

---

# OPPORTUNITÉ DES MINÉRALISATIONS EN MO POUR LES APPALACHES

---

**Projet 2005-09**

Par : Pierre- Simon Ross, Ph.D.

AVRIL 2006



---

## AVERTISSEMENT

---

Ce document présente certains résultats des travaux de recherche du CONSOREM (Consortium de Recherche en Exploration minérale) rendus publics au bénéfice de l'ensemble de la communauté géologique, ceci après la période de confidentialité prévue aux règlements généraux du CONSOREM.

Bien que ce document ait subi un processus d'évaluation interne, des erreurs ou omissions peuvent s'y retrouver et seul CONSOREM en assume la responsabilité.

Le contenu du document demeure la propriété de son auteur et du CONSOREM et peut être reproduit en totalité ou en partie à des fins non- commerciales en citant la référence suivante :

*Ross, P.-S. 2006. Opportunité des minéralisations en Mo pour les Appalaches. Rapport du projet CONSOREM 2005-09, 29 pages.*

Toutefois, la reproduction multiple de ce document, en tout ou en partie, pour diffusion à des fins commerciales est interdite, sauf avec la permission écrite de CONSOREM.

### CONSOREM

Université du Québec à Chicoutimi  
555, boulevard de l'Université  
Chicoutimi, QC, G7H 2B1

Tél. : (418) 545-5011 poste 5634

Courriel : [consorem@uqac.ca](mailto:consorem@uqac.ca)  
Site Web: [www.consorem.ca](http://www.consorem.ca)

---

## RÉSUMÉ

---

Le prix du molybdène a connu une hausse spectaculaire depuis 2004, créant un contexte très positif pour l'exploration et l'exploitation de gîtes de ce métal. La vaste majorité du molybdène produit dans le monde provient de grands gisements à faible teneur, soit de porphyres cuprifères (où le Mo est un sous-produit) ou de porphyres à Mo de type 'rift'. Ces derniers sont caractérisés par de faibles teneurs en Cu, des concentrations parfois exploitables de Sn et W, une présence de minéraux du fluor, une association avec un magmatisme intraplaque très évolué, et un contexte tectonique en extension. L'autre type de porphyre à Mo, le type 'arc' – dont les gîtes ont rarement été exploités en raison notamment de très faibles teneurs en Mo – contient davantage de Cu, peu ou pas de Sn et de W, est pauvre en fluor et est associé aux arcs magmatiques avec des magmas calco-alcalins.

La présente étude avait principalement pour mandat d'examiner les opportunités pour les minéralisations où le molybdène est la substance principale, dans les Appalaches du Québec. L'étude a porté surtout sur la Gaspésie, un territoire qui possède un potentiel connu pour les minéralisations Cu-Mo de type porphyrique, mais qui pourrait aussi être favorable aux porphyres à molybdène de type 'rift' si on en croit la géochimie des roches ignées felsiques. En effet, sur un diagramme du ratio Rb/Sr en fonction de SiO<sub>2</sub>, par exemple, on voit que les granitoïdes et autres roches felsiques du centre nord de la Gaspésie – où les granitoïdes dévoniens sont les plus répandus – tombent dans deux groupes distincts. Le premier groupe comprend des roches moins évoluées, généralement calco-alcalines, associées notamment aux porphyres cuprifères du secteur de Murdochville (Mines Gaspé). Ce groupe de roches se superpose à un champ géochimique défini par des intrusions associées à des porphyres cuprifères ailleurs dans le monde.

Le second groupe d'analyses géochimiques gaspésiennes sur le diagramme discriminant comprend des échantillons plus évolués, certains ayant une signature « intraplaque », provenant notamment de l'intrusion des Monts McGerrigle, des dômes de laves rhyolitiques en marge du dôme de Lemieux, et de dykes felsiques du même secteur. Certaines de ces analyses se superposent partiellement avec les champs définis pour des intrusions et d'autres roches felsiques génétiquement associées à des porphyres à Mo aux États-Unis. On obtient sensiblement les mêmes signatures sur un diagramme Nb/Zr vs SiO<sub>2</sub>. Des anomalies positives en Mo sont aussi observées dans les sédiments de ruisseaux pour les secteurs des Monts McGerrigle et du dôme de Lemieux, notamment. Il faut cependant mentionner qu'aucun indice de molybdène sans cuivre n'est pour l'instant répertorié dans Sigéom pour la Gaspésie.

Une stratégie d'exploration intéressante pour les porphyres à molybdène en Gaspésie pourrait impliquer la recherche d'intrusions évoluées enfouies, en association avec la géochimie des roches felsiques affleurantes (plutons, dykes, dômes de lave) et la géochimie des sédiments de ruisseaux. La recherche d'intrusions enfouies pourrait se faire grâce à une combinaison de méthodes (géophysique, cristallinité des illites ou minéralogie des argiles dans les roches sédimentaires de la ceinture de Gaspé, etc.).

À part la Gaspésie, une autre région pouvant receler un potentiel pour le molybdène dans les Appalaches du Québec est l'Estrie-Beauce. Deux porphyres à Cu-Mo sont situés dans le nord du Maine, à l'intérieur du massif de Chain Lakes. Le massif en question se poursuit au Québec, où l'on a identifié un petit indice de Cu-Mo de type porphyrique, possiblement du même âge que les deux gisements du Maine (Silurien). Le magmatisme dévonien de l'Estrie-Beauce pourrait être encore plus intéressant : le gîte porphyrique à Mo-Cu de Copper Stream-Frontenac (réserves probables de 0,6 Mt @ 0,54 % Mo, une bonne teneur), en bordure de l'intrusion de Sainte-Cécile / Saint-Sébastien, demeure le meilleur exemple du potentiel de cette région.

---

## TABLE DES MATIÈRES

---

AVERTISSEMENT .....	i
Résumé .....	ii
Table des matières .....	iii
Liste des figures .....	iii
Liste des tableaux.....	iv
1 Mise en contexte et approche géochimique.....	1
1.1 Introduction générale.....	1
1.2 Contexte économique.....	1
1.3 Types de gîte de molybdène et exemples.....	3
1.4 Géochimie des roches ignées et pyroclastiques associées aux porphyres à Mo de type 'rift' .....	7
2 Opportunité des minéralisations en Mo pour la Gaspésie .....	9
2.1 Géologie et minéralisations de la Gaspésie .....	9
2.2 Potentiel pour les porphyres à Mo de type 'rift' en Gaspésie .....	13
2.3 L'approche des intrusions enfouies .....	17
2.4 Guides d'exploration .....	18
3 Extension de l'approche à l'ensemble des Appalaches du Québec – quelques pistes .....	19
3.1 Granitoïdes ordoviciens ou siluriens? .....	19
3.2 Granitoïdes dévoniens.....	22
Remerciements .....	25
Références .....	26
ANNEXE: Comparaison détaillée des porphyres à Mo de type 'rift' et de type 'arc', compilée par Rowe (2005) .....	29

---

## LISTE DES FIGURES

---

Figure 1. Prix moyen annuel des concentrés de molybdène depuis 1955. Source des données: "Metal Prices in the United States through 1998" (U. S. Geological Survey) et "Mineral Commodity Summaries" (USGS) .....	2
Figure 2. Section schématique d'un corps minéralisé et d'une coupole felsique dans un porphyre à Mo de sous-type 'Climax' (ex. Henderson, Climax), d'après Shinohara et al. (1995).....	4
Figure 3. Séquence temporelle d'intrusion et de minéralisation à la mine Henderson, Colorado, d'après Carten et al. (1988a).....	5
Figure 4. Section longitudinale pour la « Southwest Zone » à Questa, d'après Ross et al. (2002).....	6
Figure 5. Section schématique du conduit volcanique de Pine Grove et des unités extrusives associées, modifiée d'après Keith et al. (1986).....	6
Figure 6. Diagramme Rb/Sr versus SiO <sub>2</sub> (base anhydre) pour des suites intrusives associées à la minéralisation pour deux porphyres cuprifères (Copper Flat, Nouveau-Mexique; Escondita, Chili) et les intrusions minéralisatrices à la mine Henderson (porphyre à Mo de type 'rift') .....	7
Figure 7. Diagramme Rb/Sr versus SiO <sub>2</sub> (base anhydre) pour les roches du secteur de Pine Grove, un porphyre à Mo de type 'rift' .....	8
Figure 8. Diagramme Nb/Zr versus SiO <sub>2</sub> (base anhydre) pour les roches magmatiques associées à deux porphyres cuprifères et trois porphyres à Mo de type 'rift' .....	8
Figure 9. Géologie simplifiée de la Gaspésie montrant la distribution des roches sédimentaires et volcaniques selon leur âge .....	9

Figure 10. Géologie simplifiée du centre nord de la Gaspésie montrant les roches sédimentaires et volcaniques selon leur âge et les indices minéralisés du Sigéom, classés par substances principales. ....	10
Figure 11. Carte du camp magnétique total pour le même secteur que la figure précédente .....	11
Figure 12. Géologie du secteur du dôme de Lemieux (structure circulaire au centre de l'image), dans le nord de la Gaspésie (modifié d'après Sigéom). ....	12
Figure 13. Coupe schématique est-ouest du dôme de Lemieux, d'après Bellehumeur et Valiquette (1993) .....	13
Figure 14. Diagramme Rb/Sr versus SiO <sub>2</sub> (base anhydre), avec les champs définis sur les figures 6 et 7, appliqué aux roches felsiques du centre nord de la Gaspésie .....	14
Figure 15. Diagramme Nb/Zr versus SiO <sub>2</sub> (base anhydre), avec les champs définis sur les figures 6 et 7, appliqué aux roches felsiques du centre nord de la Gaspésie.....	15
Figure 16. Localisation des échantillons de sédiments de ruisseaux (petites croix) dans le centre nord de la Gaspésie. Un total de > 80 000 échantillons ont été analysés sur l'ensemble de la péninsule. ....	16
Figure 17. Carte du cuivre dans les sédiments de ruisseaux pour le centre nord de la Gaspésie (maille établie par interpolation, cellule de 200 m, rayon de recherche 4 km). Le 99 <sup>e</sup> percentile (pour toute la Gaspésie) correspond à des teneurs en Cu d'environ 120 ppm, alors que le 95 <sup>e</sup> percentile est à environ 50 ppm .....	16
Figure 18. Carte du molybdène dans les sédiments de ruisseaux pour le centre nord de la Gaspésie (interpolation, cellule de 200 m, rayon de recherche 4 km). Le 99 <sup>e</sup> percentile (pour toute la Gaspésie) correspond à des teneurs en Mo de 6 ppm, alors que le 95 <sup>e</sup> percentile est entre 2 et 3 ppm.....	17
Figure 19. Schéma simpliste montrant le niveau d'érosion idéal dans une perspective d'exploration pour des porphyres à Mo de type 'riff' .....	18
Figure 20. Carte du sud du Québec et du nord de la Nouvelle-Angleterre montrant la position de la granodiorite 'Attean' (âge ordovicien, en rose) à l'intérieur du massif de Chain Lakes. ....	20
Figure 21. Coupe structurale des Appalaches pour le sud du Québec et la Nouvelle-Angleterre montrant les minéralisations liées à l'épisode taconique, d'après Gauthier et al. (1994) .....	21
Figure 22. Carte du sud du Québec et du nord de la Nouvelle-Angleterre montrant la métallogénie des Appalaches en lien avec l'épisode acadien, d'après Gauthier et al. (1994).....	23
Figure 23. Coupe structurale des Appalaches pour le sud du Québec et la Nouvelle-Angleterre montrant les minéralisations liées à l'épisode acadien (fermeture de l'océan Iapetus), d'après Gauthier et al. (1994).....	24

---

## LISTE DES TABLEAUX

---

<a href="#">Tableau 1: Classification des porphyres à molybdène</a> .....	3
---	---

---

# 1 MISE EN CONTEXTE ET APPROCHE GÉOCHIMIQUE

---

## 1.1 Introduction générale

Le molybdène (Mo) est un élément d'alliage très efficace dans la fabrication de l'acier, un produit dont la demande est en forte croissance. Le prix du molybdène est conséquemment en forte hausse depuis quelques années (voir section 1.2 pour les détails), ce qui entraîne un intérêt renouvelé de plusieurs compagnies minières par rapport à ce métal commun.

Le projet 2005-9 du CONSOREM se voulait au départ une étude de faisabilité dont l'objectif était d'évaluer de nouvelles opportunités pour les minéralisations en Mo pour la Gaspésie, en particulier les minéralisations où le Mo est la substance principale (par opposition aux porphyres à Cu-Mo comme dans le secteur de Murdochville). Suite aux discussions avec le comité de gestion du CONSOREM, ce rapport intègre également quelques pistes de réflexion sur le potentiel pour le reste des Appalaches du Québec.

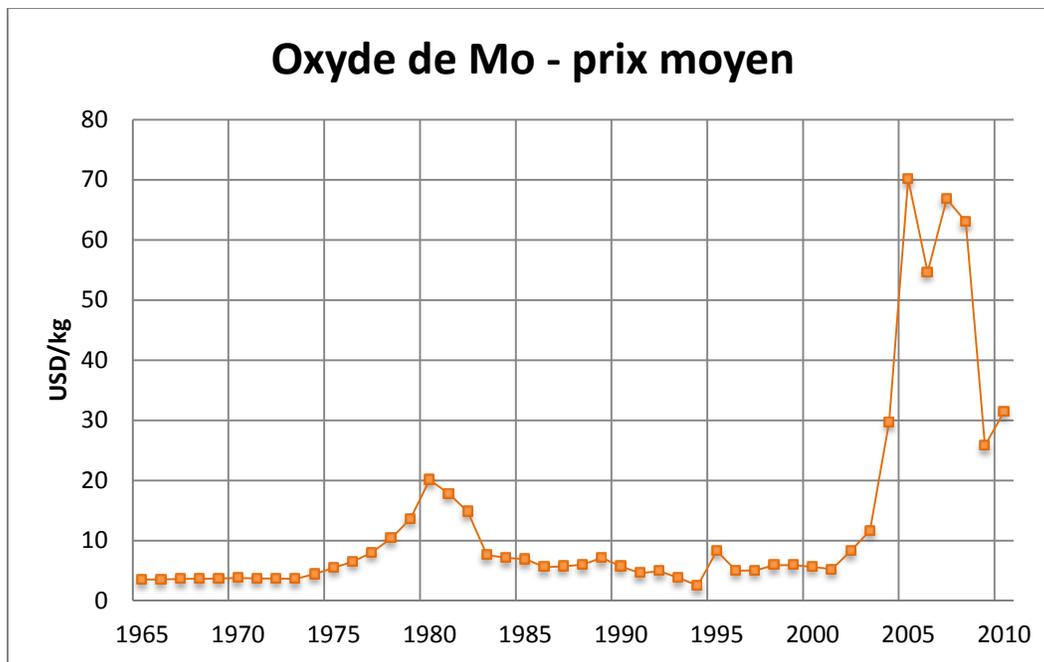
La section 1 traitera du contexte économique actuel pour le Mo (très favorable), des grands types de gisements et de leur importance économique et, enfin, d'une approche géochimique empirique permettant d'identifier des roches felsiques (pas nécessairement des intrusions) favorables pour les gisements riches en Mo.

La section 2, qui constitue le cœur du rapport, discute de l'opportunité des minéralisations en Mo pour la Gaspésie. Après avoir résumé brièvement la géologie et les minéralisations connues de la Gaspésie, nous examinons spécifiquement son potentiel pour les porphyres à Mo de type 'riff'. Il s'agit du principal type de gîte primaire de Mo dans le monde quant à son importance économique. Notre approche utilise principalement les diagrammes géochimiques discriminants développés dans la partie 1 et, dans une moindre mesure, la géochimie des sédiments de ruisseaux. Cette section se conclut par un sommaire des guides d'exploration et des recommandations pour une suite éventuelle à ce projet en Gaspésie.

La troisième et dernière section se veut un bref aperçu du potentiel du reste des Appalaches du Québec, en particulier l'Estrie-Beauce, pour les porphyres à Mo. Nous n'avons pas eu l'occasion d'examiner la géochimie des roches felsiques, la géophysique régionale, ou la géochimie des sédiments de ruisseaux dans ces régions, donc nous nous contentons de résumer le contexte géologique et les caractéristiques des indices et gîtes de Mo connus.

## 1.2 Contexte économique

Le prix du molybdène a progressé de façon spectaculaire depuis le début de la décennie, atteignant en 2005 des sommets sans précédent (au moins en dollars courants). Ainsi, le prix d'un kilogramme d'oxyde est passé de 5,20 USD en 2001 à plus de 70 USD pour 2005. Il s'agit d'une augmentation de plus de 1 000 %. Et pour 2010, il se tient à 31,42 USD (**Figure 1**).



**Figure 1.** Prix moyen annuel des concentrés de molybdène/-+-e depuis 1965. Source des données: “Metal Prices in the United States through 1998” (U.S. Geological Survey) et “Mineral Commodity Summaries” (USGS), et les données entre 2005 et 2009 proviennent de <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/molybdenum/mcs-2010-molyb.pdf>

Comment expliquer cette hausse sans précédent? Il faut savoir que l’industrie de l’acier consomme quelque 80 % de la production de Mo – entre autres pour l’acier inoxydable. Or, la demande pour l’acier est en augmentation particulièrement à cause de la croissance économique en Chine et en Inde. La Chine, qui exportait de grandes quantités de Mo à faible prix jusqu’à peu, serait ainsi devenue un consommateur net du métal (source : Prof. Michel Gauthier, UQAM). Une hausse des prix de plus de 1000 % ne semble pas soutenable à long terme, on peut donc s’attendre à ce que le prix du Mo diminue au cours des prochaines années (suite notamment à une hausse de l’offre), mais avec un prix plancher plus élevé que celui des années 1980 et 1990.

Freeport-McMoRan Copper & Gold (FCX) (anciennement Phelps Dodge) a augmenté la production de la mine Henderson, au Colorado (producteur primaire) 58,1 millions de livres (lb) en 2009 (FCX web site<sup>1</sup>) (par rapport à 27,5 millions de lb pour 2004; *The Mining News*, 24 mai 2005). Des études économiques et géotechniques sont présentement en cours pour déterminer si la mine Climax, aussi au Colorado, reprendra ses activités. Ces deux gisements sont très similaires, étant tous deux des porphyres à Mo (sans Cu) de type ‘riff’ (détails sur la typologie plus bas). Le plan original de PD était de « laisser dormir » Climax jusqu’à l’épuisement de Henderson, mais avec la hausse récente des prix, l’occasion pourrait être trop belle. Si une annonce de la réouverture de Climax est faite en 2006 – le 8 décembre 2005, le *Herald Democrat* de Leadville, Colorado, citait un représentant PD à l’effet de quoi la décision prendrait encore « plusieurs mois » – l’interprétation évidente est que PD considère que le marché du Mo est favorable pour les producteurs primaires. Par contre, si la mine ne reprend pas ses activités, il pourrait s’agir soit de perspectives économiques défavorables, soit de problèmes géotechniques.

<sup>1</sup> FCX - [http://www.fcx.com/ir/AR/2009/FCX\\_AR\\_2009.pdf](http://www.fcx.com/ir/AR/2009/FCX_AR_2009.pdf)

En 2005, la mine de cuivre Bingham en Utah, détenue par Rio Tinto, a optimisé son usine de traitement du minerai pour maximiser la récupération de molybdène, tout en commençant à exploiter un corps minéralisé riche en Mo (Magyar, 2006).

D'autres rumeurs mentionnent une possible mise en production du gisement de Mt Hope au Nevada (porphyre à Mo de type 'rift') par la compagnie General Moly, la reprise de travaux d'exploration à Mount Pleasant au Nouveau-Brunswick (porphyre à W-Mo) par la compagnie Adex, des études en Colombie-Britannique, etc.

### 1.3 Types de gîte de molybdène et exemples

La majorité du Mo miné dans le monde est un sous-produit des porphyres à Cu, donc cette production dépend essentiellement du prix du Cu qui est à son plus haut niveau depuis 2 ans<sup>2</sup> et a atteint 7 536 USD la tonne<sup>3</sup> (le blog finance, 7 nov. 2010 ; Radio Canada, 6 janv. 2010). Du côté des producteurs primaires, la vaste majorité de la production vient des porphyres à Mo de type 'rift', qui sont beaucoup plus riches en molybdène que les porphyres à Mo de type 'arc' (qui contiennent davantage de Cu). En fait, bien peu de porphyres à Mo type 'arc' ont été mis en production. Les deux types de gîtes diffèrent non seulement par leurs teneurs en Mo, mais aussi par leur contexte tectonique, la géochimie des intrusions associées et leurs associations métalliques (**Tableau 1**; voir aussi document en annexe).

Les porphyres à Mo de type 'rift' constituent un type de gîte relativement bien compris en termes de caractéristiques et de modèle génétique. Les gisements de ce type sont clairement associés à des intrusions très différenciées (plus de 75 % SiO<sub>2</sub>), riches en fluor, mises en place dans un contexte d'extension intraplaque. Le Mo qui vient de l'intrusion, est concentré par des processus magmatiques (différentiation, etc.) et voyage dans des fluides magmatiques-hydrothermaux (éventuellement dilués par l'eau météoritique) vers le sommet d'une coupole et vers l'encaissant. La nature de l'encaissant de l'intrusion semble avoir assez peu d'importance (granites à Henderson, andésites à Questa, etc.).

**Tableau 1.** Classification des porphyres à molybdène

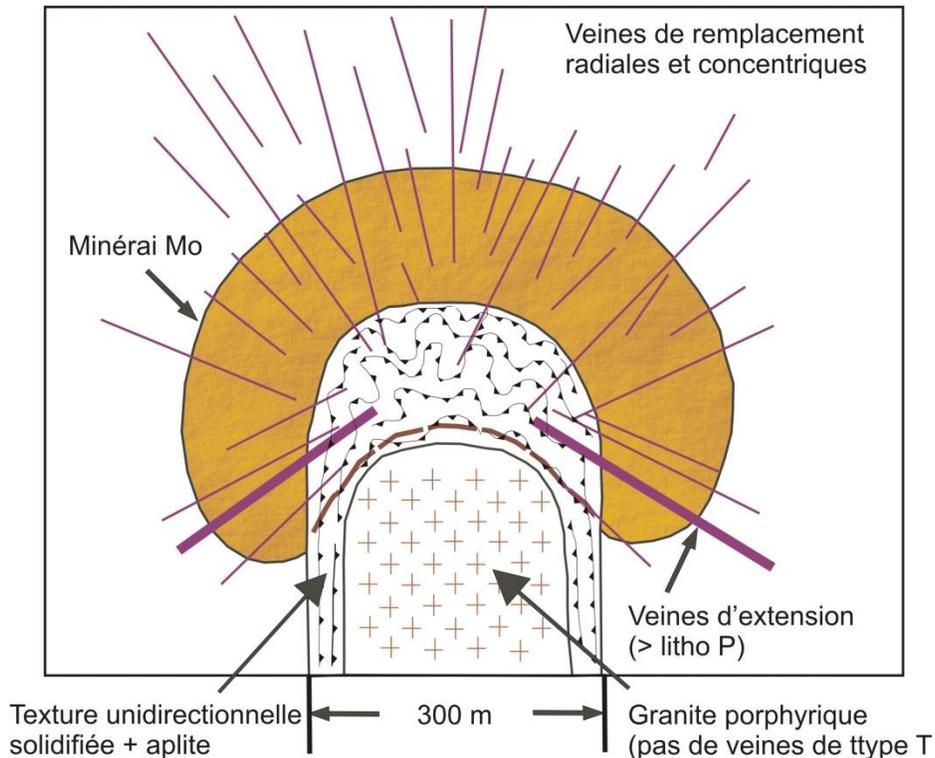
	TYPE RIFT	TYPE ARC
<b>Teneurs moyennes</b>	0,25-1,0 % MoS <sub>2</sub>	<0,25 % MoS <sub>2</sub>
<b>Association métallique</b>	Cu pratiquement absent, mais davantage de W, U, Nb	Présence de Cu
<b>Teneur en fluor</b>	Riche en F (fluorite, topaze, micas)	Pauvre en F
<b>Géochimie des intrusions</b>	Multiplés intrusions à chimie rhyolitique (>75 % SiO <sub>2</sub> ), souvent alcaline	Intrusions calcoalcalines : monzogranite - monzonite à quartz
<b>Paysage</b>	Magmatisme intraplaque régional, de longue durée – association avec caldeiras, volcanisme felsique	Arcs magmatiques
<b>Tectonique</b>	Extension intraplaque	Zones de subduction
<b>Exemples</b>	Climax (Colorado), Henderson (Colorado), Questa (Nouveau-Mexique)	Endako (Colombie-Britannique), Quartz Hill (Alaska)

Sources: Sillitoe (1980); Carten et al. (1993).

<sup>2</sup> Le blog finance - <http://www.leblogfinance.com/2010/11/le-cours-du-cuivre-a-son-plus-haut-depuis-2-ans.html>

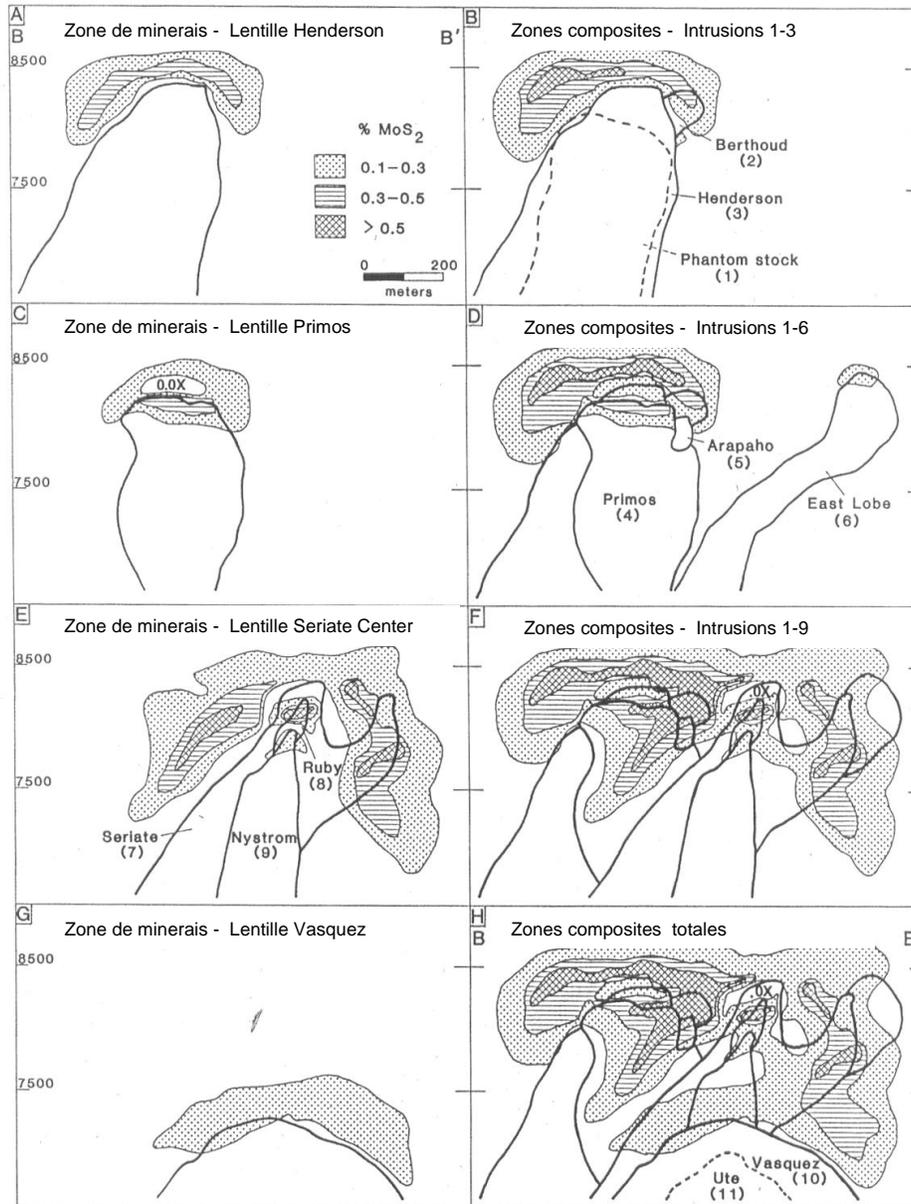
<sup>3</sup> <http://www.radio-canada.ca/regions/abitibi/2010/01/05/001-prix-cuivre.shtml?ref=rss>

Le « type Climax » est un sous-type des porphyres à Mo de type 'riff' dans la classification de Carten et al. (1993) – seules les mines Henderson et Climax possèdent toutes les caractéristiques du sous-type 'Climax'. Le corps minéralisé typique pour ces gisements est un stockwerk de veinules de quartz-molybdénite ( $\text{MoS}_2$ ) ayant une forme convexe (*inverted teacup shape*), situé au sommet d'une coupole porphyrique ou aplitique (**Figure 2**). Des textures de solidification unidirectionnelle formant parfois une roche nommée « *brain rock* », se rencontrent au sommet de la coupole intrusive.



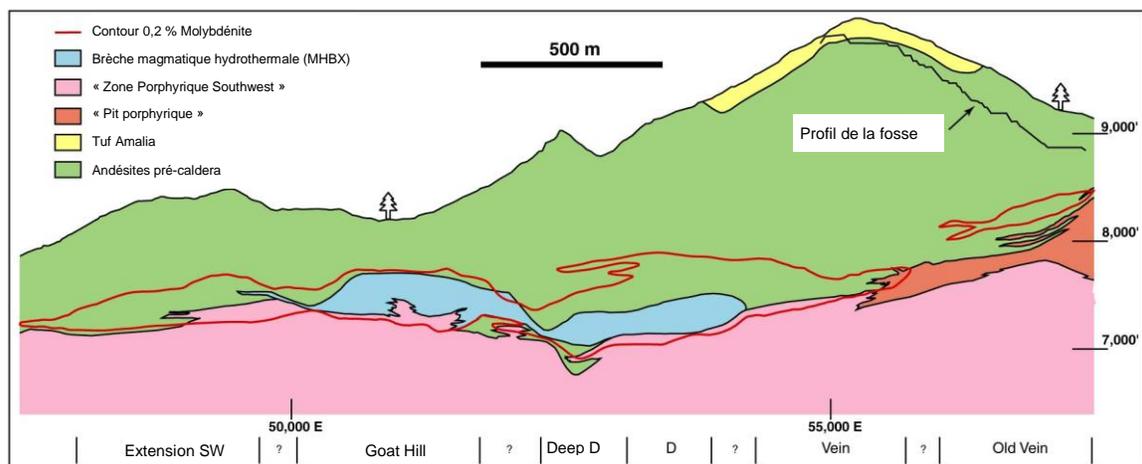
**Figure 2.** Section schématique d'un corps minéralisé et d'une coupole felsique dans un porphyre à Mo de sous-type 'Climax' (ex. Henderson, Climax), d'après Shinohara et al. (1995). 'UST' signifie « unidirectional solidification textures »; ces textures sont typiques du sous-type 'Climax', pas nécessairement des autres porphyres à Mo de type 'riff'.

À la mine Henderson, Carten et al. (1988a) ont démontré la superposition latérale et verticale de plus de dix corps minéralisés, chacun étant associé à une coupole intrusive (**Figure 3**). C'est cette superposition qui a donné un gisement si riche et si gros (800 Mt @ 0,28 %  $\text{MoS}_2$ ; Carten et al., 1988b). À Climax, plusieurs corps minéralisés ayant une forme convexe se superposent verticalement (White et al., 1981).



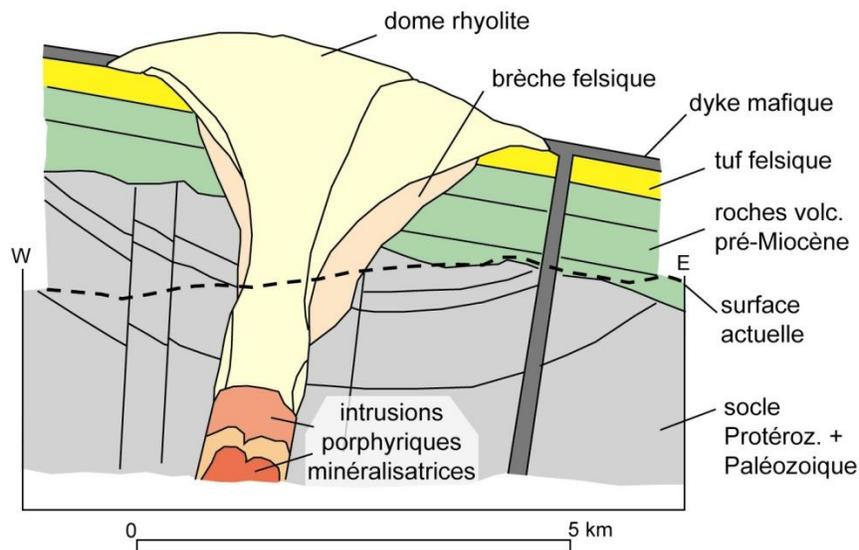
**Figure 3.** Séquence temporelle d'intrusion et de minéralisation à la mine Henderson, Colorado, d'après Carten et al. (1988a). Les images de gauche montrent des corps minéralisés associés à des intrusions spécifiques, alors que les images de droite montrent la superposition de tous les épisodes depuis le début. Dix intrusions ont contribué au gisement (le 'Ute Stock' est stérile).

Dans les gisements n'appartenant pas au sous-type « Climax », les textures de solidification unidirectionnelle peuvent être absentes et la minéralisation n'a pas toujours l'aspect typique montré à la **Figure 2**. Par exemple à Questa (277 Mt @ ~0,25 % MoS<sub>2</sub>; Carten et al., 1993), un contrôle structural important génère une série de corps minéralisés allongé horizontalement dans la « Southwest Zone ». Sur une section longitudinale (**Figure 4**), on aperçoit également deux importantes zones de brèche hydrothermales minéralisées, situées juste au-dessus du contact avec les intrusions porphyriques (« Southwest Zone porphyry »). Ces brèches sont recoupées par un stockwerk à quartz-molybdénite plus classique. Ross et al. (2002) estiment que pour le corps minéralisé Goat Hill, 30 à 40 % du Mo est associé à la mise en place de la brèche (le reste étant associé au stockwerk).



**Figure 4.** Section longitudinale pour la « Southwest Zone » à Questa, d'après Ross et al. (2002). La minéralisation est montrée par le contour rouge (teneur de coupure de 0,2 % MoS<sub>2</sub>). Le tuf Amalia (en jaune) est un dépôt pyroclastique felsique associé à la mise en place d'une caldeira dans le secteur, environ 1,5 Ma avant l'arrivée des intrusions felsiques minéralisatrices.

Un autre exemple intéressant est celui de Pine Grove en Utah (125 Mt @ 0,3 % MoS<sub>2</sub>; Sillitoe, 1980). Ce gisement illustre bien la relation entre le volcanisme felsique et les porphyres à Mo de type 'rift' (voir aussi Sillitoe et Bonham, 1984, à ce sujet). La section schématique de Pine Grove – reconstituée pour tenir compte de l'érosion de la partie supérieure du système – montre un conduit volcanique important, duquel est sorti le tuf felsique de Pine Grove. Ce même conduit a servi à la mise en place de dômes de rhyolite et, plus en profondeur, d'intrusions porphyriques associées au gisement (**Figure 5**).

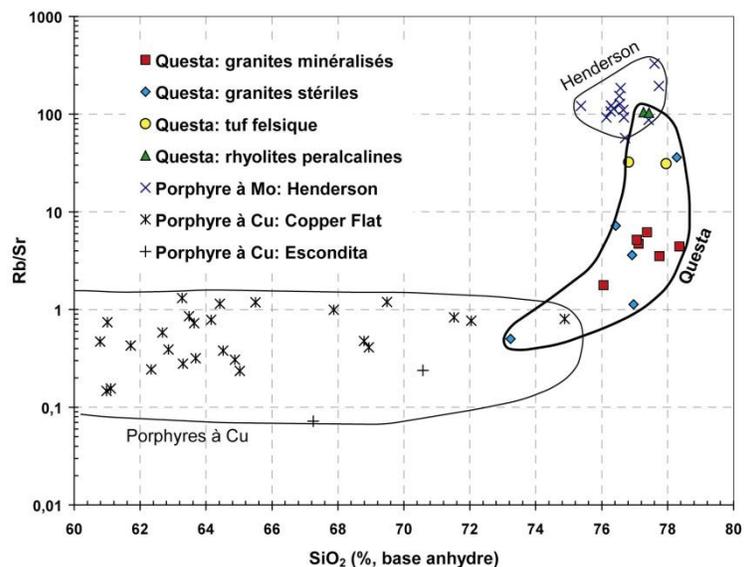


**Figure 5.** Section schématique du conduit volcanique de Pine Grove et des unités extrusives associées, modifiée d'après Keith et al. (1986). Le même conduit a été utilisé pour l'éruption du tuf felsique, pour la mise en place des dômes de rhyolite et par les intrusions porphyriques minéralisatrices; toutes ces roches font partie de la même série magmatique selon Keith et al. (1986).

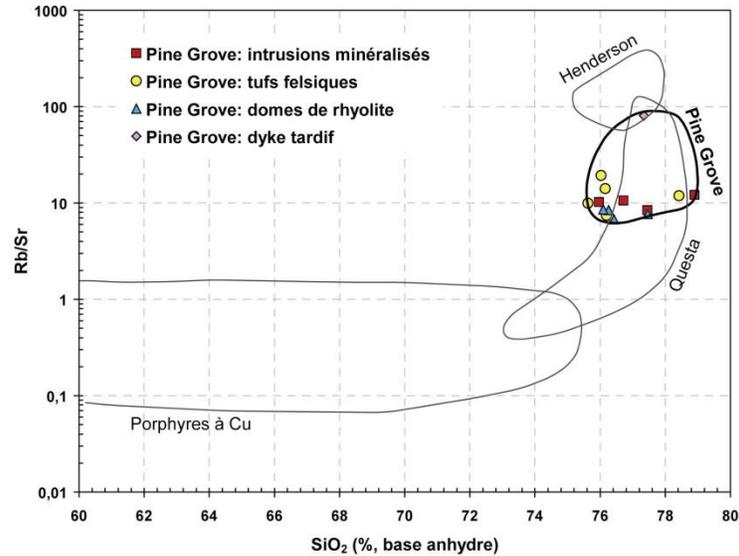
## 1.4 Géochimie des roches ignées et pyroclastiques associées aux porphyres à Mo de type 'riff'

Les intrusions associées aux porphyres à molybdène de type 'riff' dans le sud-ouest des États-Unis ont une signature géochimique bien particulière, avec une forte teneur en silice ( $\geq 75\%$   $\text{SiO}_2$ ) et des ratios d'éléments traces témoignant d'une différenciation magmatique très prononcée. Ces caractéristiques chimiques diffèrent de celles des intrusions associées aux porphyres à Cu et on peut construire des diagrammes discriminants très simples sur lesquels apparaissent des champs compositionnels typiques pour les porphyres à Mo de type 'riff', d'une part, et les porphyres à Cu, d'autre part (**Figures 6, 7 et 8**). Ces diagrammes empiriques – qui ne proviennent pas de la littérature – permettraient potentiellement de différencier les intrusions ayant un potentiel pour différents types de gîte porphyrique.

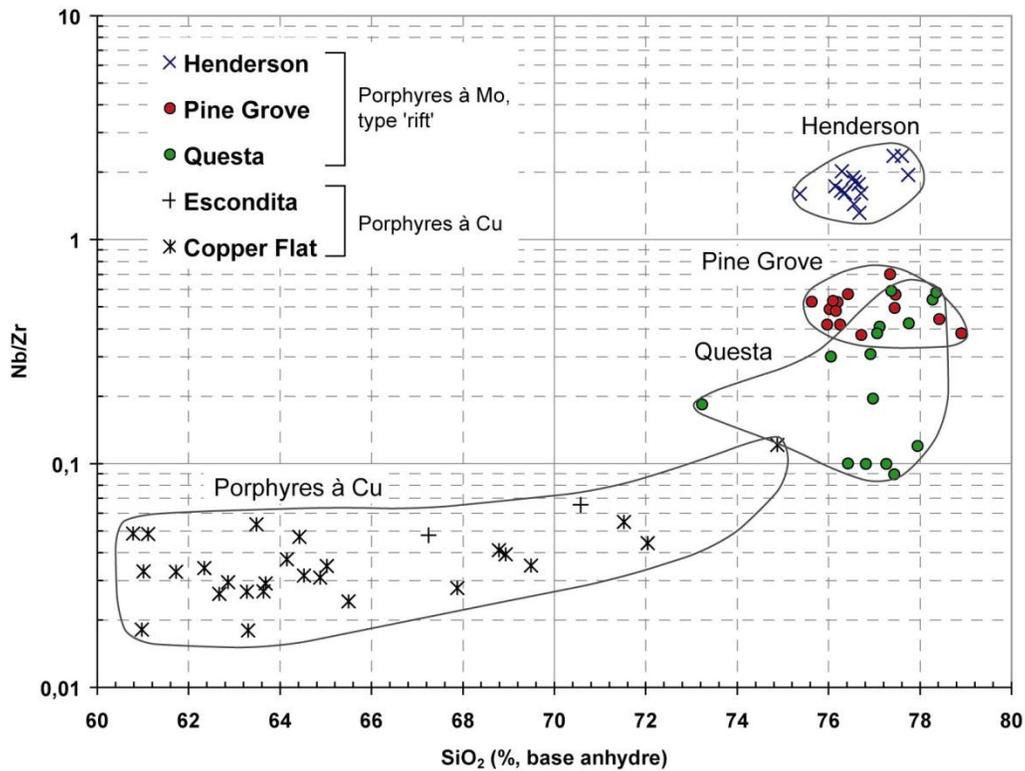
On peut également ajouter sur de tels diagrammes, la composition des intrusions stériles, des laves et dômes rhyolitiques, et des tufs felsiques trouvés dans la même région et ayant approximativement le même âge que des intrusions porphyriques connues pour leurs minéralisations en Mo. En faisant cet exercice pour Questa (**Figure 6**) et Pine Grove (**Figure 7**), on note que toutes les roches felsiques d'un secteur donné tombent plus ou moins dans le même champ et que l'analyse chimique d'une lave rhyolitique ou de dykes felsiques qui affleurent, par exemple, pourrait nous amener à nous interroger sur l'existence d'intrusions enfouies possédant une chimie propice. Nous utiliserons cet outil dans notre discussion sur le potentiel en Mo de la Gaspésie.



**Figure 6.** Diagramme Rb/Sr versus SiO<sub>2</sub> (base anhydre) pour des suites intrusives associées à la minéralisation pour deux porphyres cuprifères (Copper Flat, Nouveau-Mexique; Escondita, Chili) et les intrusions minéralisatrices à la mine Henderson (porphyre à Mo de type 'riff'). Pour Questa, on montre des analyses pour un tuf felsique (*Amalia Tuff*, associé à la caldeira de Questa) et des rhyolites peralcalines légèrement antérieures à la minéralisation porphyrique à Mo. On montre aussi des granites stériles et minéralisés du district de Questa. Source des données: Carten et al. (1988); Johnson et Lipman (1988); Johnson et al. (1989); Bethke et Lipman (1989); McLemore et al. (1999); Richards et al. (2001).



**Figure 7.** Diagramme Rb/Sr versus SiO<sub>2</sub> (base anhydre) pour les roches du secteur de Pine Grove, un porphyre à Mo de type 'riff'. Voir la Figure 5 pour une section typique et des explications sur la lithologie. Les champs des porphyres cuprifères et les autres porphyres à Mo de type 'riff' (Mines Henderson et Questa) sont reportés de la Figure 6. Source des données pour Pine Grove : Keith et Shanks (1988).



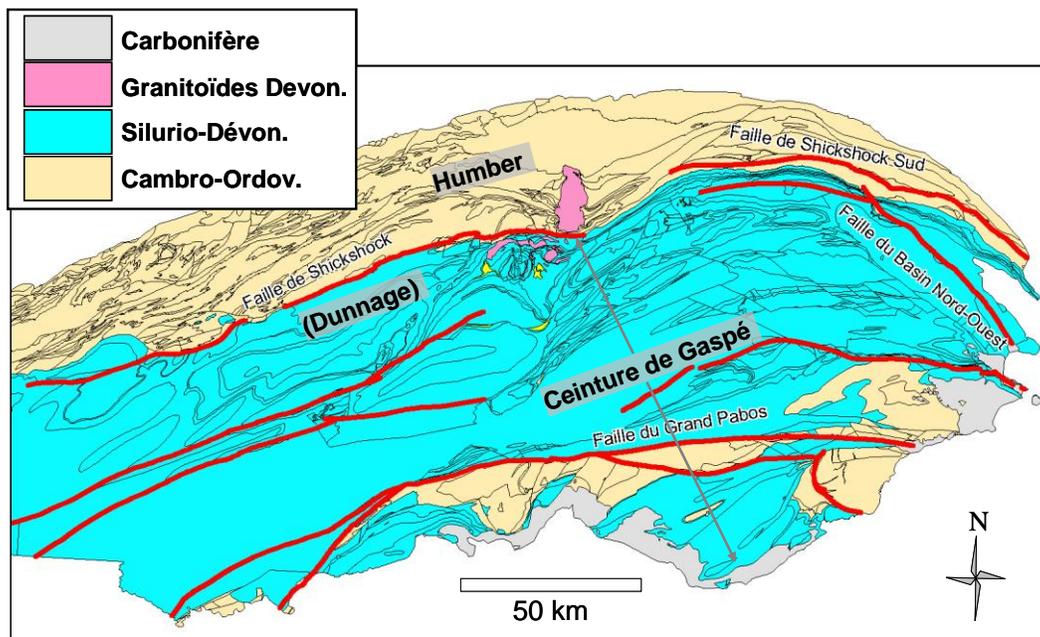
**Figure 8.** Diagramme Nb/Zr versus SiO<sub>2</sub> (base anhydre) pour les roches magmatiques associées à deux porphyres cuprifères et trois porphyres à Mo de type 'riff'. Les données de Questa et de Pine Grove comprennent des intrusions stériles, des laves et dômes rhyolitiques, et des tufs felsiques trouvés dans la même région et ayant approximativement le même âge que des intrusions porphyriques connues pour leur minéralisation en Mo. Source des données : voir **Figures 6 et 7**.

## 2 OPPORTUNITÉ DES MINÉRALISATIONS EN MO POUR LA GASPÉSIE

Dans cette section, nous abordons la partie centrale de l'étude d'opportunité, c'est-à-dire le potentiel pour les porphyres à Mo de type 'riff' en Gaspésie. Les principales approches discutées sont la géochimie des roches felsiques (application à la Gaspésie des diagrammes empiriques présentés dans la partie 1); la géochimie des sédiments de ruisseaux; et un groupe de méthodes permettant de suggérer la présence d'intrusions enfouies. Nous débutons avec un bref sommaire de la géologie et des principales minéralisations de la Gaspésie et concluons avec un sommaire des guides d'exploration et quelques recommandations pour la suite du projet.

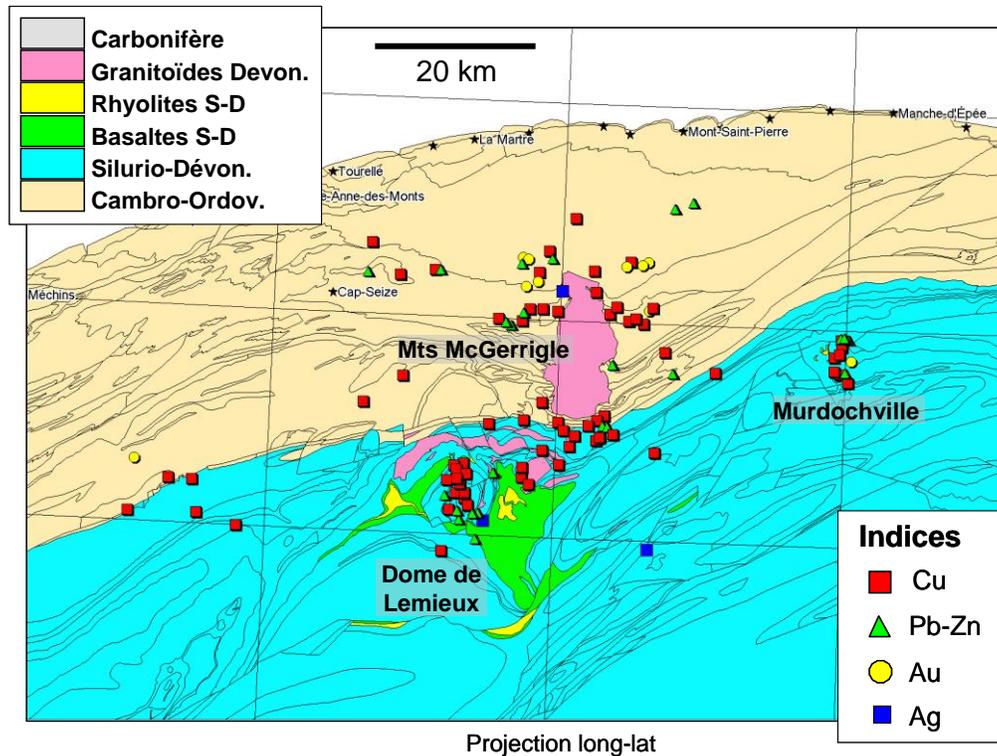
### 2.1 Géologie et minéralisations de la Gaspésie

La péninsule gaspésienne fait partie des Appalaches et peut se diviser en deux parties selon l'âge des roches : au nord, la zone de Humber comprend surtout des métasédiments cambro-ordoviciens affectés par la déformation taconique, alors que la ceinture de Gaspé, plus au sud, comprend principalement des roches sédimentaires silurio-dévonniennes moins déformées et métamorphisées, bien qu'affectées par l'orogénie acadienne (**Figure 9**). Des roches volcaniques sont présentes dans ces deux ensembles, en moindres quantités que les roches sédimentaires. À l'extrême sud de la péninsule, ainsi que dans le secteur sud-est, on rencontre des sédiments d'âge Carbonifère.



**Figure 9.** Géologie simplifiée de la Gaspésie (Source : SIGEOM) montrant la distribution des roches sédimentaires et volcaniques selon leur âge. Les lignes noires représentent les contacts lithologiques; seules certaines failles sont montrées (traits rouges) pour alléger la figure. Les roches silurio-dévonniennes de la ceinture de Gaspé sont relativement peu déformées et métamorphisées comparées aux roches cambro-ordoviciennes de la partie nord de la péninsule, appartenant à la zone de Humber. Les unités montrées en jaune sont des volcanites felsiques dévoniennes; tout comme les granitoïdes du même âge (en rose), on les retrouve surtout dans le nord de la Gaspésie.

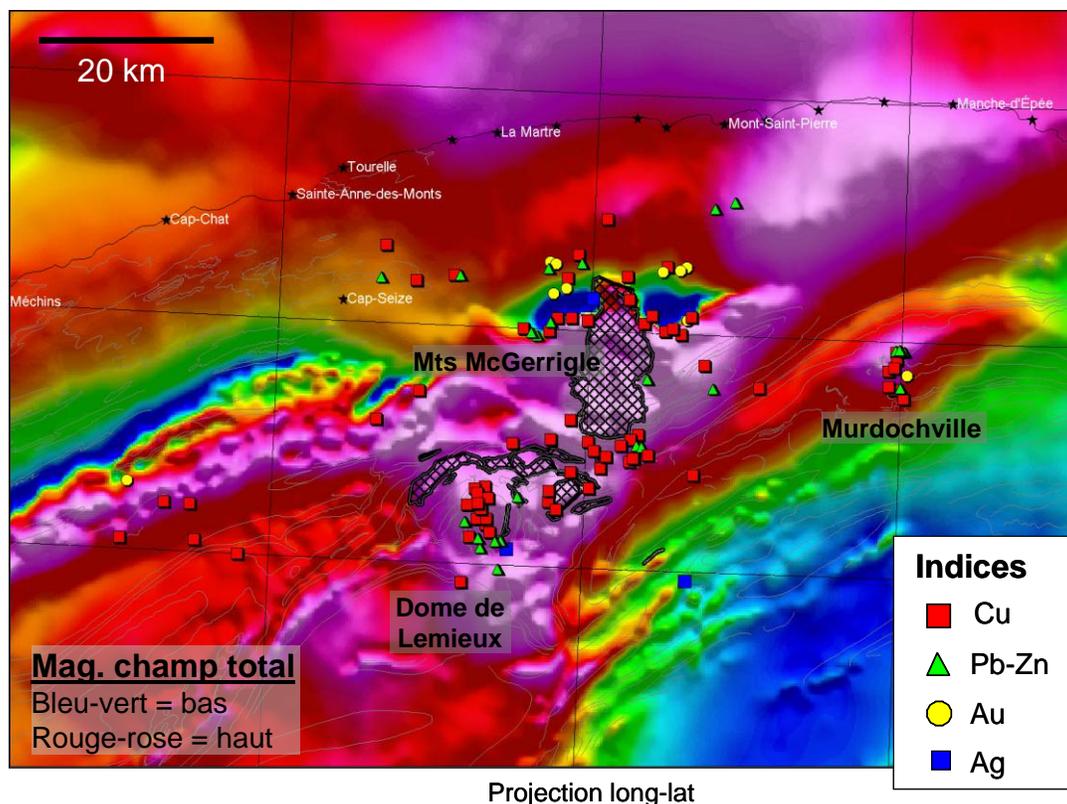
Les granitoïdes de la Gaspésie sont tous d'âge Dévonien et recoupent autant la zone de Humber que la Ceinture de Gaspé (Doyon et Valiquette, 1991; Whalen et al., 1994). La majorité de ces granitoïdes sont distribués selon un axe plus ou moins nord-sud qui se continue au Nouveau-Brunswick, où les intrusions dévoniennes constituent une lithologie majeure. En Gaspésie, les granitoïdes (et les minéralisations connues) sont concentrés dans le centre nord de la péninsule (**Figures 10 et 11**).



**Figure 10.** Géologie simplifiée du centre nord de la Gaspésie montrant les roches sédimentaires et volcaniques selon leur âge et les indices minéralisés du Sigéom, classés par substances principales. Les lignes noires représentent les contacts lithologiques. Les indices et gîtes cuprifères sont les plus connus et représentent des minéralisations de type skarn ou porphyrique, associés spatialement et génétiquement aux intrusions dévoniennes. Du molybdène est localement présent dans les porphyres cuprifères.

Le massif des Monts McGerrigle, daté à environ 391 Ma par U-Pb (Whalen et al., 1991), est l'intrusion granitoïde la plus volumineuse du secteur. Une forte anomalie positive en Mo dans les sédiments de ruisseaux y est associée, mais l'intrusion est située dans le Parc national de la Gaspésie (voir plus bas). Les deux principales phases intrusives sont le granite (non-porphyrique, environ 74 % SiO<sub>2</sub>) dans la partie sud du massif, et une suite hybride (53-67 % SiO<sub>2</sub>) dans la partie nord (de Römer, 1977; Whalen, 1993). Le granite possède une signature 'intraplaque' sur les diagrammes de discrimination tectonique (Whalen et al., 1994).

Autour du massif des Monts McGerrigle, qui s'est mis en place à environ 6 km de profondeur, on trouve une auréole métamorphique de 1,5 à 3 km de large (de Römer, 1977). La Mine Madeleine (0,9 Mt @ 0,9 % Cu selon la fiche de gîte Sigéom), notamment, est située dans cette auréole, du côté nord-ouest du massif. Il s'agit d'une minéralisation cuprifère (sans Mo) en veines, en stockwerk et disséminée, minée de 1969 à 1982 (Wares et William-Jones, 1993a). L'encaissant est une cornéenne à biotite et les roches métasédimentaires ont des pendages très abrupts dans le secteur (William-Jones et al., 1989).

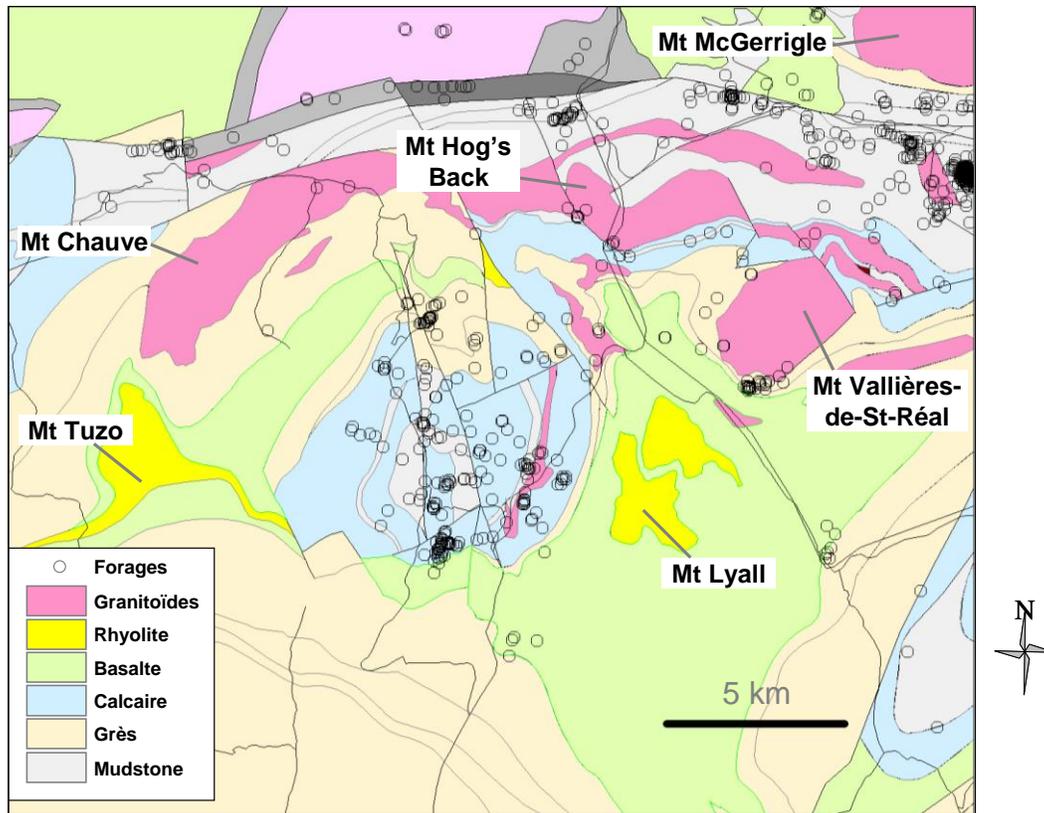


**Figure 11.** Carte du champ magnétique total pour le même secteur que la figure précédente. Les lignes grises représentent les contacts lithologiques. Les granitoïdes sont montrés par le quadrillage. Les indices et gisements du secteur de Murdochville sont situés au centre d'une anomalie positive interprétée comme étant causée par des intrusions dévoniennes largement enfouies. Le massif des Monts McGerrigle ressort aussi comme une anomalie positive, de même que le secteur du dôme de Lemieux. Cette dernière anomalie est en partie due à la présence de basaltes en périphérie du dôme. Le champ magnétique dans le centre ouest de la carte est influencé par la présence de roches mafiques et ultramafiques(?) cambro-orдовициennes (Groupe de Shickshock). Finalement, l'anomalie positive au nord-est des Monts McGerrigle s'expliquerait par la présence de metabasaltes du Groupe de Shickshock enfouies sous des roches sédimentaires, plutôt que par d'hypothétiques granitoïdes dévoniens (Nicolas Pinet, Commission Géologique du Canada, commun. pers.).

Le gîte de Sullipek est situé au sud-est de la même intrusion. Il s'agit de remplacements métasomatiques (skarns) dans des calcaires métamorphisés (Wares et William-Jones, 1993a). Pour la partie 'Pékan' du gîte Sullipek, la fiche Sigéom mentionne 1,8 Mt @ 1,4 % Cu, avec la présence de Zn et Mo en plus du cuivre. Wares (1988) donne plus de détails. Les secteurs de la Mine Madeleine et du gîte Sullipek ressortent très bien (anomalies positives) sur une carte du Cu dans les sédiments de ruisseaux, comme nous le verrons plus loin.

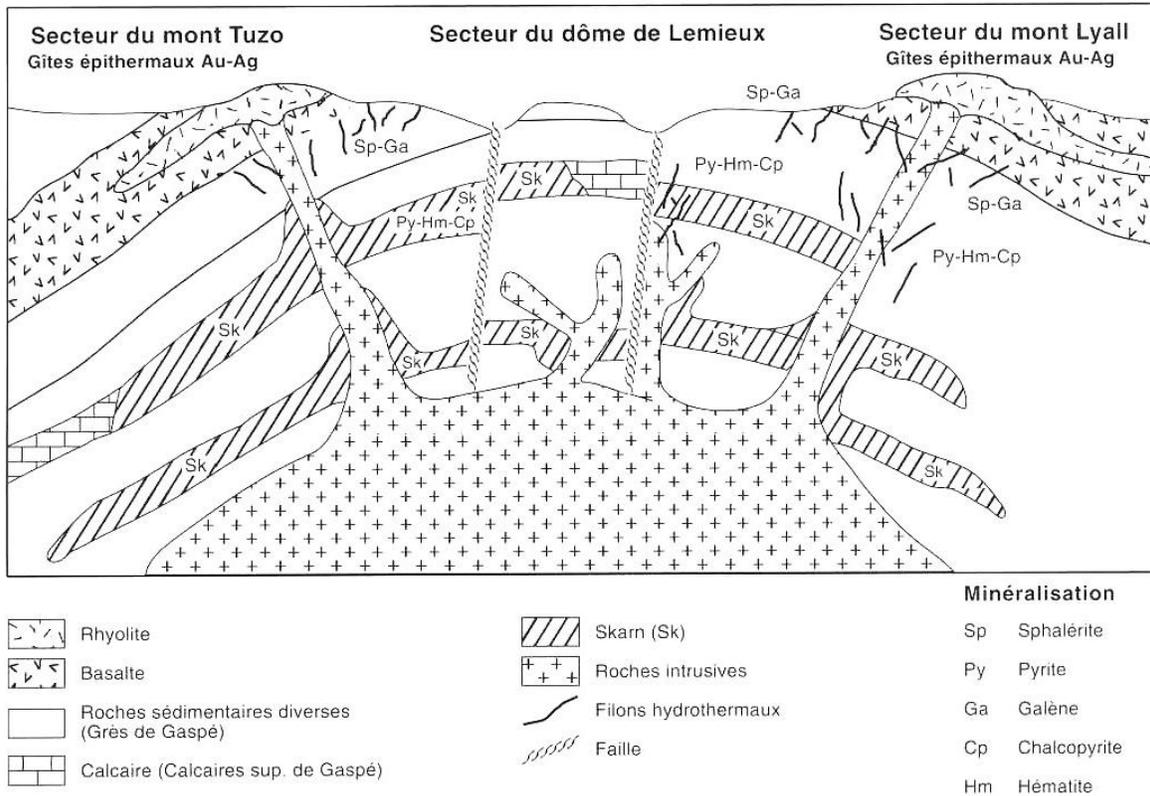
La principale exploitation minière en Gaspésie (« Mines Gaspé ») a eu lieu près de Murdochville, où plusieurs gisements de type skarn et porphyrique à Cu-Mo (Allcock, 1982; Wares et Berger, 1995) ont été minés pendant plusieurs décennies. Les teneurs en Mo augmentent en profondeur (Hollister et al., 1974) et il resterait des concentrations de Mo non exploitées (P. Pilote, commun. pers., 2005). Ces gisements sont associés à des granitoïdes dévoniens qui ne sont pas visibles sur la Figure 10 puisqu'ils n'affleurent que très peu, mais qui forment une anomalie positive sur une carte du champ magnétique total (**Figure 11**). Wares et William-Jones (1993b) indiquent que l'intrusion principale, en profondeur, est une granodiorite porphyrique à biotite, syn-tectonique par rapport à la déformation acadienne. Selon Whalen

et al. (1994) l'intrusion des Mines Gaspé est d'affinité calco-alkaline, tout comme les intrusions des monts Brown, Hog's Back et Chauve (les deux dernières prenant la forme de filons-couches et étant situées sur la **Figure 12**). Une date d'environ 371 Ma est citée pour les intrusions de Mines Gaspé (Meinert et al., 2001).



**Figure 12.** Géologie du secteur du dôme de Lemieux (structure circulaire au centre de l'image), dans le nord de la Gaspésie (modifié d'après Sigéom).

Le secteur du dôme de Lemieux, au sud-est des Monts McGerrigle, est lui aussi associé à une anomalie magnétique positive (**Figure 11**), bien qu'il faille se méfier à cause de la présence de basaltes dévoniens en périphérie (**Figure 12**) ; Le dôme de Lemieux est une structure circulaire (possiblement une ancienne caldeira) contenant des roches sédimentaires plus anciennes que des volcanites (basaltes et rhyolites) situées en périphérie. Cette configuration incite à penser qu'une intrusion dévonnaïque (non affleurante) pourrait avoir bombé les strates vers le haut (p. ex. Bellehumeur et Valiquette, 1993; **Figure 13**). Le centre du dôme a été abondamment foré (un seul sondage a atteint le pluton) et on y a trouvé des minéralisations épithermales et de type skarn. En plus des gîtes épithermaux neutres, on rapporte des minéralisations de type oxydes de fer à Cu-Au (Bernard, 2005; Simard et al, 2005).



**Figure 13.** Coupe schématique est-ouest du dôme de Lemieux, d'après Bellehumeur et Valiquette (1993).

Les granitoïdes dévoniens qui affleurent en périphérie du dôme de Lemieux (Mont Chauve, Mont Hog's Back, Mont Vallières-de-St-Réal) sont plus jeunes que les rhyolites, datées à 405 Ma par U-Pb au Mont Lyall (Pilote, 2005). Comme mentionné plus haut, les intrusions des monts Hog's Back et Chauve sont d'affinité calco-alcaline et ne présentent pas de potentiel pour les porphyres à Mo de type 'rift'.

Dans le centre et le sud de la Gaspésie, on trouve deux principaux types de minéralisation, le secteur de la faille du Grand Pabos étant le plus important (Savard, 1985; Malo et al., 2000). Le premier type consiste en des skarns à Cu-Au-Ag-(Zn-Pb), par exemple à Mid-Patapedia et Saint-André-de-Ristigouche (ce dernier indice présente des similitudes avec les minéralisations de type Carlin; Garnier et al, 2005). Le second type de minéralisation se présente sous forme de veines mésothermales ou de brèches épithermales à Au-(As-Ag) ou à Cu-Au, et de filons à Ag-Pb-Zn formés à basse température; le gîte de Reboul le long de la faille du Grand Pabos constitue un exemple.

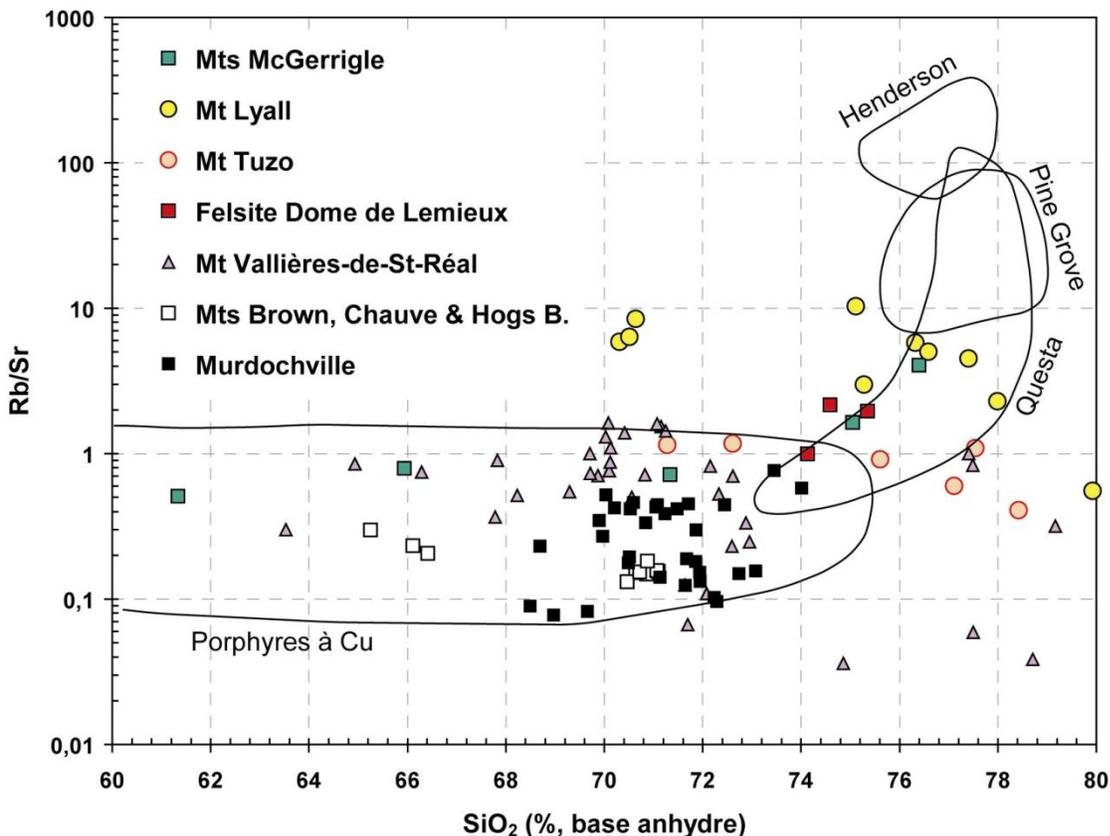
## 2.2 Potentiel pour les porphyres à Mo de type 'rift' en Gaspésie

De prime abord, le potentiel pour les porphyres à Mo de type 'rift' en Gaspésie augure mal, puisqu'il n'existe aucun indice connu de molybdène sans cuivre associé sur la péninsule (selon Sigéom). Le fait que l'on trouve plutôt des minéralisations de type porphyre cuprifère ( $\pm$ Mo) et skarn cuprifère incite à penser que les magmas favorables (pour les minéralisations à Mo sans Cu) sont absents en Gaspésie. Cependant, on peut adopter une ligne de pensée moins pessimiste, sur les bases de la géochimie des roches felsiques qui apparaissent favorables et de la présence d'anomalies significatives en Mo dans les sédiments de ruisseaux (détails ci-bas).

En effet, certaines analyses des granitoïdes provenant des Monts McGerrigle tombent en plein dans le champ de Questa sur les diagrammes Rb/Sr versus  $\text{SiO}_2$  et Nb/Zr versus  $\text{SiO}_2$  (**Figures 14 et 15**). Il en est de même pour les deux dômes de rhyolite (les monts Lyall et Tuzo) de part et d'autre du dôme de Lemieux (voir **Figure 12** pour localisation), ainsi que pour des dykes felsiques du dôme de Lemieux. Enfin, certains échantillons du Mont Vallières-de-St-Réal tombent aussi dans le champ de Questa sur la **Figure 15** (mais pas sur la **Figure 14**). Ceci ne *prouve* aucunement que ces secteurs soient minéralisés en Mo sans présence de cuivre (dans l'idée d'un modèle de porphyres à Mo de type 'riff'), mais au moins la signature lithogéochimique est encourageante.

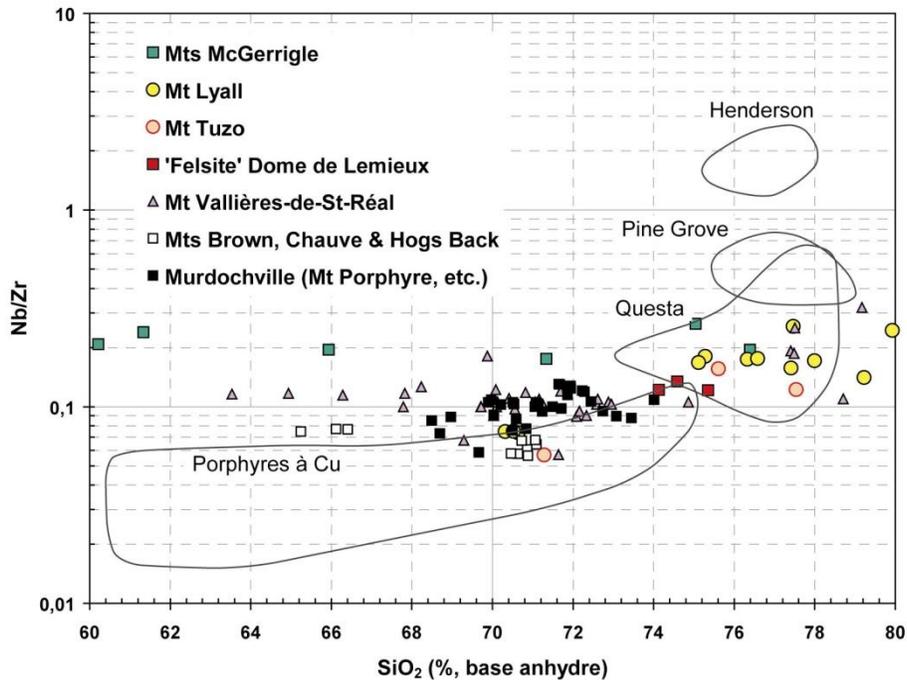
Pour la géochimie des sédiments de ruisseaux (distribution des échantillons, **Figure 16**), nous avons effectué un dégrossissage rapide et identifié quelques anomalies (voir aussi Choinière et al., 1994). La plupart sont situées dans le centre nord de la Gaspésie (surtout pour le Mo) et seule cette région est illustrée sur les **Figures 17 et 18**.

La minéralisation en Cu-Mo du secteur de Murdochville ressort bien dans les sédiments de ruisseaux, avec une dispersion de près de 20 km vers le sud-est et moindre vers le nord-ouest. Sur la carte du Cu (**Figure 17**) des anomalies positives en Cu existent aussi près de la Mine Madeleine, du gîte Sullipek, du centre du dôme de Lemieux, et au nord-ouest de la ligne Baie Verte – Brompton. Le massif des Monts McGerrigle, en revanche, forme une anomalie négative en Cu dans les sédiments de ruisseaux par rapport à son environnement immédiat; ceci contraste avec le Mo qui est très élevé au même endroit (**Figure 18**). Il s'agit d'un autre facteur intrigant quant au potentiel de la région pour les porphyres à Mo de type 'riff'. Notons aussi une belle anomalie en Mo dans la partie sud du dôme de Lemieux.

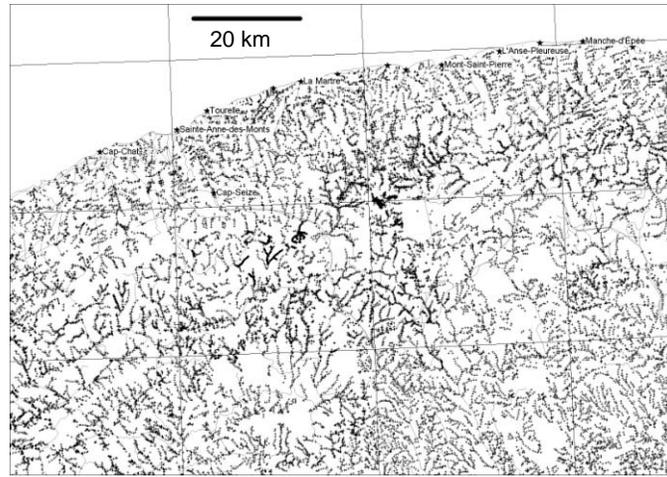


**Figure 14.** Diagramme Rb/Sr versus  $\text{SiO}_2$  (base anhydre), avec les champs définis sur les figures 6 et 7, appliqué aux roches felsiques du centre nord de la Gaspésie. Les intrusions dévoniennes du secteur de Murdochville tombent dans le champ des porphyres cuprifères; il en est de même pour les granitoïdes des monts Brown, Chauve et Hog's Back. La plupart des points pour le Mont Vallières-de-St-Réal tombent

aussi dans ce champ, bien que des compositions plus siliceuses existent (le ratio Rb/Sr ne semble pas varier avec la silice pour cette intrusion). En revanche, certaines analyses des rhyolites situées de part et d'autre du dôme de Lemieux (Mont Lyall et Mont Tuzo), de même que certains dykes felsiques du dôme lui-même, et des granites du massif des Monts McGerrigle, tombent dans le champ de Questa (porphyre à Mo de type 'riff'). Notons que toutes les analyses trouvées pour la Gaspésie ont été utilisées, sans tenir compte de l'altération. Données pour la Gaspésie: Duquette et al. (1984); LaRocque (1986); Amireault (1990); Doyon et Valiquette (1991); Doyon et Dalpé (1993); Whalen (1993).

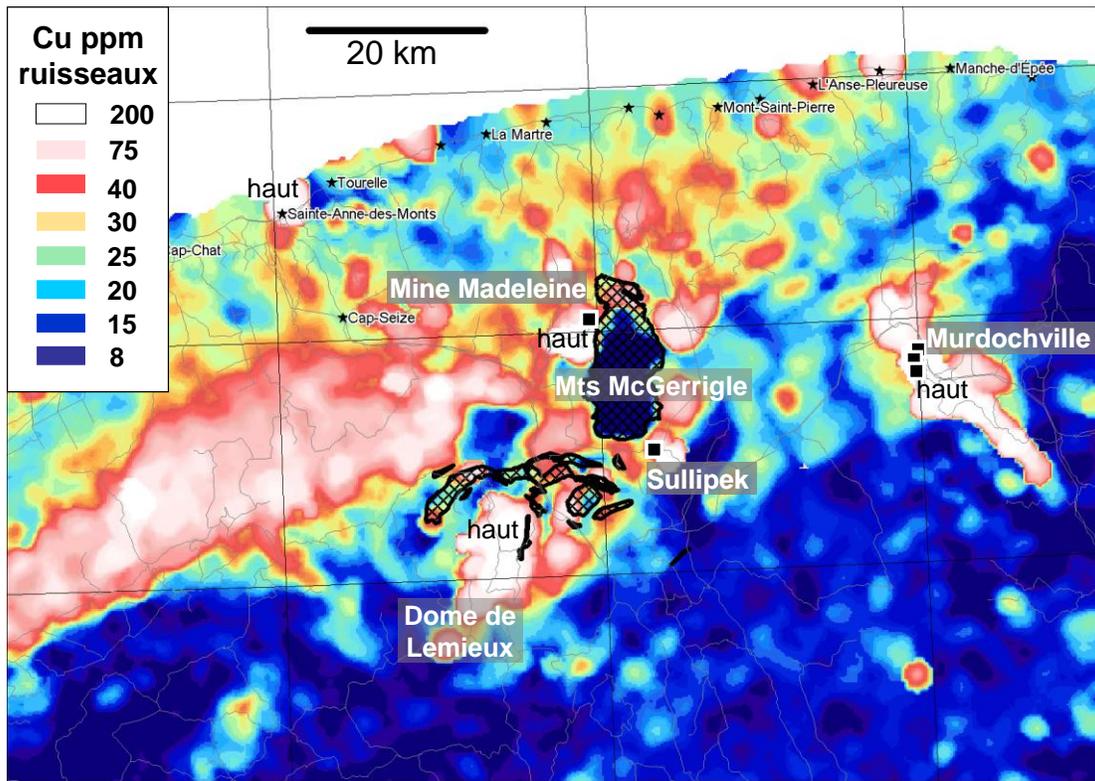


**Figure 15.** Diagramme Nb/Zr versus SiO<sub>2</sub> (base anhydre), avec les champs définis sur les Figures 6 et 7, appliqué aux roches felsiques du centre nord de la Gaspésie. La plupart des points pour les rhyolites situées de part et d'autre du dôme de Lemieux (Mont Lyall et Mont Tuzo), certains dykes felsiques du dôme lui-même, et certains granites du massif des Monts McGerrigle tombent dans le champ de Questa. C'est aussi le cas pour quelques analyses du Mont Vallières-de-St-Réal. Les autres points, notamment ceux pour les intrusions du secteur de Murdochville et ceux pour les granitoïdes des monts Brown, Chauve et Hog's Back, sont près du champ des porphyres cuprifères (mais les valeurs tombent un peu au-dessus de ce champ; la correspondance est meilleure pour le diagramme utilisant le ratio Rb/Sr). Données pour la Gaspésie: voir Figure 14.



Projection UTM Nad 27

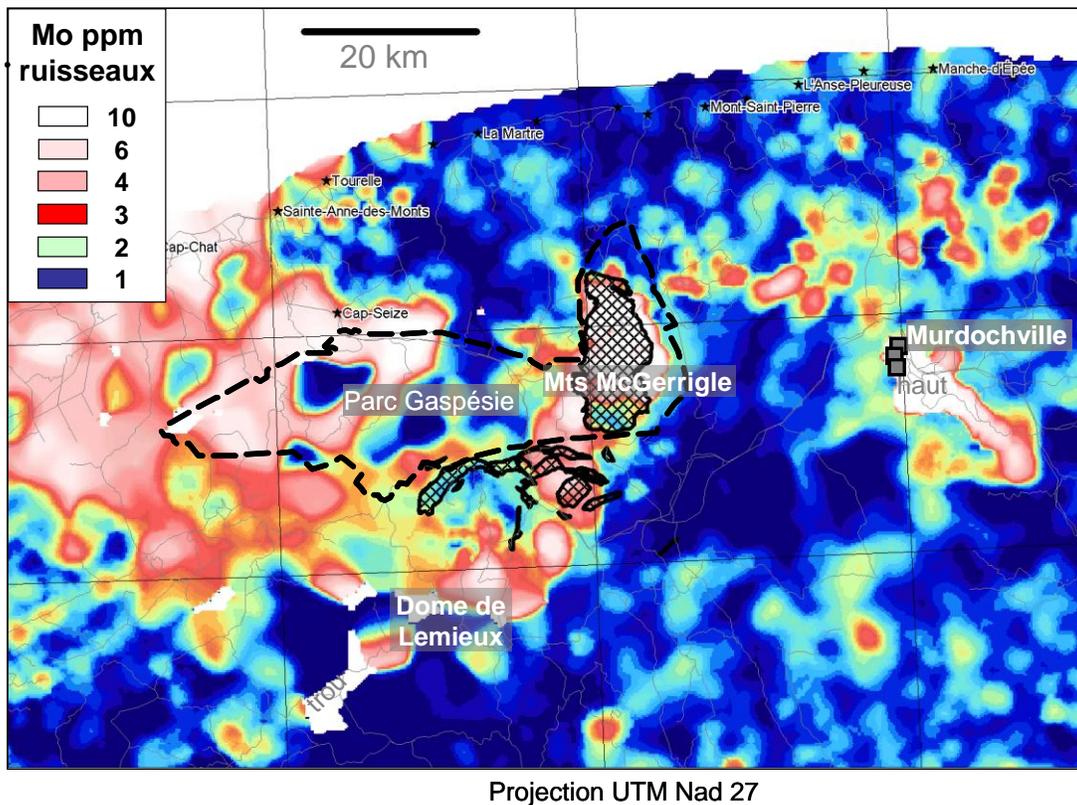
**Figure 16.** Localisation des échantillons de sédiments de ruisseaux (petites croix) dans le centre nord de la Gaspésie. Un total de > 80 000 échantillons ont été analysés sur l'ensemble de la péninsule.



Projection UTM Nad 27

**Figure 17.** Carte du cuivre dans les sédiments de ruisseaux pour le centre nord de la Gaspésie (maille établie par interpolation, cellule de 200 m, rayon de recherche 4 km). Le 99<sup>e</sup> percentile (pour toute la Gaspésie) correspond à des teneurs en Cu d'environ 120 ppm, alors que le 95<sup>e</sup> percentile est à environ 50 ppm. Les granitoïdes dévoniens sont indiqués par le patron quadrillé oblique. Notez les très faibles valeurs de Cu directement au-dessus du massif des Monts McGerrigle, mais des anomalies positives en bordure (notamment près de la Mine Madeleine et du gîte Sullipek). Ceci contraste avec la distribution du Mo (voir figure suivante). Le secteur de Murdochville ressort très bien sur cette carte, mais ceci est en partie dû à la présence de résidus miniers (les levés de sédiments de ruisseaux ont été effectués après le

début de l'exploitation de Mines Gaspé). La forte anomalie positive en Cu du côté ouest de la carte est attribuée aux metabasaltes du Groupe de Shipshock ou à des roches ultramafiques le long de la ligne Baie Verte – Brompton (avec un axe de dispersion du Cu surtout vers le nord-ouest). Notez aussi l'anomalie cuprifère centrée sur le dôme de Lemieux. L'anomalie positive en Cu isolée, de forme circulaire, dans le sud-est de la carte, ne correspond pas à un indice connu dans Sigéom; une anomalie en Mo y coïncide approximativement (figure suivante).

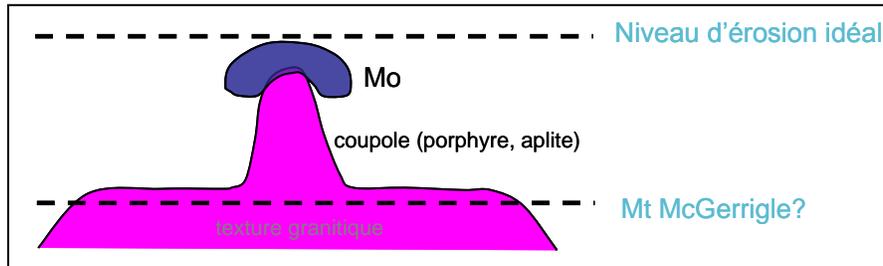


**Figure 18.** Carte du molybdène dans les sédiments de ruisseaux pour le centre nord de la Gaspésie (interpolation, cellule de 200 m, rayon de recherche 4 km). Le 99<sup>e</sup> percentile (pour toute la Gaspésie) correspond à des teneurs en Mo de 6 ppm, alors que le 95<sup>e</sup> percentile est entre 2 et 3 ppm. Les granitoïdes dévoniens sont indiqués par le patron quadrillé oblique. Le parc national de la Gaspésie est délimité par la ligne pointillée. Le secteur en blanc à environ 20 km au sud-ouest du dôme de Lemieux correspond à un trou dans la couverture géochimique (pas d'échantillons analysés) plutôt qu'à une anomalie positive. Le reste de la Gaspésie ne montre pas de secteurs anomaux en Mo aussi évidents que ceux couverts par cette carte.

### 2.3 L'approche des intrusions enfouies

Qu'il s'agisse de trouver des porphyres à Mo ou des porphyres à Cu-Mo, l'approche des intrusions enfouies peut être intéressante. Pour les porphyres à Mo, la plupart des gisements sont situés juste au-dessus de l'intrusion 'minéralisatrice' (la coupole intrusive porphyrique) donc, si l'intrusion affleure bien, il est plausible que le gisement ait été érodé (en l'absence d'un basculement des strates géologiques). Le

niveau d'érosion idéal pour les gisements de type porphyrique est donc quelques centaines de mètres au-dessus du pluton (**Figure 19**).



**Figure 19.** Schéma simpliste montrant le niveau d'érosion idéal dans une perspective d'exploration pour des porphyres à Mo de type 'rift'. La minéralisation en 'tasse de thé inversée' (en bleu) est située juste au-dessus de la coupole de porphyre ou d'aplite porphyrique (en rose). Le niveau d'érosion aux Monts McGerrigle semble trop profond pour qu'une telle coupole soit préservée.

Pour trouver des plutons enfouis, on pourrait utiliser les anomalies géophysiques (gravité, magnétisme), en particulier en consultant les nouveaux relevés de la Commission Géologique du Canada pour la Gaspésie (Pinet et al., 2005). Une forte densité de dykes felsiques représente aussi un indicateur potentiel de plutons enfouis (p. ex. Doyon, 1996). Finalement, pour la partie peu métamorphisée de la Gaspésie (la ceinture de Gaspé), on peut tracer des cartes des minéraux des argiles ou de cristallinité des illites dans les roches sédimentaires pour montrer un possible paléoflux de chaleur (p. ex. William-Jones et Duba, 1985). Un des avantages des plutons enfouis est qu'ils pourraient être situés dans des secteurs moins explorés jusqu'à présent.

La combinaison de ces trois méthodes pour les plutons enfouis avec la lithogéochimie des roches felsiques (laves, tufs, plutons, dykes) et la géochimie des sédiments de ruisseaux pourrait représenter une stratégie d'exploration novatrice.

## 2.4 Guides d'exploration

Pour résumer, si on prospecte pour les porphyres à Mo de type 'rift', on recherchera :

- des manifestations d'un volcanisme felsique intraplaque, des caldeiras, des dômes de rhyolite;
- des minéraux riches en fluor;
- des anomalies en Mo, Sn, W dans les sédiments de ruisseaux;
- la silicification et l'altération potassique (dans les gisements aux États-Unis, ce sont les altérations proches de la minéralisation);
- des plutons enfouis (géophysique; densité des dykes felsiques; minéraux des argiles);
- une géochimie favorable pour les roches felsiques (tufs, laves, dykes, plutons), à considérer sur les diagrammes Rb/Sr – SiO<sub>2</sub> ou Nb/Zr – SiO<sub>2</sub>.

---

### 3 EXTENSION DE L'APPROCHE À L'ENSEMBLE DES APPALACHES DU QUÉBEC – QUELQUES PISTES

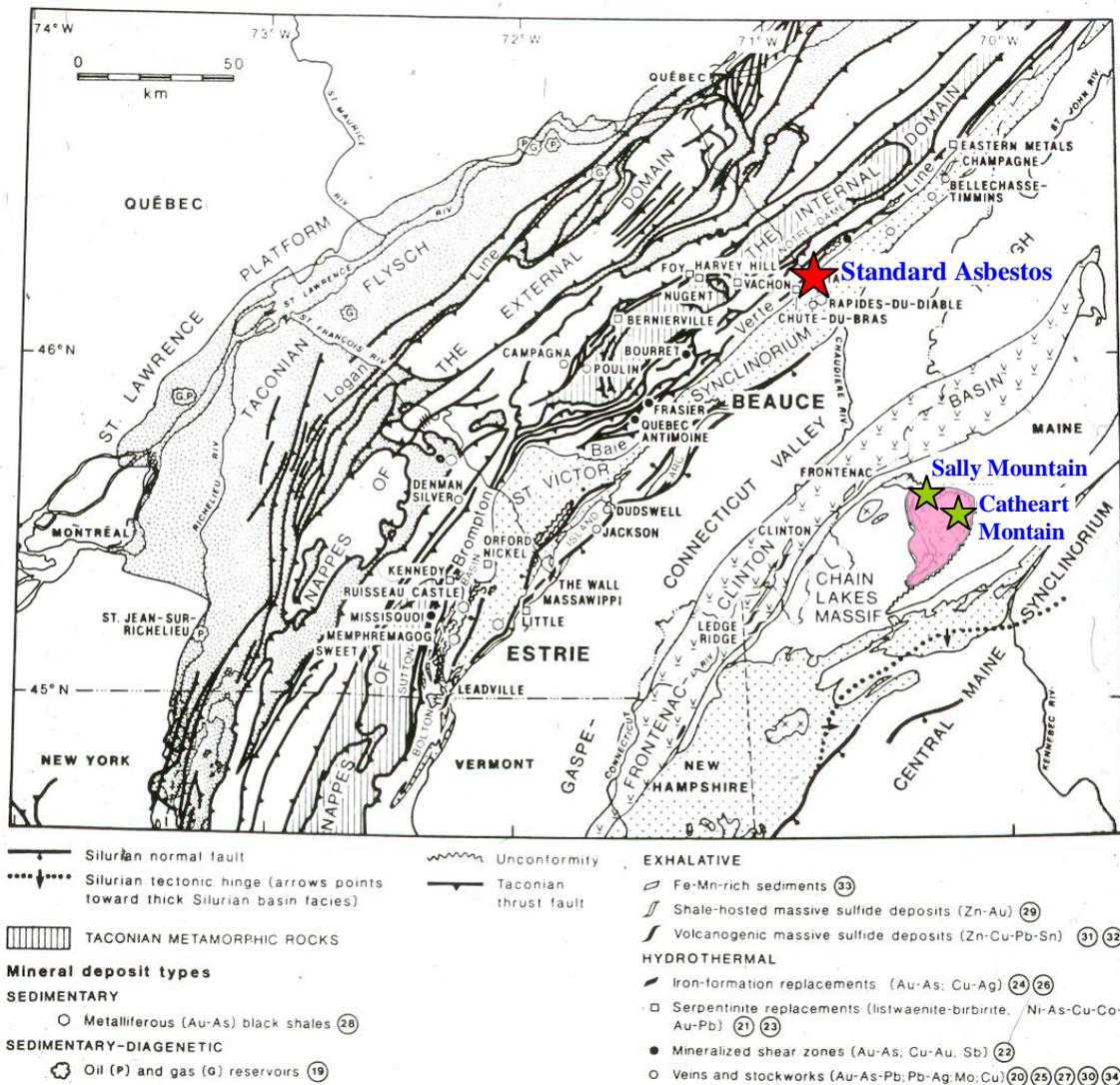
---

Si on veut étendre la quête de porphyres à Mo à l'ensemble des Appalaches du Québec, plusieurs gîtes et indices connus dans le sud du Québec soulèvent un intérêt.

#### 3.1 Granitoïdes ordoviciens ou siluriens?

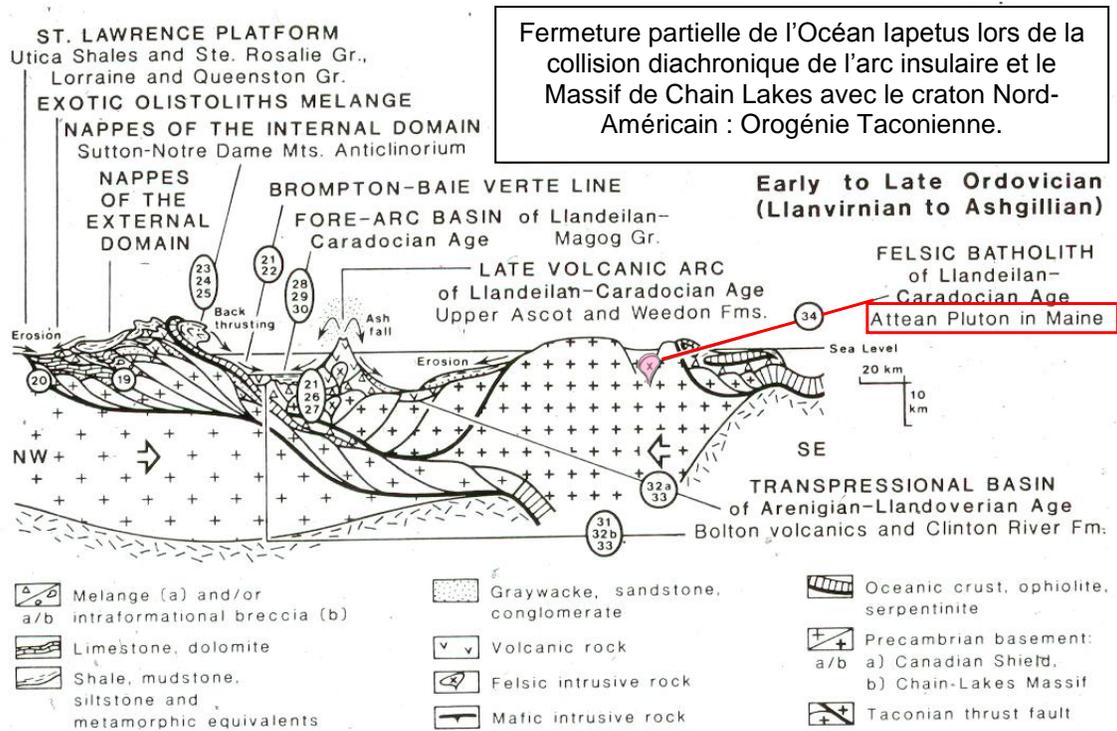
L'indice Standard Asbestos (pas de fiche de gîte Sigéom; **Figure 20**) est un stockwerk à quartz-molybdénite « qui recoupe des granitoïdes compris dans un copeau de gneiss de type 'Chain Lakes' de la zone de mélange de Saint-Daniel » (Gauthier et al., 1989). Le stockwerk remplit une faille et son épaisseur est d'au plus 30 cm. Les phases sulfurées sont la molybdénite, la chalcopryrite et la galène (Gauthier et al., 1989). La très petite taille de la minéralisation connue et l'association avec des minéraux à Cu et Pb augure plutôt mal quant à l'exploration pour les porphyres à Mo de type 'riff'. L'intérêt de cet indice réside plutôt dans une certaine ressemblance avec les porphyres à Cu-Mo de Catheart Mountain et Sally Mountain dans le nord-ouest du Maine.

À Catheart Mountain, la minéralisation est associée à une granodiorite porphyrique d'âge silurien précoce qui recoupe une granodiorite ordovicienne stérile (« *Attean granodiorite* ») à l'intérieur du massif de Chain Lakes (Hollister et al., 1974; Schmidt et Ayuso, 1993; **Figure 20**). Une zonation métallique latérale existe à Catheart Mountain, avec une zone à Cu entourant un cœur à Mo (Hollister et al., 1974).



**Figure 20.** Carte du sud du Québec et du nord de la Nouvelle-Angleterre montrant la position de la granodiorite 'Attean' (âge ordovicien, en rose) à l'intérieur du massif de Chain Lakes. Le fond de carte est une figure de Gauthier et al. (1994) représentant la tectonique et la métallogénie des Appalaches en lien avec l'épisode taconique. L'indice de Mo-Cu de Standard Asbestos au Québec et les gîtes porphyriques de Cu-Mo de Catheart et Sally Mountain, dans le Maine, sont aussi situés.

Le massif de Chain Lakes a été très variablement interprété. Certains y voient un microcontinent s'étant accréé à la marge laurentienne à l'Ordovicien ou plus tard (exemple, **Figure 21**) alors que d'autres (Gerbi et Johnson, 2003) considèrent que le massif représente une portion étirée (« *extended* ») de cette marge. Le protolite du massif serait une séquence sédimentaire : une fusion partielle à faible pression aurait eu lieu à l'Ordovicien (Gerbi et Johnson, 2003). Ce contexte extensif à l'Ordovicien est intéressant pour les porphyres à Mo de type 'riff', mais il faut rappeler que d'une part, les porphyres du Maine sont surtout cuprifères, et que d'autre part, ils sont associés à des intrusions siluriennes. Néanmoins, on pourrait évoquer la notion d'héritage métallique et penser que le Chain Lakes, s'il s'agit d'un microcontinent accréé, pourrait avoir quelque chose à voir avec la source du Mo, et que l'âge des intrusions n'est pas si important (cf. la ceinture à Sn en Bolivie, regroupant des gisements qui vont du Silurien au Tertiaire).



**Figure 21.** Coupe structurale des Appalaches pour le sud du Québec et la Nouvelle-Angleterre montrant les minéralisations liées à l'épisode taconique, d'après Gauthier et al. (1994). Minéralisations de type 34 : « molybdenite-bearing veins and stockworks in felsic intrusives », incluant Standard Asbestos au Québec et Sally / Catheart Mountain dans le Maine. L'interprétation de Gauthier et al. (1989) était que Sally et Catheart Mountain étaient reliés à la fermeture partielle de Iapetus à l'Ordovicien (collision entre le massif de Chain Lakes et un arc volcanique, d'une part, et le craton nord-américain, d'autre part). On sait maintenant (Schmidt et Ayuso, 1993) que les deux porphyres à Cu-Mo du Maine sont associés à des intrusions siluriennes qui recoupent la granodiorite 'Attean' (en rose sur la coupe).

Il est difficile de trouver davantage d'information sur ces porphyres du Maine, mais les références suivantes existent :

- Atkinson, D., 1976, Catheart Mountain, an Ordovician porphyry copper-molybdenum occurrence in northern Appalachia, CIM Bulletin (Canadian Institute of Mining and Metallurgy), v. 69, no. 767, p. 74
- Atkinson, D., 1978, Catheart Mountain, an Ordovician porphyry copper molybdenum occurrence in northern Appalachia, Ph.D. dissertation, University of Western Ontario, London, Ontario, Canada, 192 p.
- Ayuso, R.A., 1985, Geochemistry of felsic plutons in the Northern Appalachian porphyry copper-molybdenum province, Maine (abstract), Geological Association of Canada, Mineralogical Association of Canada (GAC/MAC), Joint Annual Meeting, Program with Abstracts, v. 10, p. A2
- Ayuso, R.A., 1986, Geochemistry of mineralized and unmineralized felsic plutons in the northern Maine plutonic belt (abstract), Geological Society of America, 99th annual meeting, Abstracts with Programs, v. 18, no. 6, p. 530
- Ayuso, R.A., 1989, Geochemistry of the Catheart Mountain porphyry copper deposit, Maine: in Tucker, Robert D., and Marvinney, Robert G. (editors), Studies in Maine geology: Volume 4 - igneous and metamorphic geology: Maine Geological Survey (Department of Conservation), p. 139-162

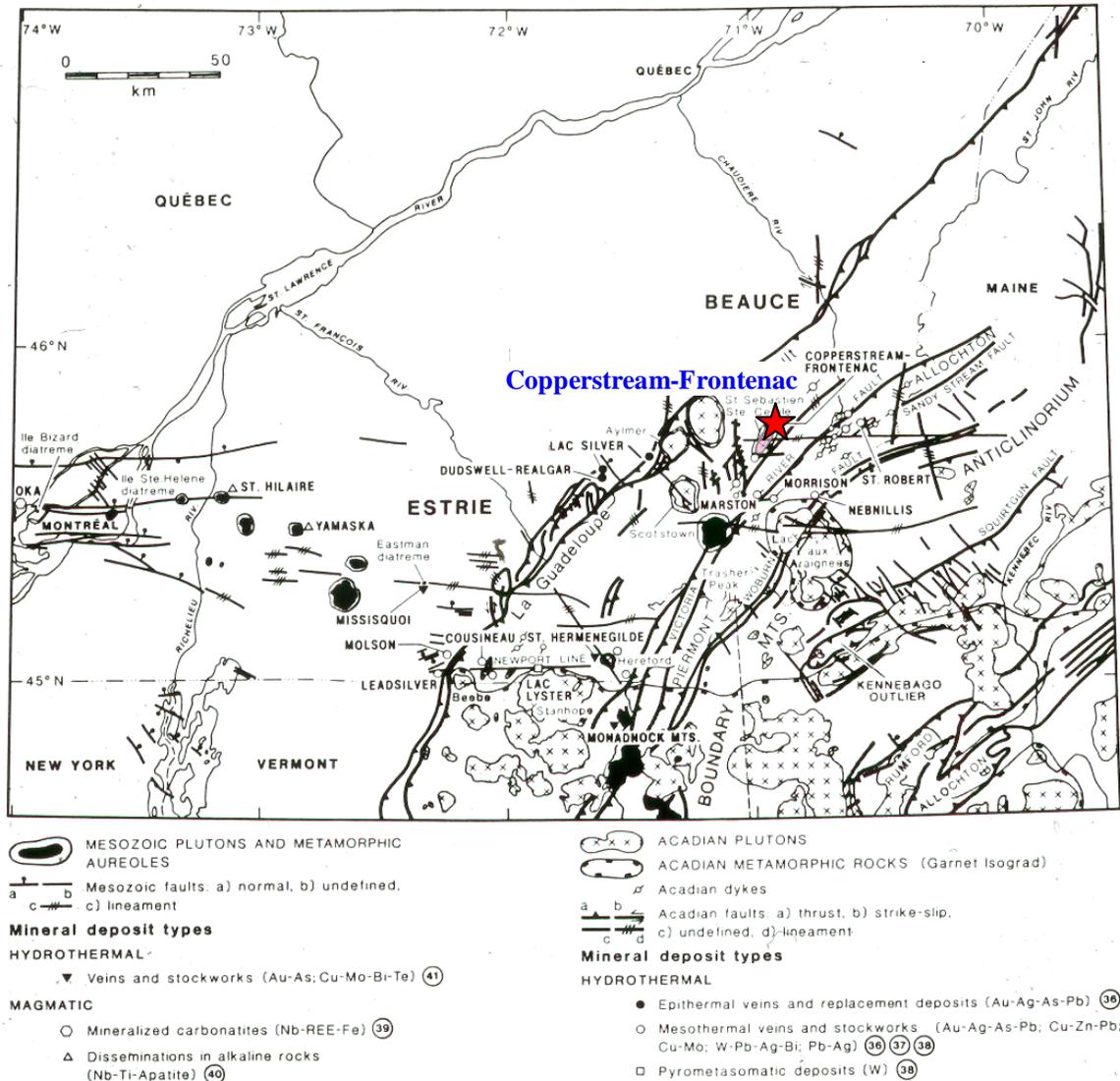
Molling, P. A., and Ayuso, R. A., 1990, Mineral paragenesis and hydrothermal alteration in the Catheart Mountain porphyry Cu-Mo deposit, Maine (abstract), Geological Society of America, Northeastern Section, 25th Annual Meeting, Abstracts with Programs, v. 22, no. 2, p. 57

Gauthier et al. (1989) classent l'indice Standard Asbestos comme une « cible de potentiel moindre ou inconnu ». Notons que le Massif de Chain Lakes réapparaît en Gaspésie, à la boutonnière de Maquereau (dans le sud-est de la péninsule). On pourrait alors spéculer, si effectivement le Chain Lakes est un métallotecte pour le Mo, que des minéralisations à Mo pourraient se trouver dans ce secteur.

### 3.2 Granitoïdes dévoniens

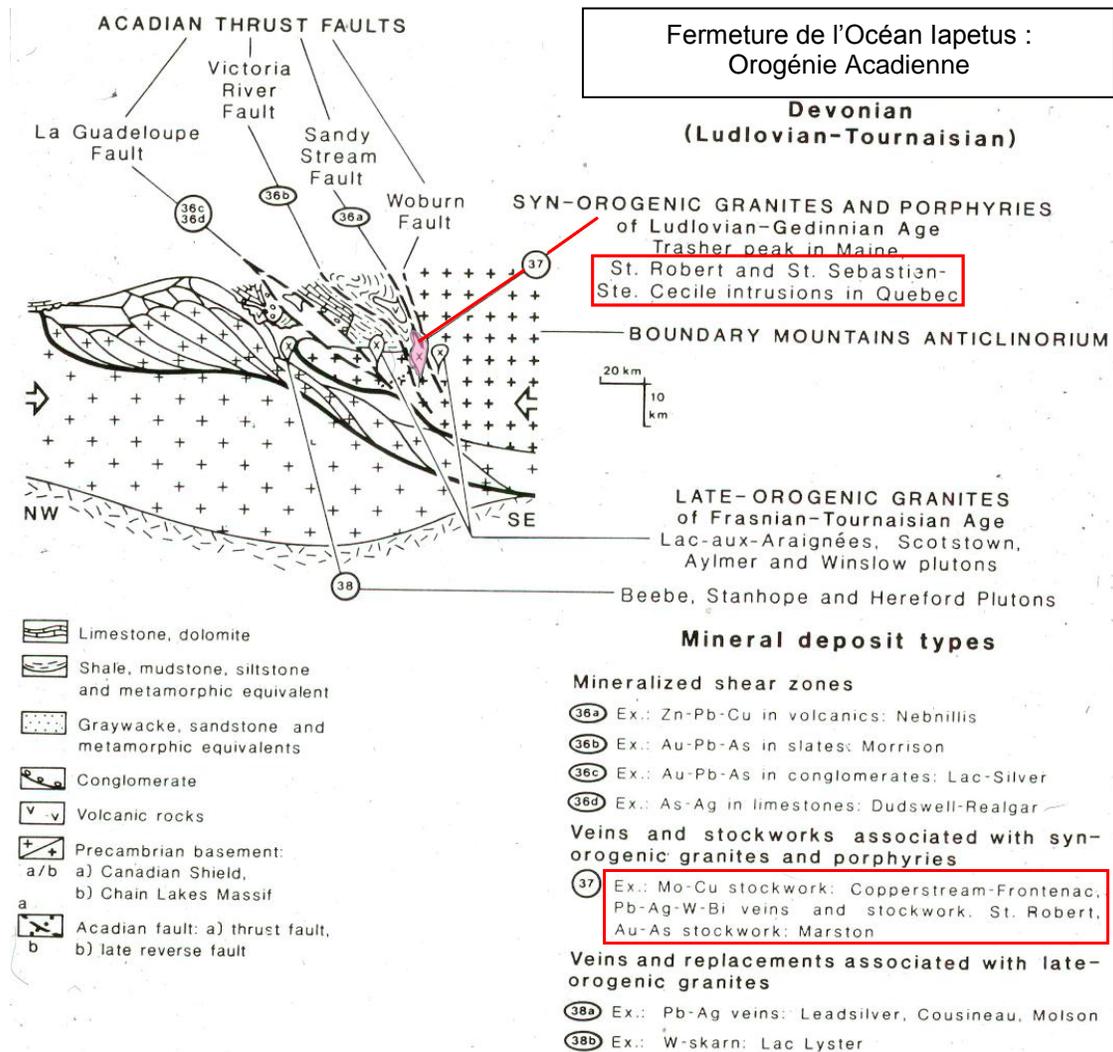
Plusieurs granitoïdes dévoniens affleurent dans le nord du Maine et dans le synclinorium de Gaspé-Connecticut Valley, notamment dans le secteur du lac Mégantic (Cheve (1990) présente l'évolution tectono-stratigraphique, pétrologique et métallogénique de la région du lac Mégantic). Plusieurs de ces intrusions sont considérées comme 'mésazonales', avec des profondeurs de cristallisation de l'ordre de 8 km; elles sont entourées d'auréoles de métamorphisme de contact atteignant 4 km de large; la chimie des intrusions est calco-alcaline peralumineuse (Gauthier et al., 1989). De prime abord, la signature calco-alcaline et la grande profondeur de mise en place des granitoïdes ne sont pas favorables quant à l'exploration pour les porphyres à Mo de type 'riff'.

Néanmoins, on recense une minéralisation de Mo en bordure de l'intrusion de Sainte-Cécile/Saint-Sébastien : le gîte de Copper Stream-Frontenac (SNRC 21E15; Estant 352120, Nordant 5071345). Cette intrusion est de forme allongée (elliptique), possiblement syn-tectonique, alors que les autres plus au nord ou à l'ouest (Aylmer, Winslow, Scotstown) sont plus circulaires, apparemment stériles, et possiblement tardi-tectoniques (**Figure 22**). À Copper Stream-Frontenac, on parle de deux zones minéralisées importantes: 300 x 140 x 180 m (zone nord) et 300 x 110 x 200 m (zone sud), avec des teneurs dépassant 0,2 % MoS<sub>2</sub>. Le gîte a été brièvement exploité pendant la Seconde Guerre mondiale; pour les deux zones combinées, les réserves probables sont de l'ordre de 0,6 Mt @ 0,54 % Mo (fiche de gîte Sigéom). Le molybdène est surtout dans des filons subverticaux qui recoupent la cornéenne, plus ou moins parallèles à l'axe long de l'intrusion. Les veines contiennent jusqu'à 2 % de chalcopryrite (fiche de gîte Sigéom). D'autres indices existant dans le même secteur, dont l'indice Sainte-Cécile, donnent un « corridor à molybdène » de plus de 20 km de long, orienté NE, centré sur l'intrusion de Sainte-Cécile/Saint-Sébastien. Un « corridor à tungstène » parallèle, comprenant le gîte de St-Robert, existe environ 15 km plus à l'est (Gauthier et al., 1989).



**Figure 22.** Carte du sud du Québec et du nord de la Nouvelle-Angleterre montrant la métallogénie des Appalaches en lien avec l'épisode acadien, d'après Gauthier et al. (1994). L'intrusion dévonienne de Sainte-Cécile – Saint-Sébastien est colorée en rose et le gîte de Mo-Cu de Copperstream-Frontenac est identifié par une étoile rouge. Les intrusions en noir (collines montérégiennes et leur extension aux États-Unis) sont postérieures à l'épisode acadien.

Au « Nouvel Indice Sainte-Cécile » (SNRC 21E10, Estant 346720 Nordant 5060500), la chalcopryrite accompagne aussi la molybdénite et on trouve des « dykes felsiques (aprites et granites) localement porphyriques (quartz) ainsi que des veines de quartz » (fiche de gîte Sigéom). La minéralisation « se retrouve préférentiellement dans ces dykes et veines, mais peut aussi être présente dans les cornéennes » (fiche de gîte). Pour le « Vieil Indice Sainte-Cécile » il est question de réserves probables de 2 Mt @ 0,52 % MoS<sub>2</sub>. La **Figure 23** résume la métallogénie des Appalaches du sud du Québec en lien avec la fermeture de l'océan Iapétus.



**Figure 23.** Coupe structurale des Appalaches pour le sud du Québec et la Nouvelle-Angleterre montrant les minéralisations liées à l'épisode acadien (fermeture de l'océan Iapetus), d'après Gauthier et al. (1994). Nous soulignons dans le contexte de ce rapport les minéralisations à Mo-Cu (type '37' sur la figure) associées aux granitoïdes dévoniens. Les intrusions interprétées comme étant syn-tectoniques, de type Sainte-Cécile – Saint-Sébastien, sont colorées en rose.

Gauthier et al. (1989) classent les gîtes de Copper Stream-Frontenac et Sainte-Cécile comme des « cibles de bon potentiel ». Il y aurait donc lieu de retracer des analyses chimiques des intrusions associées à tous ces gîtes et indices du sud du Québec pour les placer sur les diagrammes discriminants susmentionnés; d'examiner la géochimie de l'environnement secondaire à la recherche d'anomalies en Mo; d'examiner les cartes géophysiques dans ces régions, etc.

---

## REMERCIEMENTS

---

Michel Gauthier a grandement contribué aux idées sur la métallogénie des Appalaches du sud du Québec. L'auteur tient également à remercier Marc Baumier pour une discussion sur la géochimie des sédiments de ruisseaux; Pierre Pilote pour des discussions sur la lithogéochimie des granitoïdes, le dôme de Lemieux, les plutons enfouis, et le potentiel minéral de la Gaspésie; Nicolas Pinet pour une discussion sur les nouvelles cartes géophysiques de la Gaspésie; Stéphane Faure et Sylvain Trépanier pour leur aide technique, leurs conseils qui ont permis de bien orienter le projet, et leurs commentaires sur une première version de ce rapport et, Geneviève Boudrias pour la révision finale du manuscrit.

---

## RÉFÉRENCES

---

- Allcock, J.B. (1982) Skarn and porphyry copper mineralization at Mines Gaspé, Murdochville, Quebec. *Economic Geology*, v. 77, p. 971-999
- Amireault, S. (1990) Géochimie et pétrographie des intrusions felsiques du centre nord de la Gaspésie. Mémoire de maîtrise, École Polytechnique de Montréal, 231 p.
- Bellehumeur, C. et Valiquette, G. (1993) Synthèse métallogénique du centre nord de la Gaspésie. Ministère des Ressources naturelles, ET 92-03, 65 p.
- Bernard, J. (2005) Origine des brèches à hématite de la propriété du Mont-de-l'aigle en Gaspésie. GAC-MAC-CSPG-CSSS Joint Meeting, Halifax, Nova Scotia, Abstracts Volume 30, p.12.
- Bethke, P.M. et Lipman, P.W. (1989) Mineralization in silicic calderas : Questa, New Mexico and the San Juan Mountains, Colorado. 28<sup>th</sup> International Geological Congress, Field Trip Guidebook T320, American Geophysical Union, 75 p.
- Carten, R.B., Geraghty, E.P., Walker, B.M. et Shannon, J.R. (1988) Cyclic development of igneous features and their relationship to high-temperature hydrothermal features in the Henderson porphyry molybdenum deposit, Colorado. *Economic Geology*, v. 83, p. 266-296
- Carten, R.B., White, W.H. et Stein, H.J. (1993) High-grade granite-related molybdenum systems: classification and origin. Dans Kirkham, R.V., Sinclair, W.D., Thorpe, R.I. et Duke, J.M., eds., *Mineral deposit modeling*. Geological Association of Canada Special Paper 40, p. 521-544
- Cheve, S.R. (1990) Étude tectono-stratigraphique, pétrologique et métallogénique de la région de Lac-Mégantic (Québec). Thèse de doctorat, École Polytechnique de Montréal, 1096 p.
- Choinière, J., Leduc, M. et Kiroac, F. (1994) Cartes géochimiques des minéraux lourds dans la partie nord de la Gaspésie. Ministère des ressources naturelles, MB 94-59
- de Römer, H.S. (1977) Région des Monts McGerrigle. Ministère des ressources naturelles, RG 174, 233 p.
- Doyon, M. (1996) Exploration for porphyry-related mineral deposits in the Gaspé peninsula: new perspectives. Ministère des ressources naturelles, PRO 96-01, 6 p.
- Doyon, M. et Valiquette, G. (1991) Roches magmatiques du centre-nord de la Gaspésie. Ministère des ressources naturelles, ET 90-03, 69 p.
- Doyon, M. et Dalpé, C. (1993) Roches magmatiques Siluro-Dévonniennes de la Gaspésie. Ministère des ressources naturelles, MB 93-16, 128 p.
- Duquette, G., Lachance, S. et Morin, R. (1984) Géologie et forages stratigraphiques, mont Vallières-de-Saint-Réal. Ministère des Ressources naturelles, ET 83-10, 76 p.
- Garnier, V., Malo, M. et Dubé, B. (2005) Les indices d'or du sud de la Gaspésie: contexte géologique et modèles génétiques. 73e Congrès de l'ACFAS, Université du Québec à Chicoutimi, 9-13 mai 2005.
- Gauthier, M., Auclair, M., Bardoux, M., Blain, M., Boivert, D., Brassard, B., Chartrand, F., Darimont, A., Dupuis, L., Durocher, M., Gariépy, C., Godue, R., Jébrak, M. et Trottier, J. (1989) Synthèse métallogénique de l'Estrie et de la Beauce. Ministère des ressources naturelles, MB 89-20, 681 p.
- Gauthier, M., Chartrand, F., et Trottier, J. (1994) Metallogenic epochs and metallogenic provinces of the Estrie-Beauce region, southern Quebec Appalachians. *Economic Geology*, v. 89, p. 1322-1360
- Gerbi, C., et Johnson, S. (2003) The Chain Lakes Massif, Maine and Québec; a product of extension? *Abstracts with Programs - Geological Society of America*, v. 35, p. 29
- Hollister, V.F., Potter, R.R. et Barker, A.L. (1974) Porphyry-type deposits of the Appalachian orogen. *Economic Geology*, v. 69, p. 618-630

- Johnson, C.M. et Lipman, P.W. (1988) Origin of metaluminous and alkaline volcanic rocks of the Latir volcanic field, northern Rio Grande rift, New Mexico. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, v. 100, p. 107-128
- Johnson, C.M., Czamanske, G.K. et Lipman, P.W. (1989) Geochemistry of intrusive rocks associated with the Latir volcanic field, New Mexico, and contrasts between evolution of plutonic and volcanic rocks. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, v. 103, p. 90-109.
- Keith, J.D. et Shanks, W.C. (1988) Chemical evolution and volatile fugacities of the Pine Grove porphyry molybdenum and ash-flow tuff system, southwestern Utah. Dans: Taylor, R.P. et Strong, D.F., eds, *Recent advances in the geology of granite-related mineral deposits*. Canadian Institute of Mining and Metallurgy special volume 39, p. 402-423
- Keith, J.D., Shanks, W.C., Archibald, D.A. et Farrar, E. (1986) Volcanic and intrusive history of the Pine Grove porphyry molybdenum system, southwestern Utah. *Economic Geology*, v. 81, p.553-577
- LaRocque, C.A. (1986) Geochronology and petrology of north-central Gaspé igneous rocks, Quebec. *Mémoire de maîtrise, Université McGill, Montréal*, 231 p.
- McLemore, V.T., Munroe, E.A., Heizler, M.T. et McKee, C (1999) Geochemistry of the Copper Flat porphyry and associated deposits in the Hillsboro mining district, Sierra County, New Mexico, USA. *Journal of Geochemical Exploration*, v. 67, p. 167-189
- Magyar, M.J. (2006) Molybdenum. *Mineral Commodity Summaries*, U.S. Geological Survey (<http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/molybdenum/>)
- Malo, M., Moritz, R., Dubé, B., Chagnon, A. Roy, F. et Pelchat, C. (2000) Base metal skarns and Au occurrences in the southern Gaspé Appalachians: distal products of a faulted and displaced magmatic-hydrothermal system along the Grand Pabos-Restigouche fault system. *Economic Geology*, v. 95, p.1297-1318
- Meinert, L.D., Nicolescu, S., Mortensen, J.K. et Cornell, D.H. (2001) U-Pb dating of hydrothermal garnet from skarn deposits – implications for petrogenesis and ore deposits. *GSA Annual Meeting - Boston, Mass, Paper No. 53-0*.
- Pilote, P. (2005) *Métallogénie de la région du Dôme de Lemieux – partie centre-nord de la Gaspésie*. Ministère des Ressources naturelles, ET 2004-05, 53 p.
- Richards, J.P., Boyce, A.J. et Pringle, M.S. (2001) Geologic evolution of the Escondida area, northern Chile: A model for spatial and temporal localization of porphyry Cu mineralization. *Economic Geology*, v. 96, p. 271-305
- Ross, P.-S., Jébrak, M. et Walker, B.M (2002) Discharge of hydrothermal fluids from a magma chamber and concomitant formation of a stratified breccia zone at the Questa porphyry molybdenum deposit, New Mexico. *Economic Geology*, v. 97, p. 1679-1699
- Rowe, A. (2005) Fluid evolution of the magmatic hydrothermal breccia of the Goat Hill orebody, Questa Climax-type porphyry molybdenum system, New Mexico – A fluid inclusion study. *Mémoire de maîtrise, New Mexico Institute of Mining & Technology, Socorro, New Mexico*, 134 p.
- Savard, M. (1985) Indices minéralisés du sud de la Gaspésie. *Ministère des Ressources naturelles, ET 83-08*, 92 p.
- Schmidt R.G. et Ayuso, R.A. (1993) Porphyry Cu and Cu-Mo mineralization in New England: examples from Cathart Mountain and Debouillie plutons and implications for future exploration in the northern U.S. Appalachian Mountains. *Exploration and Mining Geology*, v. 2, p. 411-412
- Shinohara, H., Kazahaya, K. et Lowenstern, J.B. (1995) Volatile transport in a convecting magma column: implications for porphyry Mo mineralization. *Geology*, v. 23, p. 1091-1094
- Sillitoe, R.H. (1980) Types of porphyry molybdenum deposits. *Mining Magazine*, v. 142, p. 550-553
- Sillitoe, R.H. et Bonham, H.F. (1984) Volcanic landforms and ore deposits. *Economic Geology*, v. 79, p. 1286-1298
- Simard, M., Beaudoin, G., Hupé, A., Ross, A. et Bernard, J. (2005) Metallogeny of the Mont-de-l'aigle IOCG deposit, Gaspé, Québec. *GAC-MAC-CSPG-CSSS Joint Meeting, Halifax, Nova Scotia, Abstracts Volume 30*, p.178.

- Wares, R.P. (1988) – Synthèse métallogénique de la région du gîte Sullipek, Gaspésie. Ministère des ressources naturelles, ET 86-08, 82 p.
- Wares, R.P. et William-Jones, A.E. (1993a) Overview of granitoid-related copper deposits of the Gaspé peninsula, Québec. *Exploration and Mining Geology*, v. 2, p. 412-414
- Wares, R.P. et William-Jones, A.E. (1993b) Porphyry copper-skarn mineralization at Mines Gaspé, Québec. *Exploration and Mining Geology*, v. 2, p. 414-415
- Wares, R.P. et Berger, J. (1995) Contrôles structuraux des gisements cuprifères de Mines Gaspé. Ministère des Ressources naturelles, MB 95-44
- Whalen, J.B. (1993) Geology, petrography, and geochemistry of Appalachian granites in New Brunswick and Gaspésie, Quebec. *Geological Survey of Canada bulletin* 436
- Whalen, J.B., Mortensen, J.K. et Roddick, J.C. (1991) Implications of U-Pb and K-Ar geochronology for petrogenesis and cooling history of the McGerrigle Mountains plutonic complex, Gaspé, Quebec. *Canadian Journal of Earth Sciences*, v. 28, p. 754-761
- Whalen, J.B., Jenner, G.A., Hegner, E., Gariépy, C. et Longstaffe, F.J. (1994) Geochemical and isotopic (Nd, O, and Pb) constraints on granite sources in the Humber and Dunnage zones, Gaspésie, Quebec, and New Brunswick: implications for tectonics and crustal structure. *Canadian Journal of Earth Sciences*, v. 31, p. 323-340
- White, W.H., Bookstrom, A.A., Kamilli, R.J., Ganster, M.W., Smith, R.P., Ranta, D.E. et Steininger, R.C. (1981) Character and origin of Climax-type molybdenum deposits: *Economic Geology* 75th Anniversary Volume, p. 270-316
- William-Jones, A.E. et Duba, D. (1985) Cartographie de la cristallinité de l'illite dans le nord-est de la Gaspésie. Ministère des Ressources naturelles, MB 84-17, 52 p.
- William-Jones, A.E., Samson, I.M. et Linnen, R.L. (1989) Fluid evolution and its role in the genesis of the granite-related Madeleine copper deposit, Gaspé, Quebec. *Economic Geology*, v. 84, p. 1515-1524

**ANNEXE: COMPARAISON DÉTAILLÉE DES PORPHYRES À Mo DE TYPE 'RIFT' ET DE TYPE 'ARC',  
COMPILÉE PAR ROWE (2005)**

Characteristic	TYPE 'RIFT'	TYPE 'ARC'
<b>Source Intrusion</b>	Granite porphyry	Quartz monzonite porphyry
<b>Geochemistry</b>	High silica, peralkaline, F-rich (>0.1% F), Rb, Y and Nb are high, Ba, Sr and Zr are low	Calc-alkaline, low F content (<0.1% F)
<b>Deposition</b>	Multiple intrusions of granite	Composite intrusions of diorite to quartz monzonite in orogenic belts
<b>Age range</b>	Paleozoic to Tertiary, but mainly Mid-Tertiary	Archean to Tertiary, but most commonly Mesozoic and Tertiary
<b>Tectonic Setting</b>	Rift zones in areas of thick cratonic crust	Subduction zones related to arc-continent or continental collision
<b>Associated ore deposit types</b>	Ag-base-metal veins and polymetallic replacement deposits, possibly rhyolite-hosted Sn deposits and porphyry W deposits; possibly Mo, Sn, and W greisen systems	Porphyry Cu-Mo, Cu skarn, volcanic-hosted Cu-As-Sb deposits
<b>Mineralogy</b>	Molybdenite, quartz, K-feldspar, fluorite, fluorine-rich biotite and topaz, pyrite, calcite, rutile, anhydrite, sericite, clays, wolframite, cassiterite, rhodochrosite, sphalerite, galena	Molybdenite, pyrite, scheelite, chalcocopyrite, argentian tetrahedrite, quartz, K-feldspar, biotite, calcite, sericite, clays, galena
<b>Alteration</b>	Intense silicification and potassic alteration, upper zones of phyllic propylitic alteration, quartz-sericite-pyrite alteration, minor greisen below orebody	Potassic outward to propylitic, phyllic and propylitic overprint, minor peripheral argillic
<b>Texture</b>	Predominantly in veinlets and fractures; minor disseminations; breccias	Disseminated and in veinlets and fractures; breccias
<b>Ore controls</b>	Stockwork ore zone draped over small stocks; multiple stages of intrusion and mineralization	Stockwork in felsic porphyry and surrounding country rock; multiple stages of mineralization are common
<b>Geochemical signature</b>	Mo, Sn, W and Rb anomalies near ore zones; Pb, Zn, F, and U anomalies in periphery up to 2 km	Mo, Cu, W, and F anomalies near ore zones; Pb, Zn, Au and Ag anomalies in periphery up to several km
<b>Average ore grade</b>	0.3-0.45% MoS <sub>2</sub>	0.1-0.2% MoS <sub>2</sub>
<b>Cu:Mo ratio</b>	1:100 to 1:50	1:30 to 1:1
<b>Examples of deposit type</b>	Colorado: Climax, Henderson, Silver Creek, Urad, Mount Emmons, Redwell Basin; <b>New Mexico: Questa</b> ; Utah: Pine Grove; Greenland: Malmbjerg, Erzberg; Norway: Nordli	British Columbia, Canada: Endako, Boss Mountain, Kitsault, Adanac, Carmi, Bell Moly, Red Bird, Trout Lake, Storie Moly, Ajax; Yukon, Canada: Boswell River, Red Mountain; Alaska: Quartz Hill; Montana: Cannivan; Idaho: Thomson Creek, White Cloud, Cumo; Nevada: Nevada Moly, Pine Nut, Buckingham; Peru: Compaccha; Russia: East Kounrad; Mexico: Creston; China: Jinduicheng

Comparison of Climax-type and quartz monzonite type porphyry molybdenum deposits. Data taken from or modified from Donahue (2002), Ludington (1986), Ludington et al. (1995), Sinclair (1995a and b), Theodore (1986), and White et al. (1981).