
Détermination géochimique de la fertilité des cisaillements pour les minéralisations aurifères orogéniques en Abitibi

PROJET 2010-02

PAR : HUGUES LONGUEPÉE

SEPTEMBRE 2013



AVERTISSEMENT

Ce document présente certains résultats des travaux de recherche du CONSOREM (Consortium de Recherche en Exploration minérale) rendus publics pour le 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 :

Longuépée, H., 2013. Détermination géochimique de la fertilité des cisaillements pour les minéralisations aurifères orogéniques en Abitibi. Rapport, Projet CONSOREM 2010-02, 23 p.

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
Site Web: www.consorem.ca

RÉSUMÉ

Le projet 2010-02 avait pour objectif de définir des critères géochimiques permettant d'évaluer la fertilité aurifère d'une zone de cisaillement ne présentant pas a priori d'évidences de minéralisation. On comprend qu'un tel outil serait utile en exploration et permettrait de persévérer vers les extensions des structures présentant des signaux jugés positifs.

Un objectif secondaire est la définition de critères permettant également de donner des vecteurs vers la minéralisation

Afin d'atteindre ces objectifs, des traitements statistiques ont été effectués sur les données géochimiques provenant du pluton de Bourlamaque dans la région de Val-d'Or. Ce contexte a été choisi pour sa géologie relativement simple et, car on y retrouve plusieurs mines et indices d'or encaissés dans des cisaillements qui recourent un encaissant relativement homogène.

Les données géochimiques disponibles indiquent que pour le cas étudié, les teneurs en nickel supérieures à 20 ppm proviennent de cisaillements fertiles. Les teneurs combinées Ni + Co supérieures à 30 ppm sont également discriminantes. La détermination des coefficients de corrélation a permis de définir que le zinc, la perte au feu (PAF) et le chrome ont de fortes corrélations (positives et/ou négatives) avec le nickel ce qui a mené à l'élaboration des graphiques Ni/Zn vs Ni/PAF et Ni/Cr vs Ni/PAF qui peuvent être considérés comme utiles pour déterminer le caractère fertile en or pour les cisaillements dans le batholite de Bourlamaque.

La localisation des échantillons disponibles n'a pas permis de faire une étude détaillée quant aux relations géographiques des échantillons par rapport aux minéralisations. Des échantillons provenant de la mine du Lac Herbin suggèrent une augmentation du baryum vers la minéralisation, mais il est impossible de définir si cette tendance s'étend à plus de 80 mètres de la zone riche en or. À l'échelle régionale, des échantillons situés le long du cisaillement Ferderber montrent une légère augmentation de la séricitisation (augmentation des teneurs en aluminium) vers la minéralisation. Cependant, la répartition des échantillons ne permet pas de confirmer cette tendance.

Le projet 2010-02 touchait un problème complexe et toujours d'actualité. Bien que les conclusions soient partielles et applicables pour un cas spécifique (Bourlamaque), elles demeurent un intéressant point de départ pour des travaux subséquents. Certaines pistes étaient déjà connues (c.-à-d. teneur en Co des pyrites), mais les présents résultats suggèrent que des analyses chimiques standards peuvent également permettre la discrimination, ce qui en fait un outil plus rapide et moins onéreux.

TABLE DES MATIÈRES

1. INTRODUCTION	1
1.1 Problématique.....	1
1.2 Rappel.....	2
1.3 Objectifs	2
2. RÉGION TESTÉE	3
3. INDICATEURS CONNUS POUR L'OR OROGÉNIQUE	4
4. CIBLAGE	4
4.1 Méthodologie	4
4.2 Ciblage local.....	5
4.2.1 Cas étudié.....	5
4.2.2 Tests réalisés.....	5
4.2.3 Résultats	6
4.3 Ciblage régional	9
4.3.1 Cas étudié.....	9
4.3.2 Tests réalisés.....	9
4.3.3 Résultats	10
5. COMPARAISON	11
5.1 Méthodologie	11
5.2 Cas étudié	11
5.3 Géochimie	12
5.3.1 Similarité géochimique.....	14
5.3.2 Définition des zones fertiles et stériles	15
5.4 Tests réalisés	16
5.5 Résultats	17
6. CONCLUSION	21
6.1 Ciblage	21
6.2 Comparaison.....	22
7. RÉFÉRENCES	23



1. INTRODUCTION

1.1 PROBLÉMATIQUE

- La minéralisation aurifère orogénique se retrouve communément au sein de zones de cisaillement soit sous forme de veines ou sous forme disséminée.
- Ces zones de cisaillement peuvent faire partie de réseaux avec des familles de diverses attitudes.
- Dans une même région, voire à l'intérieur même d'une mine, les cisaillements ne sont pas tous minéralisés ou fertiles. Certains sont tardifs à la minéralisation et peuvent donc tout recouper mais d'autres sont synchrones mais sans traces de minéralisation.
- La zone minéralisée au sein du cisaillement est généralement circonscrite et d'étendue limitée permettant ainsi de définir des *oreshoots* ou vecteurs minéralisés ayant une géométrie spécifique.

1



1. INTRODUCTION

1.1 PROBLÉMATIQUE

- Un cisaillement qui ne contient pas de minéralisation dans un secteur connu pourrait être fertile dans un autre secteur. Peut-on les distinguer des cisaillements parfaitement stériles?
- Il est bien connu que le métasomatisme qui accompagne la minéralisation aurifère provoque des changements géochimiques dans l'éponte affectée dont notamment de la carbonatation et de la séricitisation.
- D'autres éléments majeurs et traces (i.e. As, Bi, Sb, Hg, Se, Te, etc.) peuvent accompagner également l'or .
- La lithogéochimie des éléments majeurs et traces permet-elle de distinguer les cisaillements fertiles des non fertiles?
- L'empreinte de l'altération ou la présence d'éléments indicateurs pourraient-elles permettre de localiser la proximité des vecteurs minéralisés ?

2



1. INTRODUCTION

1.2 RAPPEL

Cisaillements et Zones de cisaillement ?

Un cisaillement ou une zone de cisaillement correspond généralement à un couloir tabulaire ayant une certaine épaisseur et des étendues (longueur et largeur) pouvant être plurikilométrique.

Le couloir est caractérisé par l’empreinte d’une déformation ductile surtout non-coaxiale mais peut aussi comprendre des évidences de déformation fragile.

Dans les roches affectées, les cristaux ont été fortement étirés et aplatis, ou même ont recristallisé, lors d’un mouvement cisailant (Foucault et Raoult, 1988).

La zone peut contenir plusieurs lithologies différentes qui vont réagir selon leurs rhéologie à la déformation.

Le couloir peut servir de canalisation aux fluides hydrothermaux et donc à la minéralisation.

3



1. INTRODUCTION

1.3 OBJECTIFS

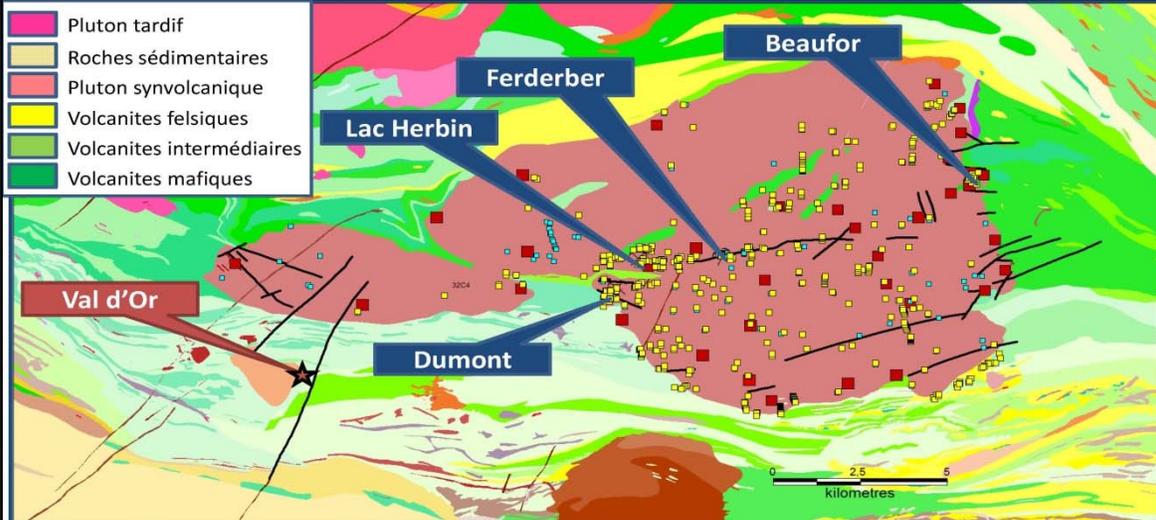
- Déterminer la présence de traceurs géochimiques (éléments majeurs et traces) permettant de caractériser la fertilité des cisaillements pour la minéralisation aurifère ceci indépendamment des diverses roches hôtes cisailées.
- Déterminer à quelle distance le signal géochimique peut être détectable en s’éloignant des vecteurs minéralisés de façon à définir des empreintes proximales-distales **longitudinalement au cisaillement**.

4



2. RÉGION TESTÉE

Batholite de Bourlamaque Sous-province d'Abitibi, région de Val-d'Or



5 Carré bleu = Localisation des principales mines dans le batholite *Géologie : Sigéom, 2009*



2. RÉGION TESTÉE

Batholite de Bourlamaque

Pourquoi avoir choisi cette région ?

- Contexte géologique simple
- Nombre limité de lithologies (composition relativement homogène)
- Présence de zones de cisaillement fertiles et stériles
- Cartographie de surface (Sigéom) et descriptions de forage disponibles
- Plusieurs analyses lithogéochimiques de disponibles
- L'influence des dykes de diorite est bien connue (Belkabir et al., 1993)

965 échantillons disponibles :

- 366 échantillons de granodiorite (diorite à quartz)
- 334 échantillons de dykes de diorite
- 264 échantillons des zones de cisaillement

6

Géologie : Sigéom, 2009



3. INDICATEURS CONNUS POUR L'OR OROGÉNIQUE

Indicateurs	Ratio	Référence
Indice de saturation en carbonates	$CO_2 / (CaO + Fe_2O_3 + MgO + MnO)$	Kishida et Kerrich, 1987
Indice de carbonatation	CO_2 / CaO	Kishida et Kerrich, 1987
Appauvrissement en Y	$1000 * Y / Ti$	Eilu et al., 2001
Indice de saturation en albite	Na_2O / Al_2O_3	Kishida et Kerrich, 1987
Indice de saturation en séricite	$3 * K_2O / Al_2O_3$	Kishida et Kerrich, 1987
Indice de saturation albite + séricite	$(3 * K_2O + Na_2O) / Al_2O_3$	Kishida et Kerrich, 1987
Indice d'altération	$(K_2O + CO_2) / (K_2O + CO_2 + Na_2O + Al_2O_3)$	Bierlein et al., 2000
Indice de chlorite	$(Fe_2O_3 + MgO) / (Fe_2O_3 + MgO + 2CaO + 2Na_2O)$	Saeki et Date, 1980

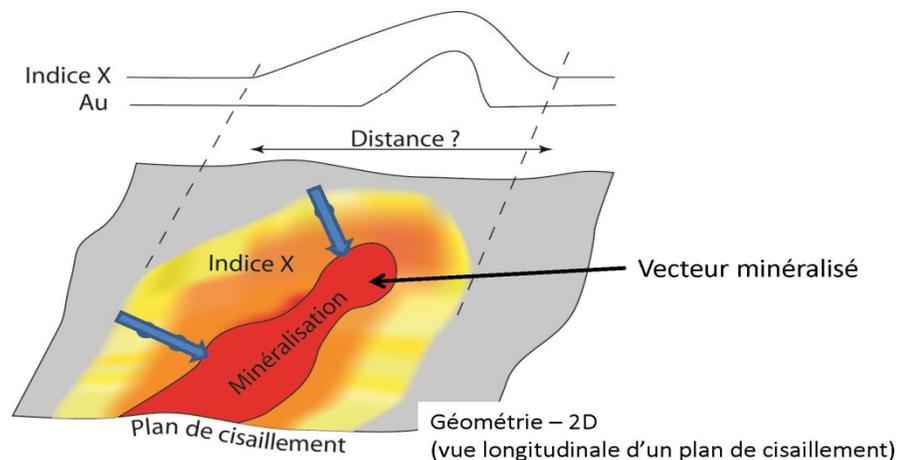
7



4. CIBLAGE

4.1 MÉTHODOLOGIE

- Établir les variations géochimiques dans un plan longitudinal au cisaillement fertile afin de cibler les variations à l'approche des vecteurs minéralisés.

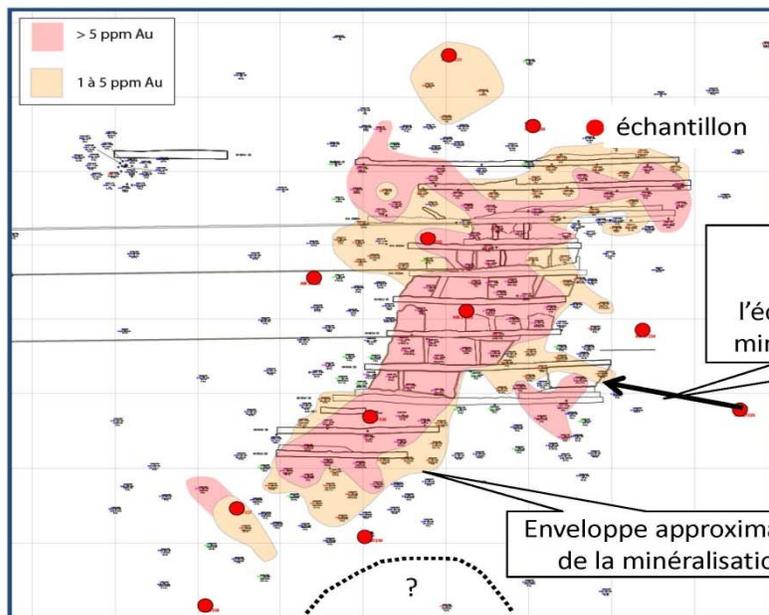


8



4. CIBLAGE

4.2 CIBLAGE LOCAL



4.2.1 CAS ÉTUDIÉ

Lac Herbin (S3)

- Cisaillement fertile

Ciblage local

La distance maximale de l'échantillon à l'enveloppe de la minéralisation est de 80 mètres.

Enveloppe approximative de la minéralisation



4. CIBLAGE

4.2 CIBLAGE LOCAL

4.2.2 TESTS RÉALISÉS

- Indice de saturation en carbonates
- Indice de saturation en albite
- Indice de saturation en séricite
- Indice de saturation en albite et séricite
- Éléments majeurs : TiO_2 , Na_2O , K_2O , Al_2O_3
- Éléments traces : Rb, Ba, Sr, Zr, Nb
- Normalisation par rapport au titane : K, CO_2 , Y, Rb



4. CIBLAGE

4.2 CIBLAGE LOCAL

4.2.3 RÉSULTATS

Ratios qui semblent les plus prometteurs (distance de détection)

- Indice de saturation en carbonates (20 m)*
- Indice de saturation en séricite (20 m)*
- Éléments majeurs : Al_2O_3 (?), K_2O (?)
- Éléments traces : Ba (~80 m)*, Rb (>20 m?)
- Normalisation par rapport au titane : $10000Y/Ti$ (>80 m?), K/Ti , CO_2/Ti (?)

* Les prochaines diapositives montrent les graphiques de ces indices.

11

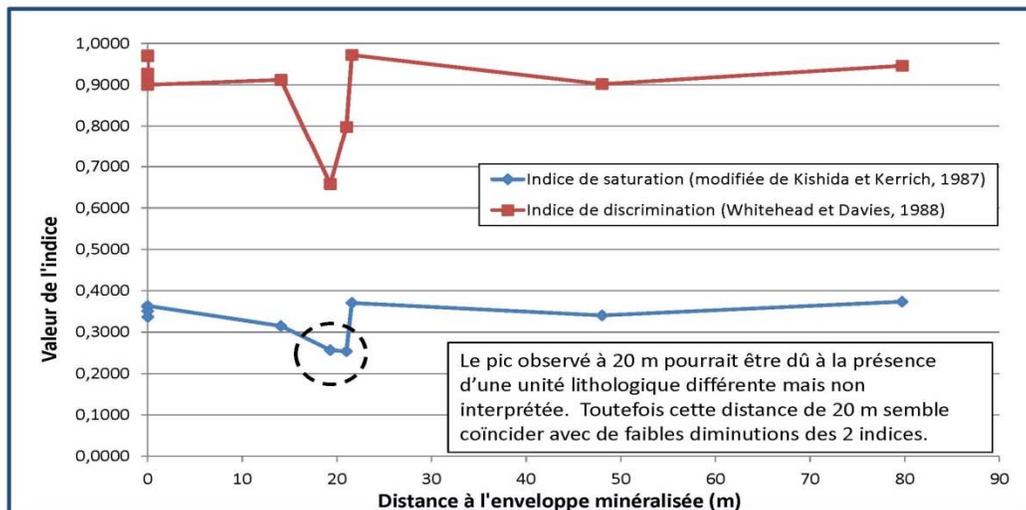


4. CIBLAGE

4.2 CIBLAGE LOCAL

4.2.3 RÉSULTATS

Indice de saturation en carbonates (20m)



12

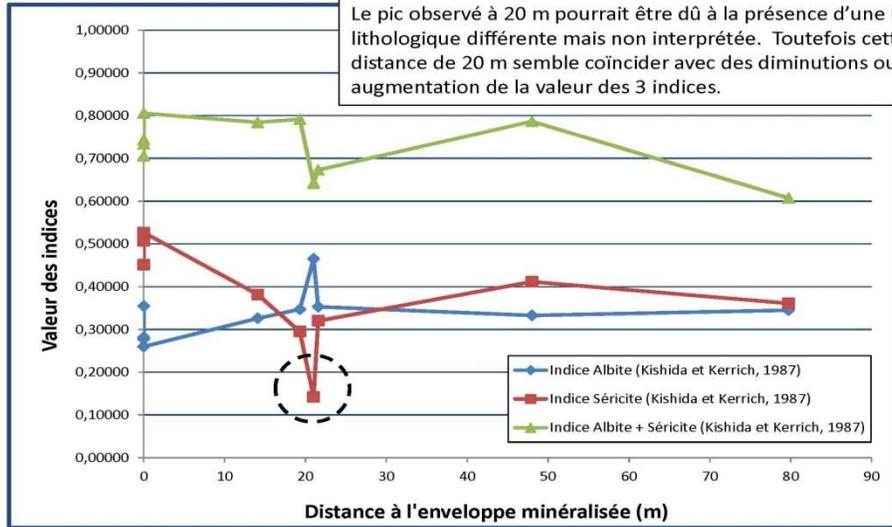


4. CIBLAGE

4.2 CIBLAGE LOCAL

4.2.3 RÉSULTATS

Indice de saturation en albite et/ou séricite (20m)



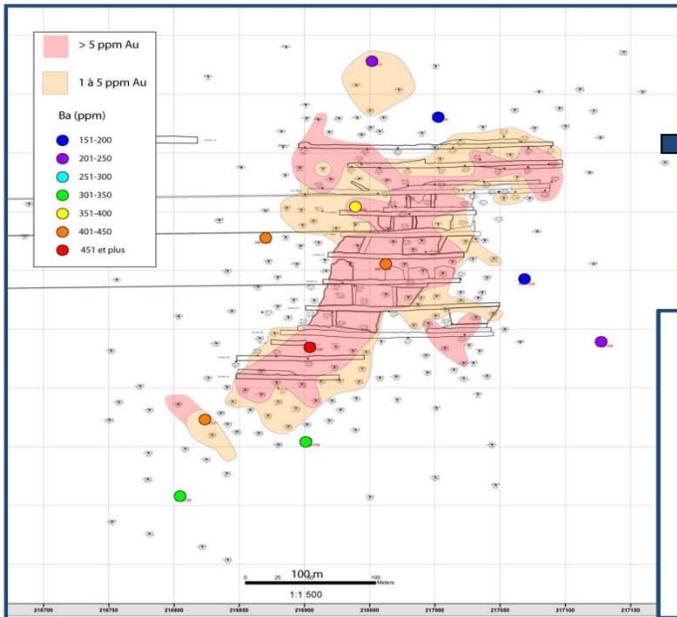
13



4. CIBLAGE

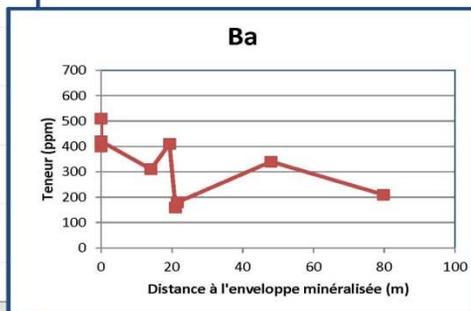
4.2 CIBLAGE LOCAL

4.2.3 RÉSULTATS Élément trace (Ba)



Le Ba donne les meilleurs résultats

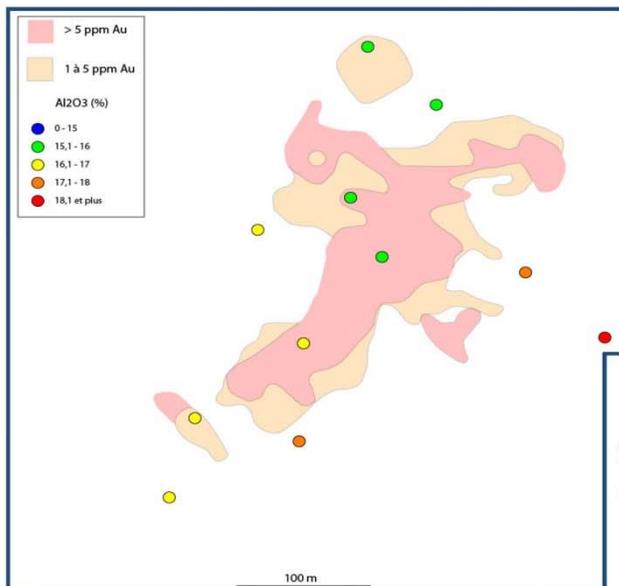
On remarque une diminution de la teneur en Ba (élément mobile) vers l'extérieur de l'enveloppe minéralisée.





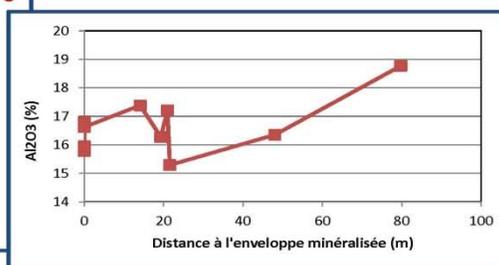
4. CIBLAGE

4.2 CIBLAGE LOCAL



4.2.3 RÉSULTATS Élément majeur (Al₂O₃)

On remarque une augmentation de la teneur en Al₂O₃ (élément lessivé) vers l'extérieur de l'enveloppe minéralisée.



15



4. CIBLAGE

4.2 CIBLAGE LOCAL

4.2.3 RÉSULTATS

Remarques

- Dans le cas testé (lac Herbin S3), des incertitudes relatives à la répartition des échantillons persistent.
- Les échantillons testés ont été prélevés à une distance par rapport au vecteur minéralisé relativement faible (≤80m). Il y a lieu de se demander si les variations de ratios sont aussi observables sur de plus grandes distances (ciblage régional).

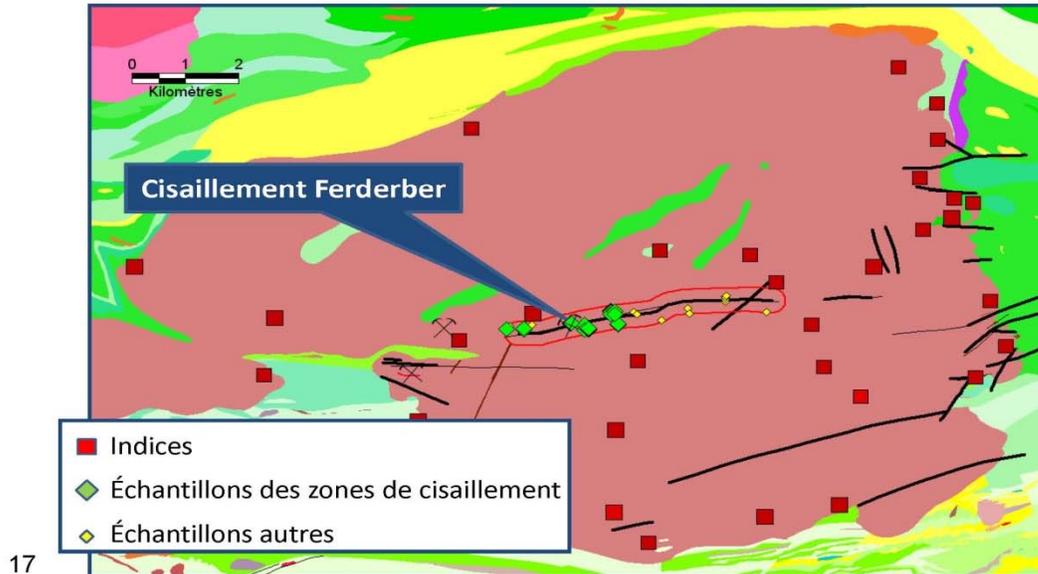
16



4. CIBLAGE

4.3 CIBLAGE RÉGIONAL

4.3.1 CAS ÉTUDIÉ



17



4. CIBLAGE

4.3 CIBLAGE RÉGIONAL

4.3.2 TESTS RÉALISÉS

- Indice de saturation en carbonates
- Indice de saturation en séricite
- Éléments majeurs : K_2O , Al_2O_3
- Éléments traces : Rb, Ba
- Normalisation par rapport au titane : K/Ti , CO_2/Ti , $10000Y/Ti$, Rb/Ti

18



4. CIBLAGE

4.3 CIBLAGE RÉGIONAL

4.3.3 RÉSULTATS

Ratios qui semblent les plus prometteurs

- Indice de saturation en séricite (20 m)*
- Éléments majeurs : Al_2O_3 , K_2O

* La prochaine diapositive montre le graphique de cet indice.

Remarques

- Manque de continuité dans les données
- Besoin d'un échantillonnage plus systématique

19

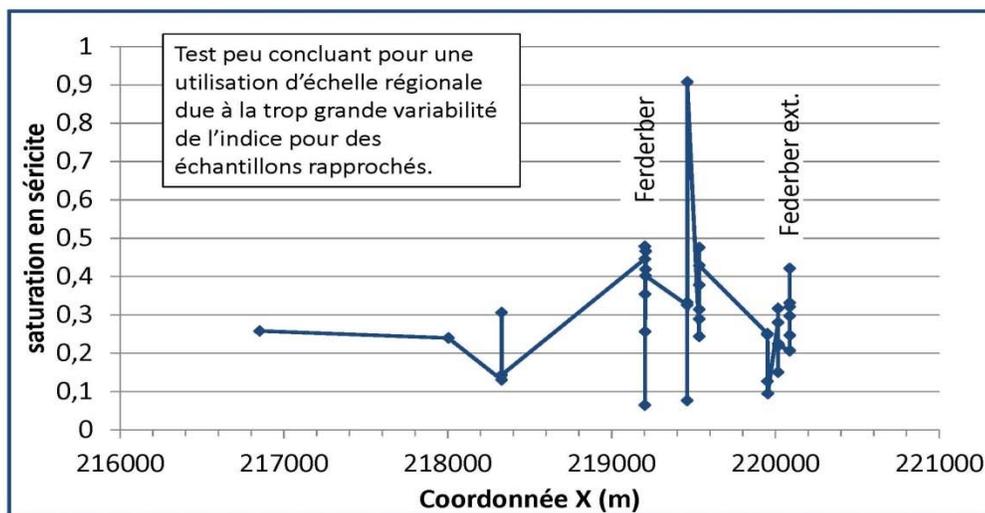


4. CIBLAGE

4.3 CIBLAGE RÉGIONAL

4.3.3 RÉSULTATS

Indice de saturation en séricite (20m)



20

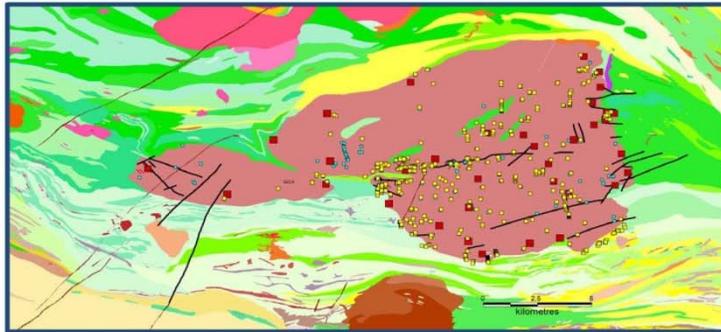
5. COMPARAISON

5.1 MÉTHODOLOGIE

- Comparer la géochimie des zones cisailées fertiles (dans et à l'extérieur des zones minéralisées) avec celle des zones de cisaillement stériles. Pour ce faire, il est nécessaire de situer les échantillons par rapport aux cisaillements et définir si ces cisaillements sont fertiles ou non.

5.2 CAS ÉTUDIÉ

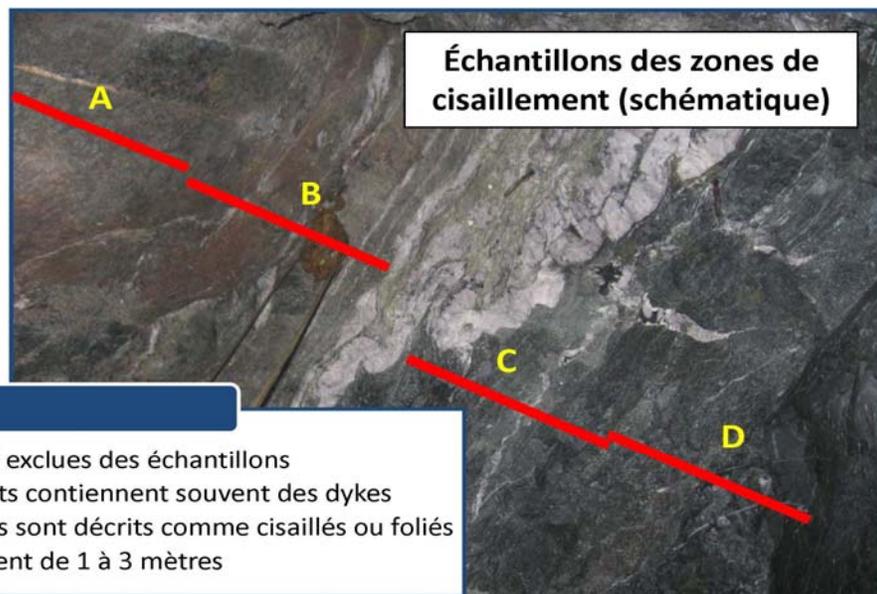
- Batholite de Bourlamaque



21

5. COMPARAISON

5.2 CAS ÉTUDIÉ



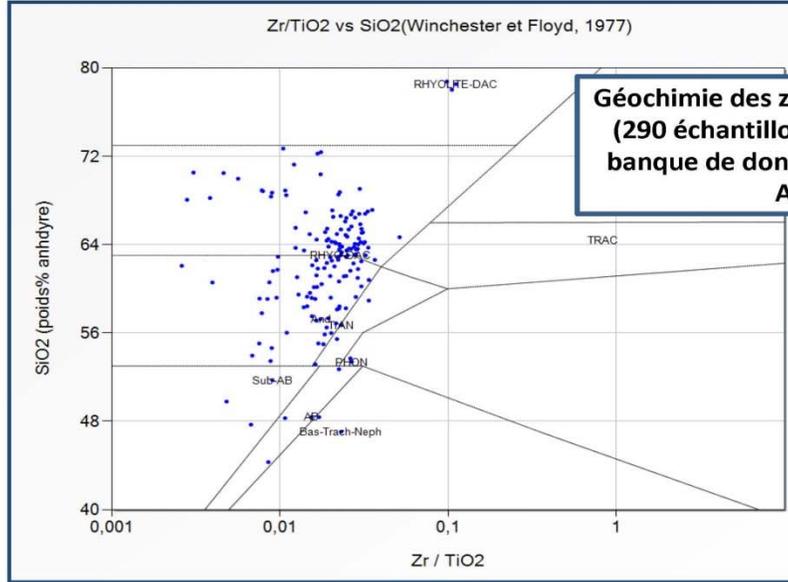
Notons que :

- Les veines sont exclues des échantillons
- Les cisaillements contiennent souvent des dykes
- Les échantillons sont décrits comme cisailés ou foliés
- Longueurs varient de 1 à 3 mètres



5. COMPARAISON

5.3 GÉOCHIMIE



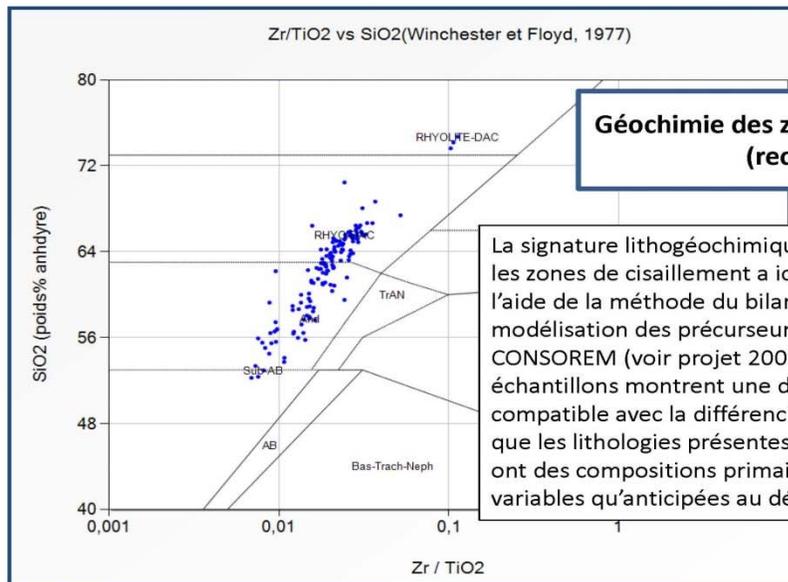
Géochimie des zones de cisaillement
 (290 échantillons provenant de la
 banque de données de Ressources
 Alexis)

23



5. COMPARAISON

5.3 GÉOCHIMIE



Géochimie des zones de cisaillement
 (recalculée)

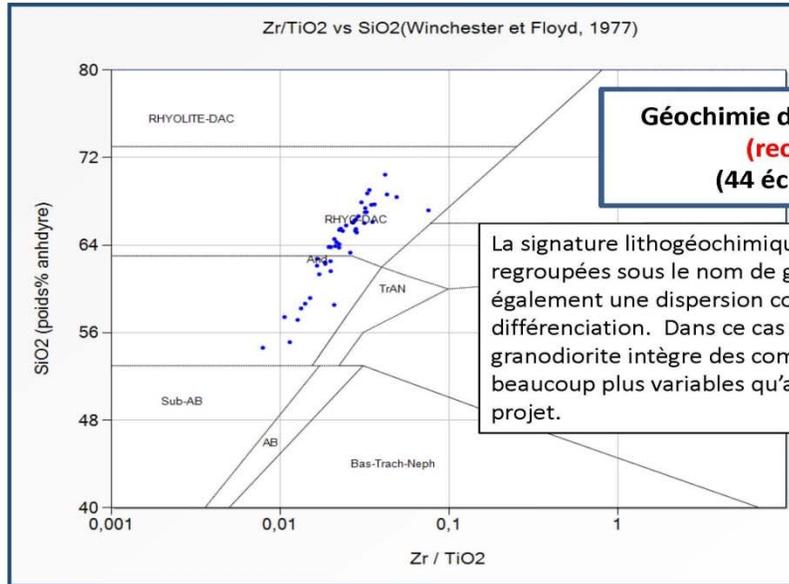
La signature lithogéochimique des roches formant les zones de cisaillement a ici été recalculée à l'aide de la méthode du bilan de masse par modélisation des précurseurs développée par le CONSOREM (voir projet 2009-01). On voit que les échantillons montrent une dispersion plus linéaire compatible avec la différenciation. C'est donc dire que les lithologies présentes dans les cisaillements ont des compositions primaires beaucoup plus variables qu'anticipées au début du projet.

24



5. COMPARAISON

5.3 GÉOCHIMIE



**Géochimie de la granodiorite
 (recalculée)
 (44 échantillons)**

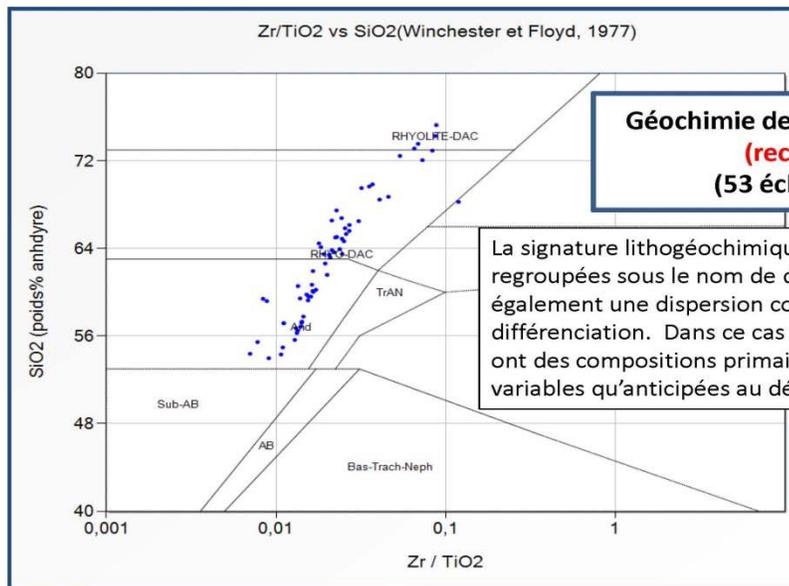
La signature lithogéochimique des roches regroupées sous le nom de granodiorite montre également une dispersion compatible avec la différenciation. Dans ce cas également, l'unité de granodiorite intègre des compositions primaires beaucoup plus variables qu'anticipées au début du projet.

25



5. COMPARAISON

5.3 GÉOCHIMIE



**Géochimie des dykes de diorite
 (recalculée)
 (53 échantillons)**

La signature lithogéochimique des roches regroupées sous le nom de dyke de diorite montre également une dispersion compatible avec la différenciation. Dans ce cas également, les dykes ont des compositions primaires beaucoup plus variables qu'anticipées au début du projet.

26

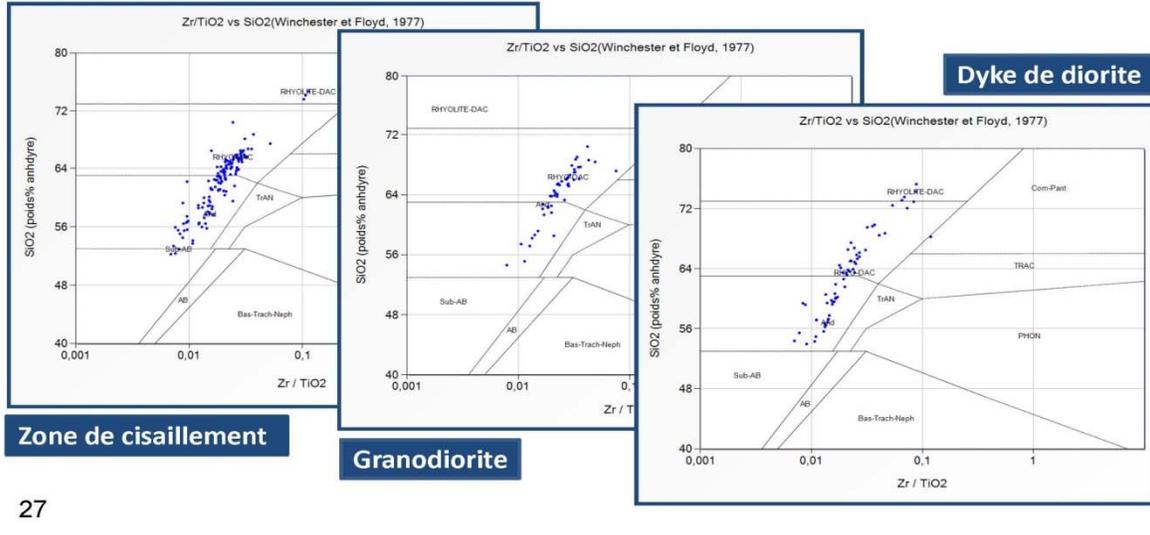


5. COMPARAISON

5.3 GÉOCHIMIE

La similarité du spectre compositionnel des échantillons de zones de cisaillement reflète la variabilité de l'unité granodioritique et celle des dykes.

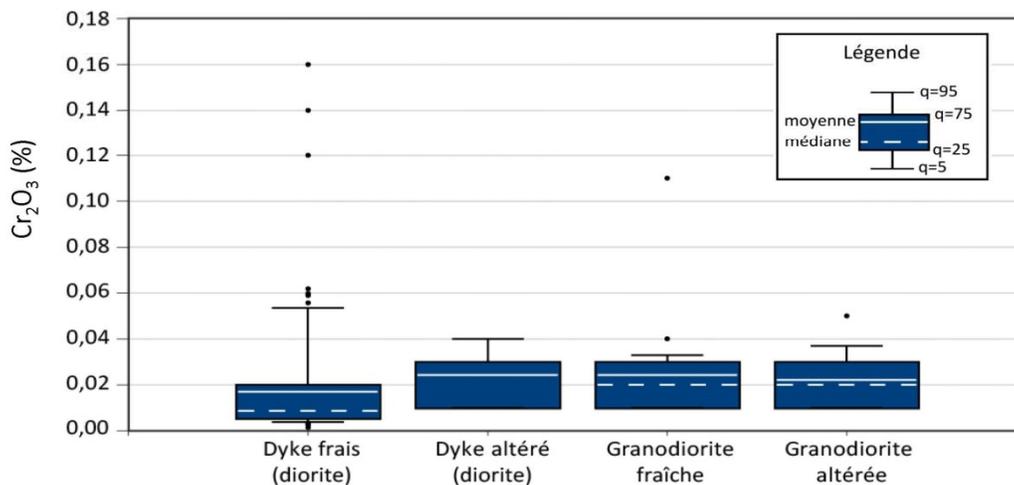
5.3.1 SIMILARITÉ GÉOCHIMIQUE



5. COMPARAISON

5.3 GÉOCHIMIE

5.3.1 SIMILARITÉ GÉOCHIMIQUE





5. COMPARAISON

5.3 GÉOCHIMIE

5.3.1 SIMILARITÉ GÉOCHIMIQUE

Remarque

- Les dykes de diorite et la granodiorite ont une géochimie relativement similaire :
 - ➔ Cette similarité représente un obstacle si les dykes ont un lien *chimique* avec la minéralisation.
 - ➔ Cette similarité représente un avantage si la géochimie des cisaillements fertiles par rapport à celle des cisaillements stériles est indépendante des lithologies cisillées.

29



5. COMPARAISON

5.3 GÉOCHIMIE

5.3.2 DÉFINITION DES ZONES FERTILES ET STÉRILES

Difficultés rencontrées

- La localisation des échantillons par rapport aux zones de cisaillement
- L'évaluation de la stérilité ou de la fertilité des zones de cisaillement
- L'hétérogénéité des données disponibles
- Les faibles teneurs ou l'absence d'Au des échantillons disponibles
- L'absence d'analyse en Au pour beaucoup d'échantillons
- L'erreur possible de classification de certains échantillons

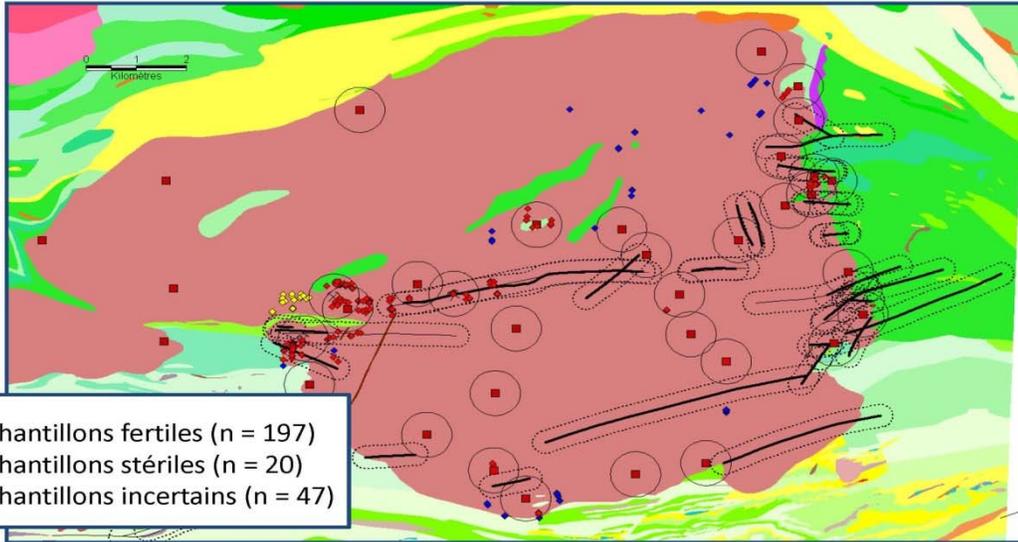
30



5. COMPARAISON

5.3 GÉOCHIMIE

5.3.2 DÉFINITION DES ZONES FERTILES ET STÉRILES



31



5. COMPARAISON

5.4 TESTS RÉALISÉS

- Indice de saturation en carbonates
- Indice de saturation en albite
- Indice de saturation en séricite
- Indice de saturation en albite et séricite
- Indice chlorite
- Éléments majeurs : TiO_2 , Na_2O , K_2O , Al_2O_3 , Cr_2O_3
- Éléments traces : Rb, Ba, Sr, Zr, Nb
- Normalisation par rapport au titane : K/Ti, 1000Y/Ti, Rb/Ti
- Perte au feu (PAF)

32



5. COMPARAISON

5.5 RÉSULTATS

Ratios qui semblent les plus prometteurs

- **Ni** : Au sein des échantillons évalués, la quantité de nickel est beaucoup plus importante dans les roches dites fertiles que dans les roches dites stériles.
- **Co** : Au sein des échantillons évalués, la quantité de cobalt est plus importante dans les roches fertiles que dans les roches stériles.

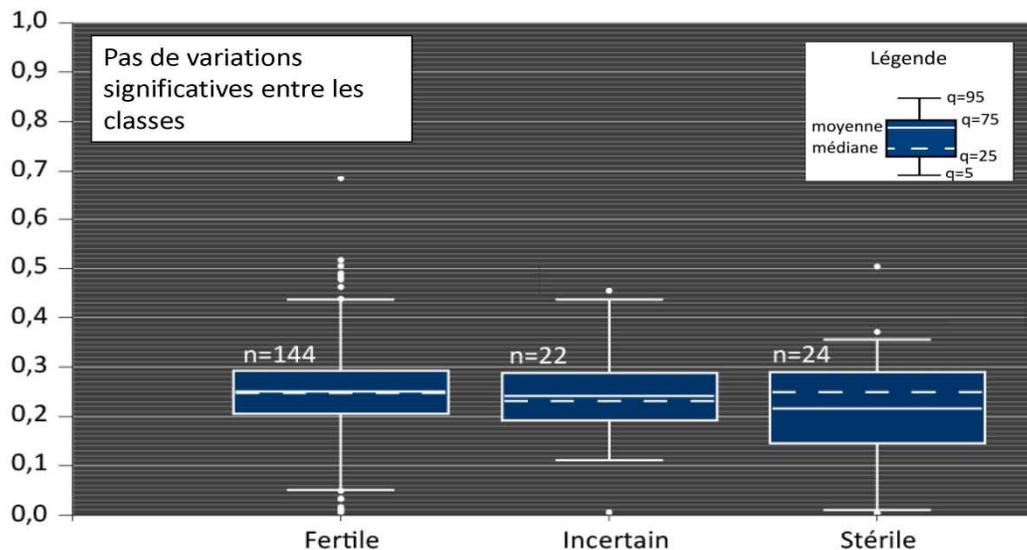
33



5. COMPARAISON

5.5 RÉSULTATS

Indice de saturation en carbonates

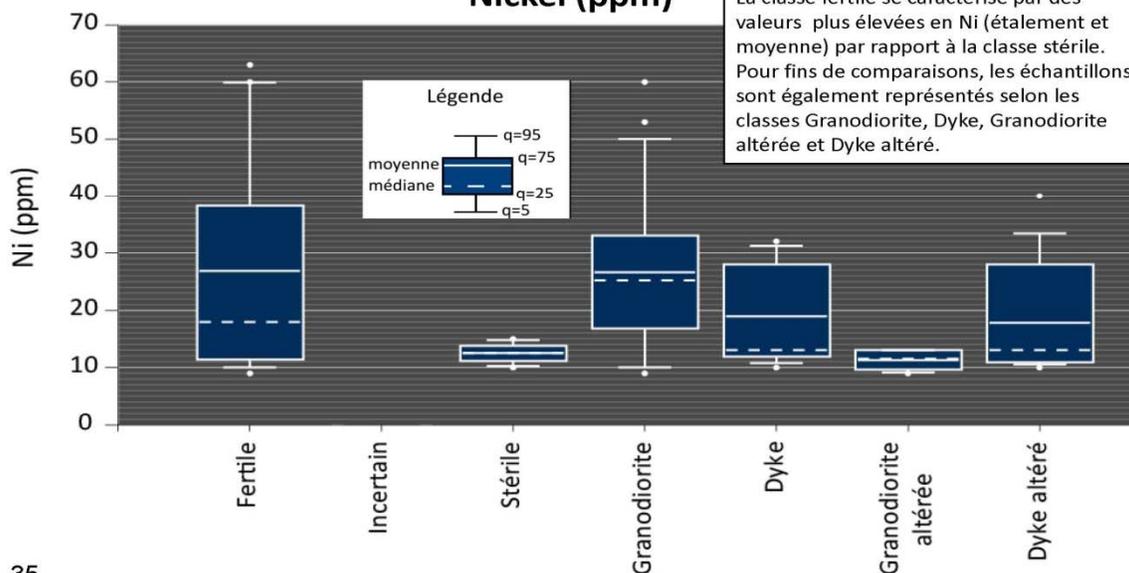


34



5. COMPARAISON

5.5 RÉSULTATS Nickel (ppm)

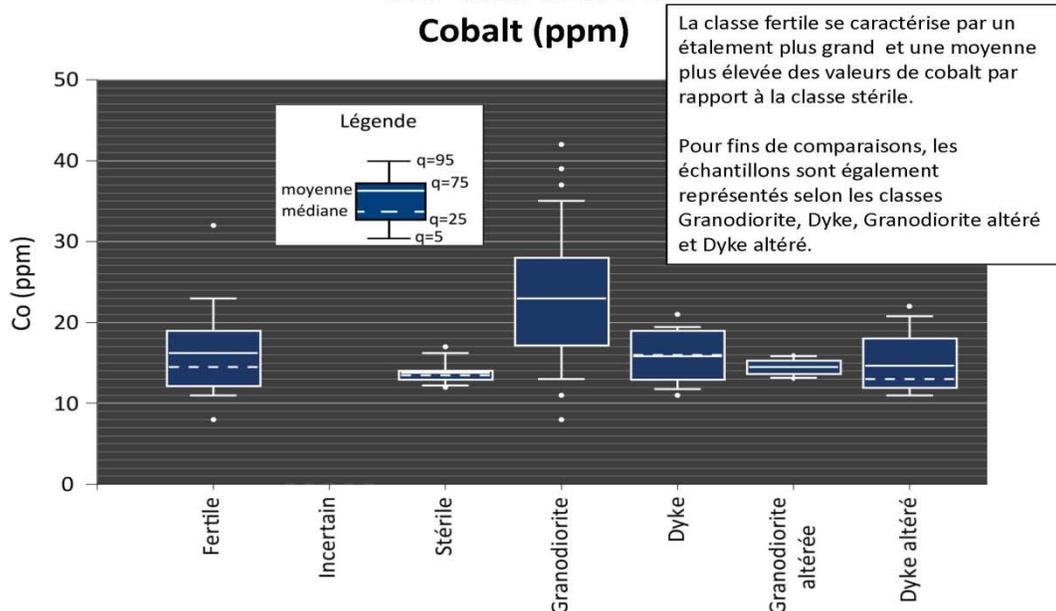


35



5. COMPARAISON

5.5 RÉSULTATS Cobalt (ppm)



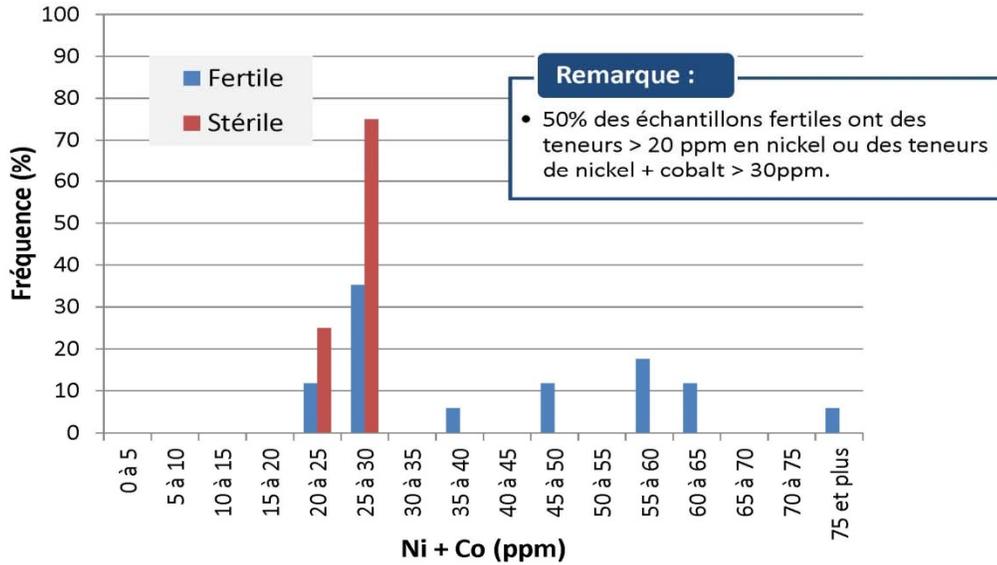
36



5. COMPARAISON

5.5 RÉSULTATS

Nickel + Cobalt (sans les valeurs extrêmes)



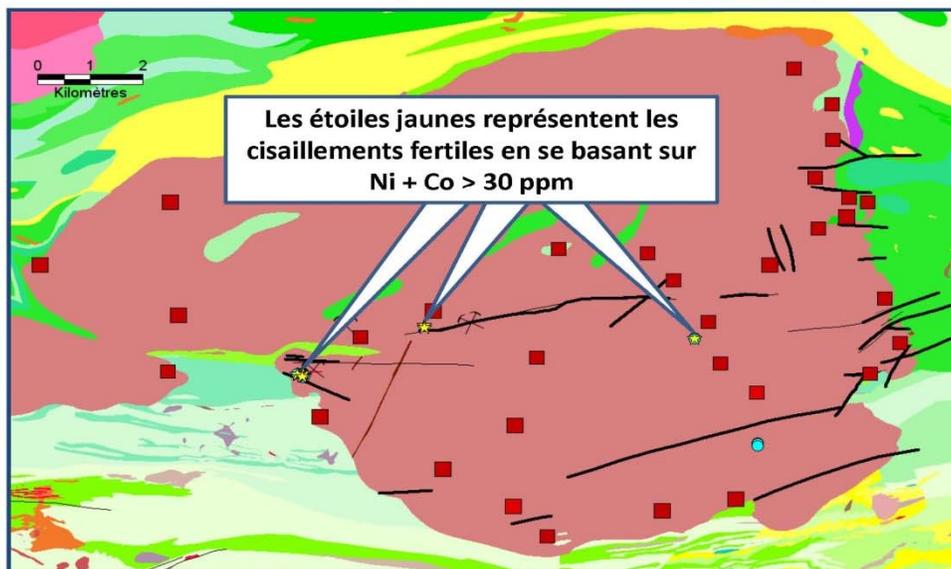
37



5. COMPARAISON

5.5 RÉSULTATS

Nickel + Cobalt (sans les valeurs extrêmes)



38



5. COMPARAISON

5.5 RÉSULTATS

Définition des coefficients de corrélations

- En considérant que la concentration en nickel semble reliée à la présence de zones de cisaillement fertiles, il était pertinent de tenter de définir des coefficients de corrélation avec d'autres éléments qui pourraient être reliés au nickel dans l'optique d'améliorer les indices de fertilité.
- Cette méthode a donné peu de résultats concluants. Voici ceux dont la relation est la plus probante :



Zones de cisaillement fertiles

- Relation positive Ni-Co-(Zn)
- Relation négative Ni-PAF



Zones de cisaillement stériles

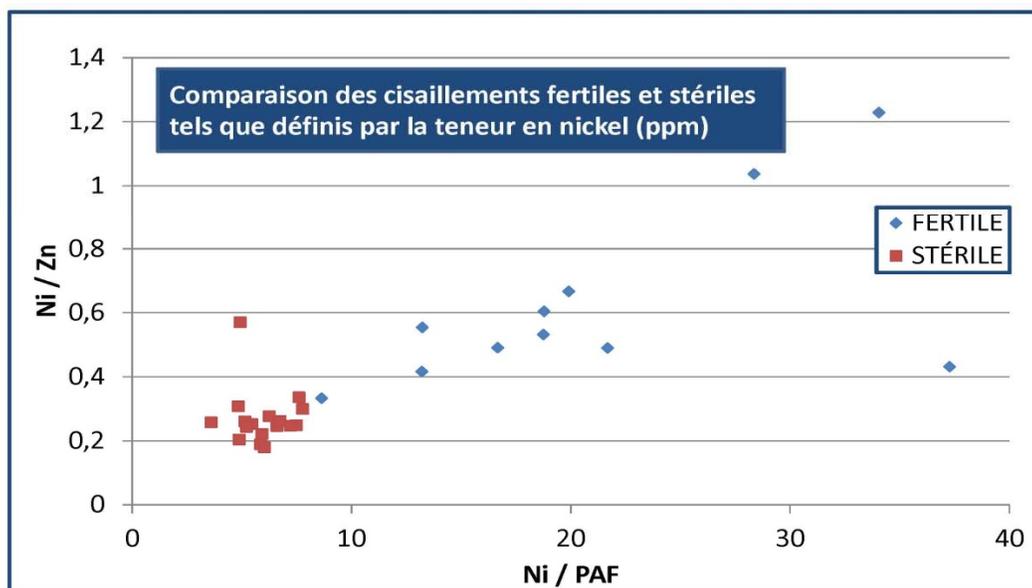
- Relation négative Ni-Zn (?)

39



5. COMPARAISON

5.5 RÉSULTATS

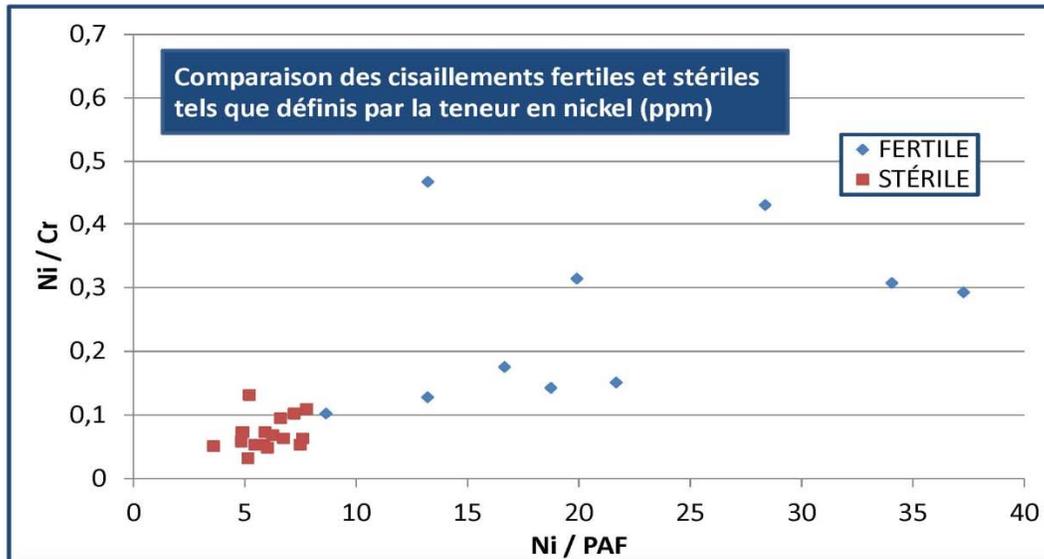


40



5. COMPARAISON

5.5 RÉSULTATS



41



6. CONCLUSION

6.1 CIBLAGE

- Les indicateurs suivants semblent les plus prometteurs :

INDICATEURS	CIBLAGE
Indice de saturation en carbonates	LOCAL
Indice de saturation en séricite	LOCAL, RÉGIONAL
Ba (~ 80 m), Rb (> 20m ?)	LOCAL
Al ₂ O ₃ , K ₂ O	RÉGIONAL
10000Y/Ti, K/Ti et CO ₂ /Ti	LOCAL, régional

- Cette méthode pourrait être améliorée par un échantillonnage plus systématique (une meilleure répartition des échantillons).

42



6. CONCLUSION

6.2 COMPARAISON

- La quantité de nickel est élevée dans la granodiorite fraîche et dans les cisaillements fertiles mais elle est faible dans la roche altérée. Le nickel provient donc de la granodiorite et non pas des dykes laissant ainsi croire que les dykes génèrent un contrôle mécanique et qu'ils ont donc une influence plutôt physique que chimique.
- Le transfert du nickel de l'encaissant vers les zones de cisaillement se fait si :
 - ➔ **Il y a présence de soufre dans la roche**
- Le transfert du nickel de l'encaissant vers les zones de cisaillement ne se fait pas si :
 - ➔ **Il n'y a pas de soufre dans la roche; le nickel est lessivé et la roche est enrichie en chrome**

* Notons que ces constatations ne peuvent être confirmées puisque les échantillons analysés pour le nickel n'étaient pas analysés pour le soufre.

43



6. CONCLUSION

6.2 COMPARAISON

- L'élément clé est donc le nickel dans les zones de cisaillement (et non dans les veines) :
 - ➔ **Les zones de cisaillement fertiles contiennent > 20 ppm Ni**
 - ➔ **Le nickel peut être utilisé comme indice avec le cobalt (les zones de cisaillements fertiles contiennent > 30 ppm Ni + Co)**
 - ➔ **Le nickel peut aussi être utilisé dans un graphique Ni/PAF vs Ni/Zn ou Ni/PAF vs Ni/Cr**
- L'utilisation de la quantité de nickel et de cobalt afin de déterminer la fertilité en or est un indice déjà connu, utilisé dans les analyses de pyrite (Roussy, 2003). Ici, cet indice est utilisé dans la roche totale et non dans les pyrites créant ainsi une économie de temps et de coût d'analyses.
- Ces ratios sont efficaces pour le batholithe de Bourlamaque mais est-ce le cas ailleurs ?

44



7. RÉFÉRENCES

- Belkabir, A., Robert, F., Vu, L. et Hubert, C., 1993. The influence of dikes on auriferous shear zone development within granitoid intrusions: the Boursamaque pluton, Val d'Or district, Abitibi greenstone belt. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 30 : 1924-1933.
- Bierlein, F. P., Arne, D. C., McKnight, S., Lu, J., Reeves, S., Besanko, J., Marek, J. et Cooke, D., 2000. Wall-rock petrology and geochemistry in alteration halos associated with mesothermal gold mineralization, central Victoria, Australia. *Economic Geology et Bulletin of the society of economic geologists*, 95-2 : 283-311.
- Eilu, P., Mikucki, E. J. et Dugdale, A. L., 2001. Alteration zoning and primary geochemical dispersion at the Bronzewing lode-gold deposit, Western Australia. *Mineralium Deposita*, 35 : 13-31.
- Foucault, A. et Raoult, J. F., 1988. Dictionnaire de géologie, 3^e édition. Masson, Paris, 352 p. ISBN : 2-225-81480-5
- Kishida, A. et Kerrich, R., 1987. Hydrothermal alteration zoning and gold concentration at the Kerr-Addison Archean Lode Gold Deposit, Kirkland Lake, Ontario. *Economic Geology*, 82 : 649-690.
- Roussy, J., 2003. Relations entre la distribution de l'or, la structure, la composition des veines et de l'altération hydrothermale à la mine Beaufor, Val-d'Or, Abitibi, Québec. Mémoire de maîtrise, Université Laval, 316 p.

45



7. RÉFÉRENCES

- Saeki, Y., et Date, J., 1980. Computer applications to the alteration data of the footwall dacite lava at the Ezuri kuroko deposits, Akita Prefecture. *Mining Geology*, 30-4 : 241-250.
- Whitehead, R. E. et Davies, J. F., 1988. Discriminant-analyses involving CO₂/CaO and arsenic in gold exploration. *Journal of geochemical exploration*. 30-3 : 243-253.

46