



**COMMISSION GÉOLOGIQUE DU CANADA
DOSSIER PUBLIC 7610**

**Les indices de Ni-Cu±EGP du Domaine de Portneuf-Mauricie
dans la Province de Grenville: un exemple de minéralisation
magmatique mise en place dans un environnement d'arc
magmatique**

A.-A. Sappin, M. Constantin, T. Clark

2014



Ressources naturelles
Canada

Natural Resources
Canada

Canada



**COMMISSION GÉOLOGIQUE DU CANADA
DOSSIER PUBLIC 7610**

**Les indices de Ni-Cu±EGP du Domaine de Portneuf-Mauricie
dans la Province de Grenville: un exemple de minéralisation
magmatique mise en place dans un environnement d'arc
magmatique**

A.-A. Sappin¹, M. Constantin², T. Clark³

¹ Commission géologique du Canada, 490 rue de la Couronne, Québec QC G1K 9A9

² Département de géologie et de génie géologique, 1065 avenue de la Médecine, Université Laval, Québec QC G1V 0A6

³ Géologie Québec, Ministère des Ressources naturelles, 5700 4e Avenue Ouest, Québec QC G1H 6R1

2014

©Sa Majesté la Reine du chef du Canada 2014

doi:10.4095/293908

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

Notation bibliographique conseillée

Sappin, A.-A., Constantin, M. et Clark, T., 2014. Les indices de Ni-Cu±EGP du Domaine de Portneuf-Mauricie dans la Province de Grenville: un exemple de minéralisation magmatique mise en place dans un environnement d'arc magmatique; Commission géologique du Canada, Dossier public 7610, 20 p. doi:10.4095/293908.

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



Natural Resources
Canada

Ressources naturelles
Canada

Canada

Les indices de Ni-Cu±EGP du Domaine de Portneuf-Mauricie dans la Province de Grenville: un exemple de minéralisation magmatique mise en place dans un environnement d'arc magmatique

Sappin A.-A. (CGC), Constantin, M. (UL), Clark, T. (MRN)

2014



Natural Resources
Canada

Ressources naturelles
Canada

Canada

© Sa Majesté la Reine du chef du Canada 2014

doi:10.4095/293908

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

Présentée à : Atelier CONSOREM « Gîtes magmatiques dans la Province de Grenville »

Date de la présentation : 2014-02-18

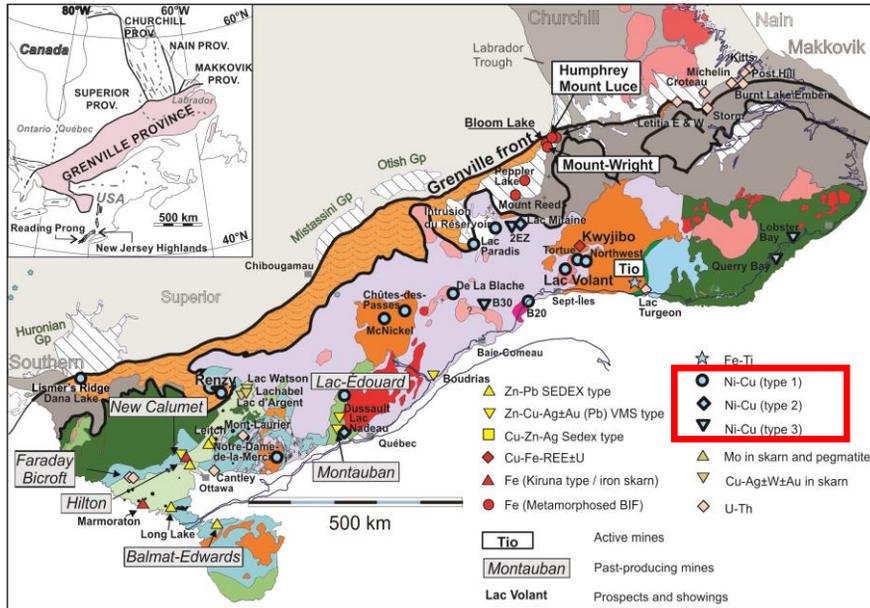
Notation bibliographique conseillée

Sappin, A.-A., Constantin, M. et Clark, T., 2014. Les indices de Ni-Cu±EGP du Domaine de Portneuf-Mauricie dans la Province de Grenville: un exemple de minéralisation magmatique mise en place dans un environnement d'arc magmatique; Commission géologique du Canada, Dossier public 7610, 20 p. doi:10.4095/293908.

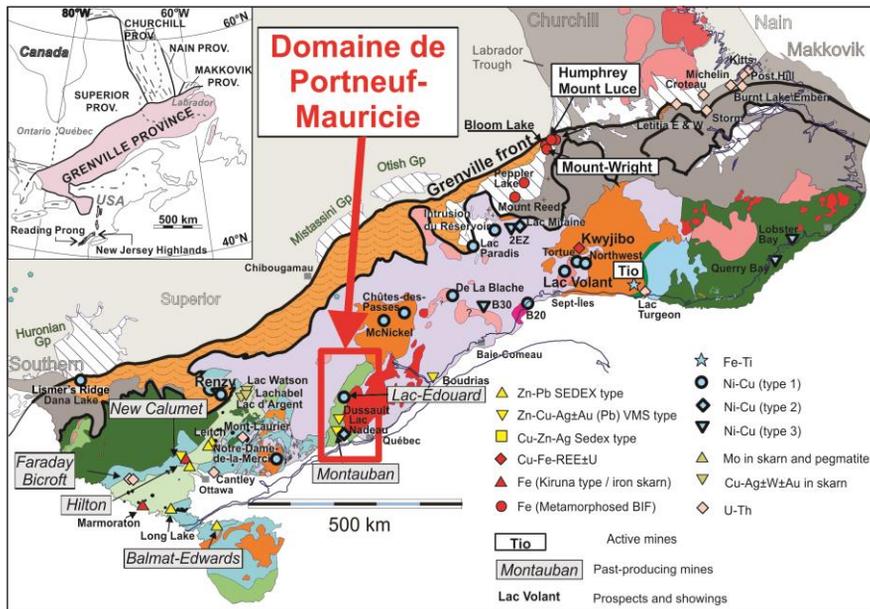


Les publications de cette série ne sont pas révisées; elles sont publiées telles que soumises par l'auteur.

Introduction



Introduction



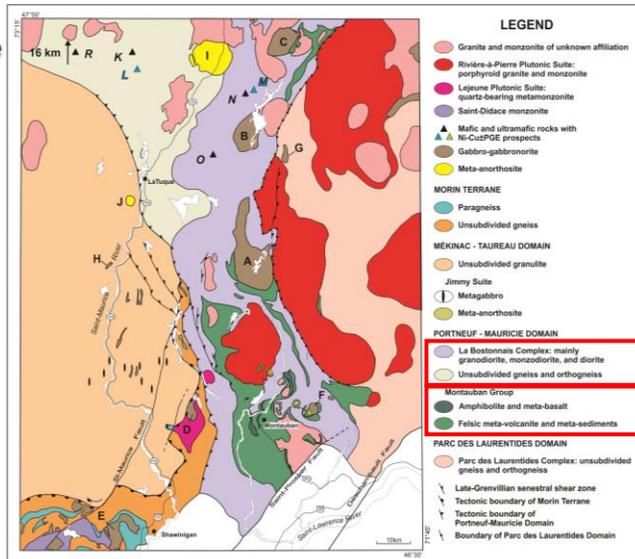
Géologie locale

- Roches du **groupe de Montauban** (1,45 Ga)

➔ Restes d'un arc océanique

- Plutons du **complexe de La Bostonnais** (1,40-1,37 Ga)

➔ Formés dans un arc insulaire mature, puis un arc continental



(Nadeau et Brouillette, 1994 et 1995)

- Intrusions mafiques-ultramafiques contenant des indices de **Ni-Cu±EGP** et une ancienne mine (1,40-1,39 Ga)

- **Intrusions litées**

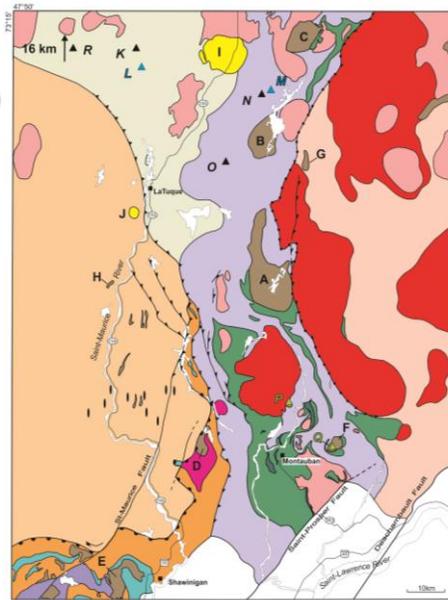
- Lac Kennedy (**L**)
- Mine du lac Édouard (**M**)
1164,7 ± 3,6 Ma (âge U/Pb min.)

- **Intrusions à structure interne simple**

- Réservoir Blanc (**R**)
- Lac Matte (**K**)
- Boivin (**N**)
- Rochette Ouest (**O**)
1386,1 ± 1,2 Ma (âge U/Pb)

- **Intrusions zonées**

- Rousseau (**P**)
(intrusion du lac à la Vase)
- Lac Nadeau (**Q**)
1396 +6/-4 Ma (âge U/Pb)



(Nadeau et Brouillette, 1994 et 1995)

▪ Interactions magmas–roches encaissantes

- Roches encaissantes adjacentes ou sub-jacentes aux intrusions mafiques-ultramafiques contiennent des sulfures
- **Magmas contaminés par matériel crustal**
 - Évidences de terrain (Réservoir Blanc, Rochette Ouest, Lac Nadeau)

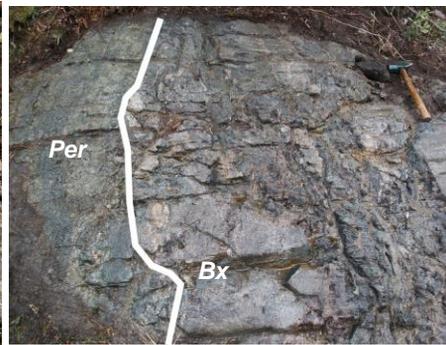


Enclave de paragneiss métapélitique dans une norite
(secteur du lac Nadeau)

▪ Évidences de terrain d'injections magmatiques multiples



Enclaves d'orthopyroxénite à PI et enclaves de leucogabbronorite dans des mélagabbronorites
(intrusion Rochette Ouest)



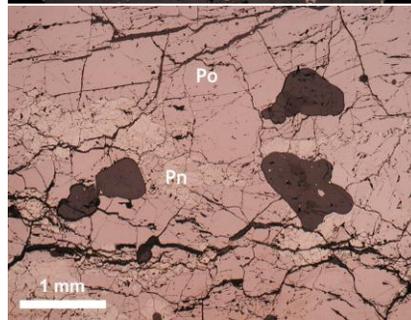
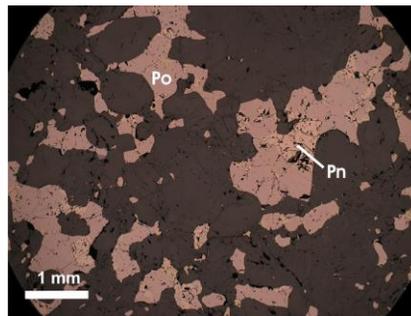
Brèche à matrice d'harzburgite à PI et enclaves de norite, webstérite et paragneiss, en contact transitionnel avec péridotites
(secteur du Lac Nadeau)

▪ Accumulation des sulfures

- Mine du lac Édouard et indice Rochette Ouest:
Présence de sulfures semi-massifs à massifs concentrés au contact ou à proximité du contact intrusion–encaissant
→ Sulfures concentrés dans une zone restreinte
- Autres indices:
Sulfures dispersés à travers les intrusions (à distance des bordures externes)
→ Pas d'accumulation de sulfures dans des pièges
- Pas de conduit magmatique identifié près des indices

Textures sulfures

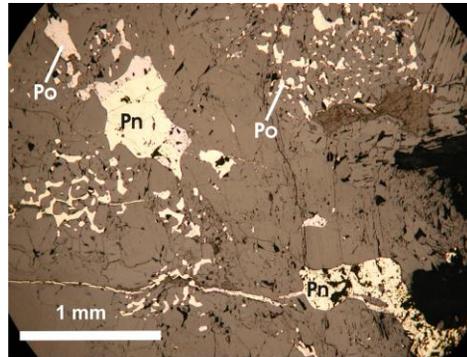
- Sulfures **disséminés** et **texture en filet**
- Sulfures **semi-massifs**
(Rochette Ouest, mine du lac Édouard)
- Sulfures **massifs**
(mine du lac Édouard)



Mine du lac Édouard

- **Texture vermiculaire**
(Lac Matte, Lac Nadeau)

- Po en intercroissance avec pyroxènes
- Probablement formée lors de réactions métamorphiques entre silicates et sulfures



Indice Lac Nadeau

- **Minéralisation: Po, Pn, ± Cpy, ± Py**

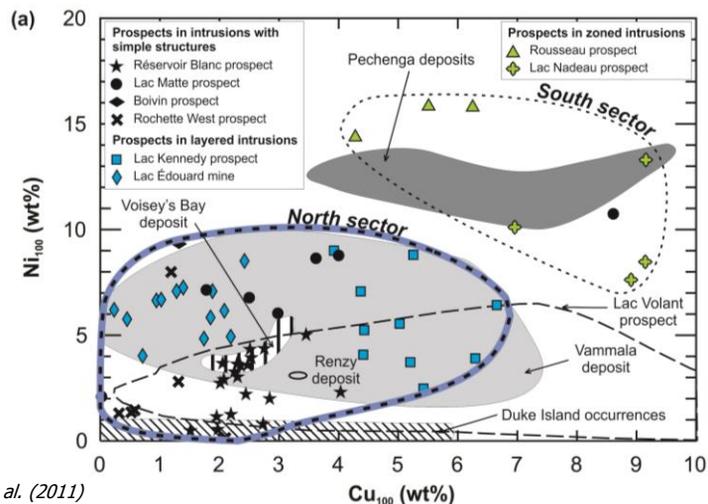
- Pn forme surtout des petits amas (« blebs ») dans Po

➔ **Redistribution des métaux entre les différentes espèces de sulfures et possiblement entre les sulfures et les silicates**

Contenus en métaux

- Indices contenus dans les intrusions à **structures simples** et dans les **intrusions litées** (secteur nord)

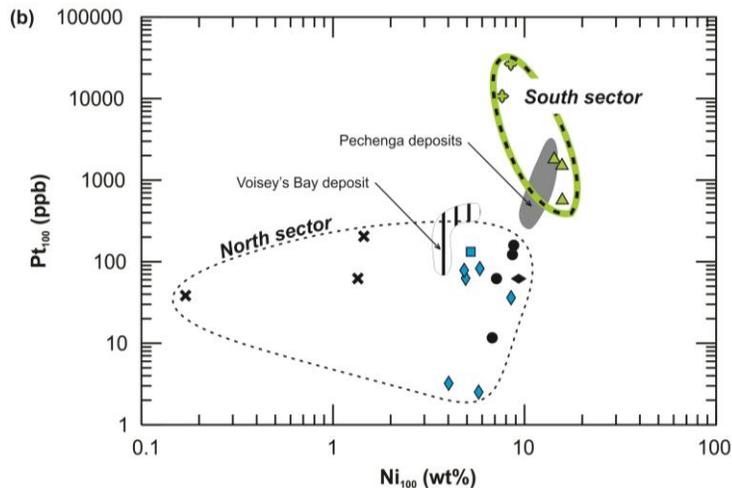
- **Sulfures riches en Ni et Cu:**
jusqu'à 10% Ni₁₀₀ et 7% Cu₁₀₀



Modifiée de Sappin et al. (2011)

- Indices contenus dans les **intrusions zonées** (secteur sud)

- Sulfures riches en **Ni et Cu**: 8 à 16% Ni₁₀₀, 4 à 9% Cu₁₀₀
- Sulfures riches en **EGP et Au**: 3–66 g/t (Pd+Pt)₁₀₀, 1–30 g/t Au₁₀₀



Sappin et al. (2011)

Modèle métallogénique

- Magmas parents primitifs

- Composition moyenne d'un **basalte primitif, tholéitique, hydraté d'arc océanique**, avec ~ 10% poids MgO
- Initialement **sous-saturés en sulfures**
 - Contenu en MgO modéré => Degré de fusion partielle modéré (10-25%)
 - Faible degré de fusion partielle (même < 10%) d'un manteau métasomaté (fO_2 élevée) peut générer des magmas sous-saturés en sulfures

▪ Interactions magmas–encaissants

• Evidences: éléments majeurs et traces

- Magmas associés avec la plupart des indices: riches en K_2O , Rb, Ba, Th et LREE/HREE, et ratios $(Th/Yb)_n$ élevés
- Mine du lac Édouard, Boivin, Rochette Ouest: $\epsilon_{Nd}(t)$ les plus faibles

➔ **Magmas contaminés par la croûte**

- Magmas associés à Rousseau: faibles en K, Rb, Ba et Th; appauvris à non-appauvris en LREE/HREE; ratios Th/Yb et Ta/Yb plus faibles
- Rousseau: $\epsilon_{Nd}(t)$ les plus élevés

➔ **Magmas moins contaminés par la croûte**

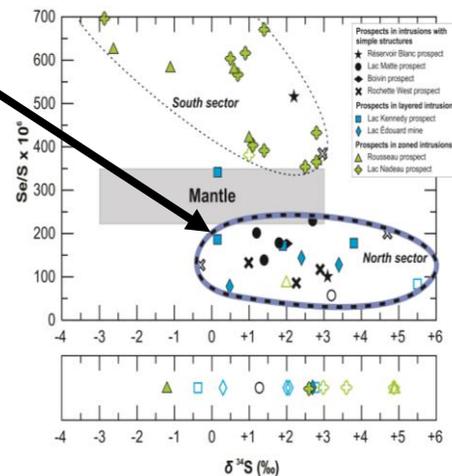
▪ Interactions magmas–encaissants

• Evidences: $\delta^{34}S$ et ratios Se/S

- Intrusions simples et litées

- $\delta^{34}S$ dans les sulfures > $\delta^{34}S$ dans les magmas dérivés du manteau
- Ratios Se/S dans les sulfures faibles et similaires aux ratios Se/S dans les roches encaissantes

➔ **Addition de S crustal**



Symboles vides = roches encaissantes
Symboles pleins = roches intrusives minéralisées

Sappin et al. (2011)

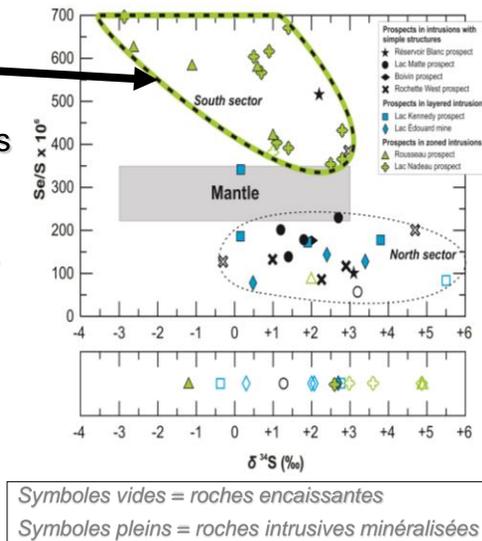
▪ Interactions magmas–encaissants

• Evidences: $\delta^{34}\text{S}$ et ratios Se/S

– Intrusions zonées

- $\delta^{34}\text{S}$ dans les roches encaissantes > $\delta^{34}\text{S}$ dans les sulfures
- $\delta^{34}\text{S}$ moyen dans les sulfures: plus faible dans les intrusions zonées
- Ratios Se/S dans les sulfures \geq ratios Se/S dans les roches encaissantes

➔ **Moins d'addition de S crustal**



Sappin et al. (2011)

▪ Ségrégation précoce de liquide sulfuré & interactions sulfures–magmas

• Contenu en métaux des liquides sulfurés

- Modélisé à l'aide de l'équation de fractionnement à l'équilibre de Campbell et Naldrett (1979):

$$C_i^{\text{sulfure}}/C_i^{\text{silicate}} = D_i(R + 1)/(R + D_i)$$

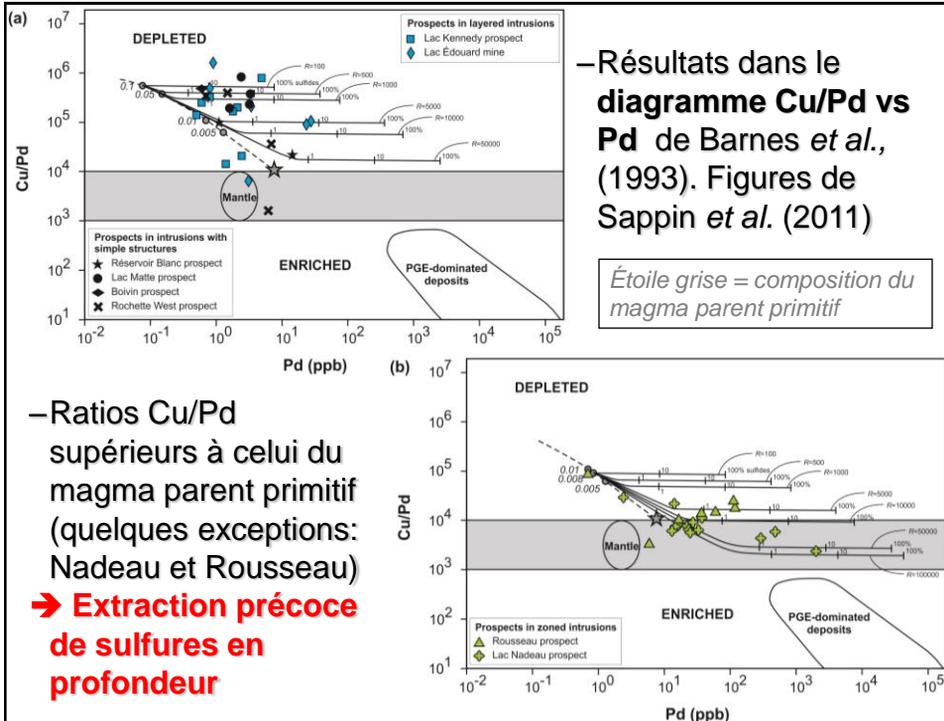
C_i^{silicate} = concentration initiale de l'élément i dans le liquide silicaté

C_i^{sulfure} = concentration finale de i dans le liquide sulfuré

D_i = coefficient de partage de i entre les liquides sulfuré et silicaté

R = ratio de masse du liquide silicaté sur le liquide sulfuré

- Contenus en Cu et Pd des magmas primitifs d'arc insulaire choisis pour représenter la composition du magma parent primitif



– Ratios Cu/Pd supérieurs à celui du magma parent primitif (quelques exceptions: Nadeau et Rousseau)
➔ Extraction précoce de sulfures en profondeur

▪ **Ségrégation précoce de liquide sulfuré & interactions sulfures–magmas**

• **Contenu en métaux des liquides sulfurés**

– Proportion de sulfures ségrégués précocement évaluée à l'aide de l'équation de fractionnement à l'équilibre suivante:

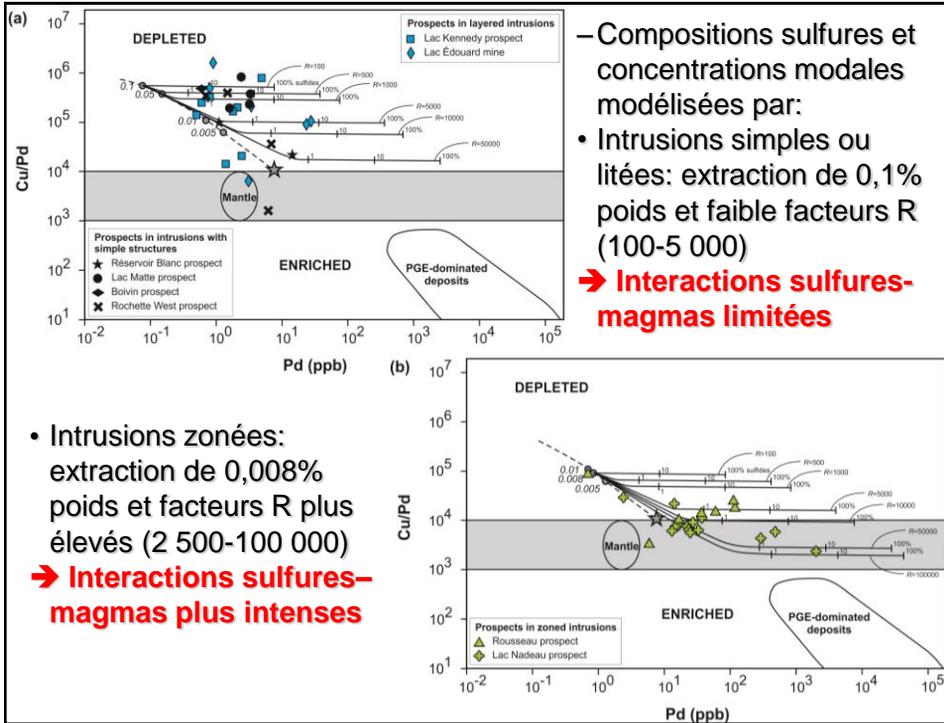
$$C_i^{\text{fract}}/C_i^{\text{silicate}} = 1/(1 + X(D_i - 1)/100)$$

C_i^{silicate} = concentration initiale de l'élément i dans le liquide silicaté

C_i^{fract} = concentration finale de i dans le liquide silicaté fractionné

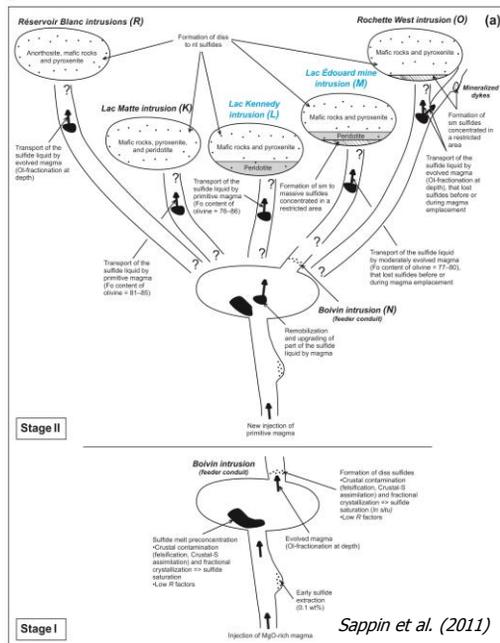
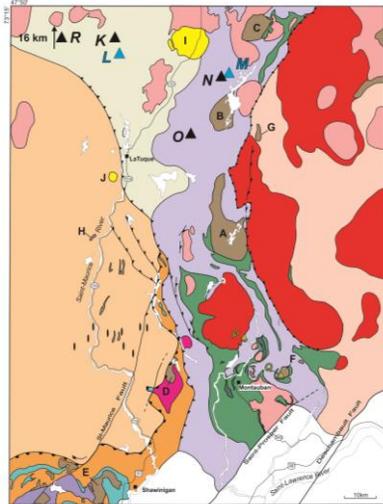
D_i = coefficient de partage de i entre les liquides sulfuré et silicaté

X = Proportion poids de sulfures ségrégués



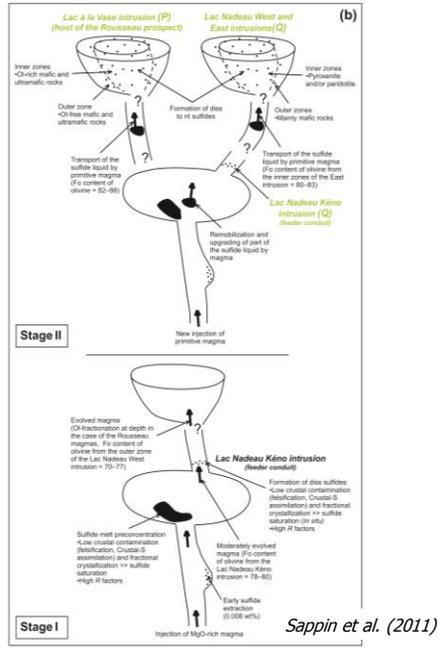
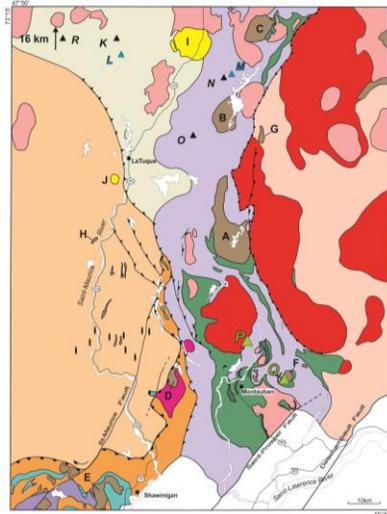
Modèle métallogénique

- Intrusions à structures simples ou litées (secteur nord)



Modèle métallogénique

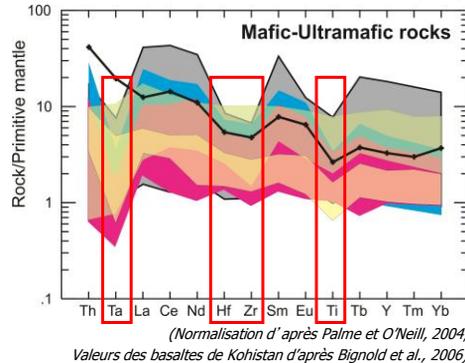
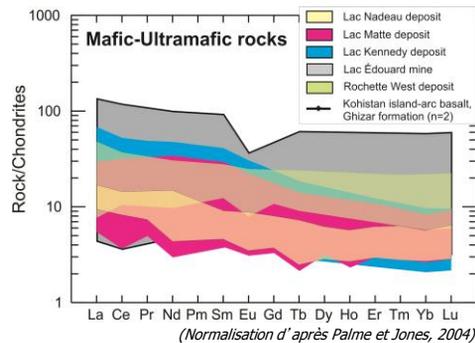
■ Intrusions zonées (secteur sud)



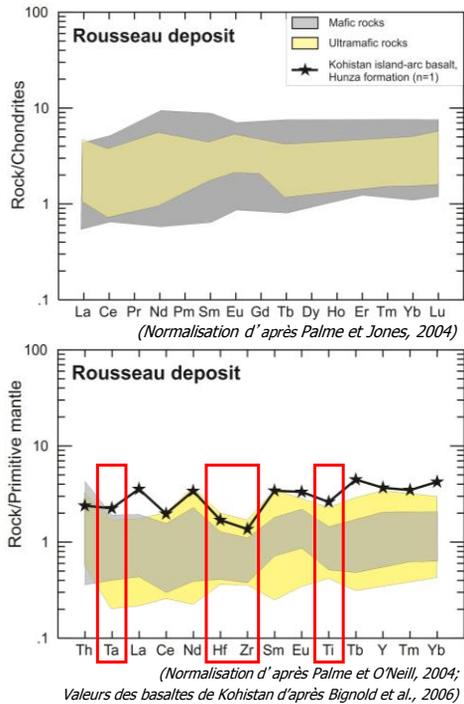
Géochimie - Contexte tectonique

■ Lac Matte, Lac Kennedy, mine du lac Édouard, Rochette Ouest, Lac Nadeau:

- Enrichissement LREE/HREE
- Anomalies négatives HFSE/REE
- ➔ **Contexte d'arc magmatique**
- Similarités avec les basaltes tholéïtiques du front volcanique de l'arc insulaire de Kohistan (Pakistan)
- ➔ **Contexte d'arc insulaire**

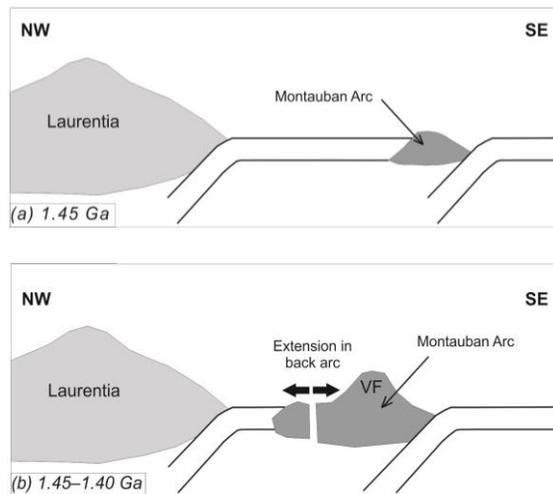


- Intrusion du lac à la Vase (indice Rousseau)
 - Anomalies négatives HFSE/ REE
 - **Contexte d'arc magmatique**
 - Profils REE: plats ou légèrement appauvris en LREE/HREE, comme un profile N-MORB
 - **Compatible avec un contexte d'arrière-arc**
 - Similarités avec les basaltes tholéïtiques du bassin d'arrière-arc de l'arc de Kohistan (Pakistan)
 - **Contexte de bassin d'arrière-arc**

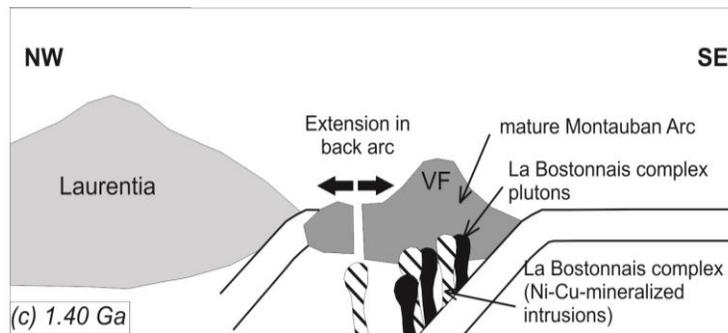


Modèle géotectonique

- **1,45 Ga**: subduction intra-océanique plongeant vers le NO
- **Formation de l'arc insulaire de Montauban**
- **1,45 Ga-1,40 Ga**: subduction de type andéenne plongeant vers le NO à la marge laurentienne
- **Formation du bassin d'arrière-arc**

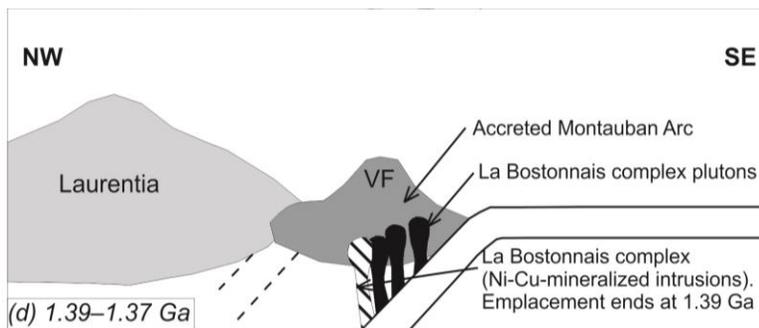


Sappin et al. (2009)



Sappin et al. (2009)

- **1,40 Ga:** Mise en place des plutons du complexe de La Bostonnais, incluant les **intrusions minéralisées en Ni-Cu±EGP**, dans l'arc de Montauban
 - Intrusions minéralisées injectées au niveau du front volcanique et plus rarement dans la zone arrière-arc

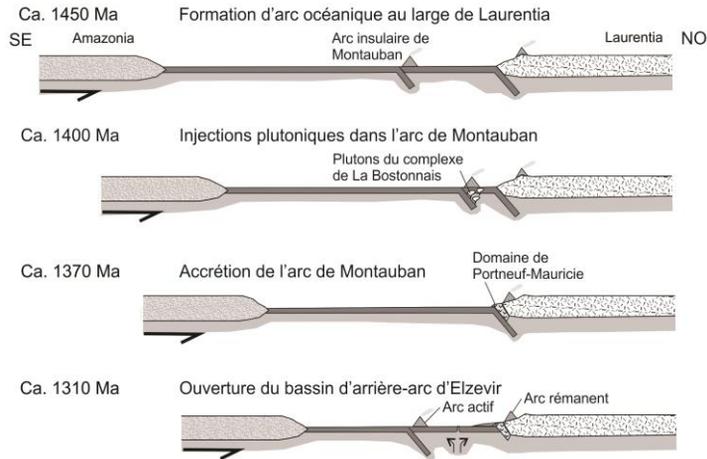


Sappin et al. (2009)

- **1,39 Ga:**
 - **Fin de l'injection des intrusions minéralisées en Ni-Cu±EGP**
 - Collision de l'arc de Montauban avec Laurentia
 - Fermeture du bassin d'arrière-arc
- **1,37 Ga:** Fin du magmatisme du complexe de La Bostonnais

Implications régionales

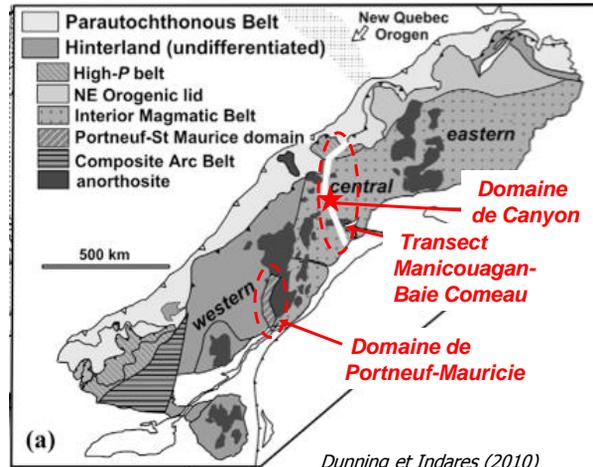
- Modèle d'évolution du domaine s'intègre au modèle d'évolution Mésoproterozoïque de la marge Laurentienne



Adapté de Hynes et Rivers (2010)

- Au Mésoproterozoïque, **magmatisme d'arc continental** à la marge est de Laurentia

- Mise en place des intrusions minéralisées du Domaine de Portneuf-Mauricie => arc insulaire au large de Laurentia

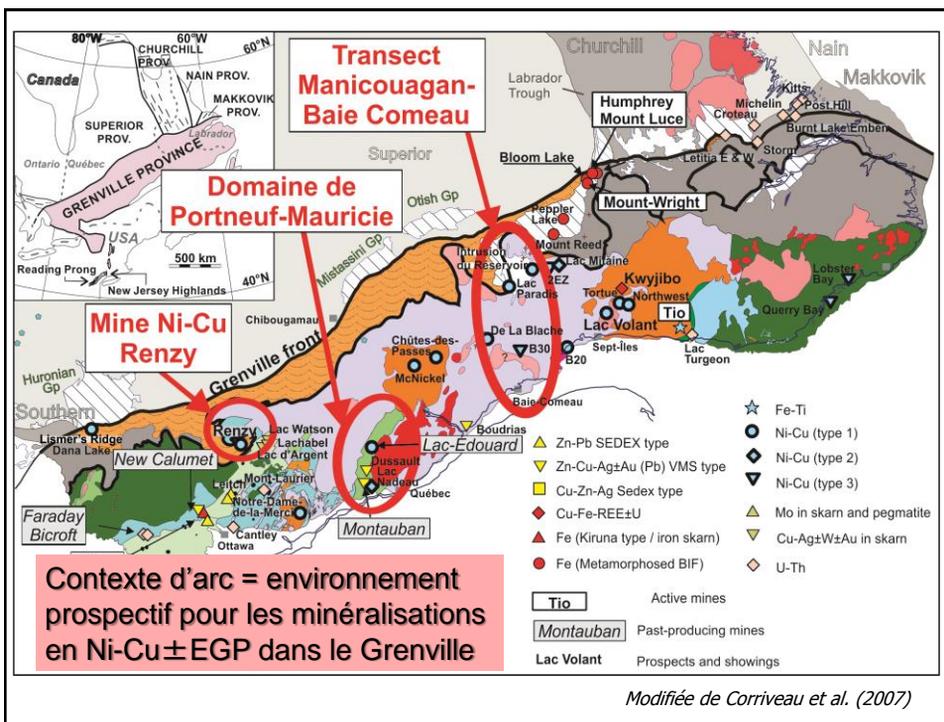


Dunning et Indares (2010)

- Équivalents aux roches du groupe de Montauban et du complexe de La Bostonnais dans la région de Manicouagan => **arc insulaire le long de toute la partie centrale de Laurentia**

Conclusions

- **Contexte géodynamique:** arc insulaire mature (1,40-1,39 Ga)
- **Magmas parents**
 - Source: manteau métasomaté
 - Composition mafique, tholéïtiques, hydratés
- **Modèle métallogénique en deux étapes**
 - Formation de liquide sulfuré dans une chambre magmatique en profondeur, puis remobilisation et transport dans une chambre magmatique superficielle
- **Différences indices secteur sud vs secteur nord**
 - Ex. intrusions zonées minéralisées: plus faible contamination crustale, perte précoce de sulfures moins importante, interactions magma-liquide sulfuré plus importantes
- **Implications pour l'exploration**



Remerciement

- Nous tenons à remercier les personnes qui ont collaboré à ce projet de recherche: Dr O. van Breemen (CGC), Dr J. David (UQAM), Dr L. Nadeau (CGC), Dr M. Choquette (UL), Mr M. Plante (UL), Mr E. David (UL), Mr. L. Laperrière (UL), Mr J.-F. Montreuil (UL). Ces données font parties intégrante d'un projet de doctorat financé par le réseau DIVEX, le MRNF, le CRSNG, et l'Université Laval.
- Nous souhaitons également remercier le projet IGC-4 de la CGC pour la diffusion de ces résultats, ainsi que le Dr M. Houlé (CGC) pour ses commentaires et suggestions ayant contribué à l'amélioration de cette présentation.



Références

- Barnes, S.-J. - Couture, J.-F. - Sawyer, E.W. - Bouchaib, C., 1993 - Nickel-copper occurrences in the Belleterre-Angliers belt of the Pontiac subprovince and the use of Cu-Pd ratios in interpreting platinum-group element distributions. *Economic Geology*, 88, 1402-1418.
- Bignold, S.M. - Treloar, P.J. - 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.
- Campbell, I.H. - Naldrett, A.J., 1979 - The influence of silicate:sulfide ratios on the geochemistry of magmatic sulfides. *Economic Geology*, 74, 1503-1506.
- Corriveau, L. - Perreault, S. - Davidson, A., 2007 - Prospective metallogenic settings of the Grenville Province. In: Goodfellow, W.D. (Ed), *Mineral deposits of Canada: a synthesis of major deposit-types, district metallogeny, the evolution of geological provinces, and exploration methods*. Geological Association of Canada, Special Publication, 5, 819-847.
- Dunning, G. - Indares, A., 2010 - New insights on the 1.7–1.0 Ga crustal evolution of the central Grenville Province from the Manicouagan – Baie Comeau transect. *Precambrian Research*, 180, 204-226.
- Hynes, A. - Rivers, T., 2010 - Protracted continental collision – evidence from the Grenville Orogen. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 47, 591-620.

Références (suite)

- Nadeau, L. - 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. - 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. - Jones, A., 2004 - Solar system abundances of the elements. In: Davis, A.M. (Ed), Treatise on geochemistry - Meteorites, comets, and planets, 1, 41-61.
- Palme, H. - O'Neill, H.St.C., 2004 - Cosmochemical estimates of mantle composition. In: Carlson, R.W. (Ed), Treatise on geochemistry - The mantle and core, 2, 1-38.
- Sappin, A.-A. - Constantin, M. - Clark, T. - 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.
- Sappin, A.-A. - Constantin, M. - Clark, T., 2011 - Origin of magmatic sulfides in a Proterozoic island arc – an example from the Portneuf-Mauricie Domain, Grenville Province, Canada. Mineralium Deposita, 46, 211-237.