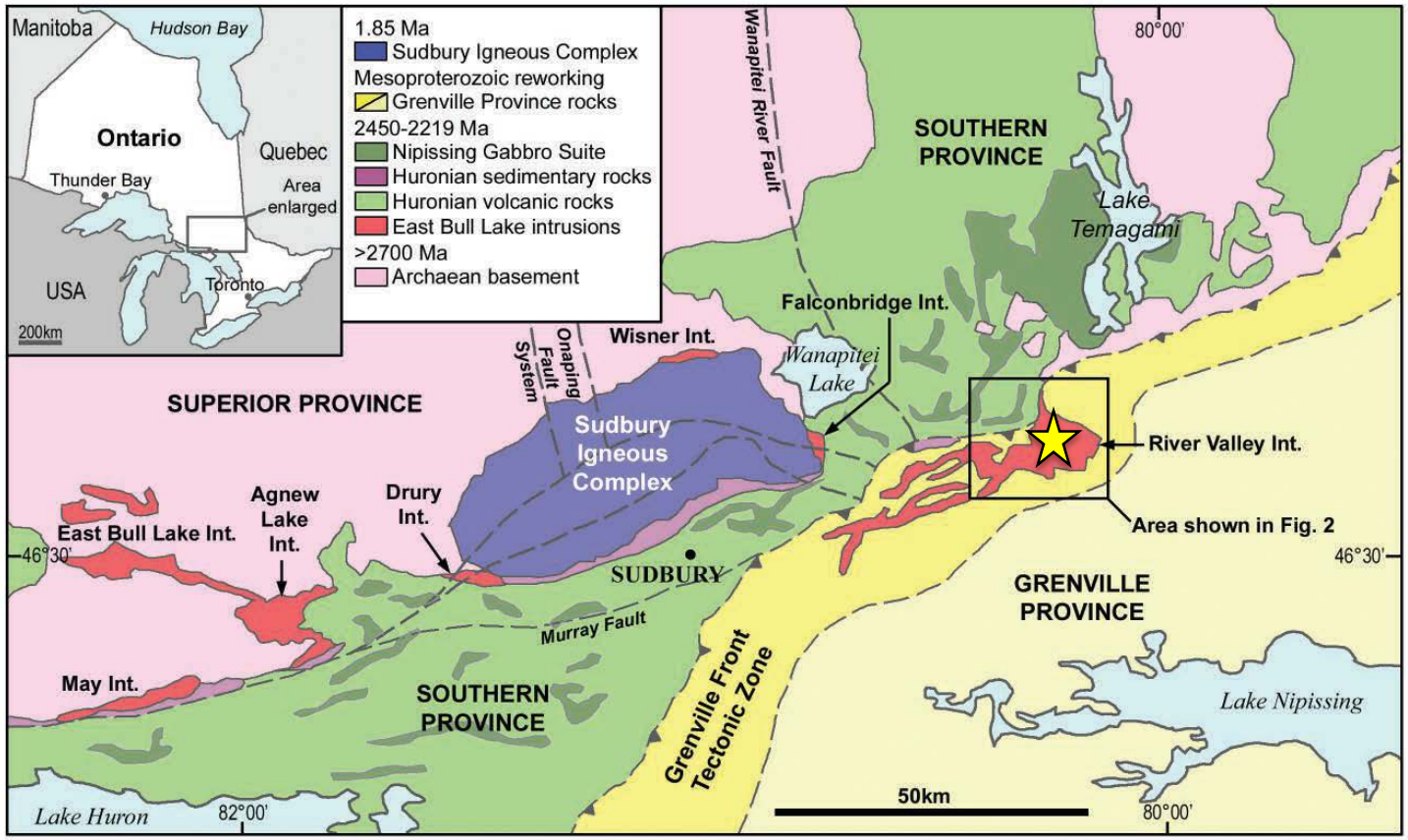
Minéralisation en EGP

- **Intrusion de type 1:** mafique à ultramafique, sans association apparente aux AMCG

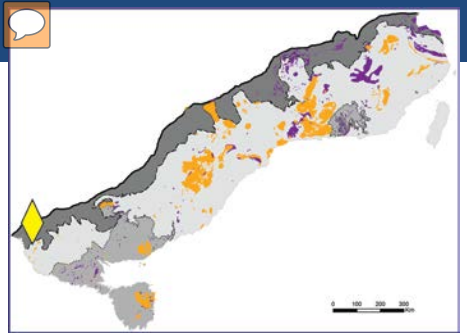


Intrusion River Valley
(Suite intrusive d'East Bull Lake)

- **Encaissant:** Gneiss et migmatite archéens
- **Âge:** ~2,48 Ga (Easton 2003)

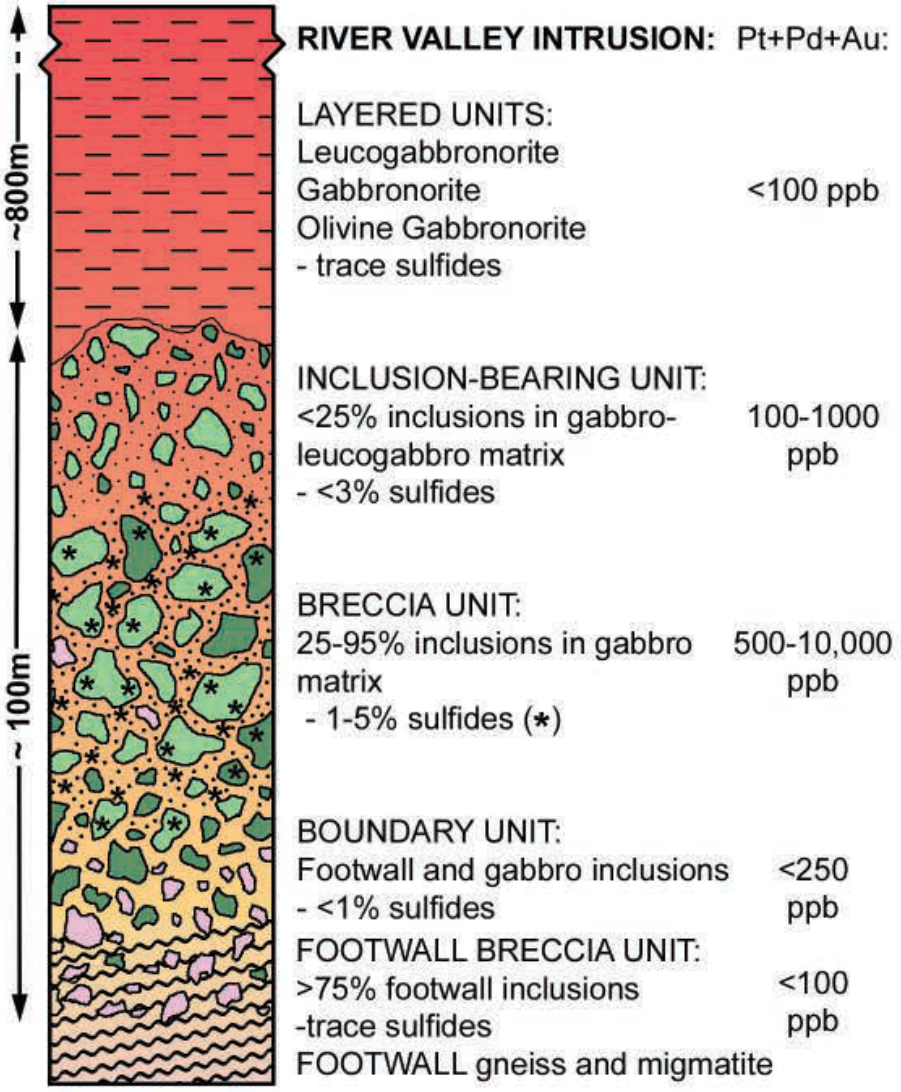


(James et al. 2002a)

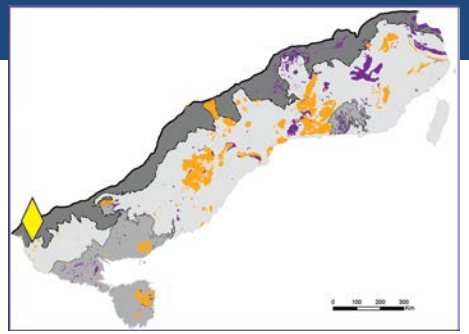


Intrusion River Valley

- **Structure interne:** Litée
- **Lithologie:** Gabbronorite à gabbro (± Ol), rare pyroxénite et anorthosite
- **Magma parent:** Magma tholéïtique, pauvre en Ti et riche en Al
- **Contexte tectonique:** Rift intra-continental associé à un panache mantellique

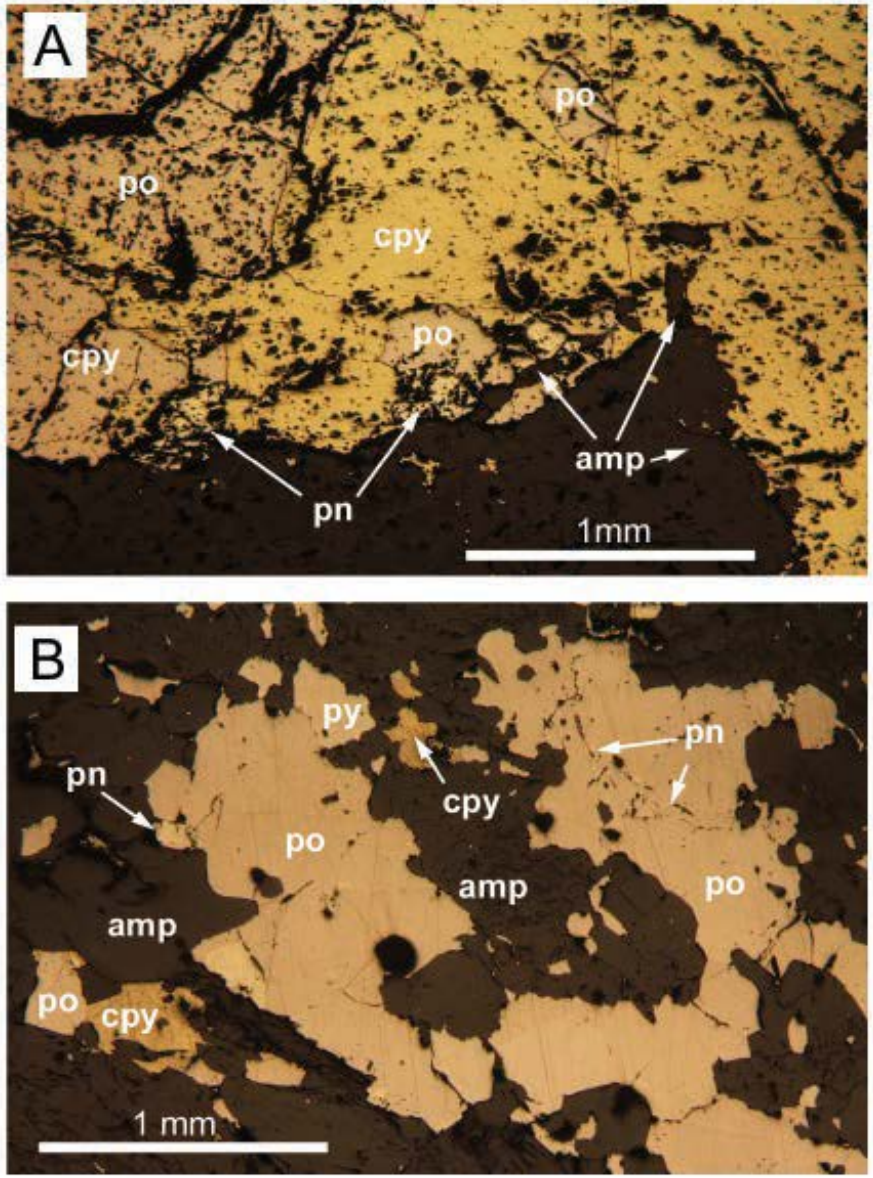


(James et al. 2002b)

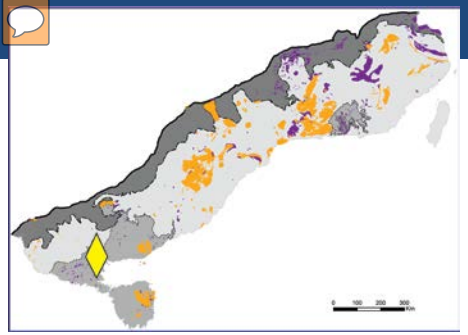


Intrusion River Valley

- **Texture sulfures:**
  - Disséminés, rare textures en filet
- **Minéralisation:**
  - Minéralisation Cu-Ni-EGP au contact, associée à une brèche magmatique
  - Po, Pn, Cpy, ± Py et Mlr
  - Ressources mesurées et indiquées de 91 Mt @ 0,6 g/t Pd, 0,2 g/t Pt, 0,02 g/t Rh, 0.02% Ni, 0,06% Cu à une teneur de coupure de 0,8 g/t PdEq (McCracken et Wilson 2012)

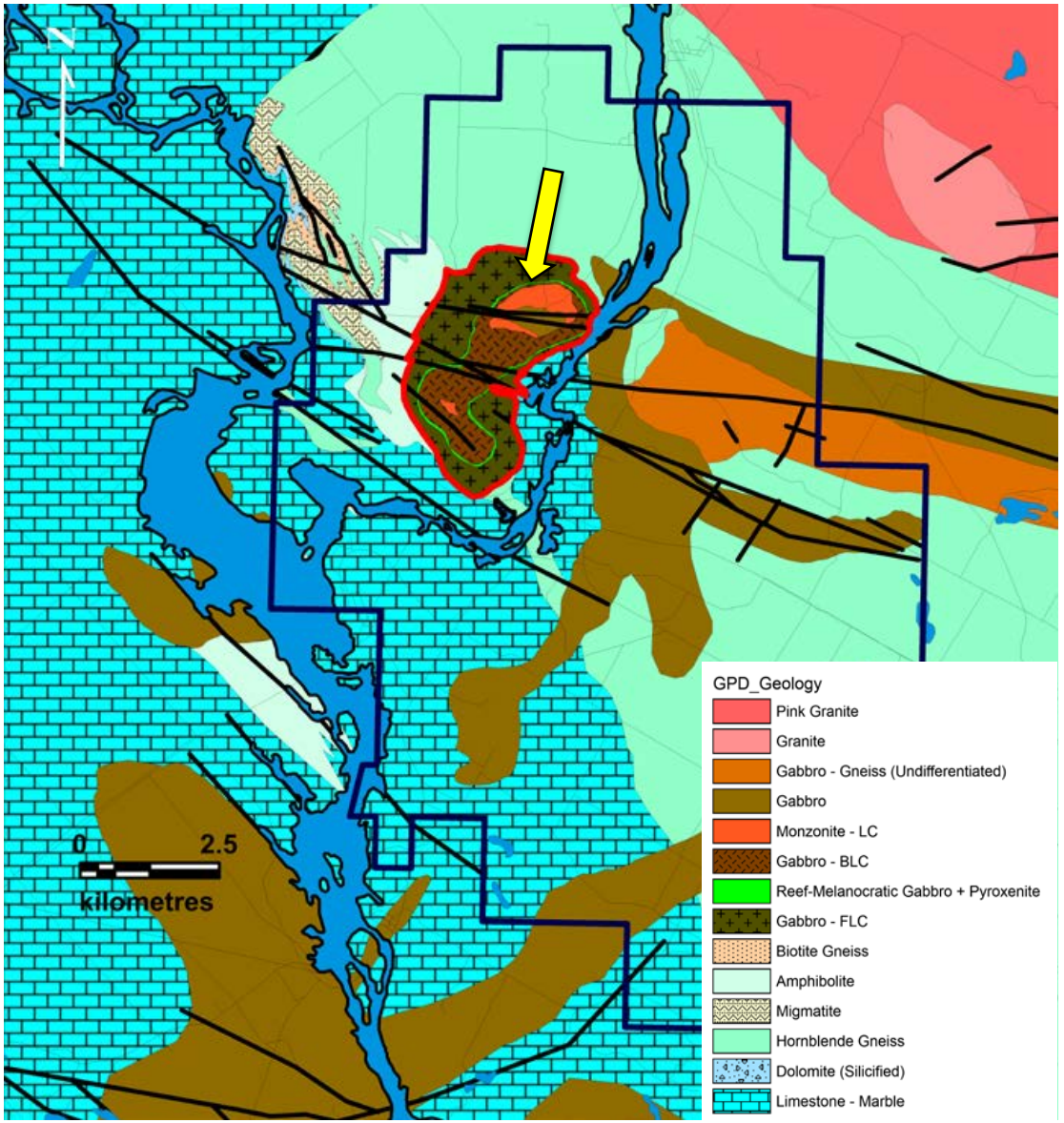


A) Globule de sulfures, B) Sulfures interstitiels (Holwell et al. 2014)

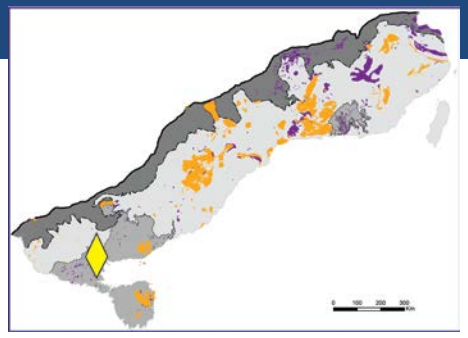


Intrusion Obwondiag (GPd project)

- **Encaissant:** Amphibolite, gneiss et roches métasédimentaires
- **Âge:** ~1,23 Ga (Gabbro des Chenaux; Easton 1992)
- **Structure interne:** Litée
- **Lithologie:** Roches gabbroïques, pyroxénite
- **Magma parent:** Inconnu
- **Contexte tectonique :** Système arc/arrière-arc associé à une zone de subduction

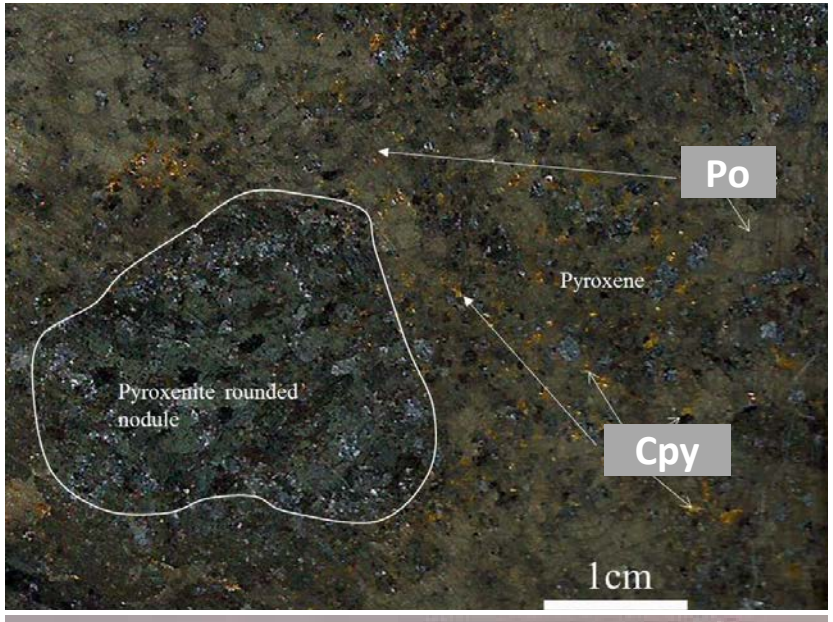


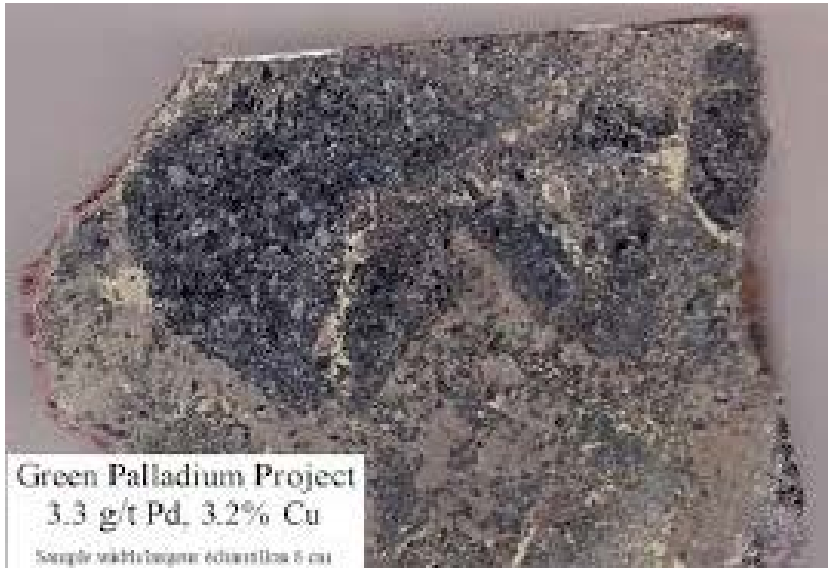
(Sphinx Resources Ltd. 2016)



Intrusion Obwondiag (GPd project)

- **Texture sulfures:**
  - Disséminés à interstitiels
- **Minéralisation:**
  - Horizon à EGP
  - Po, Cpy
  - Meilleur teneur: 3,45 g/t Pt-Pd-Au sur 0,4 m (Sphinx Resources Ltd. 2016)

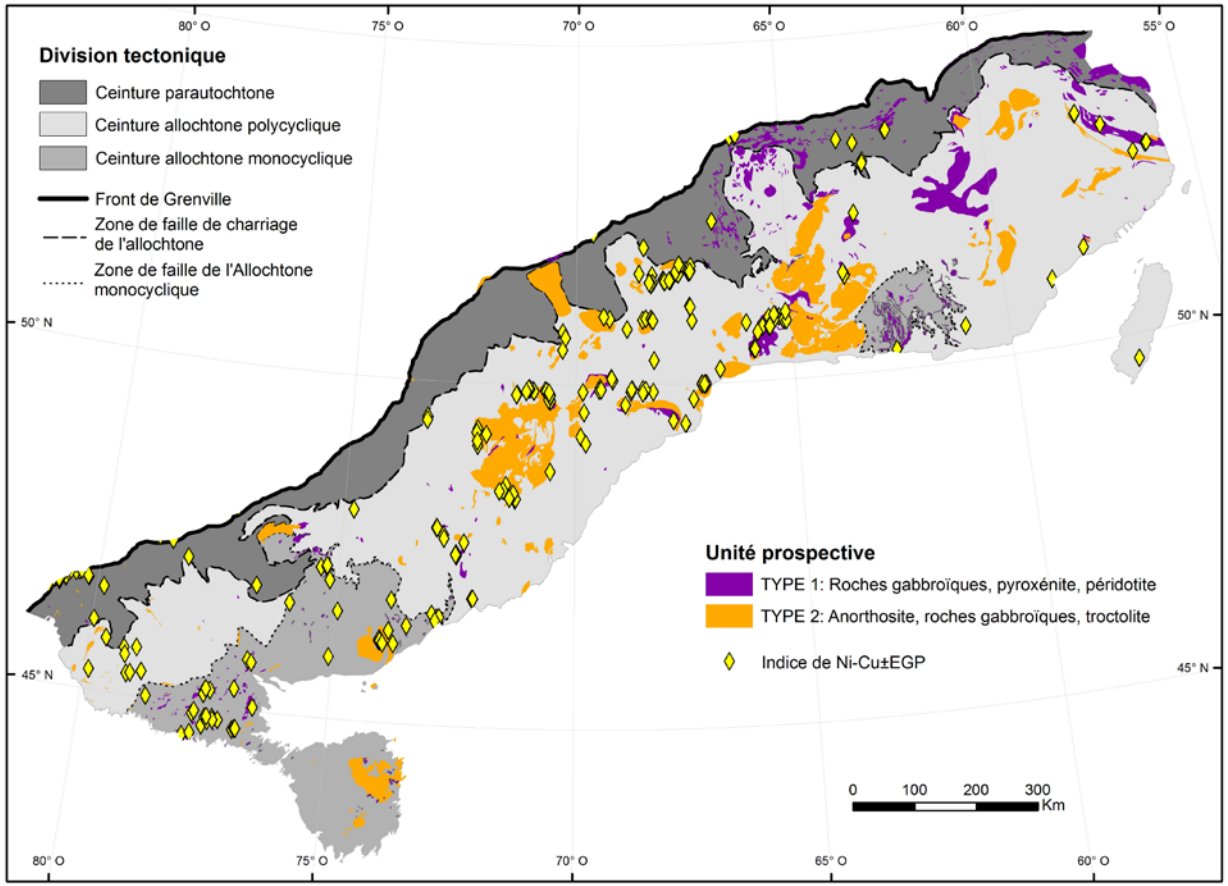




(Sphinx Resources Ltd. 2016)

Conclusions

- **Province du Grenville prospective pour les indices de Ni-Cu±EGP**
  - Nombreuses unités prospectives
  - Nombreux indices de Ni-Cu±EGP
  - Intrusions hôtes de type 1 semblent plus prospectives que celles de type 2
  - Minéralisation épigénétique en Cu-Ni: marginale et intérêt économique plus limité



(modifiée d'après Davidson 1998)

Potentiel en Ni-Cu±EGP

Type de minéralisation	Intrusion	Âge	Contexte tectonique	Ex. Grenville	Autres Ex.
Contact	Intrusion type 1	Mésoprotérozoïque	Système arc/arrière-arc	•Plateau de Manicouagan •Lac Volant •Domaine Portneuf-Mauricie •Renzy	•Aguablanca (Esp) •Intrusion Råna (Norv) •Nova-Bollinger (Austr)
	Intrusion type 2		Arrière-arc en contexte continental	•De La Blache	?
Interne	Intrusion type 1		Système arc/arrière-arc	•Plateau de Manicouagan •Domaine Portneuf-Mauricie •Raglan Hills	?
	Intrusion type 2		Arrière-arc en contexte continental	•De La Blache •McNickel	?

Système d'arc/arrière-arc =>Favorable pour les gîtes renfermant des sulfures de Ni-Cu dans le Grenville

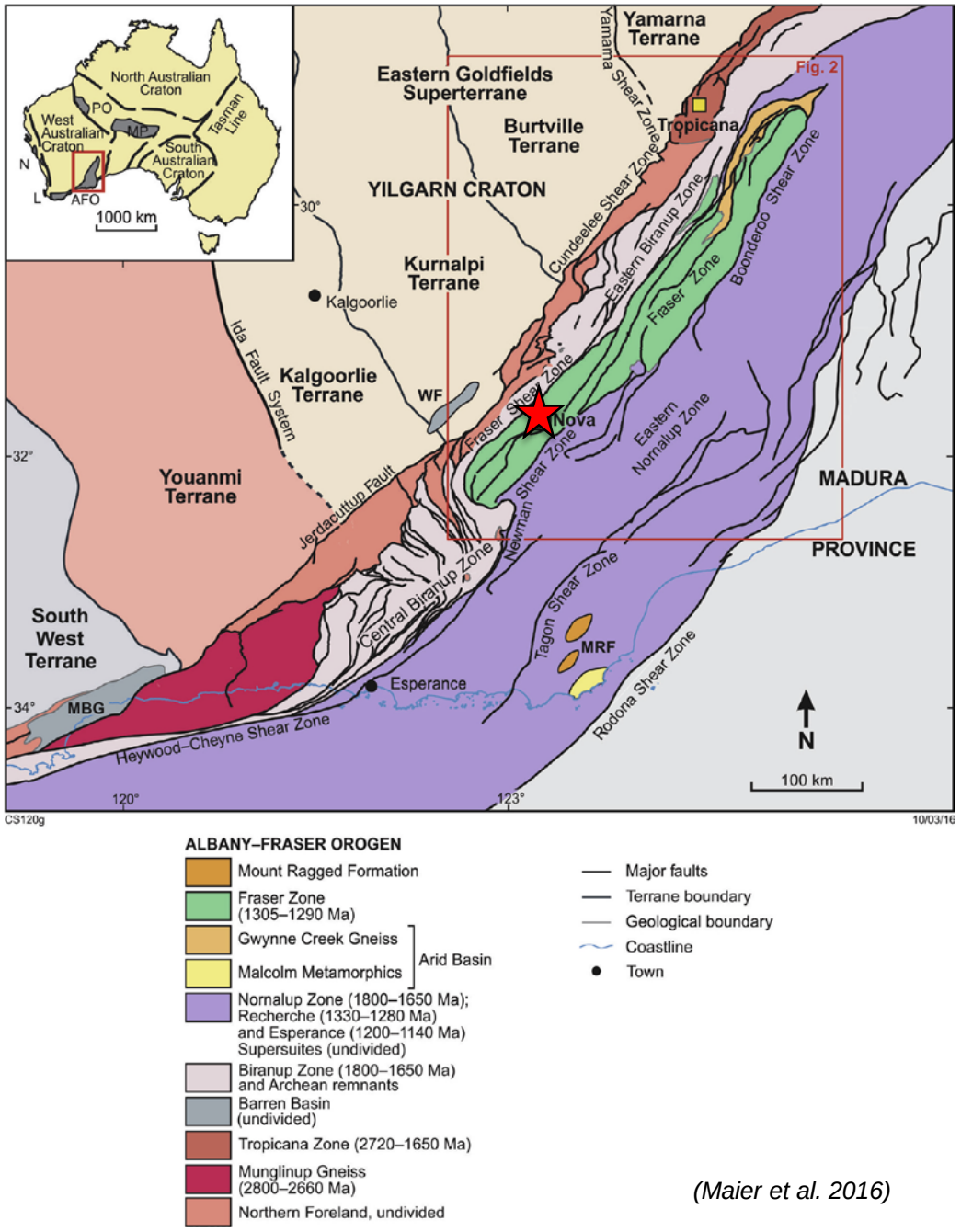
Potentiel en EGP

Type de minéralisation	Intrusion	Âge	Contexte tectonique	Ex. Grenville	Autres Ex.
Brèche magmatique	Intrusion type 1	~2,5 Ga	Rift intra-continental et panache mantellique	River Valley	•Platreef, Complexe du Bushveld (Afr. du Sud)
Horizon EGP	Intrusion type 1	~1,2 Ga	Système arc/arrière-arc	Obwondiag	•Merensky Reef, Complexe du Bushveld (Afr. du Sud) •J-M Reef, Complexe de Stilwater (USA)

Rift intra-continental associé à un panache mantellique et système d'arc/arrière-arc => Favorable pour les gîtes d'EGP dans le Grenville

Perspective

- **Gîsements Nova-Bollinger (Austr): Découverts en 2012-2013**
  - Orogène Albany-Fraser: ceinture orogènique d'âge grenvillien
  - Intrusion litée, tholéïtique, à dominance mafique
  - Âge: ~ 1,3 Ga (Hoatson et al. 2014)
  - Contexte tectonique: arrière-arc
  - Ressources mesurées, indiquées et inférées de 11,4 Mt @ 2,4% Ni, 1,0% Cu, 0,08% Co (Igo 2017)



(Maier et al. 2016)

Remerciements

- **Support financier**
  - TGI-5 – Commission géologique du Canada, Québec
- **Prêt d'échantillons**
  - M. Constantin (Université Laval)
  - Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles du Québec
- **Support GIS et divers**
  - P. Brouillette, A. Morin, F. Aucoin, A. Paré (Commission géologique du Canada, Québec)
- **Discussions**
  - M. Easton (Ontario Geological Survey)
  - A. Davidson (Retraité de la Commission géologique du Canada, Ottawa)
  - M. Gauthier (Gardin / Retraité de l'UQAM)

Références

- Bevins, R.E., Kokelaar, B.P. et Dunkley, P.N., 1984. Petrology and geochemistry of lower to middle Ordovician igneous rocks in Wales: a volcanic arc to marginal basin transition. Proceedings of the Geologists' Association 95, 337-347.
- Bignold, S.M., Treloar, P.J. et Petford, N., 2006. Changing sources of magma generation beneath intra-oceanic island arcs: an insight from the juvenile Kohistan island arc, Pakistan Himalaya. Chemical Geology 233, 46-74.
- Clark, T., 2000. Le potentiel en Cu-Ni±Co±EGP du Grenville québécois: exemples de minéralisations magmatiques et remobilisées. Chronique de la Recherche Minière 539, 85-100.
- Clark, T. et Hébert, C., 1998. Étude du gîte de Cu-Ni-Co de McNickel – Suite anorthositique de Lac-Saint-Jean. Ministère des Ressources naturelles, Québec, ET 98-02, 52 pp.
- Davidson, A., 1998. Geological map of the Grenville Province, Canada and adjacent parts of the United States of America. Geological Survey of Canada, Map 1947A, scale 1:2 000 000.
- Davidson, A., 2008. Late Paleoproterozoic to mid-Neoproterozoic history of northern Laurentia: an overview of central Rodinia. Precambrian Research 160, 5-22.
- Easton, R.M., 1992. The Grenville Province and the Proterozoic history of central and southern Ontario. Dans: Thurston, P.C., Williams, H.R., Sutcliffe, R.H., Stott, G.M. (Eds), Geology of Ontario. Ontario Geological Survey, Special Volume 4, p. 715-904.
- Easton, R.M., 2003. Geology and mineral potential of the Paleoproterozoic River Valley intrusion and related rocks, Grenville Province. Ontario Geological Survey, Open File Report 6123, 171 pp.
- Easton, R.M., Duguet, M. et Magnus, S.J., 2011. Geology and mineral potential of the northeastern central metasedimentary belt, Grenville Province. Ontario Geological Survey, Open File Report 6270, p.5-1 to 5-23.
- Gobeil, A., Chevé, S., Clark, T., Corriveau, L., Perreault, S., Dion, D.-J. et Nabil, H., 1999. Géologie de la région du lac Nipisso (SNRC 22I/13). Ministère des Ressources naturelles, Québec, RG 98-19, 60 pp.
- Gobeil, A., Hébert, C., Clark, T., Beaumier, M. et Perreault, S., 2002. Géologie de la région du lac De La Blache (22K/03 et 22K/04). Ministère des Ressources naturelles de la Faune et des Parcs, Québec, RG 2002-01, 49 pp.
- Higgins, M.D. et van Breemen, O., 1992. The age of the Lac-Saint-Jean Anorthosite Complex and associated mafic rocks, Grenville Province, Canada. Canadian Journal of Earth Sciences 29, 1412-1423.
- Hoatson, D.M. et Lewis, B. (Eds), 2014. Platinum-group elements in Australia: geological setting, mineral systems, and potential. Geoscience Australia, Record 2014/51, 981 pp.

Références (suite)

- Holwell, D.A., Keays, R.R., Firth, E.A. et Findlay, J., 2014. Geochemistry and mineralogy of platinum group element mineralization in the River Valley intrusion, Ontario, Canada: a model for early-stage sulfur saturation and multistage emplacement and the implications for “contact-type” Ni-Cu-PGE sulfide mineralization. Economic Geology 109, 689-712.
- Igo, 2017. Annual mineral resource and ore reserve statement. http://www.igo.com.au/irm/content/mineral-resources-ore-reserves-summary.aspx. Accessed November 19, 2017.
- James, R.S., Easton, R.M., Peck, D.C. et Hrominchuk, J.L., 2002a. The East Bull Lake intrusive suite: remnants of a ~2.48 Ga large igneous and metallogenic province in the Sudbury area of the Canadian Shield. Economic Geology 97, 1577-1606.
- James, R.S., Jobin-Bevans, S., Easton, R.M., Wood, P., Hrominchuk, J.L., Keays, R.R. et Peck, D.C., 2002b. Platinum-group element mineralization in Paleoproterozoic basic intrusions in central and Northeastern Ontario, Canada. Dans: Cabri, L.J. (Ed.), The geology, geochemistry, mineralogy and mineral beneficiation of platinum-group elements. Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum, Special Volume 54, p. 339-366.
- Laporte-Saumure, M., 2006. Pétrologie et métallogénie d’indices de Ni-Cu de la Suite plutonique de « De La Blache », Province de Grenville, Québec. Thèse de maîtrise, Université Laval, Québec, 114 pp.
- Magnus, S.J., 2013. Geology and geochemistry of the Raglan Hills metagabbro. Thèse de maîtrise, Carleton University, Ottawa, 105 pp.
- Magnus, S.J., Cousens, B. et Easton, R.M., 2012. The Raglan Hills Gabbro: a potential Ni-Cu deposit. Prospectors and Developers Association of Canada annual meeting, Toronto, Ontario.
- Maier, W.D., Smithies, R.H., Spaggiari, C.V., Barnes, S.J., kirkland, C.L., Yang, S., Lahaye, Y., Kiddie, O. et MacRae, C., 2016. Petrogenesis and Ni–Cu sulphide potential of mafic–ultramafic rocks in the Mesoproterozoic Fraser Zone within the Albany–Fraser Orogen, Western Australia. Precambrian Research 281, 27-46.
- McCracken, T. et Wilson, J., 2012. Technical report and resource estimate on the River Valley PGM project, Northern Ontario. NI 43-101 technical report, 332 pp.
- Montreuil, J.-F. et Constantin, M., 2010. The geochemistry of mafic gneisses from the Renzy terrane, western Grenville Province, Quebec: implications for the geodynamic setting of the early Mesoproterozoic Laurentian margin. Precambrian Research 181, 150-166.
- Mountain, B., 1990. Report on geology, geophysics and exploration drilling on the McNickel property, township 0234, Quebec. McNickel Inc., NTS 32H/08. Ministère de l’Énergie et des Ressources, Québec, GM 49672, 1007 pp.

Références (suite)

- Nabil, H., Clark, T. et Barnes, S.-J., 2004. A Ni-Cu-Co-PGE massive sulfide prospect in a gabbronorite dike at Lac Volant, eastern Grenville Province, Québec. Dans: Tollo, R.P., Corriveau, L., McLelland, J., Bartholomew, M.J. (Eds), Proterozoic tectonic evolution of the Grenville orogen in North America. Geological Society of America, Memoir 197, p. 145-161.
- Nadeau, L. et Brouillette, P., 1994. Carte structurale de la région de La Tuque (SNRC 31P), Province de Grenville, Québec. Commission Géologique du Canada, Dossier Public 2938, 1: 250 000.
- Nadeau, L. et Brouillette, P., 1995. Carte structurale de la région de Shawinigan (SNRC 31I), Province de Grenville, Québec. Commission Géologique du Canada, Dossier Public 3012, 1: 250 000.
- Palme, H. et O'Neill, H.St.C., 2004. Cosmochemical estimates of mantle composition. Dans: Carlson, R.W. (Ed), Treatise on geochemistry - The mantle and core, 2, p. 1-38.
- Pearce, J.A., 2008. Geochemical fingerprinting of oceanic basalts with applications to ophiolite classification and the search for Archean oceanic crust. Lithos 100, 14-48.
- Pehrsson, S., Hanmer, S. et van Breemen, O., 1996. U-Pb geochronology of the Raglan gabbro belt, Central Metasedimentary Belt, Ontario: implications for an ensialic marginal basin in the Grenville Orogen. Canadian Journal of Earth Sciences 33, 691-702.
- Poirier, G., 1988. Étude métallogénique de gîtes de nickel, cuivre et platinoïdes de l'ouest de la Province de Grenville, Québec. Thèse de maîtrise, Université du Québec à Montréal, Montréal, 299 pp.
- Sappin, A.-A., 2012. Pétrologie et métallogénie d'indices de Ni-Cu-éléments du groupe du platine du Domaine de Portneuf-Mauricie, Québec, Canada. Thèse de doctorat, Université Laval, Québec, 610 pp.
- Sappin, A.-A., Constantin, M., Clark, T. et van Breemen, O., 2009. Geochemistry, geochronology, and geodynamic setting of Ni-Cu±PGE mineral prospects hosted by mafic and ultramafic intrusions in the Portneuf-Mauricie Domain, Grenville Province, Quebec. Canadian Journal of Earth Sciences 46, 331-353.
- Sphinx Resources Ltd., 2016. https://sphinxresources.ca/projects/ziac-district/green-palladium-project/. Accessed November 05, 2017.