



RAPPORT FINAL  
2010

Sous projet SC36

**Le système porphyrique à molybdène de Tilly**

Par

**Baptiste Chapon\*, Michel Jébrak\*, Pierre-Simon Ross\*\*,  
Ross Stevenson\***

\*\*Université du Québec à Montréal (UQAM), Montréal, Québec

\*\*Institut national de la recherche scientifique (INRS), Québec, Québec  
jebrak.michel@uqam.ca

**Soumis à l'administration de DIVEX  
Juin 2010 – Québec**

## RÉSUMÉ

La propriété Tilly est située dans la Province archéenne de La Grande, dans la région de la Baie James. Découvert par Sirios en géochimie, elle monte des minéralisations en molybdène qui constituent un style original dans le craton du Supérieur. L'objectif du projet DIVEX était de mieux décrire ces minéralisations et de les comparer avec des systèmes porphyriques phanérozoïques.

La géologie du secteur montre un pluton de tonalite-granodiorite au contact avec des intrusions dioritiques au Nord, des sédiments clastiques à l'Est, et des roches volcanoclastiques au Sud-est. Le pluton est recoupé par des intrusions porphyriques, sous forme de dykes et de corps irréguliers qui ont été observés en affleurement et en forage. L'étude lithogéochimique montre qu'il s'agit d'une série plutonique calc-alkaline caractéristique d'un environnement d'arc.

De grandes zones de brèches hydrothermales à quartz mesurent jusqu'à 2 km de long au sein du pluton. Elles se sont mises en place par fracturation hydraulique le long de zones de faiblesse. Les ouvertures larges ont parfois permis des basculements et un peu de corrosion des fragments. La minéralisation en Mo-Cu est exclusivement encaissée par le granitoïde de Tilly dont la composition varie de tonalite à granodiorite et les intrusions porphyriques. Elle est composée de pyrite, molybdénite, et chalcoppyrite, avec un peu de bornite et de chalcocite. La molybdénite se présente en association avec le quartz des brèches, sous forme de stockwerks et de veinules, et en minéralisations disséminées. Les altérations comprennent une altération potassique, à biotite et K-feldspaths, et une intense hématite. L'altération phyllique est peu développée.

Le système porphyrique de Tilly apparaît clairement comme néo-Archéen. Les datations U-Pb sur zircon fournissent des âges autour de  $2745.8 \pm 0.8$  Ma, tandis que la datation isotopique Re-Os de la molybdénite donne un âge de  $2576 \pm 34$  Ma, donc sensiblement plus jeune.

L'ensemble de ces données montre que le porphyre de Tilly représente un système caractéristique d'un environnement d'arc, tout à fait comparable à ceux de la Cordillère.

## 1. INTRODUCTION

Les besoins en métaux spéciaux ont considérablement augmenté au cours des dernières années. Le molybdène constitue une ressource qui a été exploitée au Québec, mais qui n'est plus produite. Les gisements de molybdène y sont tous associés aux granitoïdes. Ces roches constituent la majeure partie du Craton archéen du Lac Supérieur dans le Nord du Québec.

L'une des découvertes les plus remarquables de ces dernières années est le système porphyrique à molybdène de Tilly, par la compagnie Ressources Sirios, spécialisée dans l'exploration du domaine nordique du Québec (Figure 1). Cette découverte est exceptionnelle car les porphyres archéens sont rares et constituent un type mal documenté (Jébrak et Marcoux, 2008). On en connaît en particulier en Russie, dans la Province de Pilbara en Australie dans le NW de l'Ontario (Laznicka, 2006), ainsi qu'en Finlande centrale et dans la ceinture d'Eastmain au Québec. Les interprétations de ces systèmes restent contradictoires: s'agit-il de systèmes comparables à ceux du Phanérozoïque ou marquent-ils une géodynamique archéenne particulière?

A Tilly, un vaste pluton tonalitique montre des zones de brèches hydrauliques très développées (Jébrak, 1997) à quartz et molybdénite, avec un peu de chalcoppyrite. Des zones d'altération plus riches en potassium ont été distinguées. Mais on connaît mal la géologie et les minéralisations de ce système magmatique-hydrothermal.

L'objectif de ce projet est de documenter la géologie du porphyre de Tilly afin de mieux comprendre ses conditions de mises en place, et de le comparer à d'autres systèmes archéens. Peut-on comparer ce système à ceux du Phanérozoïque, en relation avec les rifts, de type Climax (ex. Ross et al., 2002) ou dans les arcs continentaux, de type porphyre à Mo-Cu ? Comment se développent ces systèmes archéens, tant du point de vue de leur construction, de leur contexte géodynamique que de leur préservation (Groves et Goldfarb, 2007) ?

## 2. MÉTHODOLOGIE

Pour répondre à ces questions, le projet a consisté à :

- (1) réaliser une cartographie détaillée du porphyre, en utilisant de nouveaux levés spectrométriques;
- (2) comprendre la pétrogenèse des intrusions par la géochimie des traces et isotopique;

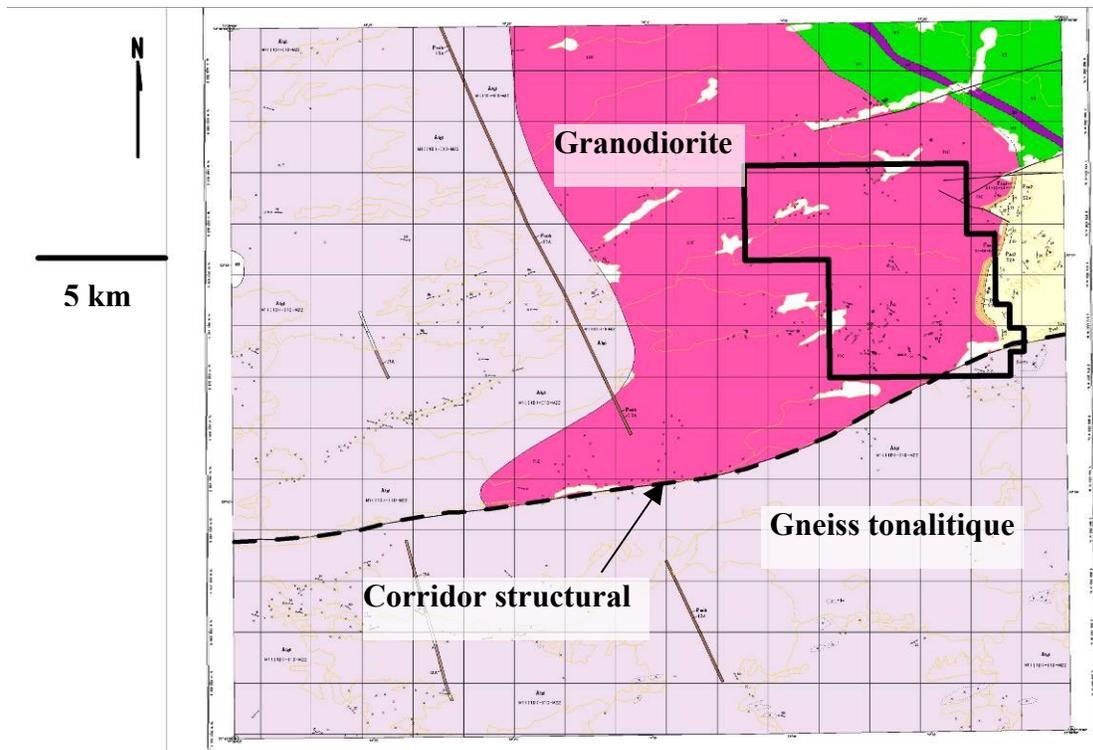


Figure 1 : Carte géologique du feuillet 33G16 montrant la localisation de la propriété Tilly (trait gras).

(3) détailler les styles d'altération du système porphyrique;

(4) étudier les minéralisations en Mo-(Cu), en particulier les nombreuses brèches et la minéralogie des sulfures par l'analyse de lames minces polies;

(5) dater directement la minéralisation par la méthode isochrone Re/Os sur molybdénite.

L'équipe de recherche comprenait les chercheurs suivants :

- Michel Jébrak, professeur, UQAM, co-demandeur
- Baptiste Chapon, étudiant MSc, UQAM
- Pierre Simon Ross, professeur, INRS-ÉTÉ, co-demandeur
- Dominique Doucet, président, Sirios
- Ross Stevenson, professeur, UQAM (isotopes Sm-Nd)
- André Poirier, chercheur, Geotop, UQAM (datation Re/Os)
- Jean David, chercheur, Geotop, UQAM (datations U/Pb)

La gestion du projet a été transférée en cours de l'étude de M. Jébrak à P.S. Ross du fait de la

nomination de M. Jébrak au Conseil de la Science et de la Technologie.

### 3. RÉSULTATS

#### 3.1. Cartographie

La propriété Tilly se situe entre les barrages LG3 et LG4, juste à l'ouest du lac Tilly dans le territoire de la Baie James. Elle a été découverte lors de la campagne d'exploration de Ressources Sirios en 1997 à la suite d'une compilation d'anomalies de fond de lac en cuivre molybdène. Plusieurs indices minéralisés principalement en Mo-Cu et quelques valeurs en Au > 1 g/t ont été mis à jours lors des campagnes de prospection au marteau.

La propriété est dominée par des intrusions de granitoïde au centre, et de diorite quartzifère au nord (Figure 2). Plusieurs zones de brèches hydrothermales à ciment de quartz blanc parfois minéralisées en Mo-Cu affectent le granitoïde. Des intrusions à texture porphyrique ont été observées en affleurement et en forages, elles sont localisées principalement dans le centre-nord de la propriété au sein des granitoïdes.

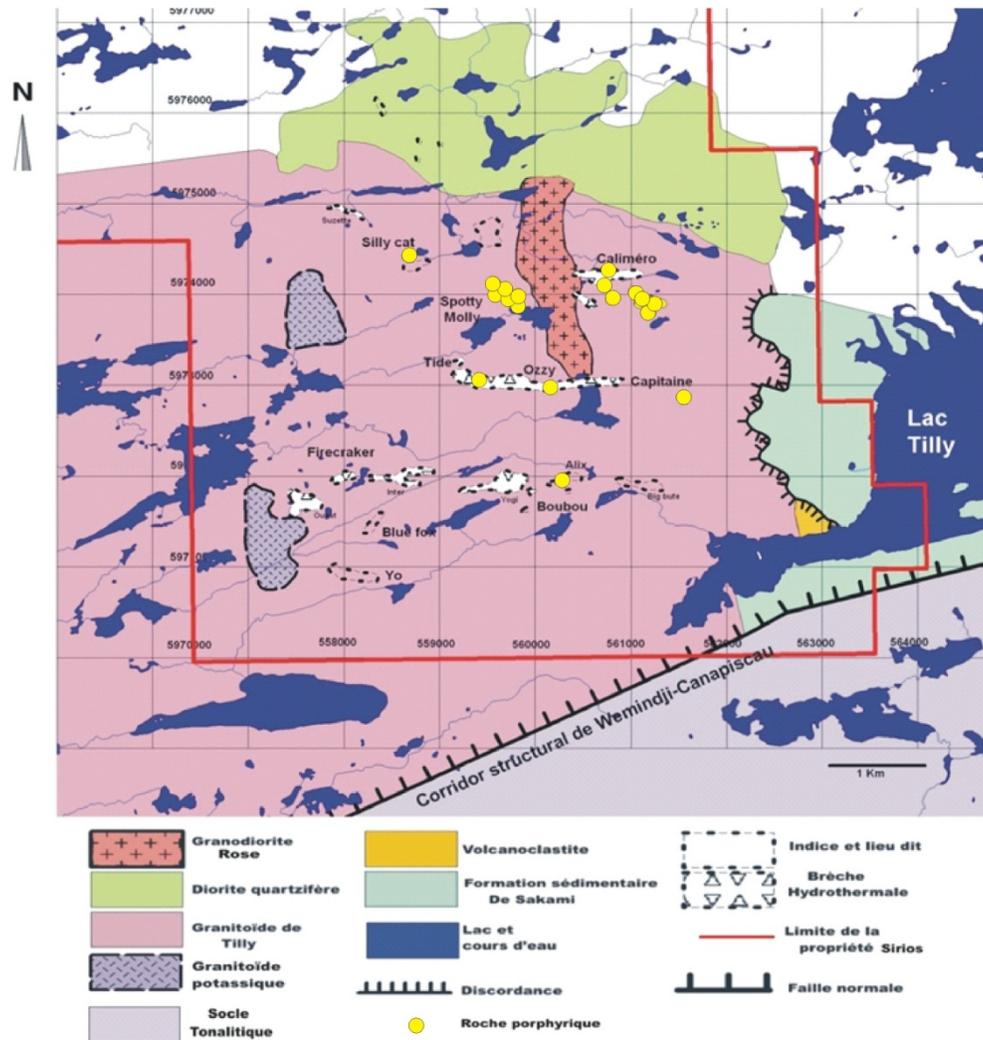


Figure 2 : Carte géologique de la région de Tilly.

De nombreux dykes mafiques recoupent les granitoïdes et ils ne semblent pas définir une orientation préférentielle.

Des roches volcanoclastiques sont observées dans le sud-est de la propriété.

A l'est de la propriété, la Formation de Sakami repose en discordance sur les volcanoclastites et parfois directement sur les granitoïdes. Il s'agit d'une séquence de plate-forme arénitique d'âge Paléoproterozoïque. Cette unité est orientée environ N-S et présente un pendage d'environ 25-30° traduisant un basculement vers l'est.

### 3.1.1. La diorite quartzifère

Ce faciès se retrouve au nord de la propriété et correspond aux valeurs les plus hautes sur la carte du

champ magnétique totale même si celui-ci ne présente que des variations minimales (rapport inédit Abitibi géophysique 2008). Il se distingue très bien au niveau de la géochimie avec des valeurs en silice plus faible et en magnésium plus forte.

### 3.1.2. Le granitoïde de Tilly

Le granitoïde encaissant des minéralisations contient environ 30-40% de quartz, 50-60% de feldspaths et 10-15% de biotite. Il ne semble pas montrer de variations majeures de composition, même si l'on observe localement des différences de granulométrie et de morphologie des cristaux de quartz. Ces différences pourraient être le résultat de plusieurs phases intrusives.

On observe des variations de teintes des feldspaths en forages et sur le terrain, de blanc à rose. Ces

variations semblent pour la plupart dues à l'hématisation qui affecte la région et des colorations à la cobaltinitrine de sodium ont été nécessaires pour différencier les plagioclases des feldspaths potassiques.

Le granitoïde est recoupé par un réseau de veines/veinules de quartz plus ou moins dense et plus ou moins minéralisé, comme on verra ci-dessous.

### 3.1.3. Les intrusions porphyriques

La plupart des roches porphyriques observées sur la propriété se trouvent dans le centre, la plus grande concentration se remarquant au niveau de l'indice Spotty-Moly. A certains endroits, ces roches recoupent clairement le granitoïde sous forme de dykes (Figure 3), à d'autres elles forment la matrice de brèches intrusives à fragments de granitoïde.

On observe deux types de roches porphyriques :

- Le type QFP blanc, composé de 15-20 % de phénocristaux de quartz idiomorphes de 2-3 mm et de 5-10 % de phénocristaux de feldspaths sub-idiomorphes dans une matrice quartzo-feldspathique blanche très fine. Il est à noter que les feldspaths ne se remarquent pas toujours facilement en surface altérée. Ce faciès contient souvent des traces de pyrite, de molybdénite associé à des micro-veinules ainsi que de la chalcopryrite (figure 4a).
- Le type QFP grisâtre, composé de 25-30 % de phénocristaux de feldspaths sub-idiomorphe de

3-5 mm et de 10% de phénocristaux de quartz sub-idiomorphe de 2-4 mm, dans une matrice aphanitique grise foncée (figure 4b).

### 3.1.4. Les dykes mafiques

L'épaisseur des dykes mafiques est généralement entre 0,2 et 2 m. Leur composition semble relativement similaire d'un dyke à l'autre (40% de feldspaths et 60% de minéraux ferromagnésiens). La mesure systématique de l'attitude de ces dykes, à l'échelle de la propriété, n'a pas révélé d'orientation préférentielle. Les dykes mafiques recoupent clairement la minéralisation et les brèches hydrothermales et sont donc tardifs par rapport au système minéralisateur (figure 5).

### 3.1.5. Les roches volcanoclastiques

Des roches volcanoclastiques litées ont été décapées sur six mètres près du lac Tilly. Elles sont composées de fragments de 1 à 55 cm de long, d'apparence felsique, dans une matrice semblant plus mafique. La composition de la roche totale est andésitique. Le litage, repris par une bonne schistosité, se visualise grâce à des variations granulométriques, de tuf grossier à tuf à blocs.

Cette unité présente une forte schistosité orientée environ 035/70 et les fragments semblent déformés en cigare. Cette déformation semble indiquer une compression NW-SE.

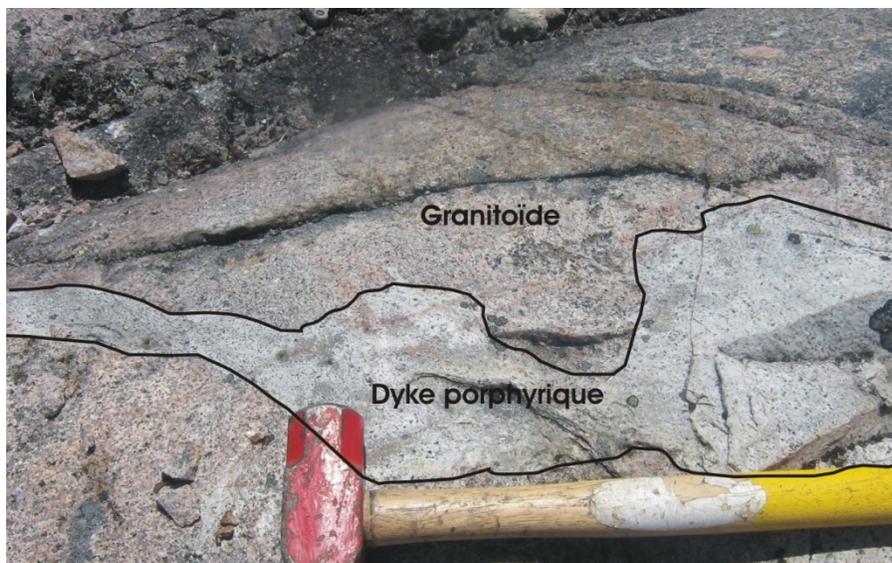


Figure 3 : Dyke de porphyre de type QP recoupant le granitoïde, indice Spotty-Moly.

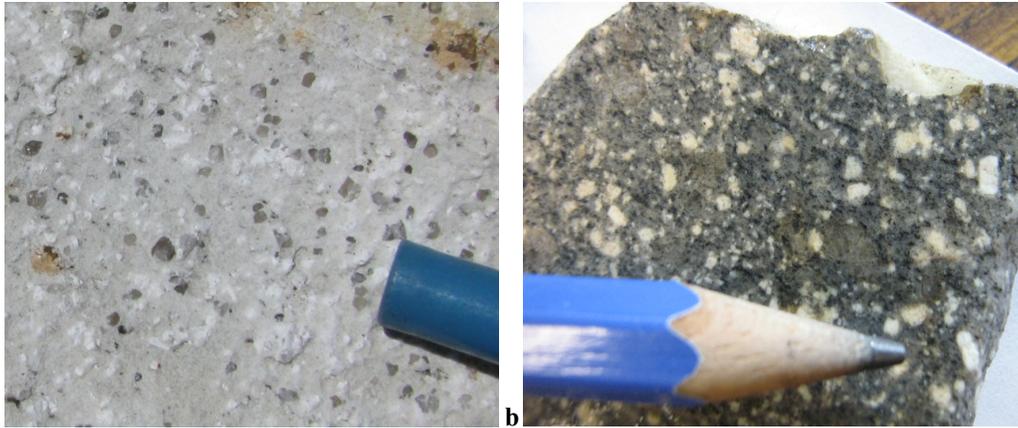


Figure 4 : (a) Porphyre de type QFP blanc; (b) Porphyre de type QFP grisâtre.

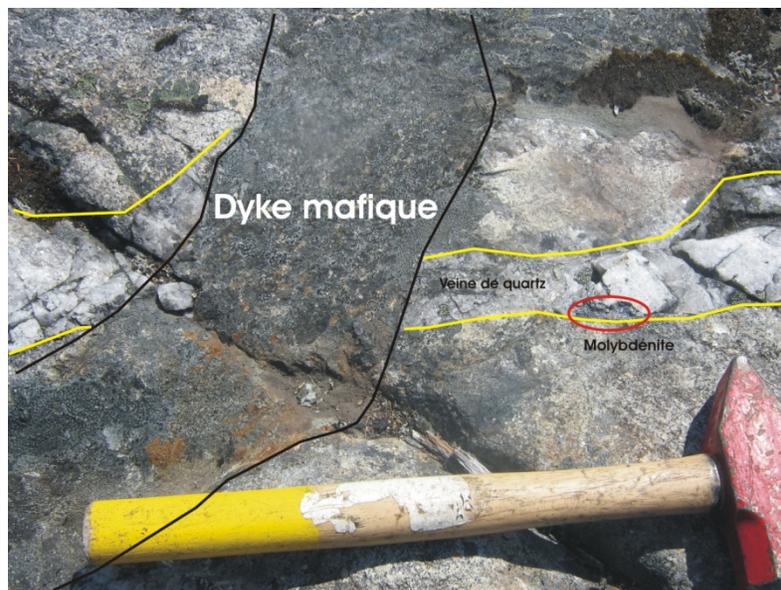


Figure 5 : Dyke mafique recoupant une veine de quartz minéralisée.

### 3.2. Pétrogenèse

L'étude géochimique des intrusions porphyriques peut apporter des informations supplémentaires sur la classification du système minéralisé, puisque les deux types de porphyres à Mo (« Arc » et « Rift ») présentent des associations géochimiques différentes (Figure 6; Seedorf et al., 2005).

Les données géochimiques montrent que les roches constituent une lignée calco-alcaline (Figure 7), avec une signature en éléments trace caractéristique des environnements d'arc insulaire (Figure 8).

## 4. LES ALTÉRATIONS

Plusieurs styles d'altérations hydrothermales ont été observés.

### 4.1. L'altération potassique

Sur le terrain, les zones d'altération en feldspath potassique ne sont pas faciles à identifier du fait de l'hématite affectant la région. Elles sont fortement suspectées dans les zones anormales en potassium présentant une densité de veines suffisante. Aucune altération à quartz-séricite-pyrite significative n'a pu être mise en évidence. Les zones anormales en potassium sur le levé radiométrique sont

des candidats pour des zones d'altération potassique ou à quartz-séricite-pyrite et les principales

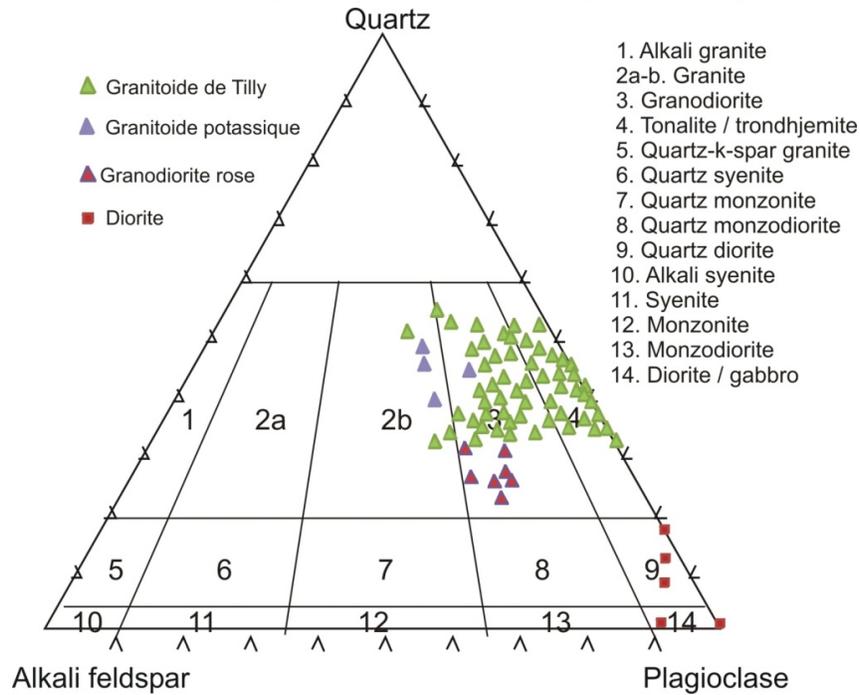


Figure 6 : Diagramme de Streckeisen montrant que les échantillons correspondent à une composition granodioritique à tonalitique.

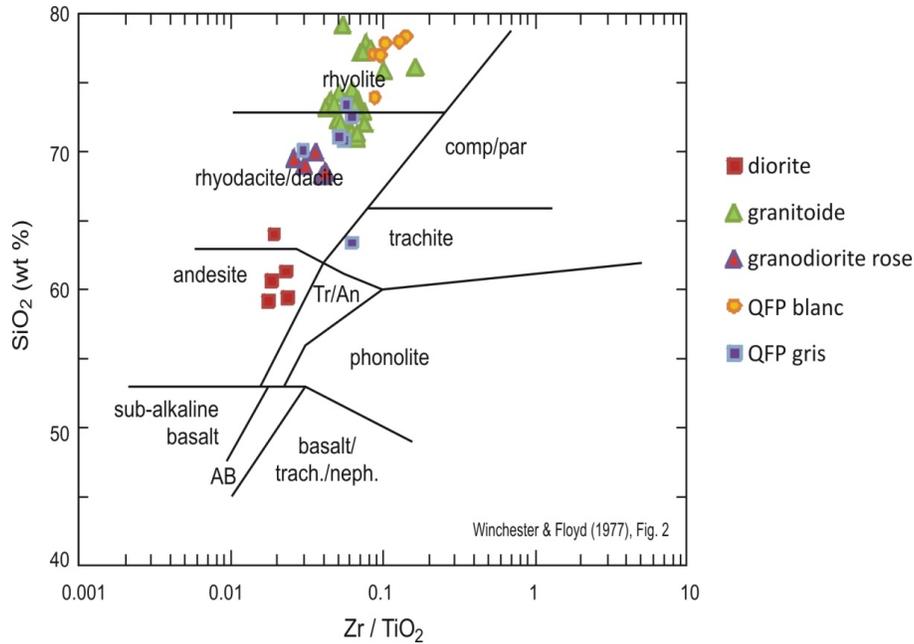


Figure 7 : Géochimie des roches plutoniques dans la région de Tilly.

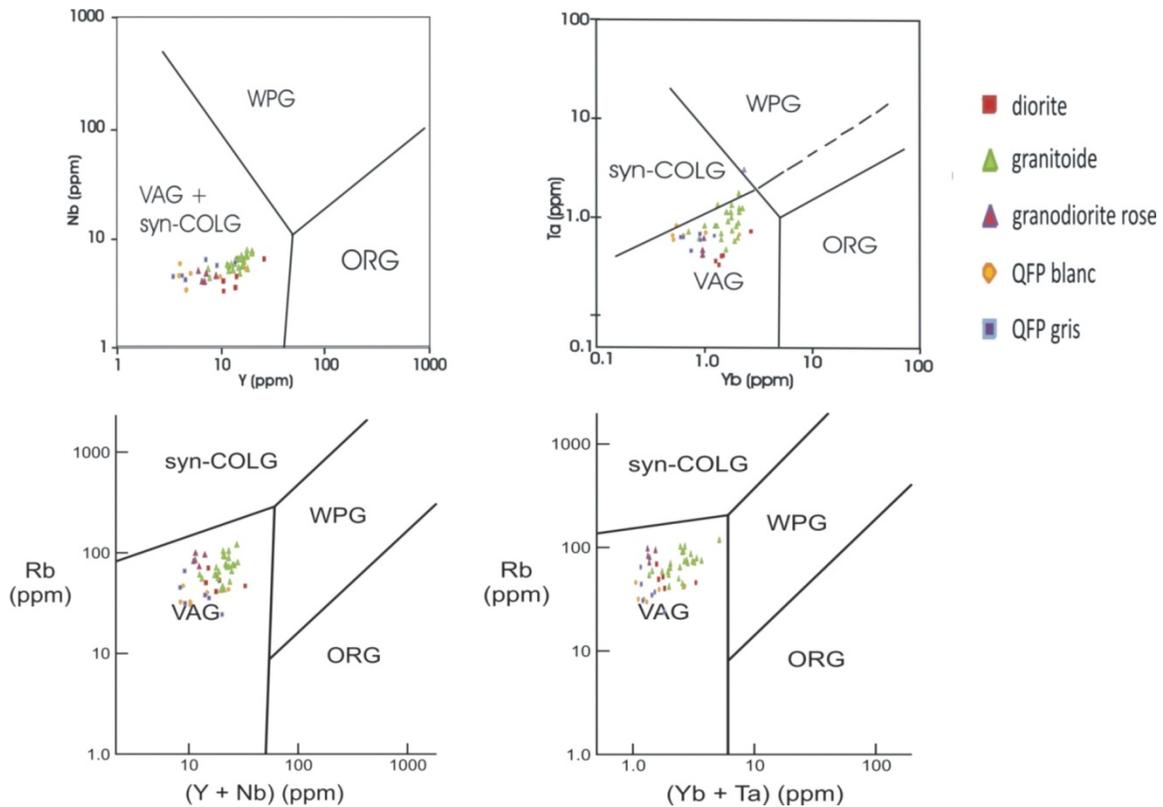


Figure 8 : Diagrammes géochimiques sur les roches plutoniques de Tilly.

anomalies, ont été visitées et les roches ont été échantillonnées.

L'étude pétrographique ainsi que les colorations à la cobaltinitrine de sodium ont permis de mettre en évidence cette altération (figure 9). Les principaux minéraux sont la biotite, le microcline et le quartz. Elles se présentent sous deux formes : (1) De façon pervasive avec des minéraux intergranulaire (figure 9a); (2) en veine et en veinules (figure 9b). Cette altération se retrouve dans les zones minéralisées.

L'interprétation des anomalies en potassium du levé radiométrique montre une combinaison de différentes phases intrusives et de zones d'altération potassique peu visible sur le terrain. Cela explique en partie pourquoi ces zones ne se superposent pas aux indices minéralisés comme le prédisent les modèles porphyriques classiques.

#### 4.2. L'hématisation

On observe de larges variations de teintes au sein du granitoïde, notamment en bordure des veines et veinules d'hématite ±épidote et des plans de fractures. Les variations de couleur du granitoïde semblent pour la plupart attribuables à l'hématisation

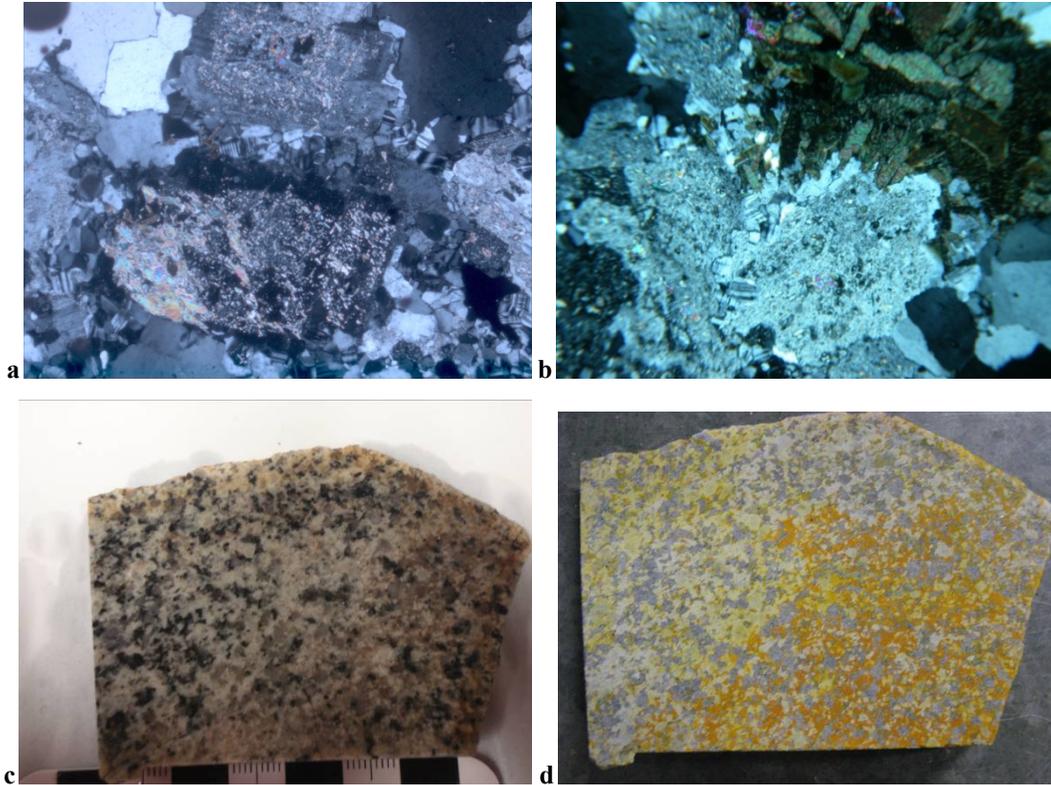
qui affecte la région. L'hématisation est localement intense (Figure 9) et est aussi observée dans la région, à l'extérieur de la propriété, selon le MRNF. L'hématite n'est pas clairement liée au système porphyrique de Tilly et se concentre surtout près des linéaments majeurs.

#### 4.3. L'épidotisation

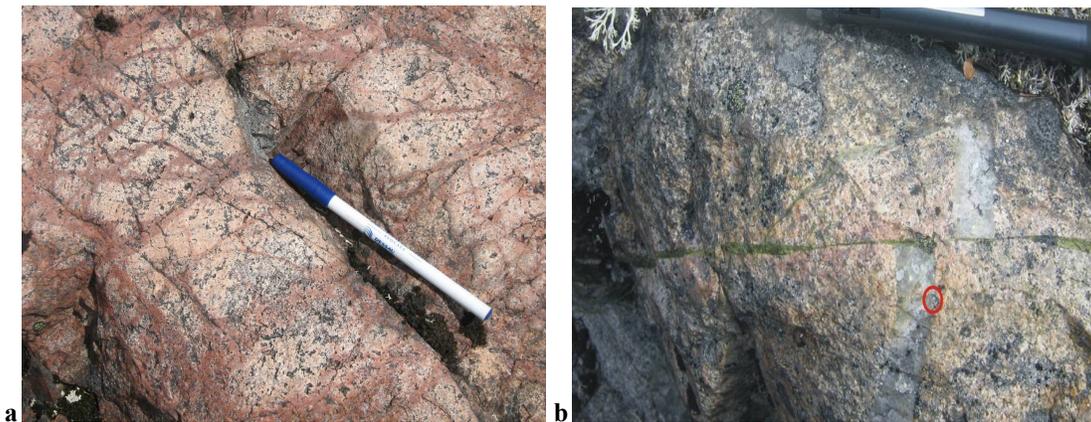
L'épidote est souvent associée à l'hématite sur la propriété, ce qui suggère qu'elle n'est non plus pas liée au système porphyrique. L'épidote se présente sous forme de veines/veinules parfois à l'intérieur de zones minéralisées comme à l'indice Yo mais aussi à l'extérieur de ces zones. S'il s'agissait d'une altération propylitique, l'épidote proviendrait de l'altération des plagioclases et se situerait seulement à l'extérieur des zones minéralisées. L'épidote est clairement postérieure à la minéralisation à l'indice Alix (Figure 10).

### 5. LES MINÉRALISATIONS

Au sein de la propriété, le molybdène constitue la minéralisation métallique la plus répandue, même si l'on note de nombreuses valeurs de cuivre sur des



**Figure 9 :** évidence d'altération potassique; *a. Microcline intergranulaire autour de plagioclase séricitisé. b. Veinules de Qz-Microcline recoupant un plagioclase séricitisé. c. front d'altération en surface sciée humide. d. front d'altération en surface colorée.*



**Figure 10 :** *a. stockwerk à hématite recoupant le granitoïde de Tilly. b. veinules d'épidote recoupant une veine de quartz minéralisé en molybdénite, marquée par un cercle rouge.*

échantillons choisis. Quelques valeurs en or supérieures à 500 ppb ont aussi été mesurées (Figure 11).

Les minéralisations sont exclusivement encaissées par le granitoïde de Tilly et les intrusions

porphyrique. Elles comprennent pyrite, molybdénite, et chalcopryrite, avec bornite et chalcocite mineures. L'or et l'argent sont systématiquement associés aux teneurs en cuivre les plus élevées plutôt qu'avec le molybdène. Un échantillon exceptionnel, Ti-11 contient de la fluorine. Cependant, les analyses

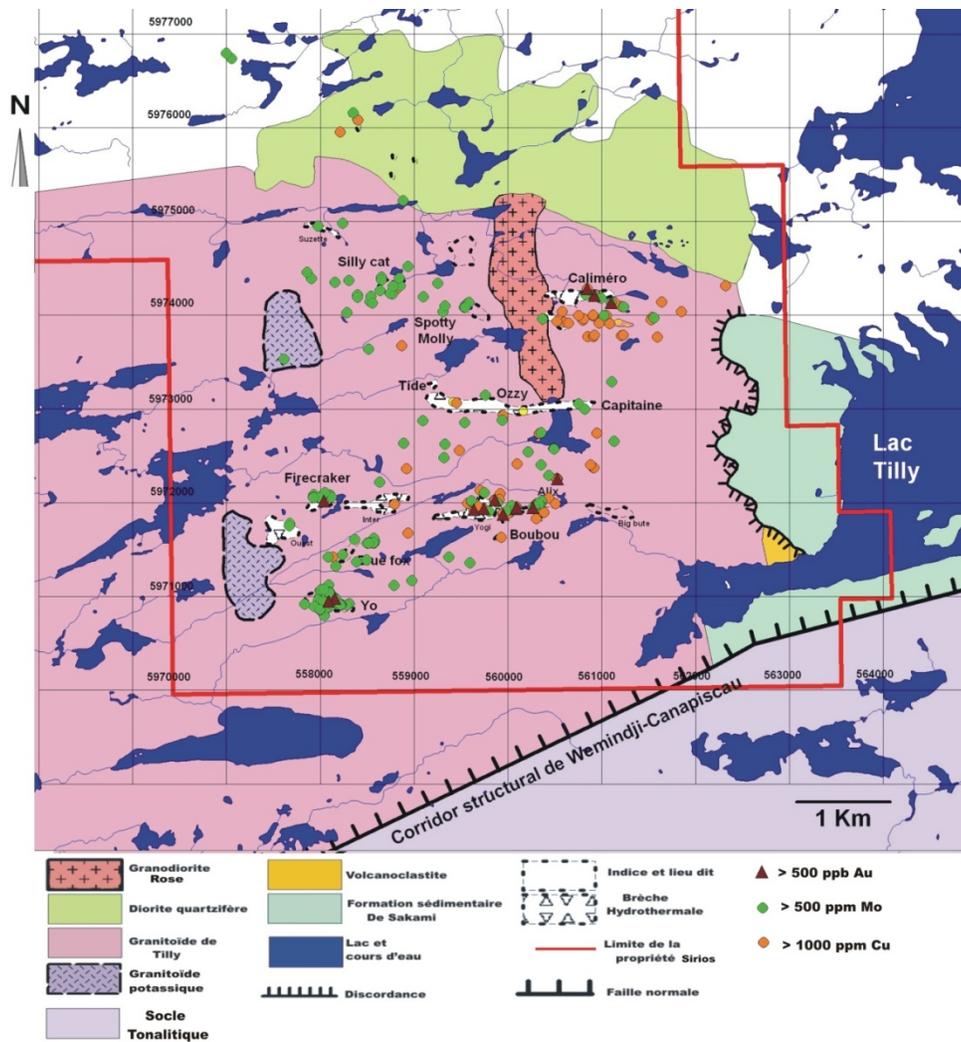


Figure 11 : Carte géologique préliminaire de la propriété Tilly montrant la localisation des indices et les valeurs en Mo-Cu et Au des échantillons choisis prélevés.

géochimiques de onze échantillons pour le fluor montrent des teneurs très faibles.

De nombreuses zones de brèche hydrothermale sont présentes au sein du granitoïde de Tilly (Figure 12). Les corps bréchiques semblent suivre un alignement E-W et l'on peut remarquer aussi un allongement environ N075° des brèches Firecraker, Yogi et Alix. Il est probable qu'il existe un contrôle structural.

Les caractéristiques des brèches démontrent qu'il s'agit d'une fracturation hydraulique : fragments anguleux, bon tri, ciment hydrothermal, et localement textures de brèches in situ. La proportion de ciment est variable mais certains domaines bréchiques en présentent assez pour permettre un mouvement plus important des fragments. Cela pourrait expliquer que certains fragments soient arrondis. Plusieurs brèches

sont au moins localement polymictes, comme les brèches Yogi et Ozzy (Figure 13). Elles reflètent la reprise de brèches magmatique ou de dyke par les fluides hydrothermaux. L'angulosité des fragments démontre des déplacements limités dans les conduits bréchiques.

On observe sur la propriété Tilly principalement quatre styles de minéralisation en molybdène : (1) la molybdénite en amas dans le ciment riche en quartz des brèches hydrothermales (Figure 14a), par exemple à Firecraker; (2) les réseaux de veines et veinules de quartz-molybdénite dans le granitoïde (Figure 14b), par exemple aux indices Yo, Bluefox et Firecraker sud; et (3) les minéralisations disséminées de molybdénite et chalcoppyrite dans le granitoïde de Tilly comme à Silly Cat, Spotty Moly et Yo (figure

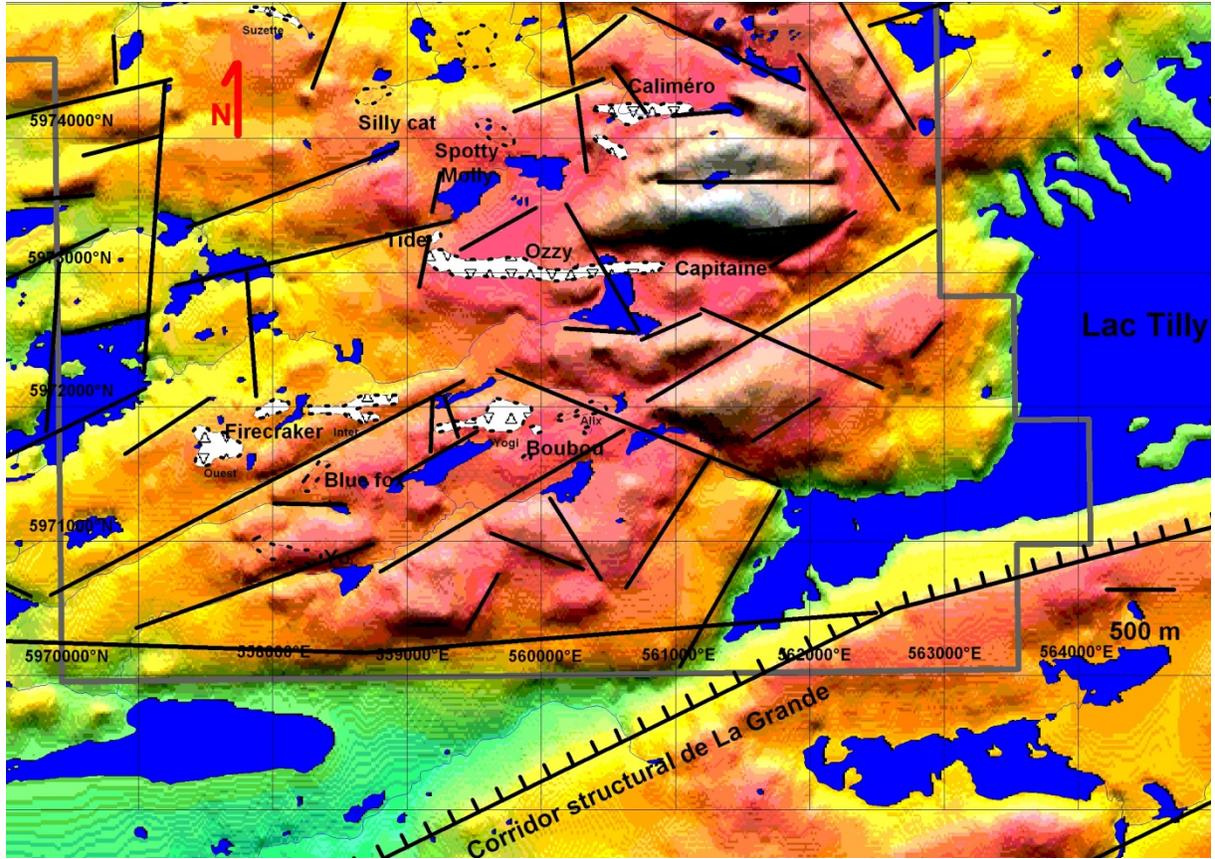


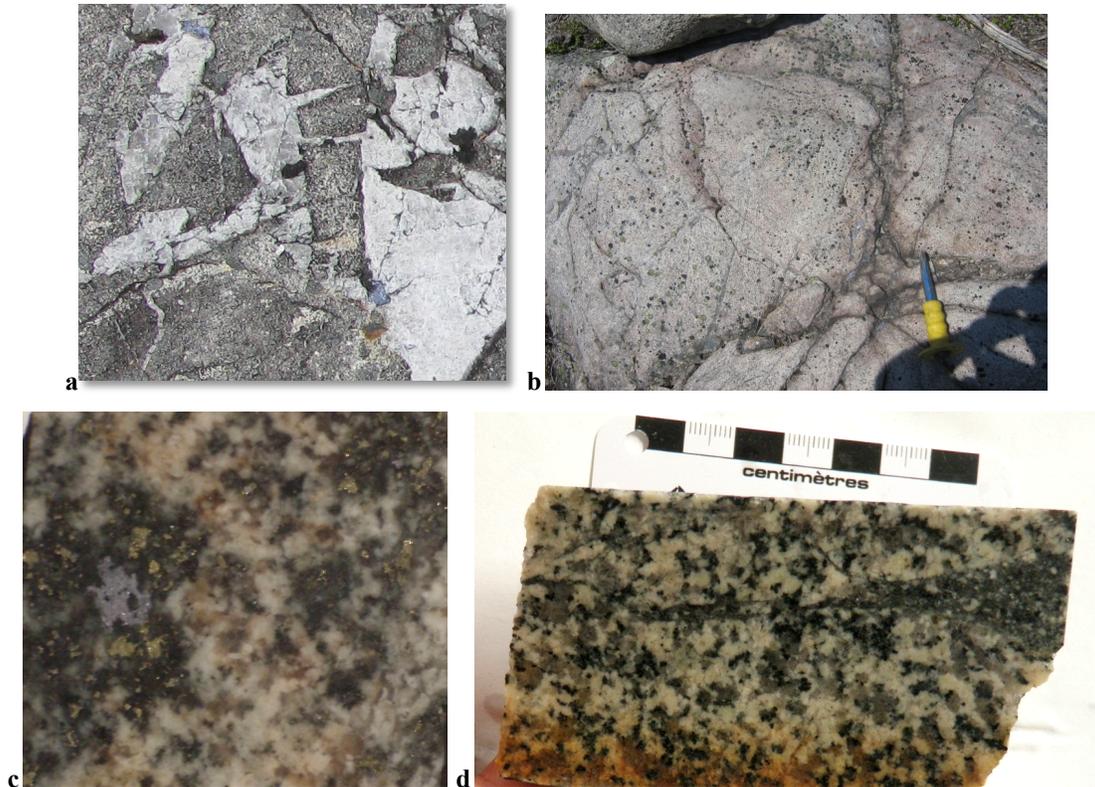
Figure 12 : Modèle numérique de terrain de la partie centrale de la propriété Tilly montrant la localisation des brèches hydrothermales et l'interprétation de l'orientation des principaux linéaments.

14c) ; (4) les minéralisations associées aux roches porphyriques, principalement à Spotty Moly (figure 14d).

L'ensemble de ces minéralisations en molybdène recoupe le granitoïde de Tilly. Elles sont donc issues d'une source plutonique plus profonde. Il est probable que les dykes porphyriques soient la



Figure 13 : Brèche Ozzy mettant en évidence plusieurs types de fragments.



*Figure 14 : Les différents styles de minéralisation rencontrés sur la propriété Tilly.*

manifestation d'un granite porphyrique plus en profondeur.

L'assemblage métallique à Mo-Cu±Au, le style de la minéralisation (stockwerks, brèches) ainsi que la quasi-absence de fluorine sont caractéristiques des gisements porphyriques à Mo de type « arc », plutôt que des gisements porphyriques de type « rift » comme les exemples de Climax et Henderson au Colorado (Carten et al., 1988; Ross et al., 2002).

## 6. DATATIONS

L'âge du système porphyrique de Tilly a été abordé par deux méthodes isotopiques : d'une part, on a daté trois échantillons plutoniques par U-Pb sur zircon, avec la collaboration de Jean David. Par ailleurs, la molybdénite a fait l'objet d'analyse isotopique du couple Re-Os avec André Poirier. Nous donnerons ici quelques résultats préliminaires.

### 6.1. U-Pb sur zircon

#### 6.1.1. Le granitoïde de Tilly

Le granitoïde de Tilly est l'encaissant de la minéralisation et sur tous les affleurements rencontrés, celle-ci le recoupe. On en déduit que l'âge Re-Os sur molybdénite doit être plus jeune que 2746 Ma, c'est la limite supérieure (Figure 15).

#### 6.1.2. Les dykes porphyriques

Les dykes porphyriques sont liés à la minéralisation. Leur mise en place est supposée synchrone à celle-ci. On en déduit donc que l'âge Re-Os le plus proche de 2740 Ma sera le moins perturbé (Figure 16).

#### 6.1.3. La granodiorite rose

La granodiorite rose est stérile et n'est recoupée par aucune veine de quartz. Elle est donc post-hydrothermalisme et post-minéralisation. On en déduit donc que l'âge Re-Os devrait être plus vieux que 2710 Ma (Figure 17).

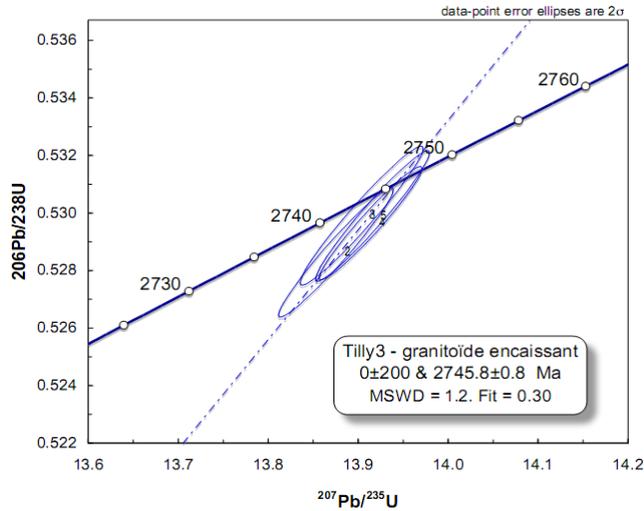


Figure 15 : Courbe Concordia pour le granitoïde de Tilly et photographie des zircons analysés.

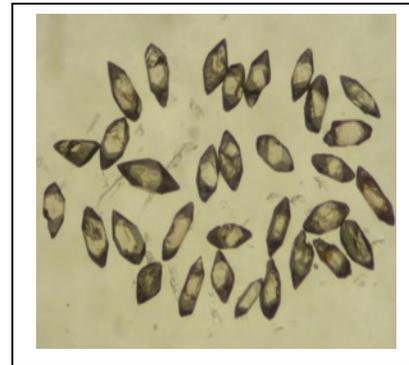
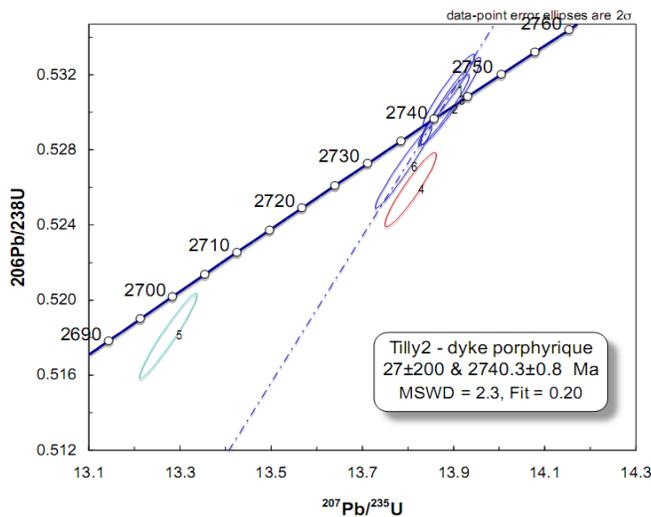


Figure 16 : Courbe Concordia pour le dyke porphyrique et photographie des zircons analysés.

## 6.2. Re-Os sur molybdénite

Plusieurs échantillons de molybdénite correspondant aux principaux faciès minéralisés ont été traités et la molybdénite séparée selon la méthode décrite par Stein et al 2001.

Les résultats préliminaires calibré à l'aide du standard Henderson (Markey et al, 2007) donne un âge moyen de  $2576 \pm 34$  Ma interprété comme une possible remise à zéro du système.

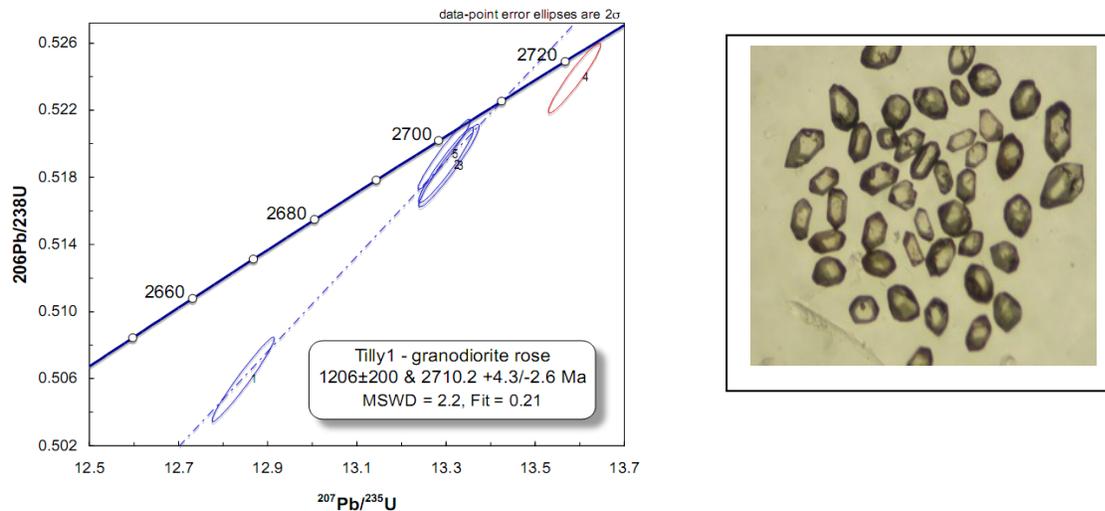


Figure 17 : Courbe Concordia pour la granodiorite rose et photographie des zircons analysés.

## 7. CONCLUSIONS PERSPECTIVES

## ET

L'objectif de ce projet était de documenter la géologie du porphyre de Tilly afin de mieux comprendre ses conditions de mises en place, et de le comparer à d'autres systèmes archéens.

Le système est-il comparable à ceux du Phanérozoïque, dans les arcs continentaux, de type porphyre à Mo-Cu ? Le style de minéralisation (stockwerks et brèches) et l'association métallique de la propriété Tilly sont bien typiques des porphyres. Cependant, les altérations à quartz-séricite-pyrite sont peu développées. Cela peut être dû à une évolution limitée des fluides, sans tendance au développement de conditions acides dans un contexte de profondeur un peu plus importante que les équivalents phanérozoïques. Il n'y aurait donc pas de différences significatives entre porphyres de différentes époques

L'assemblage métallique Mo-Cu ± Au est caractéristique d'un système porphyrique à molybdène de type « arc », comme à Endako en Colombie-Britannique, plutôt qu'un système porphyrique de type « rift » comme les gisements de Climax et d'Henderson au Colorado (Carten et al., 1988).

Les zones minéralisées rencontrées en affleurement et en forages sont jusqu'ici sub-économiques, du fait du caractère discontinu des minéralisations.

Plusieurs travaux sont en cours d'achèvement afin de finaliser la modélisation de la minéralisation porphyrique de Tilly, et notamment des: analyses pétrographiques et minéralogiques, des datations isotopiques Re-Os, la géochimie isotopiques Rb-Sr et de l'oxygène dans le quartz. L'interprétation finale devra souligner les spécificités et les analogies de ce système porphyrique archéen. L'ensemble des résultats seront présentés dans le mémoire de maîtrise de Baptiste Chapon à l'UQAM, et dans une publication à soumettre à Economic Geology.

## 8. RÉFÉRENCES

- 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*, 83: 266-296.
- Groves, D.I., Goldfarb, R.J. 2007. The role of exhumation in the temporal distribution of ore deposits - A discussion. *Economic Geology*, 102: 155-158.
- Jébrak, M. 1997. Hydrothermal breccias in vein-type ore deposits: A review of mechanisms, morphology and size distribution. *Ore Geology Reviews*, 12: 111-134.
- Jébrak, M., Marcoux, E. 2008. Géologie des ressources minérales. Ressources naturelles et Faune, Québec ed. Québec: MRNF, Québec; 667 p.

Laznicka, P., 2006. Giant Metallic Deposits and Future Sources of Industrial Metals, 732 p.

Markey, R., Stein, H.J., Hannah, J.L., Zimmerman, A., Selby, D., Creaser, R.A., 2007. Standardizing Re-Os geochronology : A new molybdenite Reference Material (Henderson, USA) and the Stoichiometry of Os salts, *Chemical geology*, 244, pages 74-87.

Ross, P.-S., Jébrak, M., 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*, 97: 1679-1699.

Seedorff, E., Dilles, J. H., Proffett, Jr. J. M., Einaudi, M. T., Zurcher, L., Stavast, W. J. A., Johnson, D. A., et Barton, M. D., 2005. *Porphyry Deposits: Characteristics and Origin of Hypogene Features*. Hedenquist, J. W., Thompson, J. F. H., Goldfarb, R. J., et Richards, J. R., Editors. *Economic Geology, 100th Anniversary Volume*. Littleton, CO: Society of Economic Geologists Inc.; pp. 251-298.

Stein, H.J., Markey, R.J., Morgan, J.W., Hannah, J.L., et A. Scherstén, 2001. The remarkable Re-Os chronometer in molybdenite: how and why it works. *Terra Nova*, 13: 479-486.