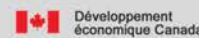
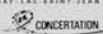


Typologie des intrusions associées aux grands couloirs de déformation de l'Abitibi et relations avec les minéralisations aurifères

Projet 2011-02

Benoit Lafrance, géo, Ph.D.

11^e Forum Technologique
Consorem-Divex
Val-d'Or,
11 septembre 2013



Problématique

- *Beaucoup de types différents d'intrusions aphyriques et porphyriques (dykes, stocks, plugs) spatialement associées aux grandes failles et couloirs de déformation de l'Abitibi*
- *Chronologie pas toujours claire entre les intrusions, la minéralisation aurifère et la déformation : porphyres et intrusions syn-volcaniques aurifères déformés ou « porphyres orogéniques » syn-déformation?*
- *Lien génétique ou seulement pièges structuraux et/ou chimiques pour la précipitation de l'or?*

Problématique

- *Âges variables des intrusions; e.g. 2722 Ma pour FP de Detour, 2689 Ma pour QFP de Duparquet et 2672 Ma pour la syénite porphyrique de Granada (Goutier et Melançon, 2007)*
- *Affinités géochimiques variables ?*
- *Difficulté d'utiliser la lithogéochimie avec des roches porphyriques et des roches alcalines.*

Intrusions porphyriques felsiques



Porphyre felsique à quartz et feldspath, cisaillement Norbénite, Niogold



Porphyre felsique à feldspath, décapage Placer Dome, Val-d'Or

Intrusions porphyriques intermédiaires



Porphyre monzodioritique à altération potassique (felspath-K+bio+cal+py; 0,43 g/t Au), Mine Canadian Malartic, Osisko

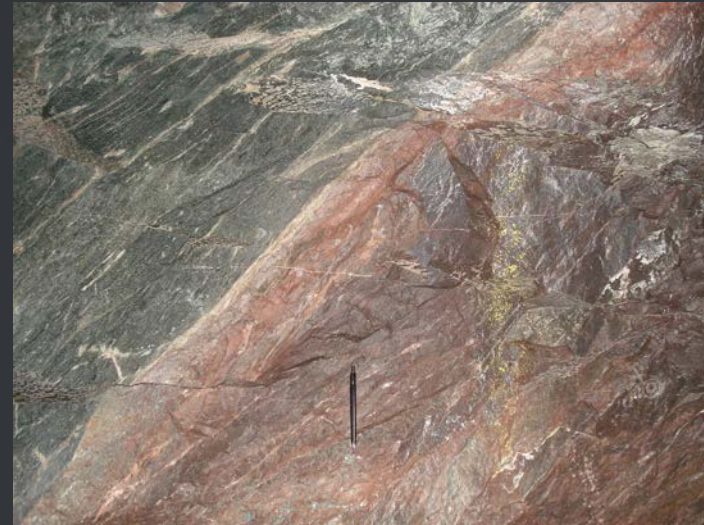
Photo courtoisie Osisko

Intrusions aphyriques felsiques

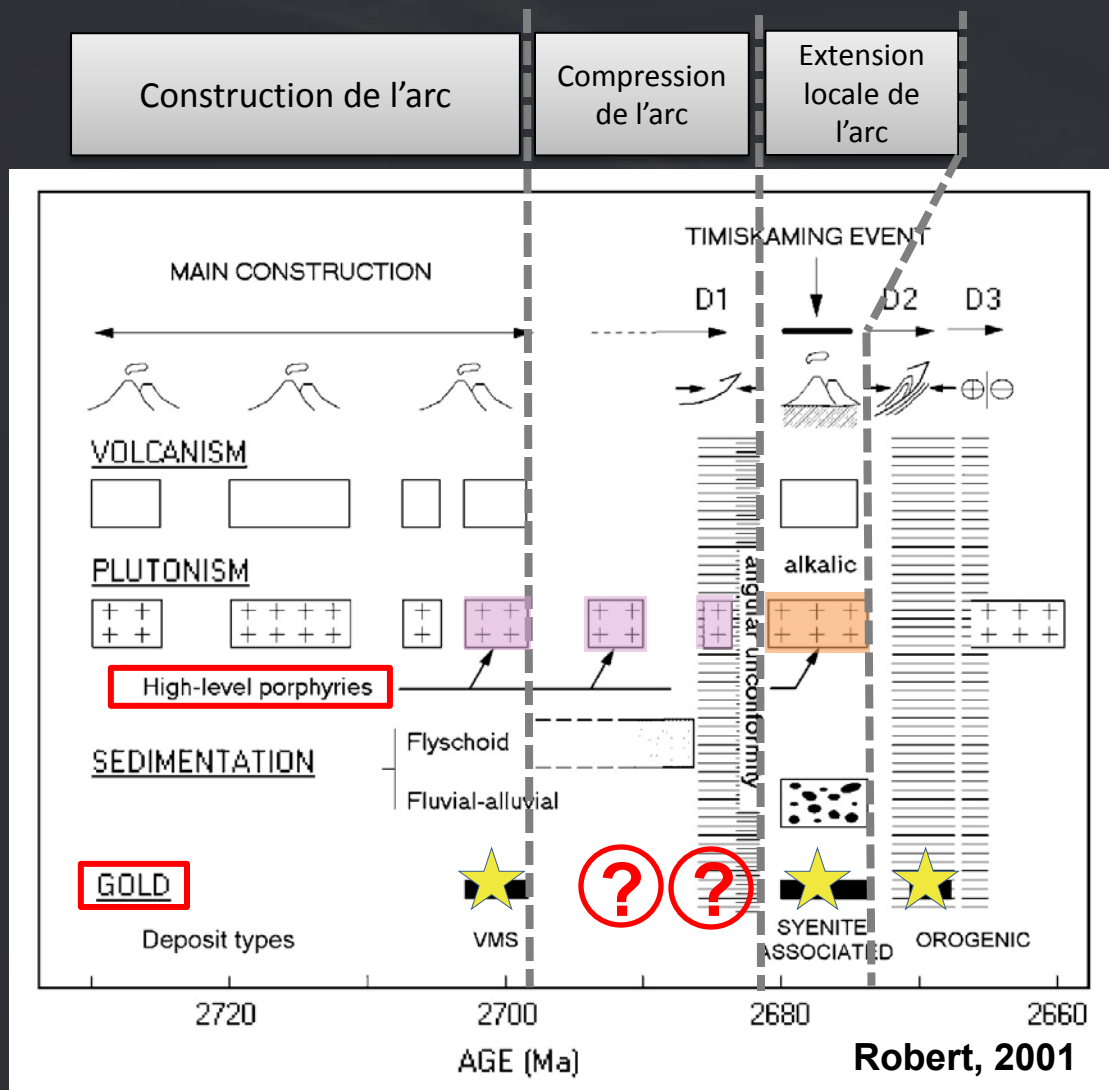


Dyke felsique avec réseau de veinules de quartz, Mine Canadian Malartic, Osisko

Intrusions alcalines



Dyke de syénite hématisée, Mine Francoeur, Mine Richmond



Phases de QFP et FP associées à la compression de l'arc 2695-2682 Ma pré-Timiskaming Continuum ou phases distinctes?

Phase alcaline et de QFP associée à l'extension locale de l'arc 2682-2672 Ma syn-Timiskaming

Or orogénique mésothermale

Basé sur : Robert, 2001, Bateman et al., 2008, Ispolatov, 2008, Daigneault et al., 2004

Objectifs

1. *Classifier en familles géochimiques les intrusions associées aux couloirs de déformation à partir d'une grande banque de données*
2. *Développer une méthode pour reconnaître les intrusions fertiles pour les minéralisations aurifères le long des couloirs de déformation*
3. *Cibler des secteurs favorables pour des minéralisations associées aux intrusions alcalines (monzonite-syéénite) et les intrusions calco-alcalines porphyriques en Abitibi*

Plan de la présentation

1) *Problématiques associées à la lithogéochimie des roches alcalines et porphyriques*

2) *Intrusions alcalines*

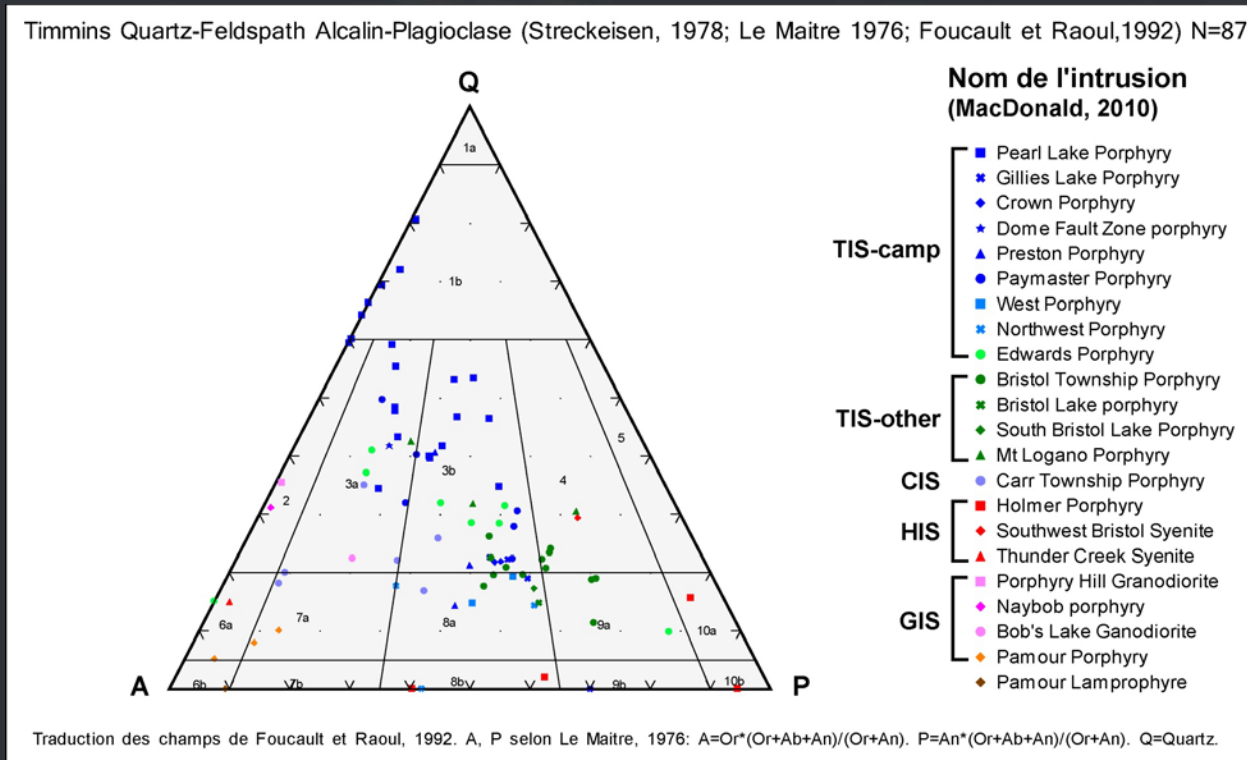
- 1) *Études de cas*
- 2) *Diagramme de fertilité Th/Nb vs Zr/Y pour les minéralisations aurifères*
- 3) *Identification des monzonites-syérites fertiles*

3) *Intrusions porphyriques calco-alcalines*

- 1) *Études de cas*
- 2) *Diagramme Zr/Ti vs Nb/Y (Pearce, 1996) pour discriminer les porphyres fertiles*
- 3) *Secteurs de favorabilité associées aux porphyres calco-alcalins*

1) Problématiques associées à la lithogéochimie des roches alcalines et porphyriques

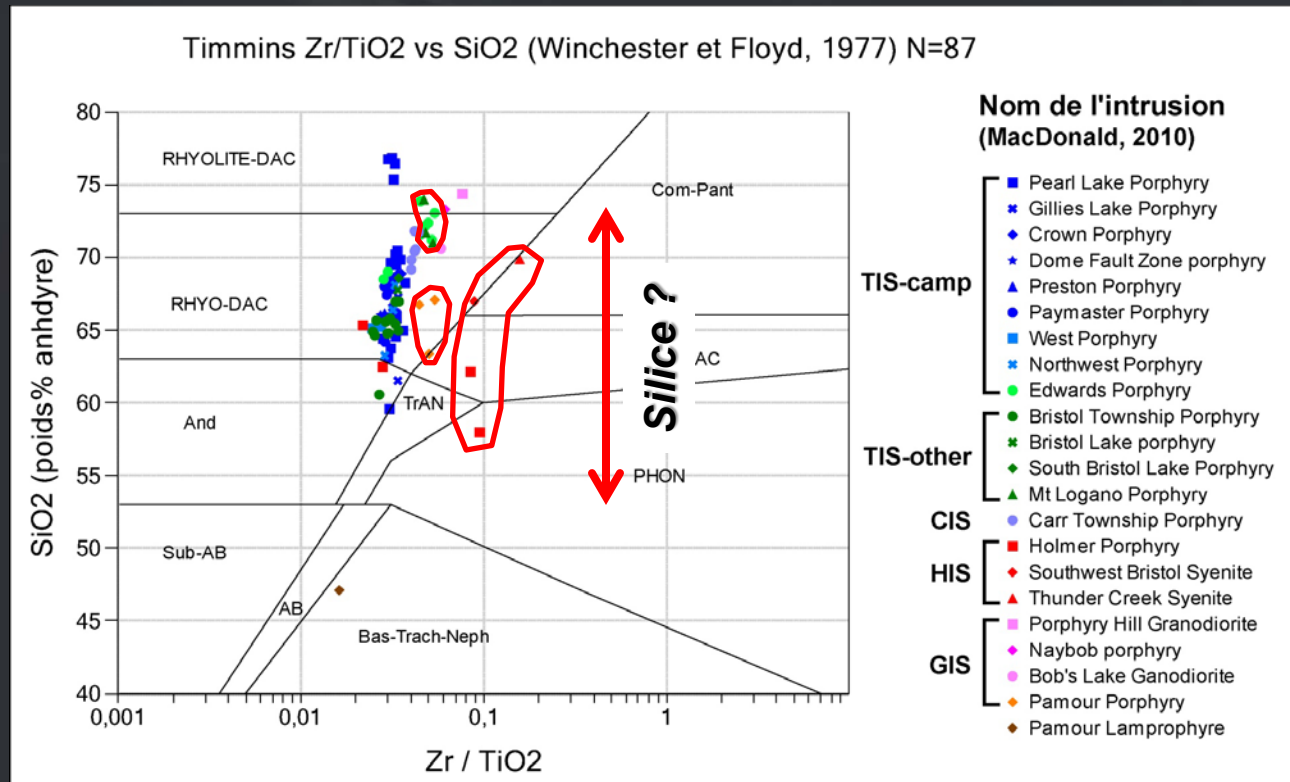
Quels diagrammes utiliser pour discriminer les roches porphyriques et alcalines d'une grande banque de données?



- *Problème avec le sodium et le potassium : igné ou altération?*
- *Éléments mobiles*

1) Problématiques associées à la lithogéochimie des roches alcalines et porphyriques

Quels diagrammes utiliser pour discriminer les roches porphyriques et alcalines d'une grande banque de données?



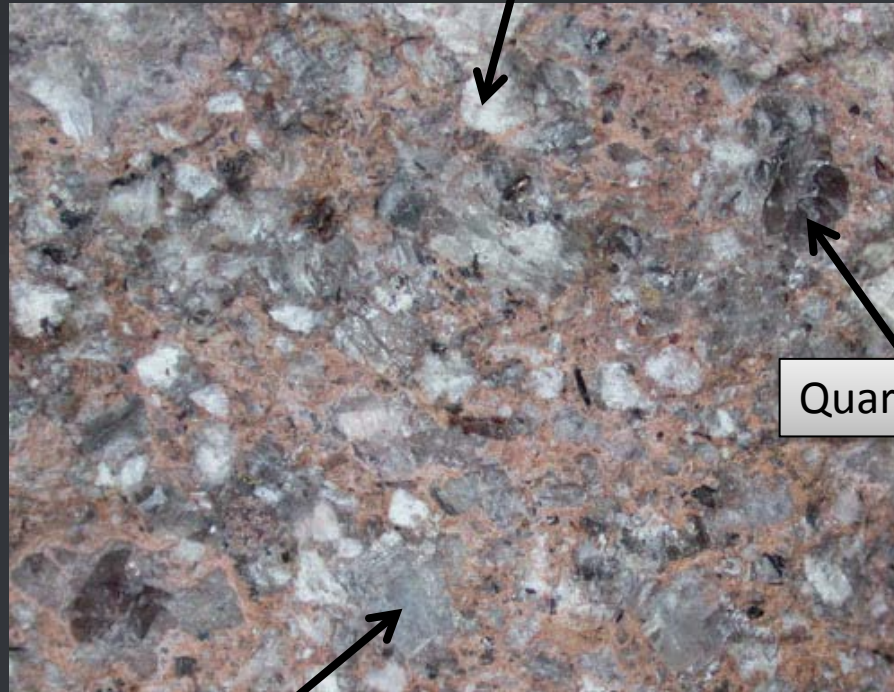
- *Le ratio Zr/TiO₂ semble discriminant pour déterminer l'alcalinité*
- *Mais l'altération en silice (gain ou perte) peut faire changer les échantillons de champs*
- *Il faudrait remplacer la silice par un élément immobile*

1) Problématiques associées à la lithogéochimie des roches alcalines et porphyriques

Problématique des phénocristaux

Les phénocristaux contrôlent la quantité de certains éléments majeures (Na, Ca, K, Si, Al) et traces (Ba, Rb, Sr, Y, La, Eu, Ga, Cs, etc.)

Feldspath potassique : K, Al, Ba, Rb, Sr, Cs



Quartz: Si

Plagioclase: Ca, Na, Al, Sr, Y, Eu, Ga

Problématique des phénocristaux

Effet de dilution ou de concentration sur les valeurs absolues de certains éléments dans les cristaux par rapport à la mésostase

Exemple : plus de phénocristaux de quartz augmente la quantité de SiO_2 et diminue les autres éléments de façon relative



Problématique associée à la lithogéochimie des roches porphyriques

Solutions

- 1. Choisir des éléments immobiles non sensibles à l'altération*
- 2. Choisir les éléments qui ne se retrouvent pas dans les phénocristaux mais plutôt dans les phases accessoires et la mésostase*
- 3. Utiliser des diagrammes avec des ratios d'éléments pour contrer l'effet de dilution/concentration sur les valeurs absolues*

Plan de la présentation

1) *Problématiques associées à la lithogéochimie des roches alcalines et porphyriques*

2) *Intrusions alcalines*

- 1) *Études de cas*
- 2) *Diagramme de fertilité Th/Nb vs Zr/Y pour les minéralisations aurifères*
- 3) *Identification des monzonites-syérites fertiles*

3) *Intrusions porphyriques calco-alcalines*

- 1) *Études de cas*
- 2) *Diagramme Zr/Ti vs Nb/Y (Pearce, 1996) pour discriminer les porphyres fertiles*
- 3) *Secteurs de favorabilité associées aux porphyres calco-alcalins*

Pour les intrusions alcalines

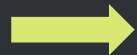
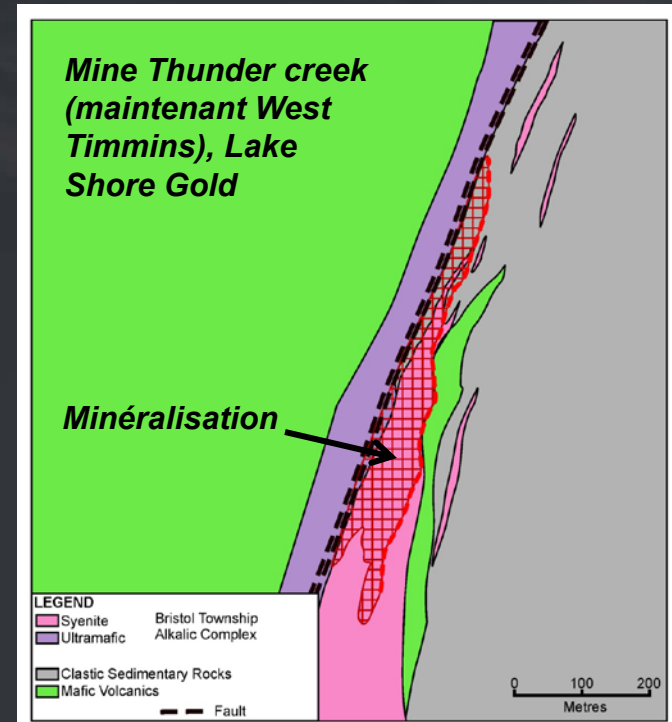
- *Lien génétique entre les intrusions alcalines et les gîtes aurifères est proposé par plusieurs auteurs (Cameron et Hattori, 1987; Robert, 2001)*
- *Le modèle porphyrique synvolcanique s'applique*
- *L'étude de Legault et Lalonde (2009) montre qu'il existe des intrusions alcalines fertiles et stériles, mais la caractérisation lithogéochimique repose en partie sur des éléments mobiles (MgO, Ba, Sr)*

Discrimination des syénites associées aux gisements aurifères de la Sous-province de l'Abitibi, Québec, Canada

M. Legault¹, A. E. Lalonde²

RP 2009-04

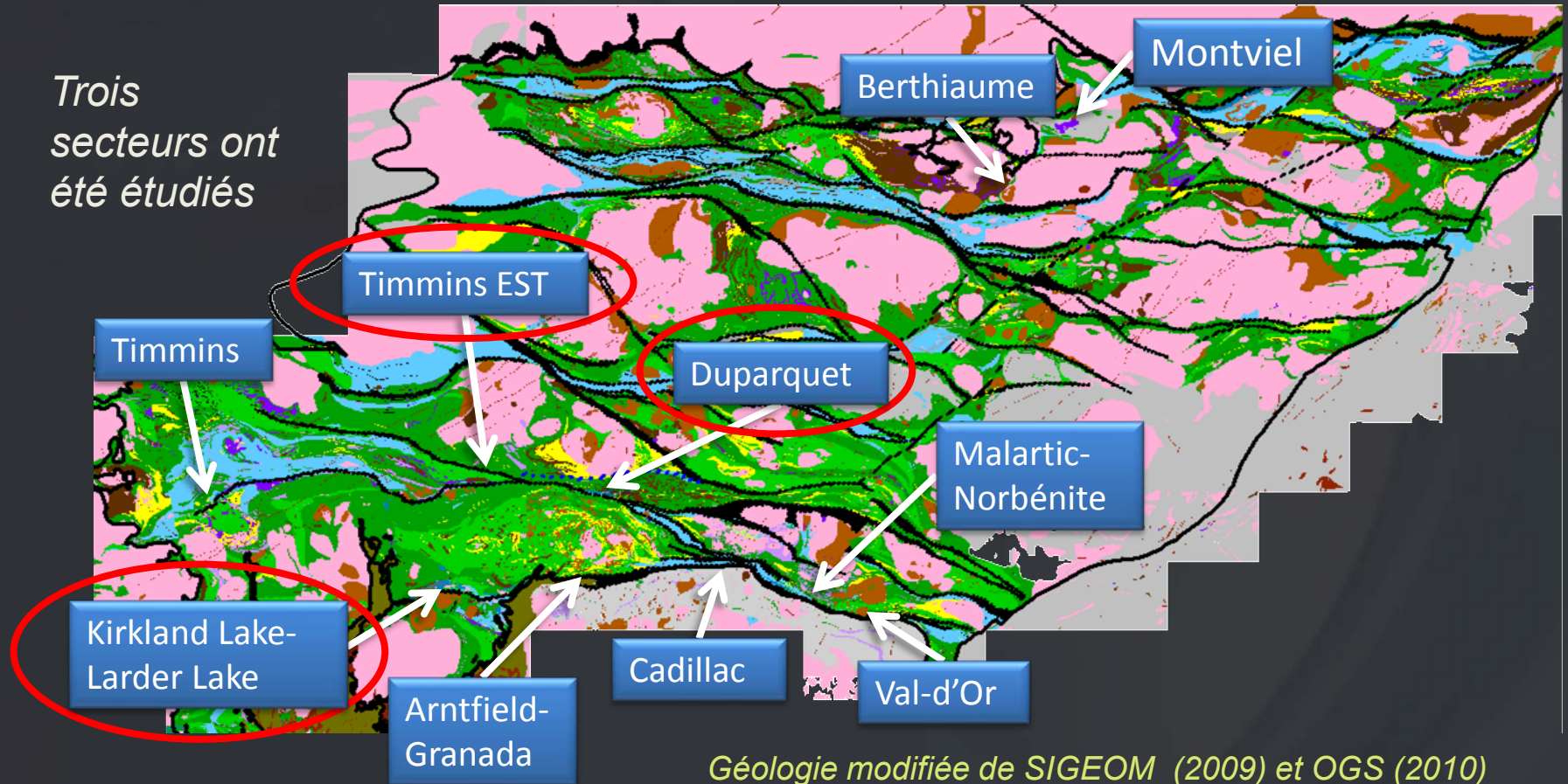
Mots clés : Abitibi, Pontiac, archéen, intrusion, alcalin, or



Besoin de caractériser géochimiquement les intrusions alcalines fertiles et stériles avec des éléments immobiles et non concentrés dans les phénocristaux

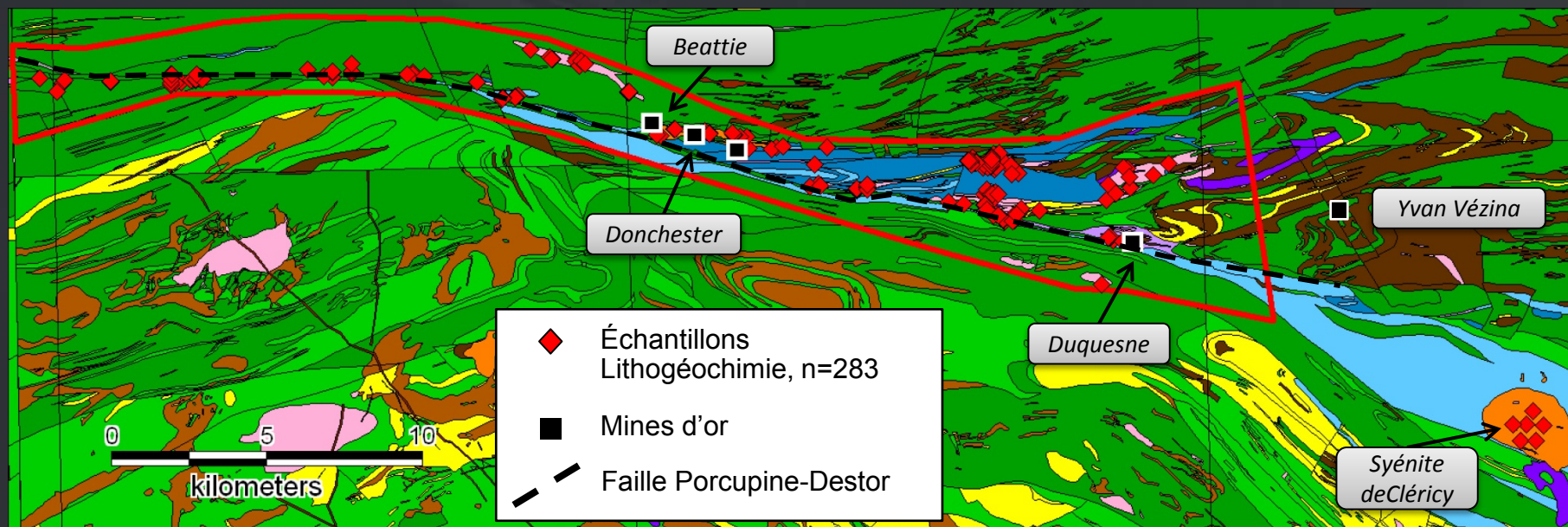
Secteurs ciblés pour les intrusions alcalines

Trois secteurs ont été étudiés



Géologie modifiée de SIGEOM (2009) et OGS (2010)

Camp de Duparquet



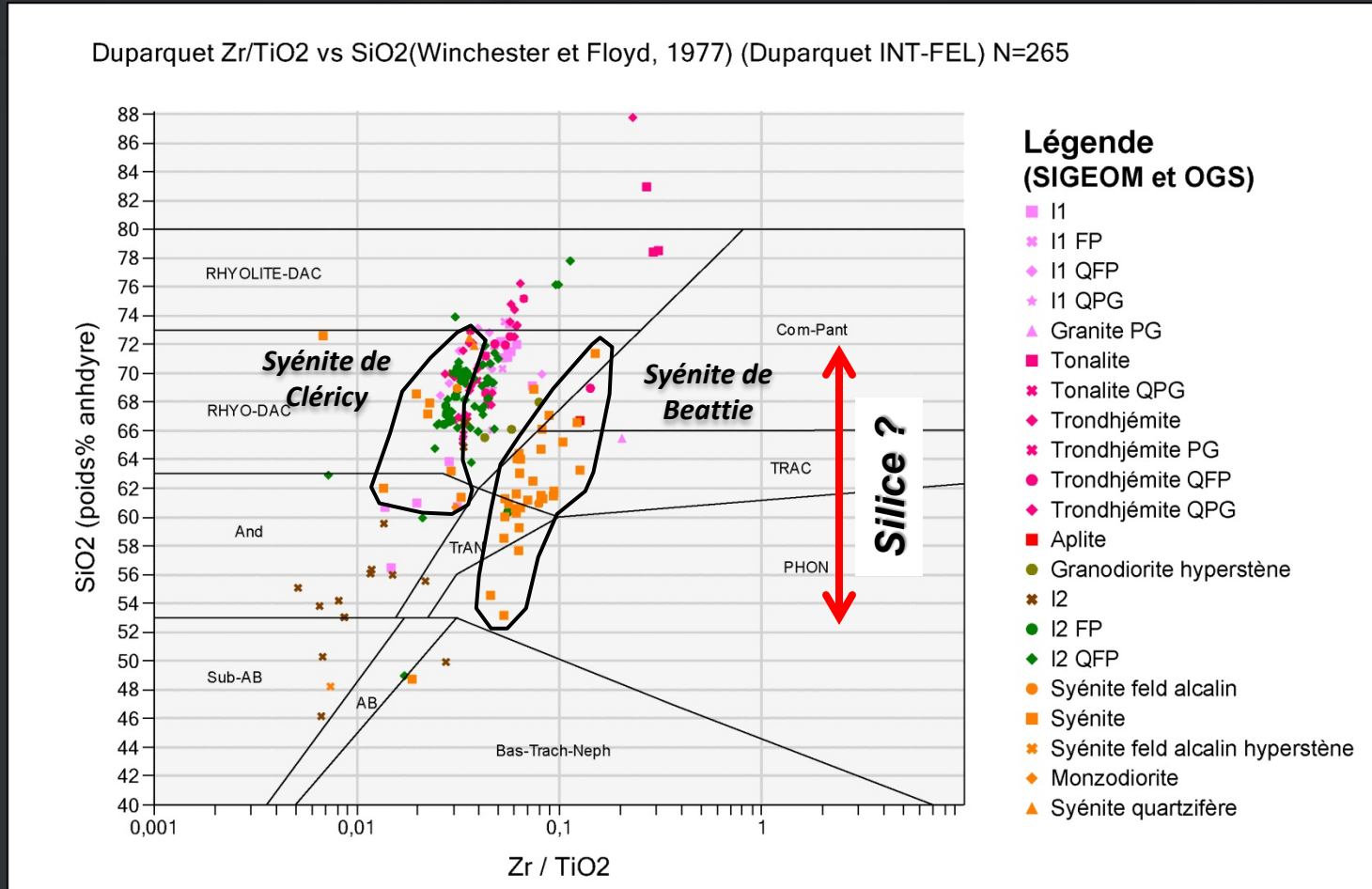
Géologie modifiée de SIGEOM (2009)

- *Porphyres andésitiques à rhyodacitique calco-alcalins à quartz et feldspath, (2689 Ma) pré-Timiskaming*
- *Syénite fertile (Beattie) et syénite stérile (Cléricy) du même âge, 2682 Ma (Legault et Lalonde, 2009)*

(Données du SIGEOM et de Bourne et L'Heureux, 1991; syénite de Cléricy)

Camp de Duparquet

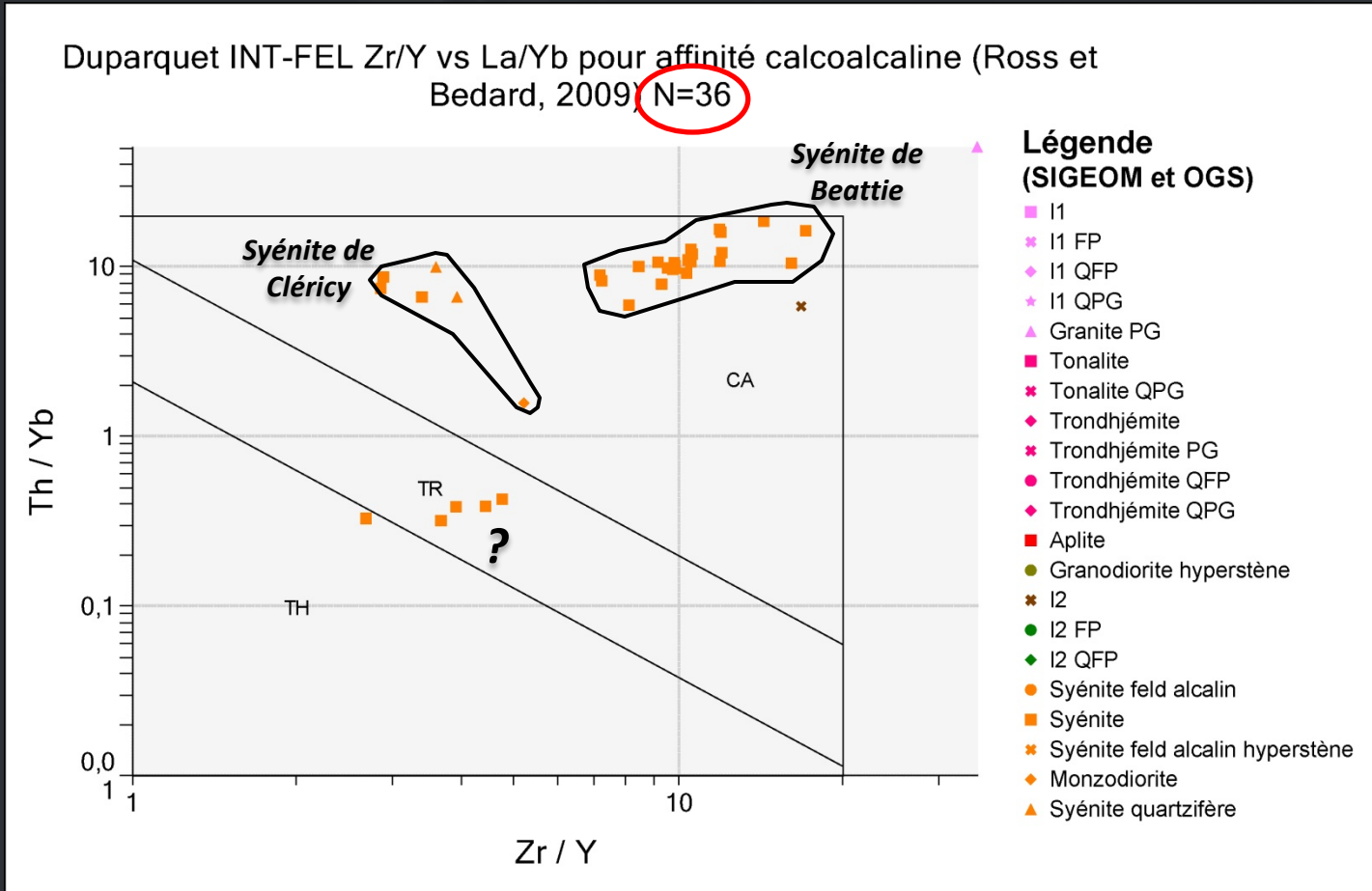
Lithologie – éléments majeures et traces



• Discrimination entre deux types de syénite et les intrusions porphyriques

Camp de Duparquet

Discrimination – éléments traces – diagramme de Ross et Bédard, 2009



• Discrimination des deux types de syénite

➔ Mais peu d'analyses avec les terres-rares

Discrimination – tests exploratoires avec plusieurs éléments traces

Diagramme Instantané N=87

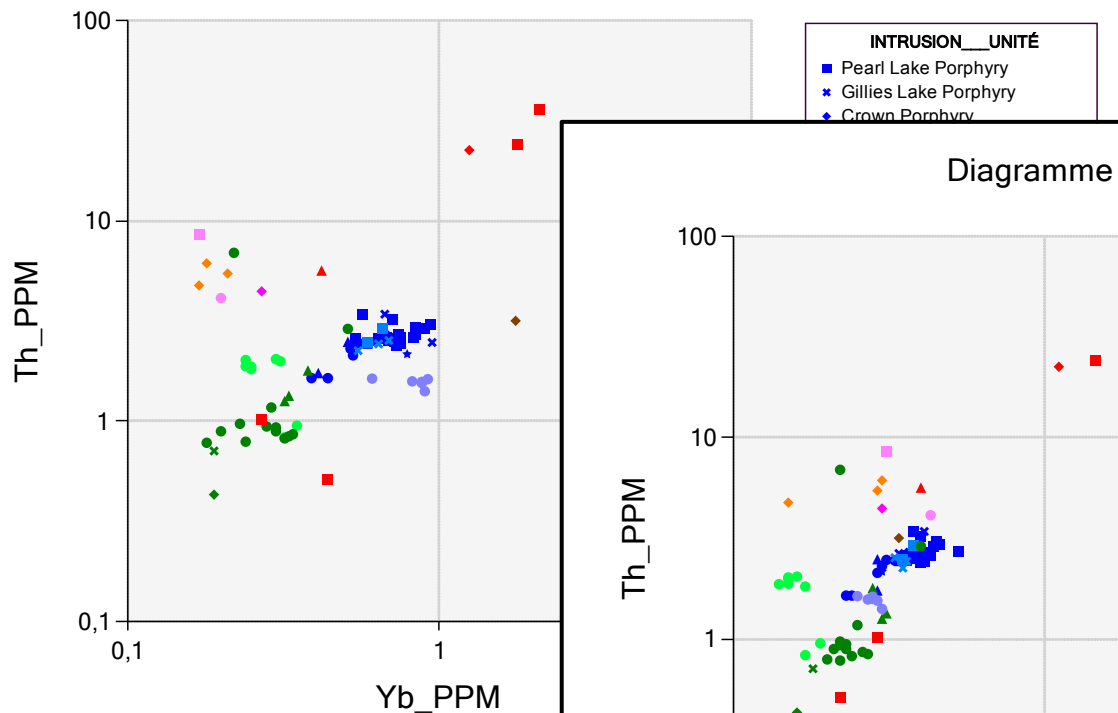
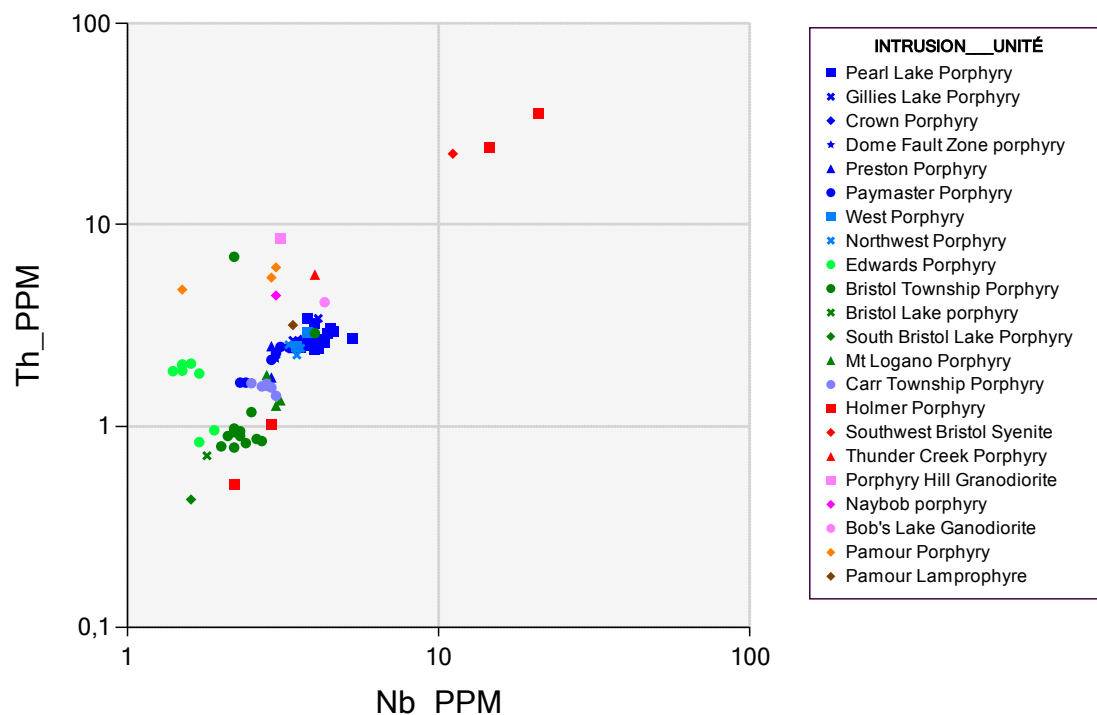


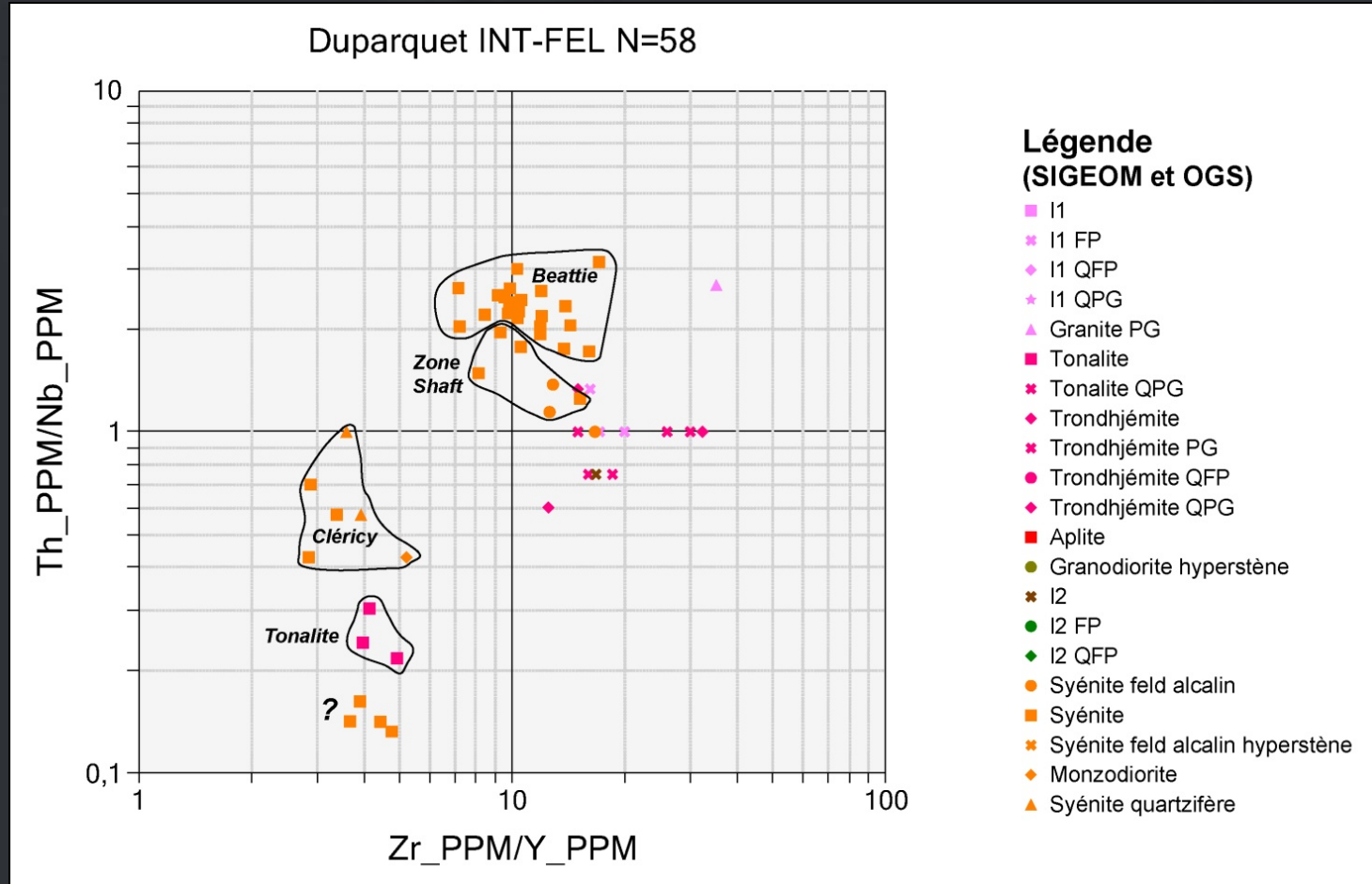
Diagramme Instantané N=87



- *Ratio Th/Nb semble être aussi discriminant que Th/Yb*

Nouveau diagramme de discrimination – Th/Nb vs Zr/Y

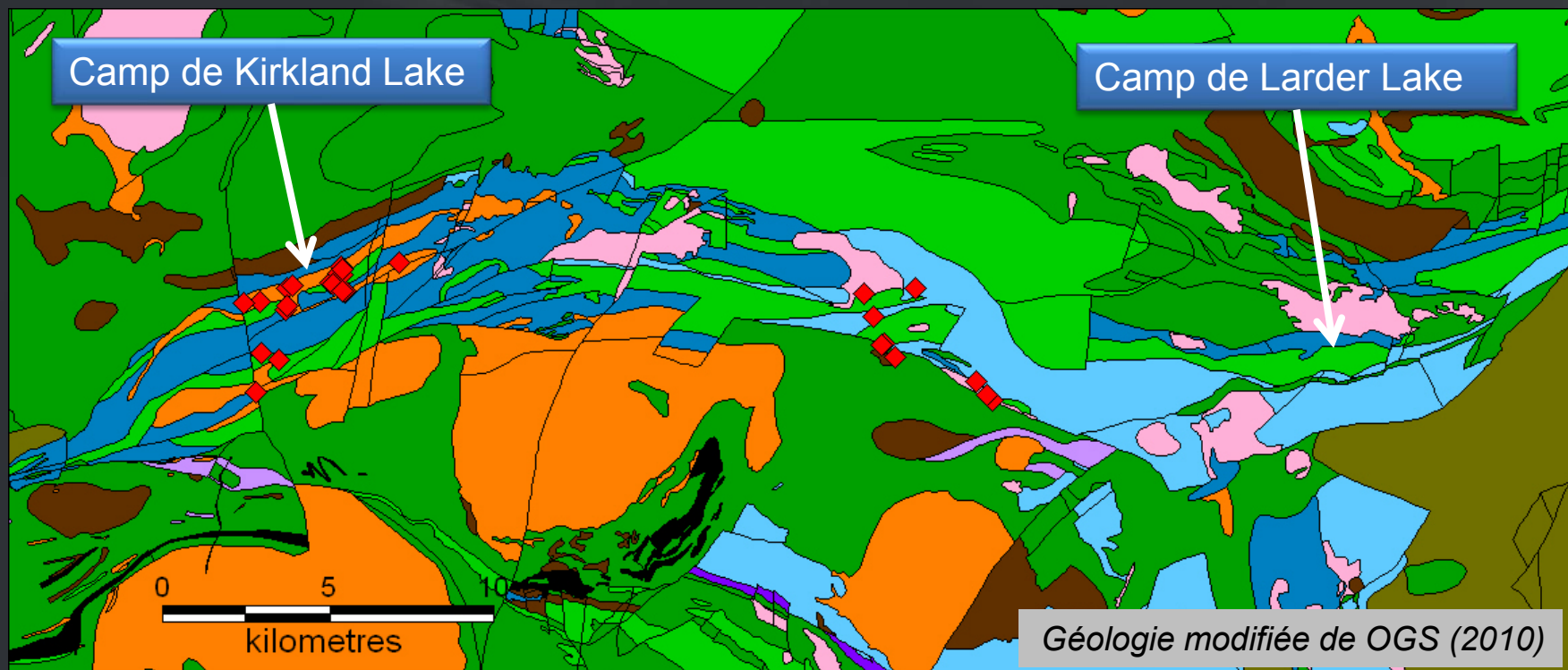
Camp de Duparquet



- Syénite fertile (Beattie et Zone Shaft) et stérile (Cléricy) distinctes

Camp de Kirkland Lake – Larder Lake

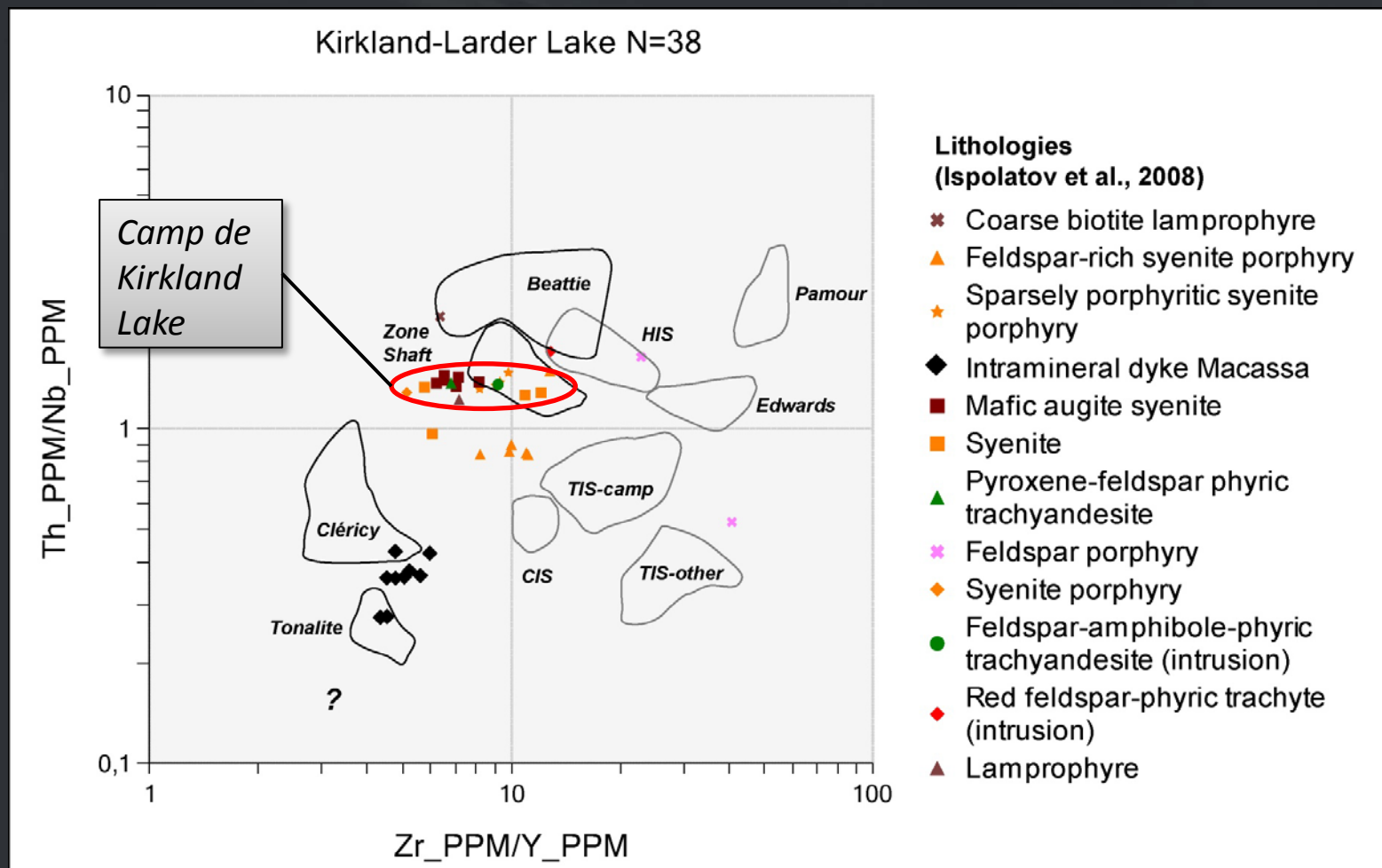
Données lithogéochimiques de Ispolatov et al., 2008 (n=54)



- Dominé par les syénites, syénites porphyriques (2680-2672 Ma)
- Peu de porphyres à quartz et feldspath (2695-2685 Ma)
- Mines du camp de Kirkland Lake sont encaissées dans des syénites qui recoupent les strates du Timiskaming (Ispolatov et al., 2008)

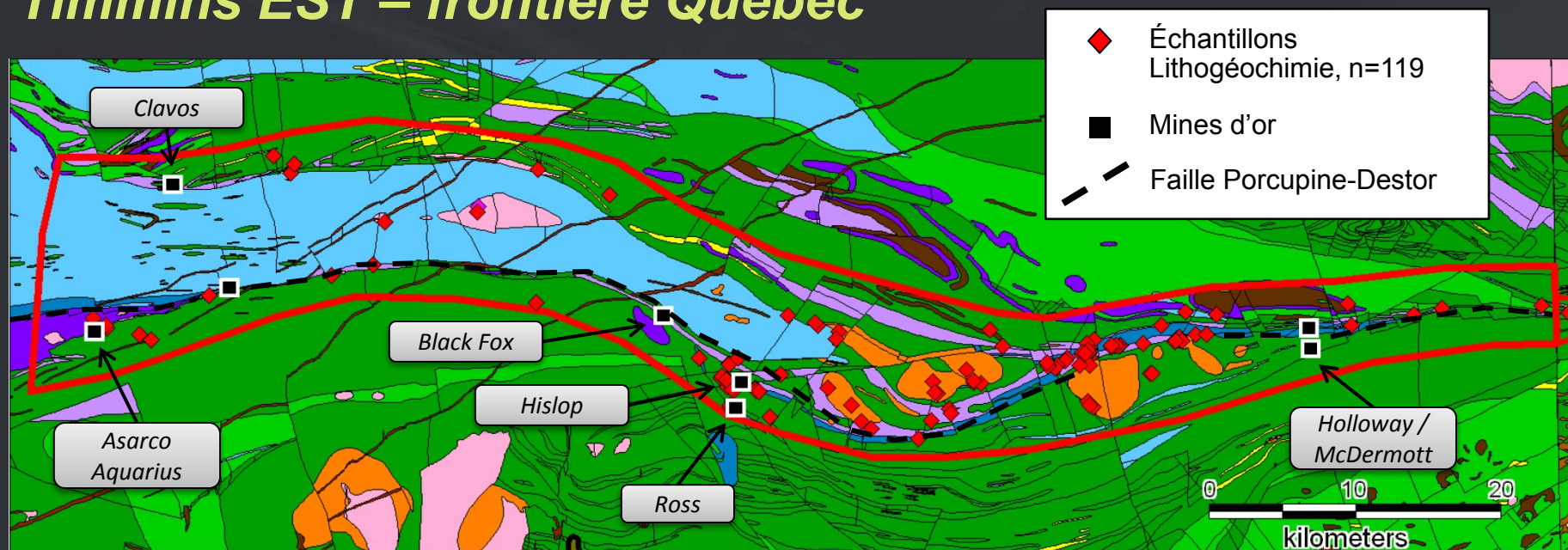
Nouveau diagramme de discrimination – Th/Nb vs Zr/Y

Camp de Kirkland Lake – Larder Lake



Ajout d'un champ pour les syénites du camp de Kirkland Lake

Timmins EST – frontière Québec



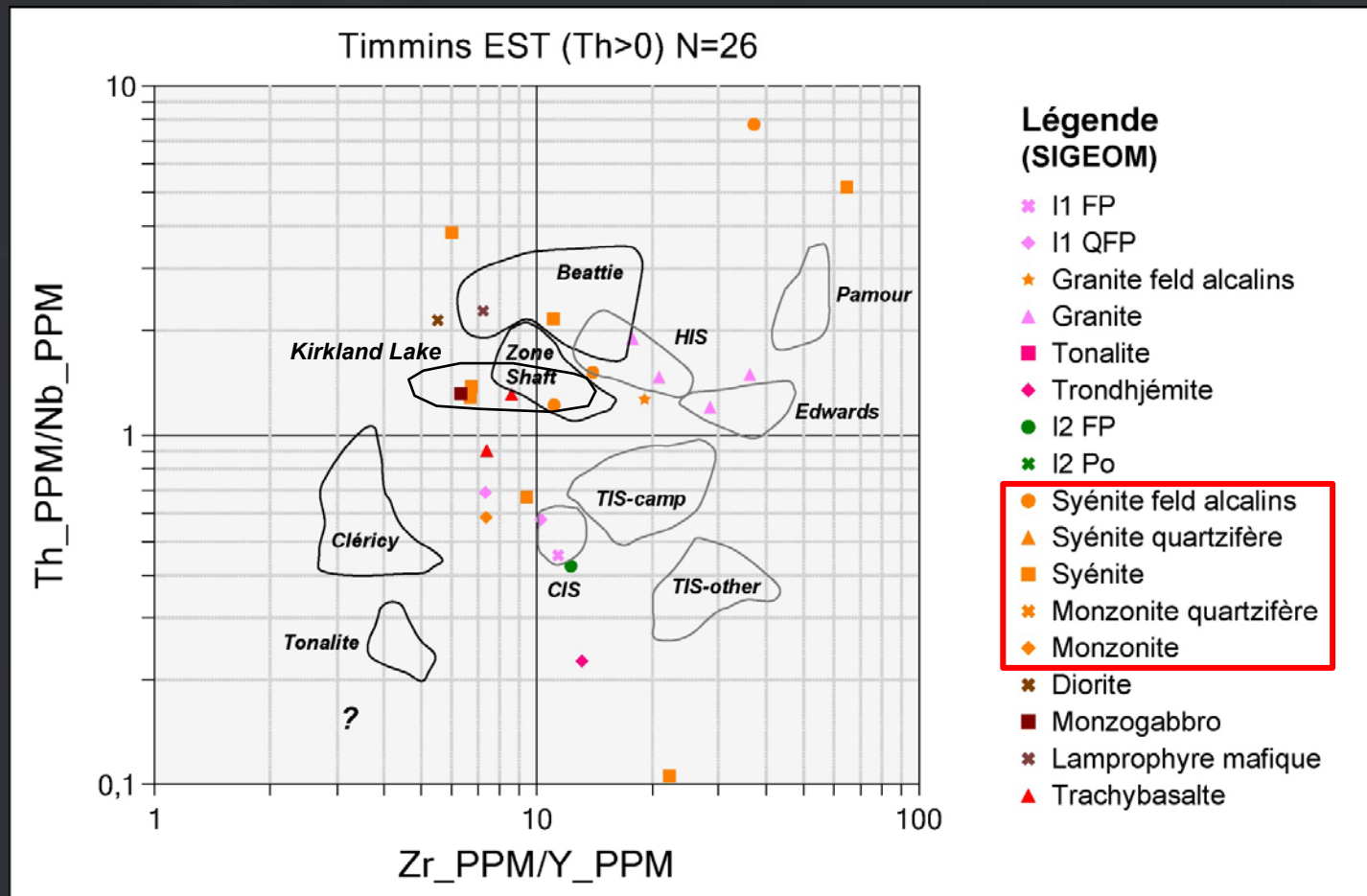
Géologie modifiée de OGS (2010)

- *Porphyres à feldspath et porphyres à quartz et feldspath, intermédiaires à felsiques*
- *Granite, tonalite, trondhjémite*
- *Syénite, syénite qtz, syénite à feldspaths alcalins, monzonite*

Test pour le diagramme Th/Nb vs Zr/Y

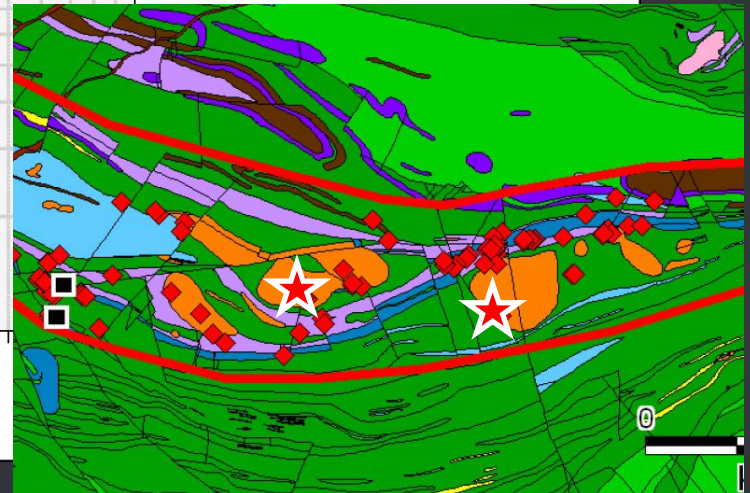
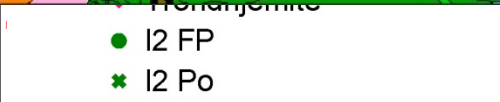
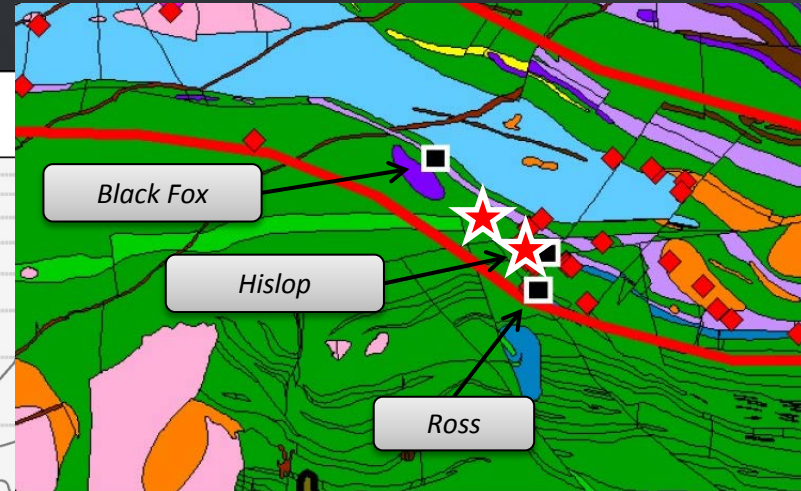
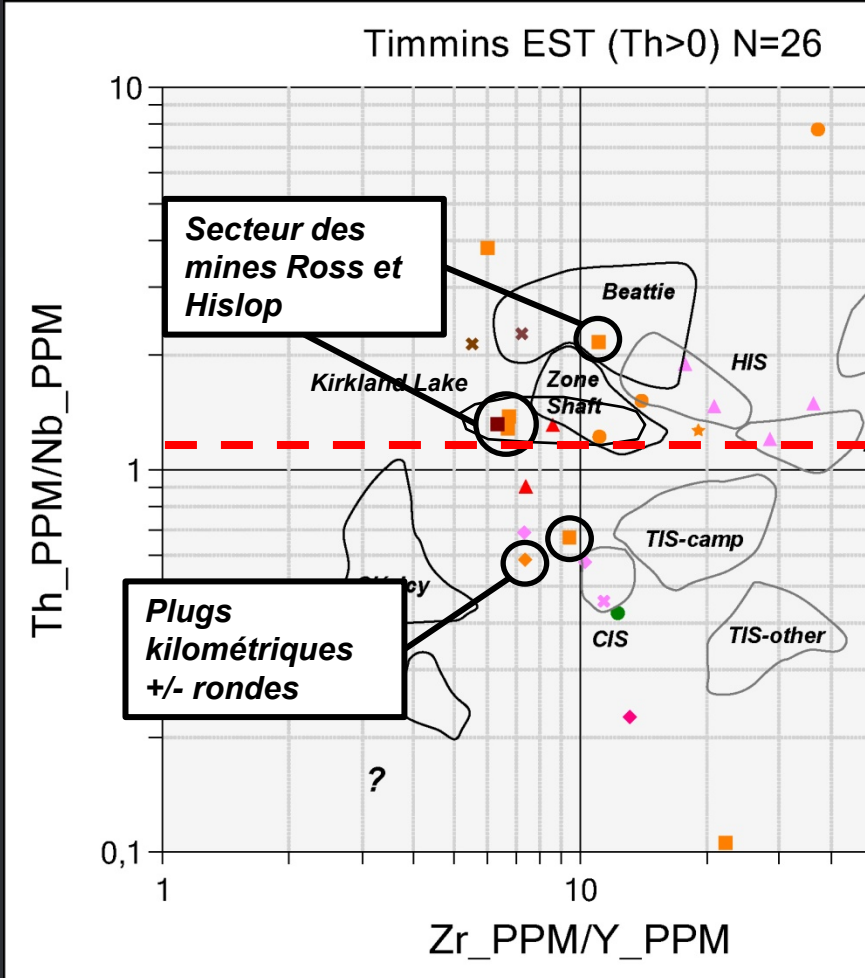
- *Est-ce qu'il y a des syénites avec la signature de la syénite de Beattie?*

Timmins EST – frontière Québec



Échantillons de syénite dans les champs Kirkland Lake et Beattie mais également en-dehors de ces champs

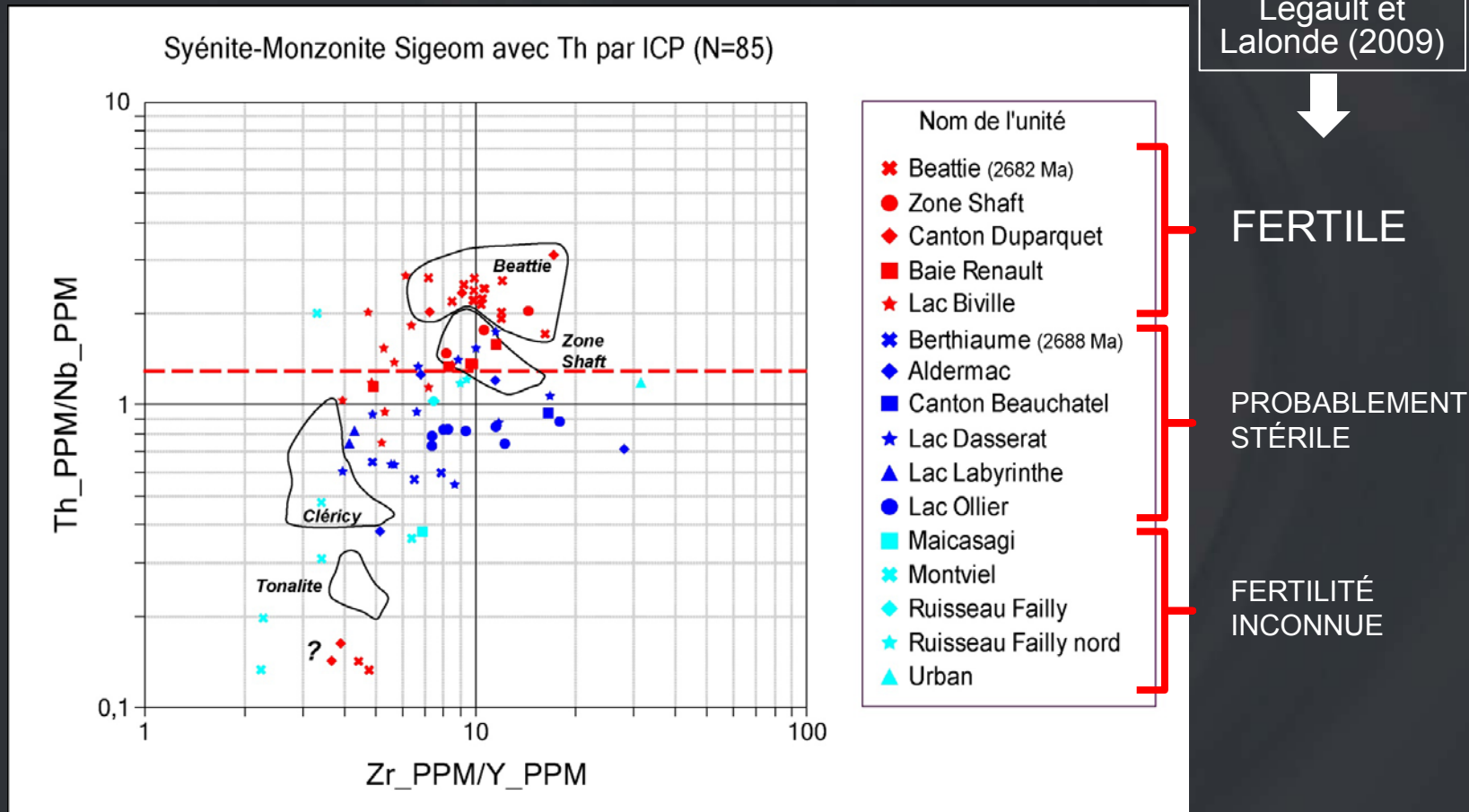
Timmins EST – frontière Québec



Discrimination de deux types de syénites avec le ratio $Th/Nb > 1,3$

Test du ratio $Th/Nb > 1,3$ pour d'autres secteurs

Compilation de plusieurs autres secteurs dont la fertilité des intrusions alcalines avait été établie par Legault et Lalonde (2009) à partir de critères géométriques, pétrographiques et géochimiques



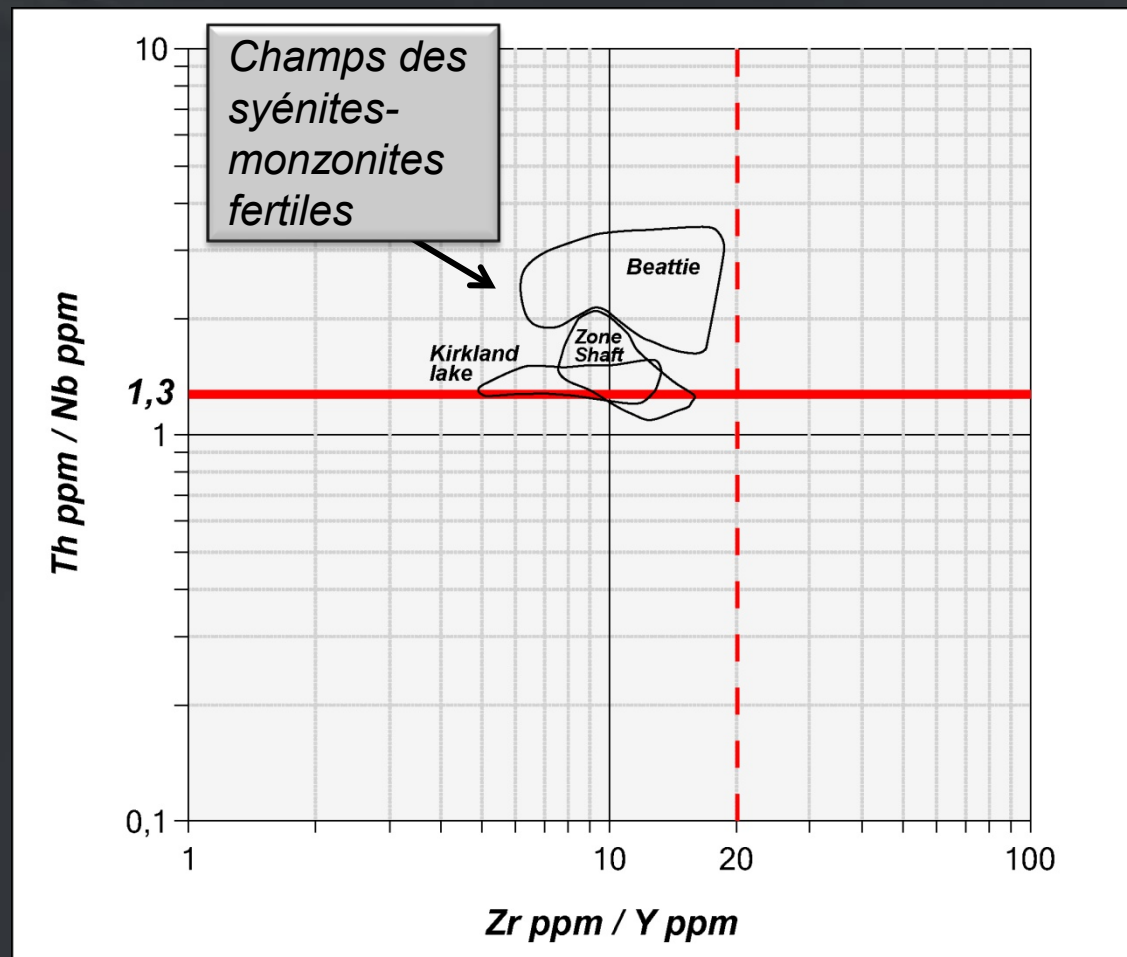
Bonne correspondance entre les deux approches

Nouveau diagramme de fertilité pour les intrusions alcalines de l'Abitibi

Utilisation du ratio $Th/Nb > 1,3$ pour identifier les intrusions alcalines fertiles.

Aussi caractérisées par un ratio $Zr/Y < 20$

(Les intrusions avec un ratio $Zr/Y > 20$ sont généralement des porphyres calco-alcalin)



Plan de la présentation

1) *Problématiques associées à la lithogéochimie des roches alcalines et porphyriques*

2) *Intrusions alcalines*

1) *Études de cas*

2) *Diagramme de fertilité Th/Nb vs Zr/Y pour les minéralisations aurifères*

3) *Identification des monzonites-syérites fertiles*

3) *Intrusions porphyriques calco-alcalines*

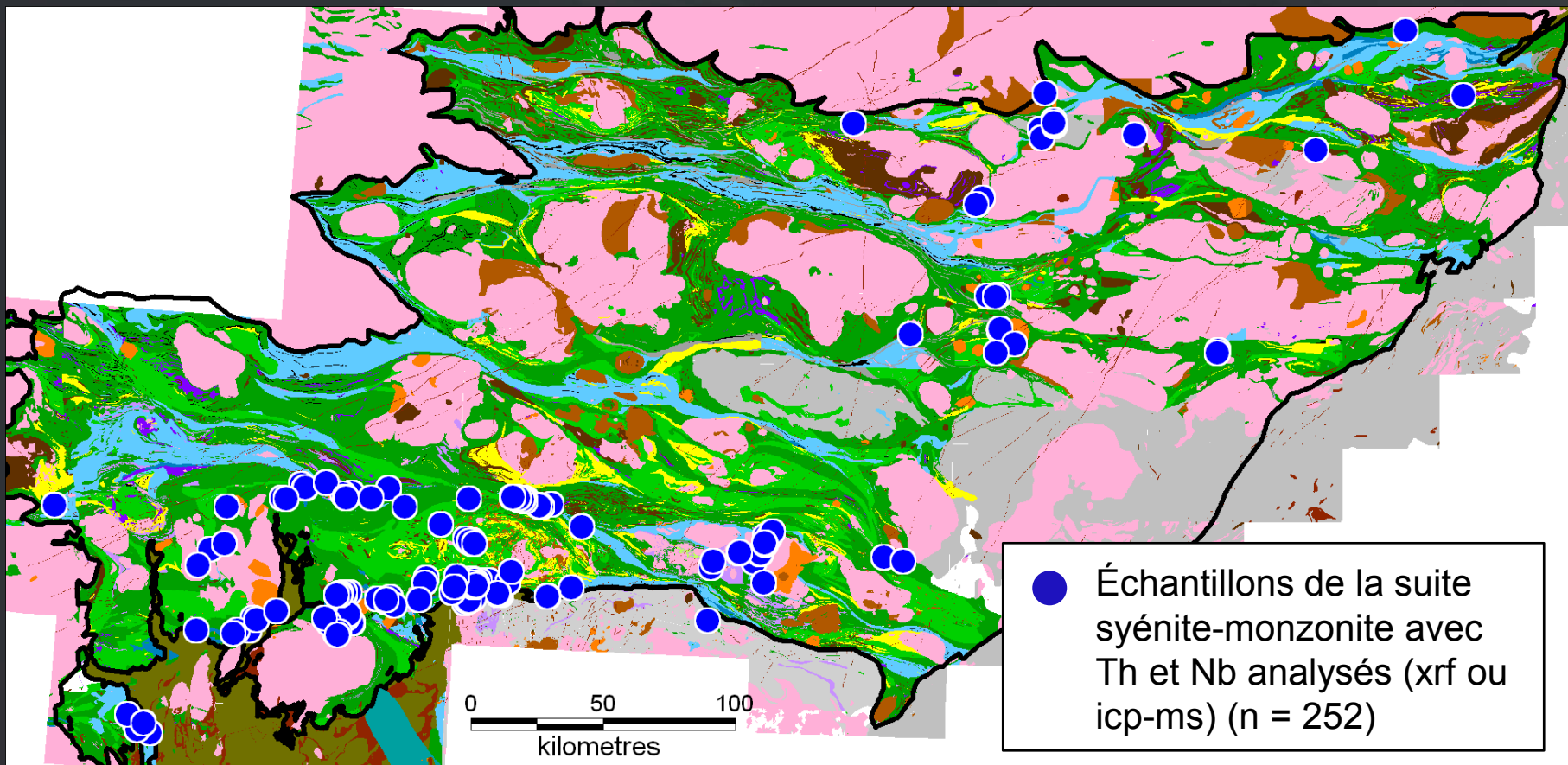
1) *Études de cas*

2) *Diagramme Zr/Ti vs Nb/Y (Pearce, 1996) pour discriminer les porphyres fertiles*

3) *Secteurs de favorabilité associées aux porphyres calco-alcalins*

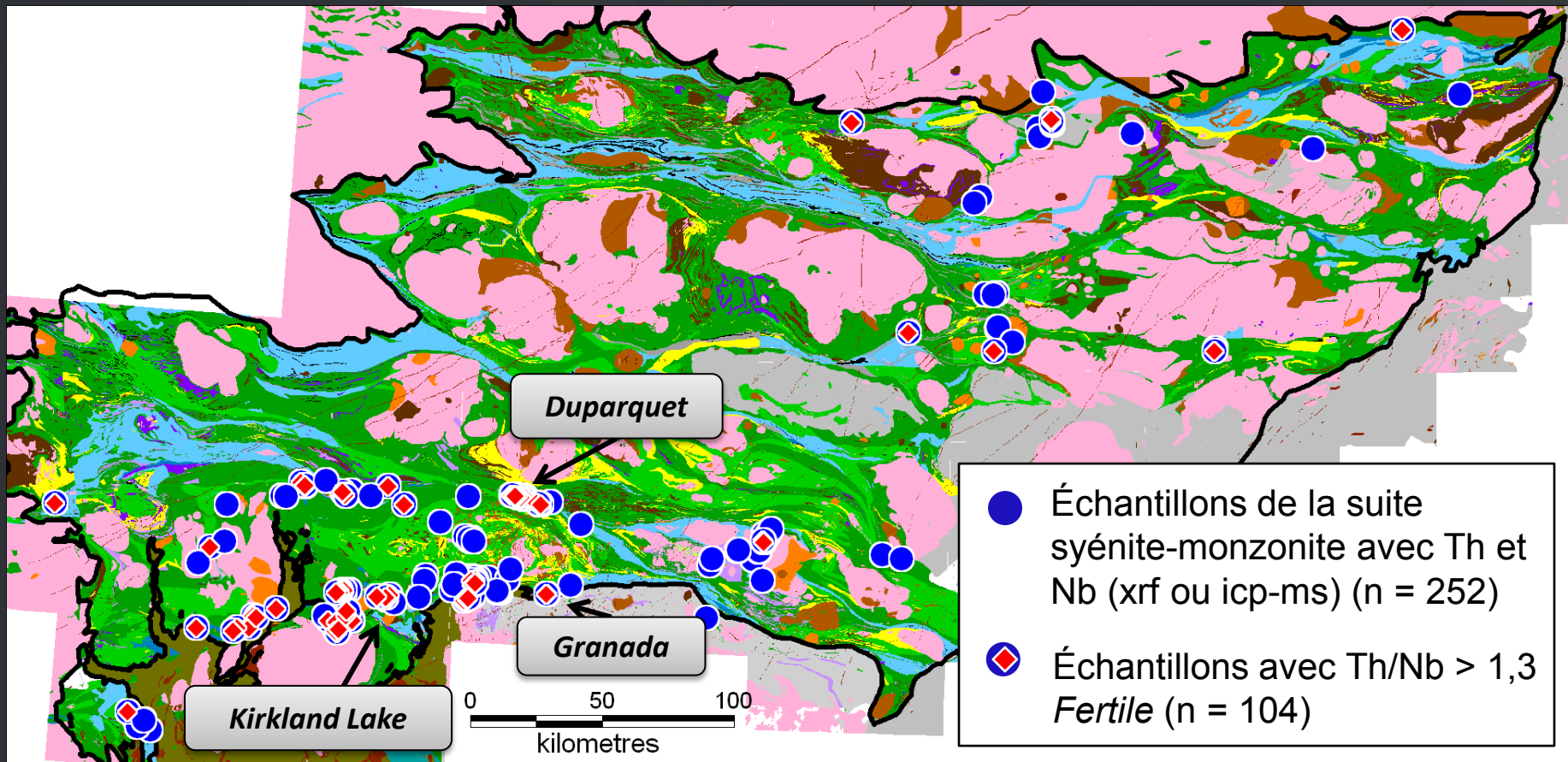
Identification des syénites-monzonites fertiles

Banque de données Consorem (Sigeom et partenaires)



Géologie modifiée de SIGEOM (2009) et OGS (2010)

Fertilité des syénites-monzonites établie avec $Th/Nb > 1,3$



Identification de 104 échantillons favorables

Plan de la présentation

1) *Problématiques associées à la lithogéochimie des roches alcalines et porphyriques*

2) *Intrusions alcalines*

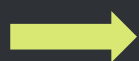
- 1) *Études de cas*
- 2) *Diagramme de fertilité Th/Nb vs Zr/Y pour les minéralisations aurifères*
- 3) *Cibles de favorabilité associées aux monzonites-syérites*

3) *Intrusions porphyriques calco-alcalines*

- 1) *Études de cas*
- 2) *Diagramme Zr/Ti vs Nb/Y (Pearce, 1996) pour discriminer les porphyres fertiles*
- 3) *Secteurs de favorabilité associées aux porphyres calco-alcalins*

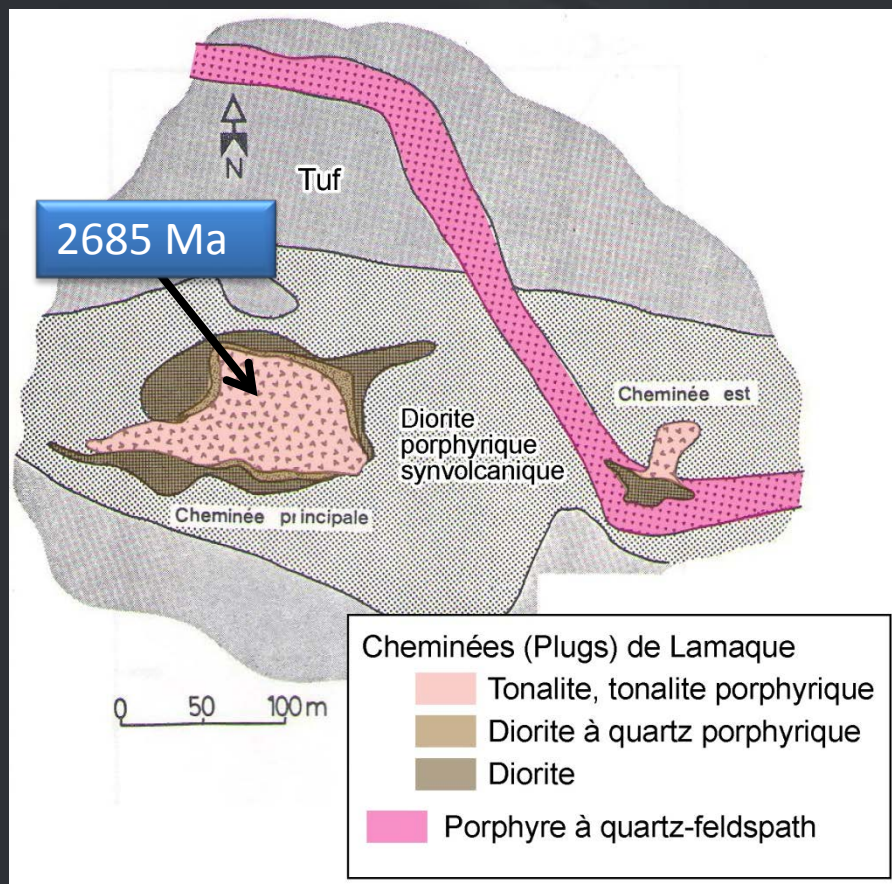
Pour les intrusions porphyriques calco-alcalines

- *Lien spatial entre les intrusions porphyriques et les gîtes aurifères est reconnu depuis longtemps (Trépanier Projet 2006-06 ; Robert et al., 2005; MacDonald, 2010)*
- *Par contre pas de lien génétique reconnu entre les intrusions porphyriques calco-alcalines et les gîtes aurifères à Duparquet (2689 Ma) et dans le camp de Timmins (2691-2688 Ma) (MacDonald, 2010)*
- *D'un autre côté, il y a certains secteurs avec des intrusions porphyriques plus jeunes :*
 - *Porphyre de Pamour à l'est de Timmins (2677 Ma)*
 - *Cheminée (plug) principale de la Mine Lamaque (2685 Ma)*
 - *Malartic ? (< 2691 Ma)*



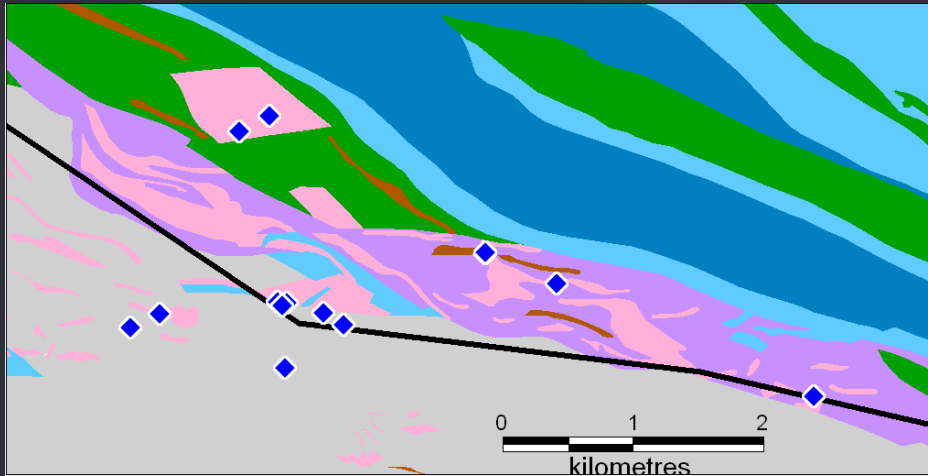
Phases distinctes d'intrusions porphyriques plus jeune qui pourrait avoir un lien avec les intrusions alcalines de 2682-2672 Ma?

Mine Lamaque (Daigneault, 1983)



- Phase de porphyre à quartz-feldspath recoupé par plusieurs cheminées (plugs) constituées de diorite, diorite à quartz porphyrique, tonalite et tonalite porphyrique
- La tonalite de la cheminée principale, datée à 2685 +/-3 Ma, recoupe une phase de QFP
- Deux événements d'intrusions porphyriques géochimiquement distincts?

Camp de Malartic (Fallara et al., 2000)



- *Intrusions de diorite porphyrique, porphyre monzodioritique à granodioritique dykes felsiques aphyriques (Fallara et al., 2000)*
- *Les intrusions recoupent les sédiments du Pontiac, donc elles sont plus jeune que 2691 Ma*



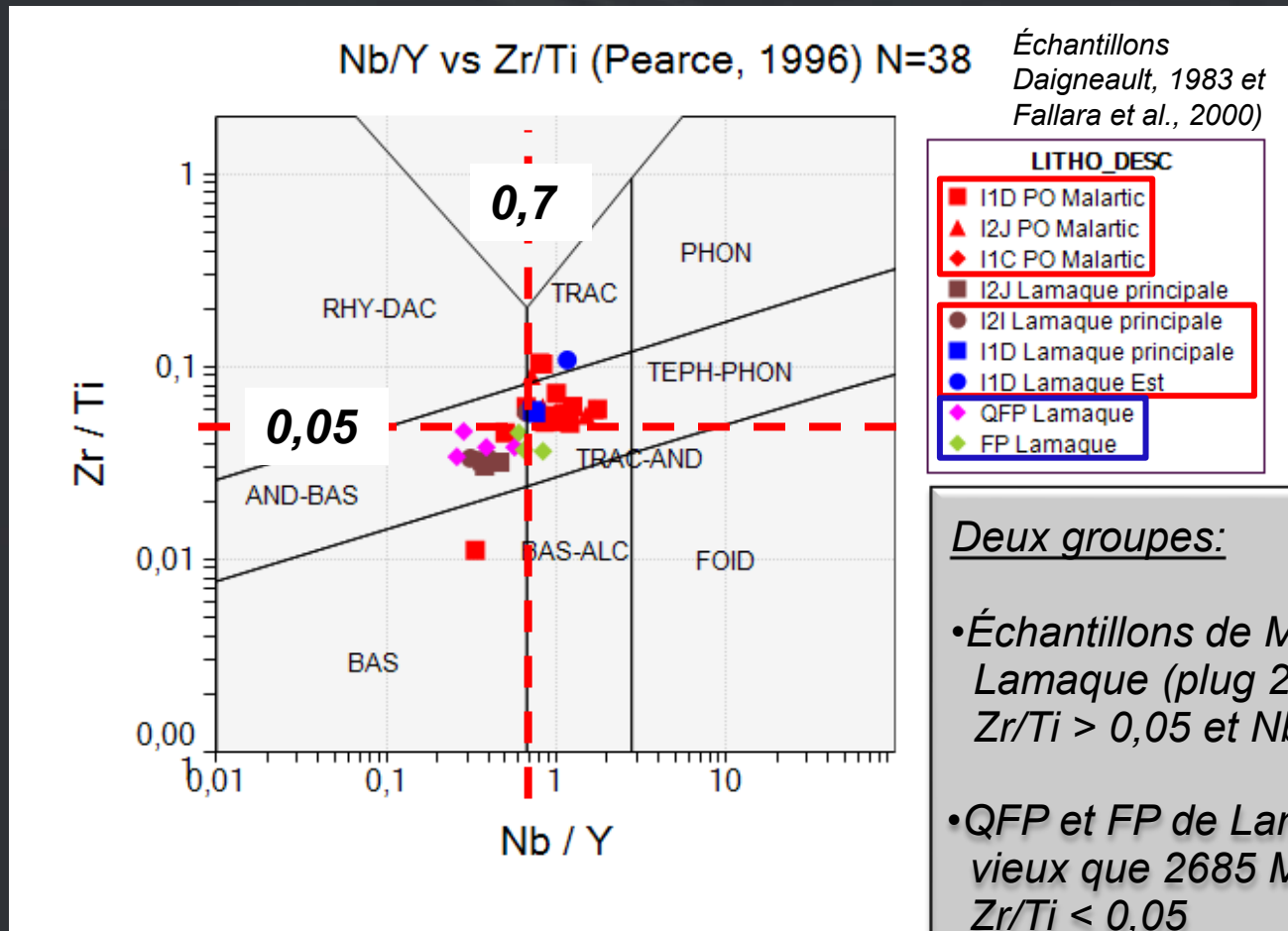
Photo courtoisie Osisko

Porphyre dioritique à altération potassique (felspath-K+bio+cal+py; 0,43 g/t Au), Mine Canadian Malartic, Osisko

3) Intrusions calco-alcalines : diagramme discriminant

Après une multitude de tests avec plusieurs éléments...

Le diagramme Zr/Ti vs Nb/Y de Pearce (1996) est le plus discriminant dans le cas des intrusions porphyriques



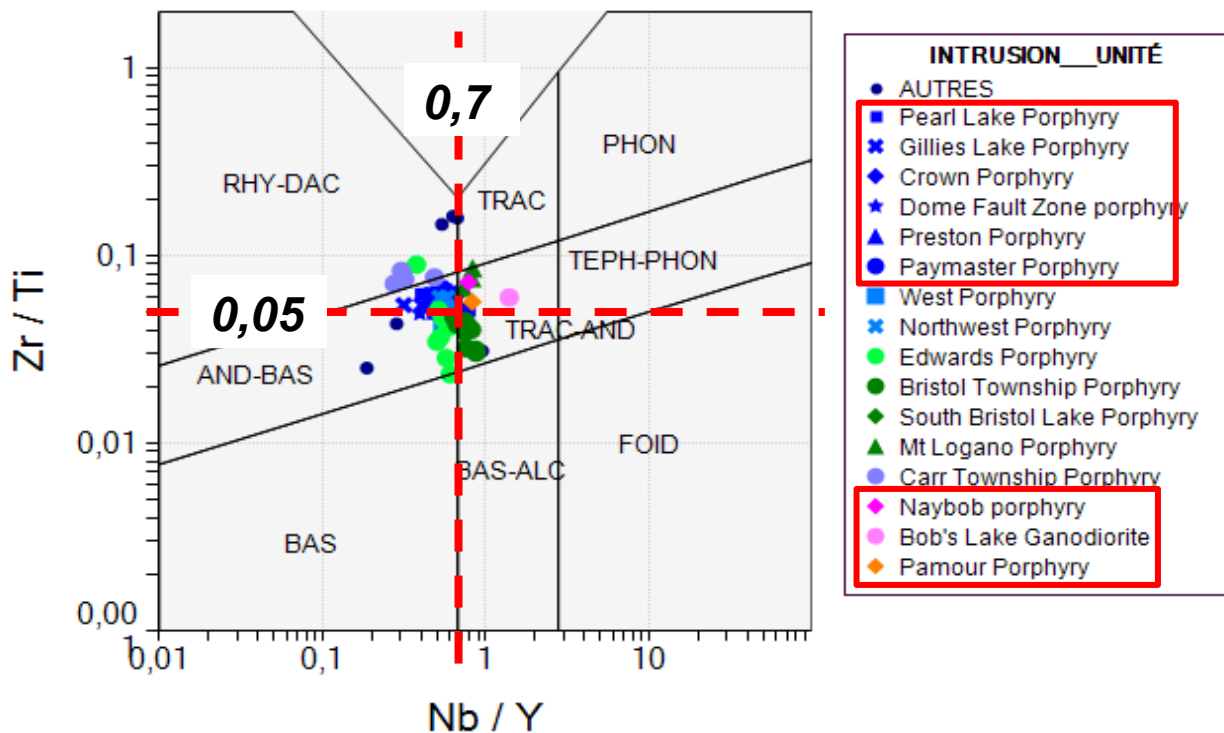
3) Intrusions calco-alcalines : diagramme discriminant

Autre secteur :

Intrusions porphyriques du camp de Timmins et extensions

Nb/Y vs Zr/Ti (Pearce, 1996) N=80

Échantillons
MacDonald, 2010)



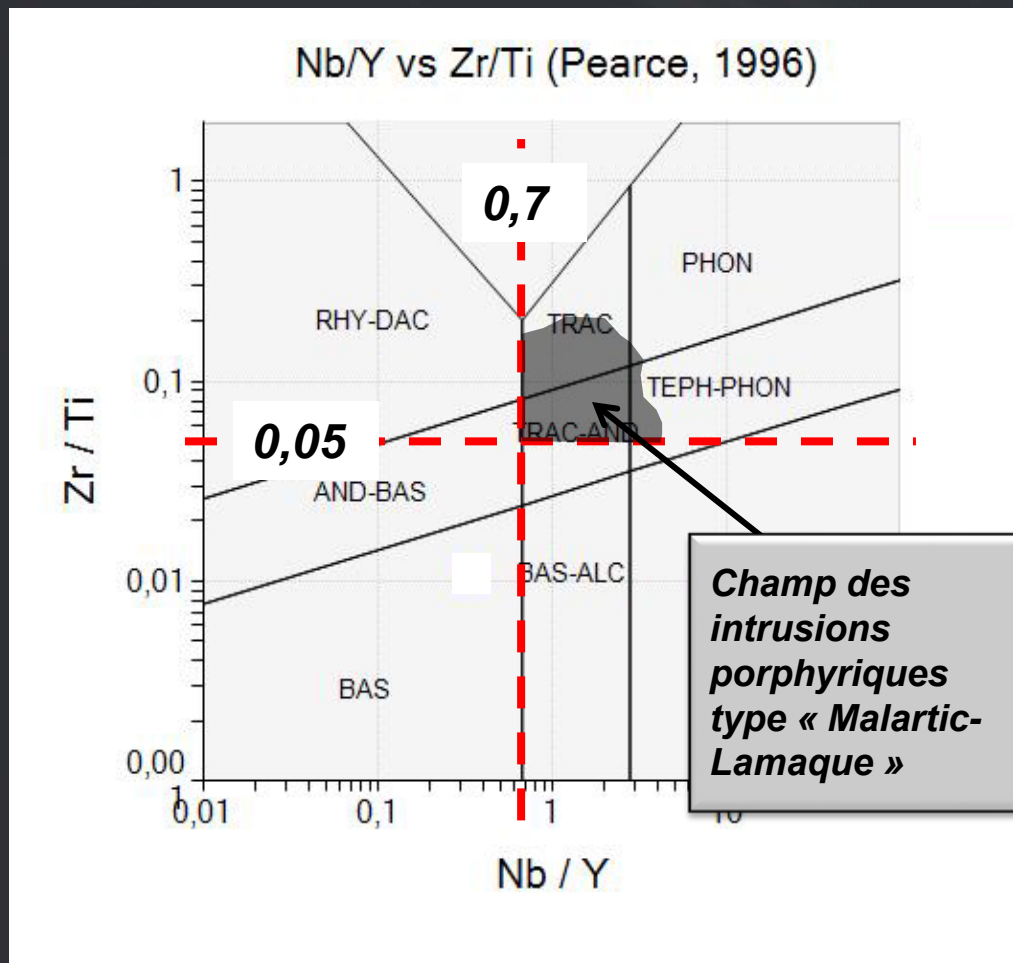
• Porphyres camp de
Timmins (2691-2688 Ma)
 $Zr/Ti > 0,05$ et $Nb/Y < 0,7$

• Porphyres Edwards et
Bristol
 $Zr/Ti < 0,05$

• MT Logano, Naybob,
Bob's Lake et Pamour
(2677 Ma)
 $Zr/Ti > 0,05$ et $Nb/Y > 0,7$

3) Intrusions calco-alcalines : diagramme discriminant

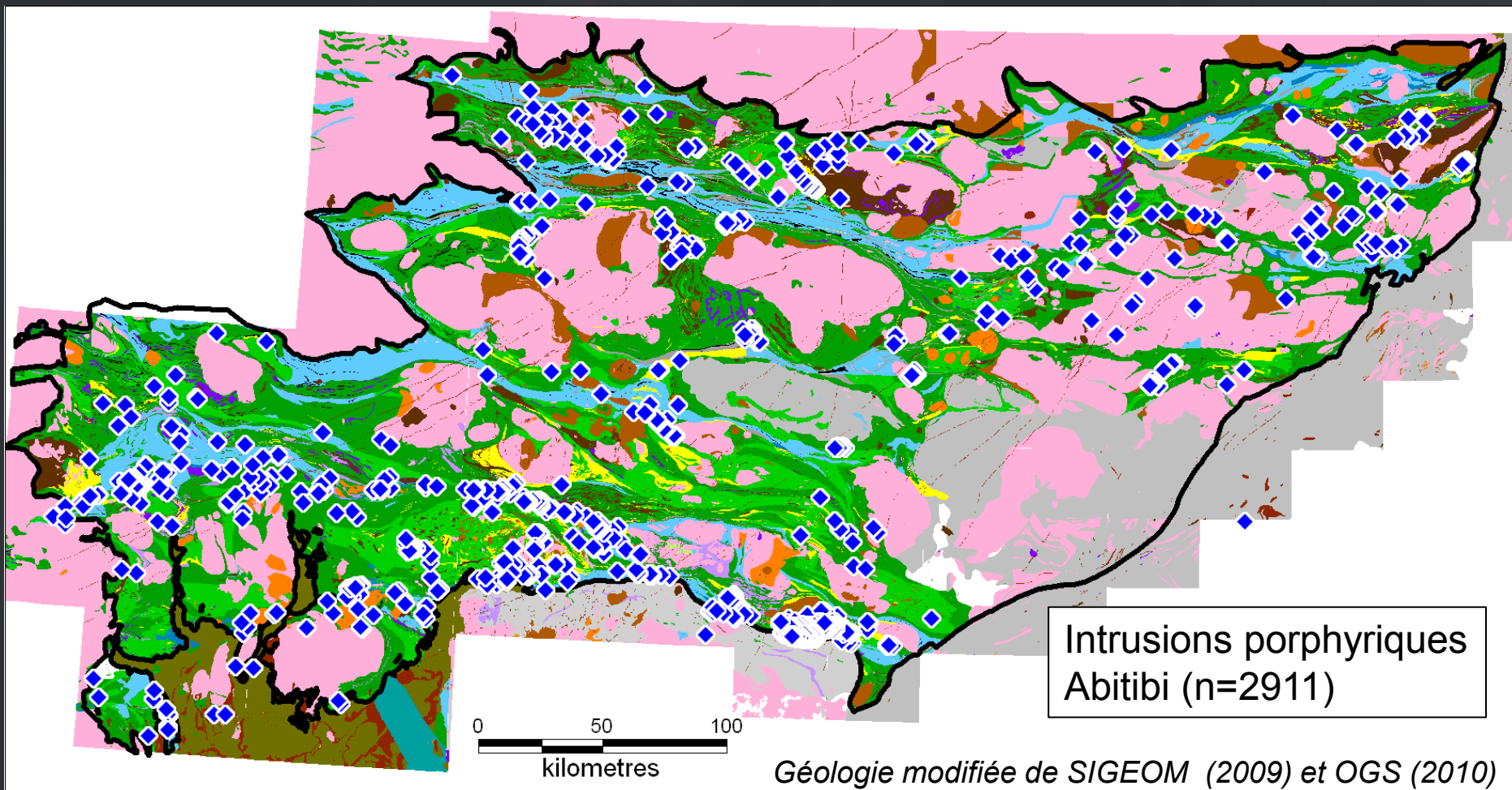
Diagramme discriminant - Intrusions porphyriques



- Les intrusions porphyriques les plus jeunes (2685-2677 Ma) Lamaque, Pamour et possiblement Malartic possèdent une signature caractéristique sur le diagramme Zr/Ti vs Nb/Y de Pearce (1996)
- Possible d'isoler un champ pour les intrusions "type Malartic-Lamaque"
 $Zr/Ti > 0,05$ et $Nb/Y > 0,7$

3) Intrusions calco-alcalines : Secteurs favorables

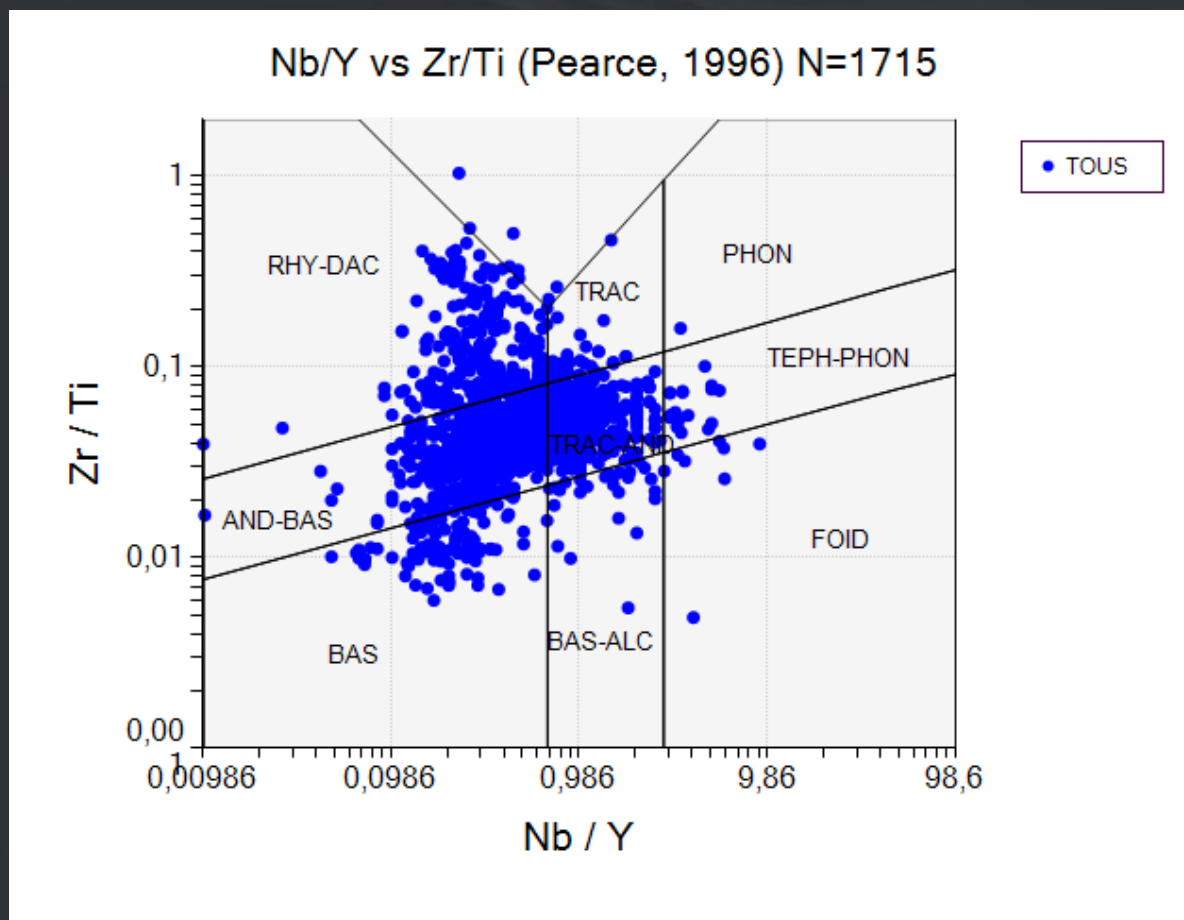
Compilation des intrusions porphyriques dans la banque de données Consorem (SIGEOM et partenaires)



3) Intrusions calco-alcalines : Secteurs favorables

Extraction des intrusions porphyriques de type « Malartic-Lamaque » dans la banque de données Consorem (SIGEOM et partenaires)

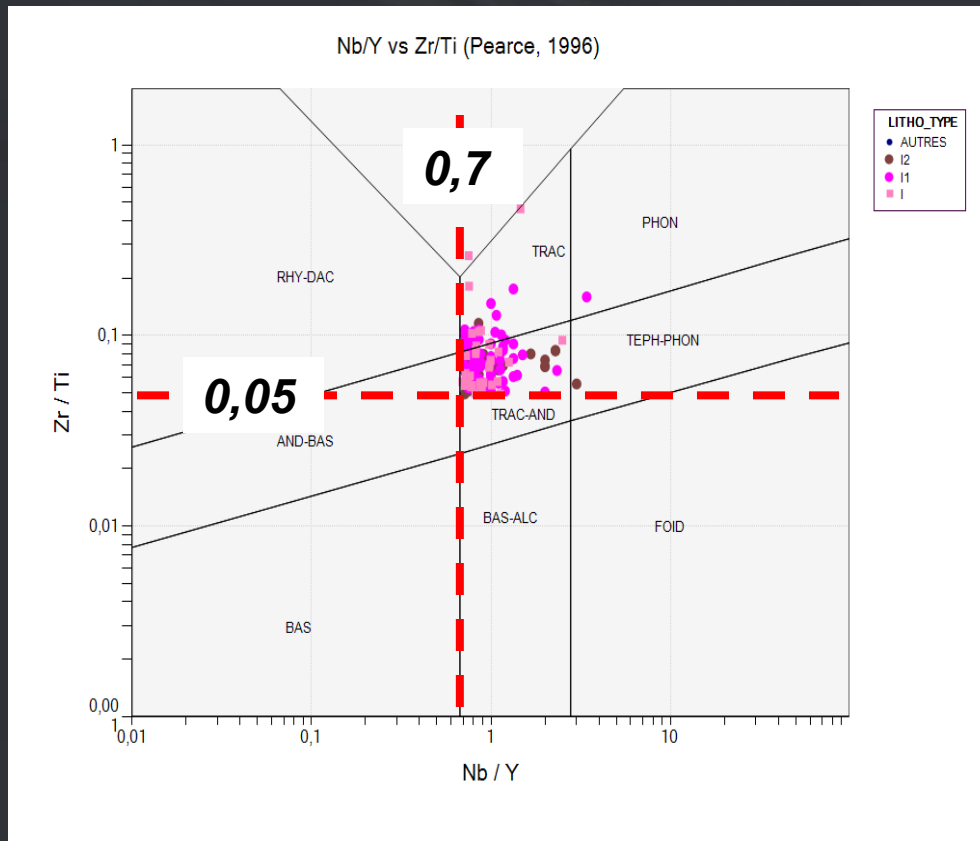
Intrusions porphyriques en Abitibi avec Zr, Nb et Y analysés (n=1715)



3) Intrusions calco-alcalines : Secteurs favorables

Extraction des intrusions porphyriques de type « Malartic-Lamaque » dans la banque de données Consorem (SIGEOM et partenaires)

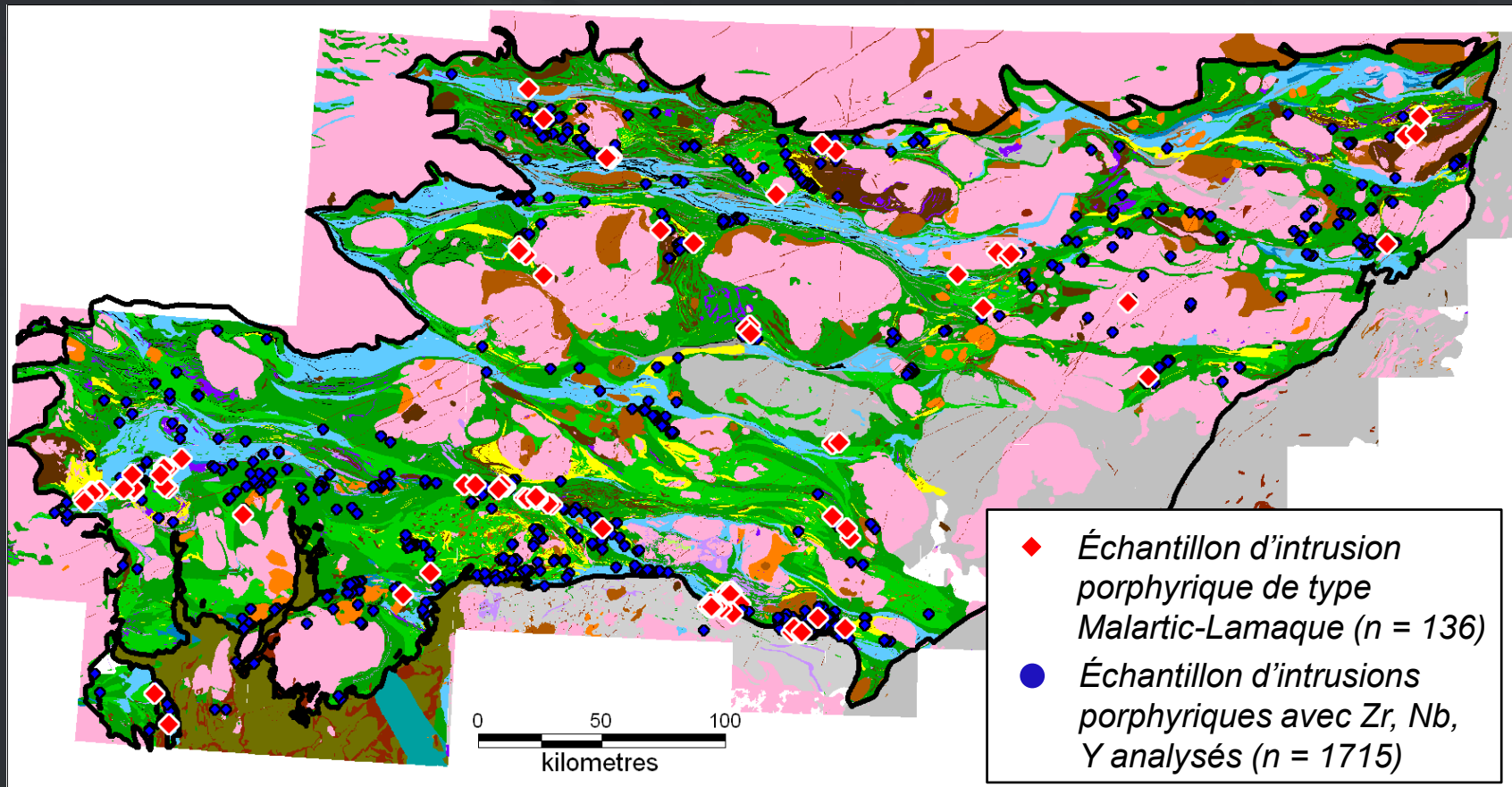
Filtre $Zr/Ti > 0,05$ et $Nb/Y > 0,7$



Identification de 136 échantillons favorables

3) Intrusions calco-alkalines : Secteurs favorables

Extraction des intrusions porphyriques de type « Malartic-Lamaque » dans la banque de données Consorem (SIGEOM et partenaires)

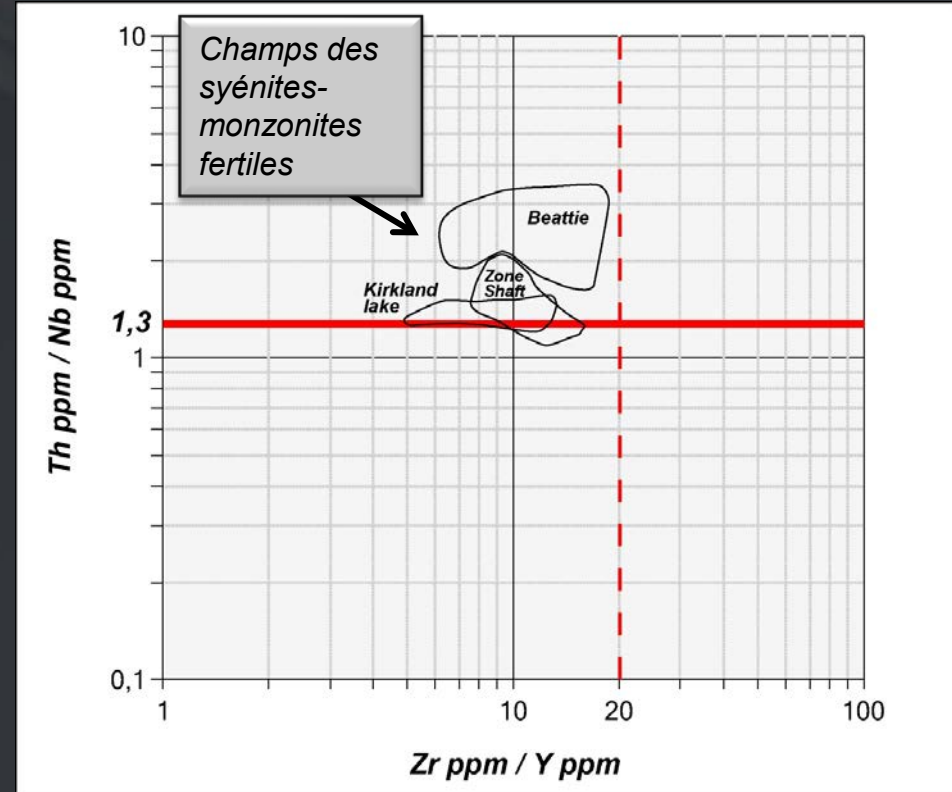


Mise en garde

La méthode repose sur un nombre restreint d'échantillons de référence, on ne parle donc pas de cibles comme telles mais plutôt de secteurs à retravailler...

Conclusion

- *La caractérisation lithogéochimique des intrusions alcalines a permis de développer un nouveau diagramme de prédiction de fertilité pour les syénites-monzonites:*
- *104 cibles (échantillons favorables) pour la présence de syénite-monzonite fertiles ont été identifiés*



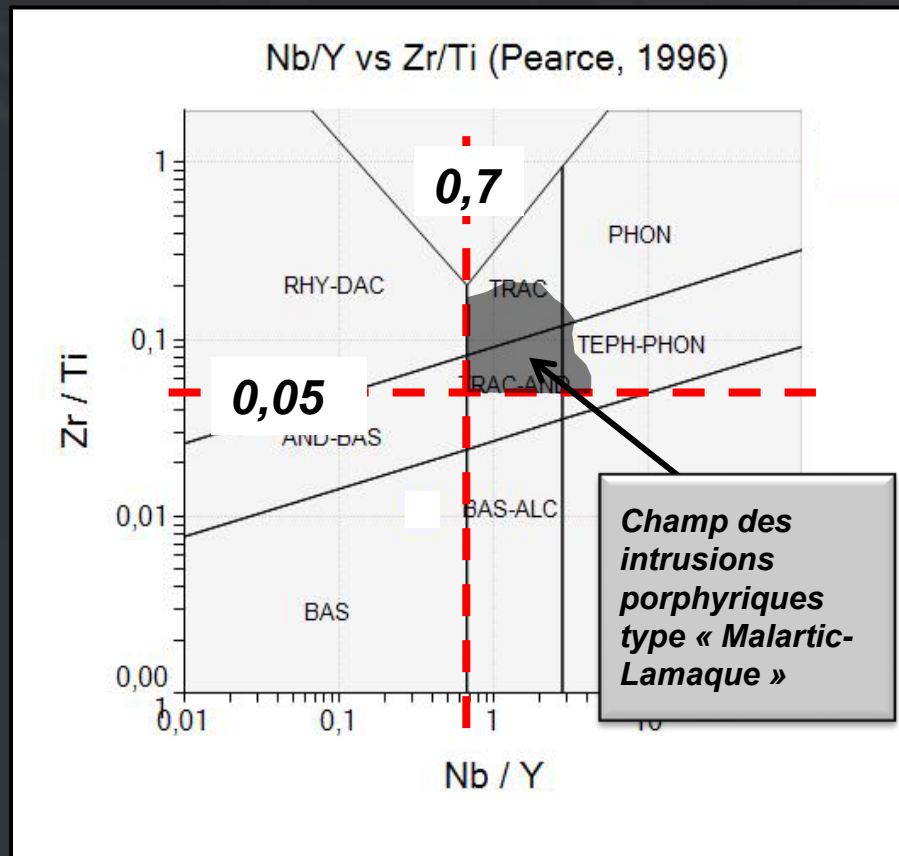
Conclusion

- *L'étude des intrusions calco-alcalines a permis de discriminer géochimiquement*

1) *les intrusions porphyriques de 2695-2685 Ma*

2) *les intrusions porphyriques de « type Malartic-Lamaque » 2685-2672 Ma*

- *151 échantillons d'intrusions porphyriques de type « Malartic-Lamaque » ont été identifiés*



Conclusion

- *Cette étude repose sur un nombre limité de données et les résultats demandent à être testés pour les valider.*
- *Application possible ailleurs qu'en Abitibi?*

Remerciement

- **Daniel Adam (Mines Richmont), Martin Perron** (visite de mine)
- **Louis Caron, Pierre de Chavigny (Osisko; visite de mine)**
- **Yan Ducharme (Niogold; visite de terrain; données numériques)**
- **Ronan Deroff, Philippe Berthelot (Ressources Cartier; données numériques)**
- **Baptiste Chapon (Ressources Yorbeau), Geneviève Carignan** (visite de terrain)
- **Équipe de recherche du Consorem** (discussions)