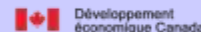
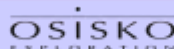


Évaluation de l'efficacité des différentes techniques de géochimie de l'environnement secondaire

Silvain Rafini

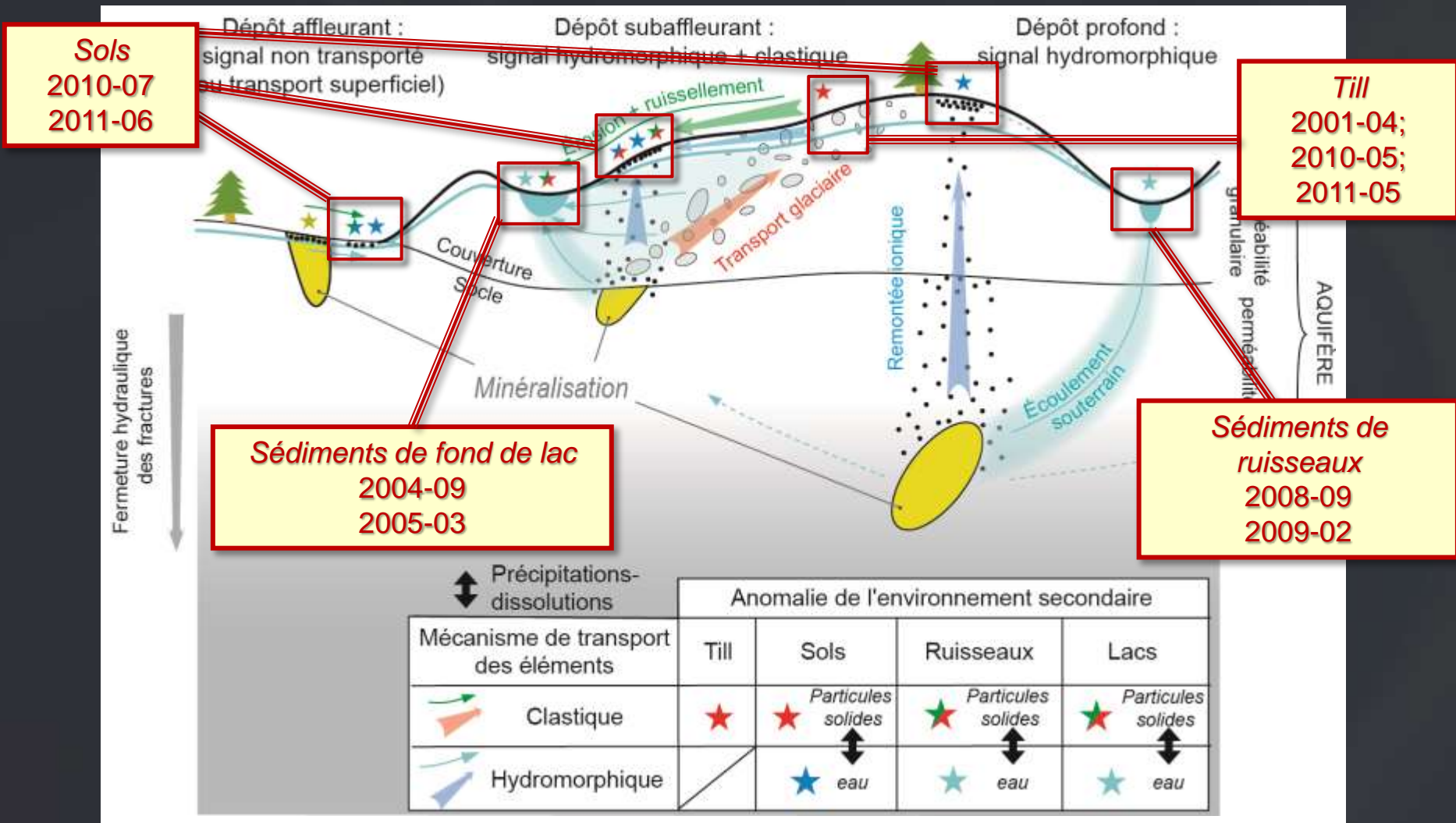
Projet 2012-04

Atelier Québec Mines
11 novembre 2013



- Introduction du projet
- Efficacité des combinaisons *élément-méthode* : contexte théorique
 - Le fractionnement des métaux dans l'environnement secondaire
 - Accumulation « naturelle » vs dispersion : quels sites privilégier ?
 - Variabilité du bruit de fond : signal parasite
 - Importance du signal parasite : exemple d'une fausse anomalie régionale
 - Traitement du signal parasite
- Comparaison de la performance des différentes méthodes
 - Discussion sur l'approche adoptée
 - Efficacité des sédiments de lacs et de ruisseaux sur l'ensemble du Québec
 - Rehaussement par densité d'anomalies
 - Comparaison ponctuelle des performances du till et du sol
 - Efficacité des levés de till et de sols : projets antérieurs
- Synthèse des performances, conclusions

- 2001 – 2011 : Plusieurs projets Consorem sont consacrés à l'optimisation des données dans les différents sites de l'environnement secondaire, pour l'exploration minérale



- 2012 : l'éventail des principales méthodes existantes ayant été traité, proposition d'un projet synthétique abordant l'aspect comparatif entre ces méthodes

- La géochimie de l'environnement secondaire est, au Canada, un outil d'exploration incontournable, largement utilisée depuis plusieurs décennies
- Plusieurs méthodes sont offertes au géologue d'exploration dont les plus communes sont les levés de tills, de sols, et de sédiments de lacs et ruisseaux
- Ces méthodes divergent considérablement par la nature des mécanismes de transport métallique (dispersion) impliqués, clastique et/ou hydromorphique, qui conditionne leur efficacité dans les différents contextes d'exploration
- Les contextes favorables à un usage efficace des différentes méthodes pour différents éléments ne sont pas définis

Cu

Zn

Pb

Ni

Au

Traceurs Au : Sb, As, W, Bi, Mo



• Sédiments de lacs

• Sédiments de ruisseaux

• Sols

• Tills

Pour chaque élément :

- Quelles sont les méthodes efficaces pour le traçage des minéralisations ?
- Sur quelles distances ce traçage est-il détectable (rayon d'influence des anomalies) ?

Quelles sont les combinaisons *élément-méthode* gagnantes pour l'exploration ?

- Introduction du projet
- Efficacité des combinaisons *élément-méthode* : contexte théorique
 - Le fractionnement des métaux dans l'environnement secondaire
 - Accumulation « naturelle » vs dispersion : quels sites privilégier ?
 - Variabilité du bruit de fond : signal parasite
 - Importance du signal parasite : exemple d'une fausse anomalie régionale
 - Traitement du signal parasite
- Comparaison de la performance des différentes méthodes
 - Discussion sur l'approche adoptée
 - Efficacité des sédiments de lacs et de ruisseaux sur l'ensemble du Québec
 - Rehaussement par densité d'anomalies
 - Comparaison ponctuelle des performances du till et du sol
 - Efficacité des levés de till et de sols : projets antérieurs
- Synthèse des performances, conclusions



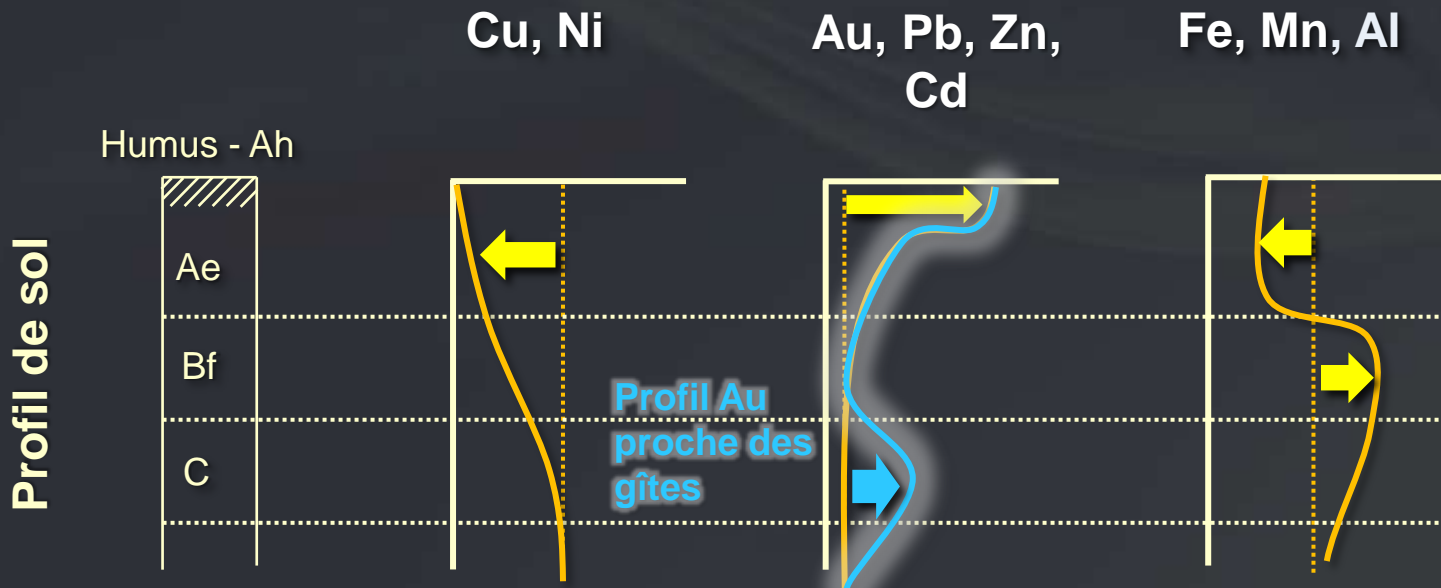
- Ségrégation des métaux durant le transport clastique et/ou hydromorphique depuis la source
 - **Dilution ou accumulation** : la teneur initiale est diminuée ou augmentée dans les différents sites (sols, till, sédiments lacs, sédiments ruisseaux) en fonction des propriétés de l'élément
 - Mobilité, stabilité de l'élément dans les conditions Eh-pH du site
 - Stabilité et résistance à l'abrasion des phases minérales hôtes
 - Affinités avec les phases en présence dans le site (matière organique, argiles, oxydes)

→ Efficacité variable des combinaisons *éléments-méthode*

→ Faut-il favoriser les sites où l'élément s'accumule « naturellement », ou au contraire les sites pour lesquels il a peu d'affinités (niveau de base plus bas, bruit de fond plus faible) ?



→ Faut-il favoriser les sites où l'élément s'accumule « naturellement », ou au contraire les sites pour lesquels il a peu d'affinités (niveau de base plus bas, bruit de fond plus faible) ?



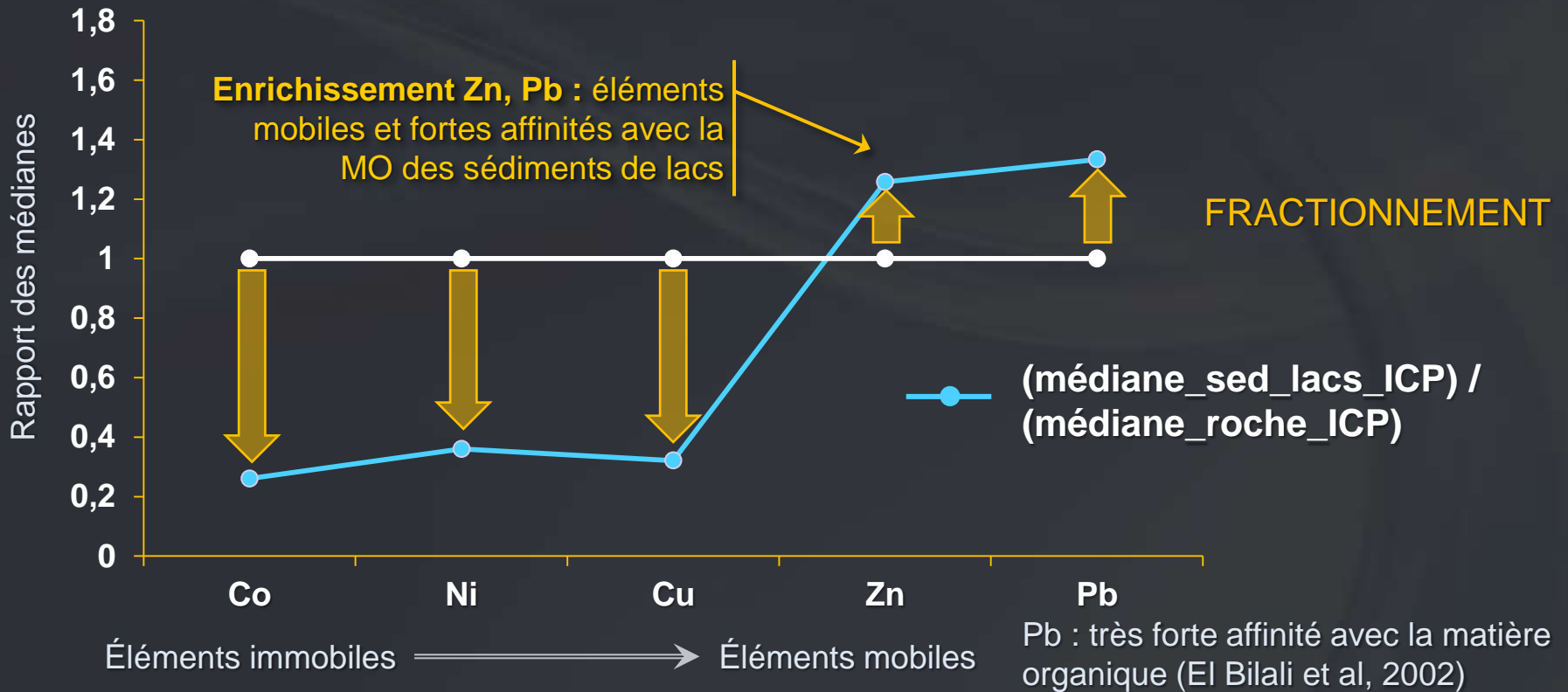
Projet 2011-06

CGC-OF1745
(Klassen, 2003)

FRACTIONNEMENT : **Lessivage** **Accumulation organique** **Lessivage et accumulation inorganique**

Au s'accumule dans l'humus mais les vraies anomalies ne s'y développent pas
→ Elles se développent dans l'horizon C

Levés régionaux de sédiments de lacs dans la péninsule d'Ungava (MRN)



Zn et Pb s'accumulent « naturellement » dans les lacs → niveau de base plus élevé

- Bonnes ou mauvaises combinaisons pour l'exploration ?
- Fort signal parasite (facteurs externes) ?

Force du signal parasite dépend :

1. Variabilité des facteurs externes propre à un site
2. Sensibilité de l'élément à ces facteurs (influence sur les niveaux de bases)

Conditions environnementales

Mobilité **Oxydant** **Acide** **Neutre-alkalin** **Réducteur**

Très haute

Cl, I, Br
S, B

Cl, I, Br
S, B

Cl, I, Br
S, B
Mo, V, U, Se, Re

Cl, I, Br

Haute

Mo, V, U, Se, Re
Ca, Na, Mg, F, Sr, Ra
Zn

Mo, V, U, Se, Re
Ca, Na, Mg, F, Sr, Ra
Zn
Cu, Co, Ni, Hg, Ag, Au

Ca, Na, Mg, F, Sr

Moyenne

Cu, Co, Ni, Hg, Ag, Au
As, Cd

As, Cd

As, Cd

Faible

Si, P, K
Pb, Li, Rb, Ba, Be
Bi, Sb, Ge, Cs, Tl

Si, P, K
Pb, Li, Rb, Ba, Be
Bi, Sb, Ge, Cs, Tl
Fe, Mn

Si, P, K
Pb, Li, Rb, Ba, Be
Bi, Sb, Ge, Cs, Tl
Fe, Mn

Très faible

Fe, Mn

Al, Ti, Sn, Te, W
Nb, Ta, Pt, Cr, Zr
Th, Rare Earths

Al, Ti, Sn, Te, W
Nb, Ta, Pt, Cr, Zr
Th, Rare Earths

Al, Ti, Sn, Te, W
Nb, Ta, Pt, Cr, Zr
Th, Rare Earths

Zn
Cu, Co, Ni, Hg, Ag, Au

Al, Ti, Sn, Te, W
Nb, Ta, Pt, Cr, Zr
Th, Rare Earths
S, B
Mo, V, U, Se, Re
Zn
Cu, Co, Ni, Hg, Ag, Au
As, Cd
Pb, Li, Rb, Ba, Be
Bi, Sb, Ge, Cs, Tl

Mobilité de Cu est très affectée par les conditions pH-Eh

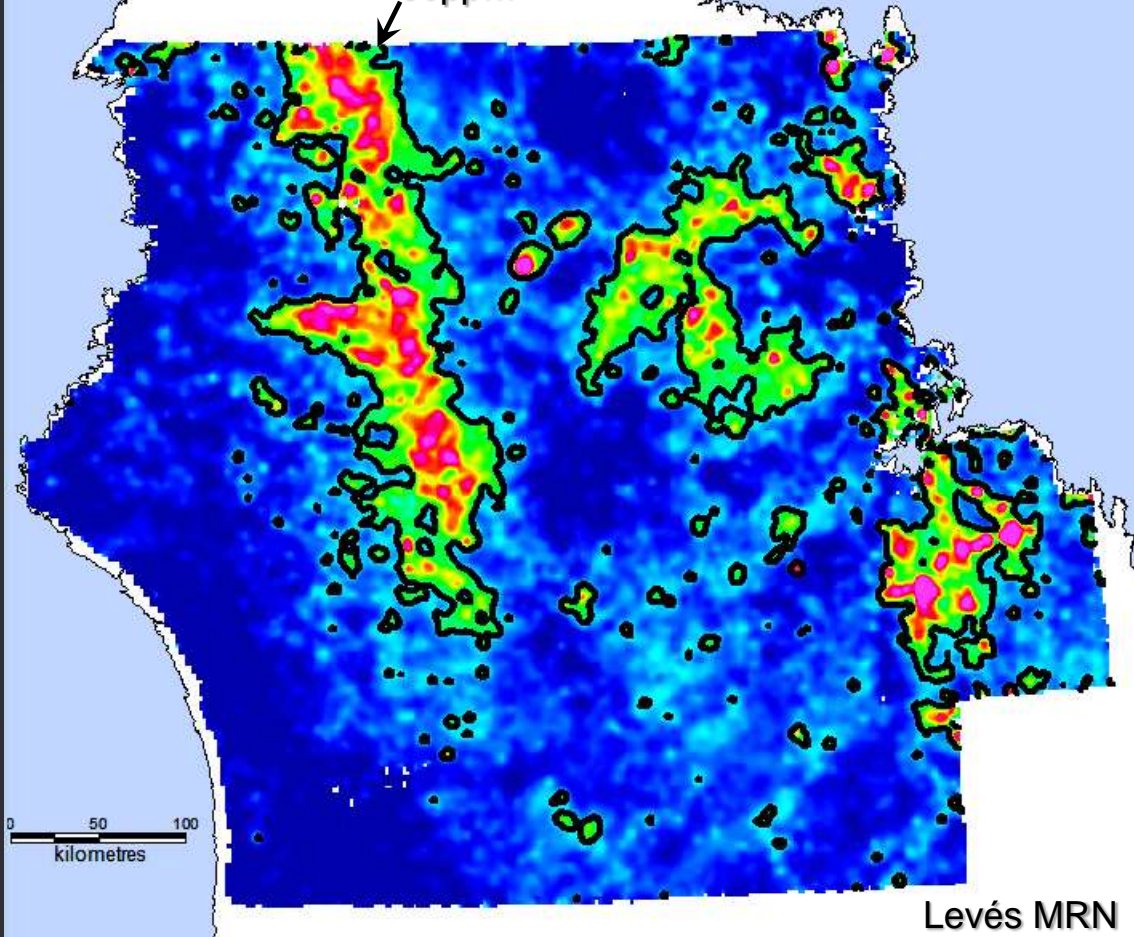
Conditions très variables dans les fonds de lacs (fonction profondeur du lac, niveau échantillonné)

→ Forte influence des facteurs externes, fort signal parasite

Importance du signal parasite : exemple d'une fausse anomalie régionale

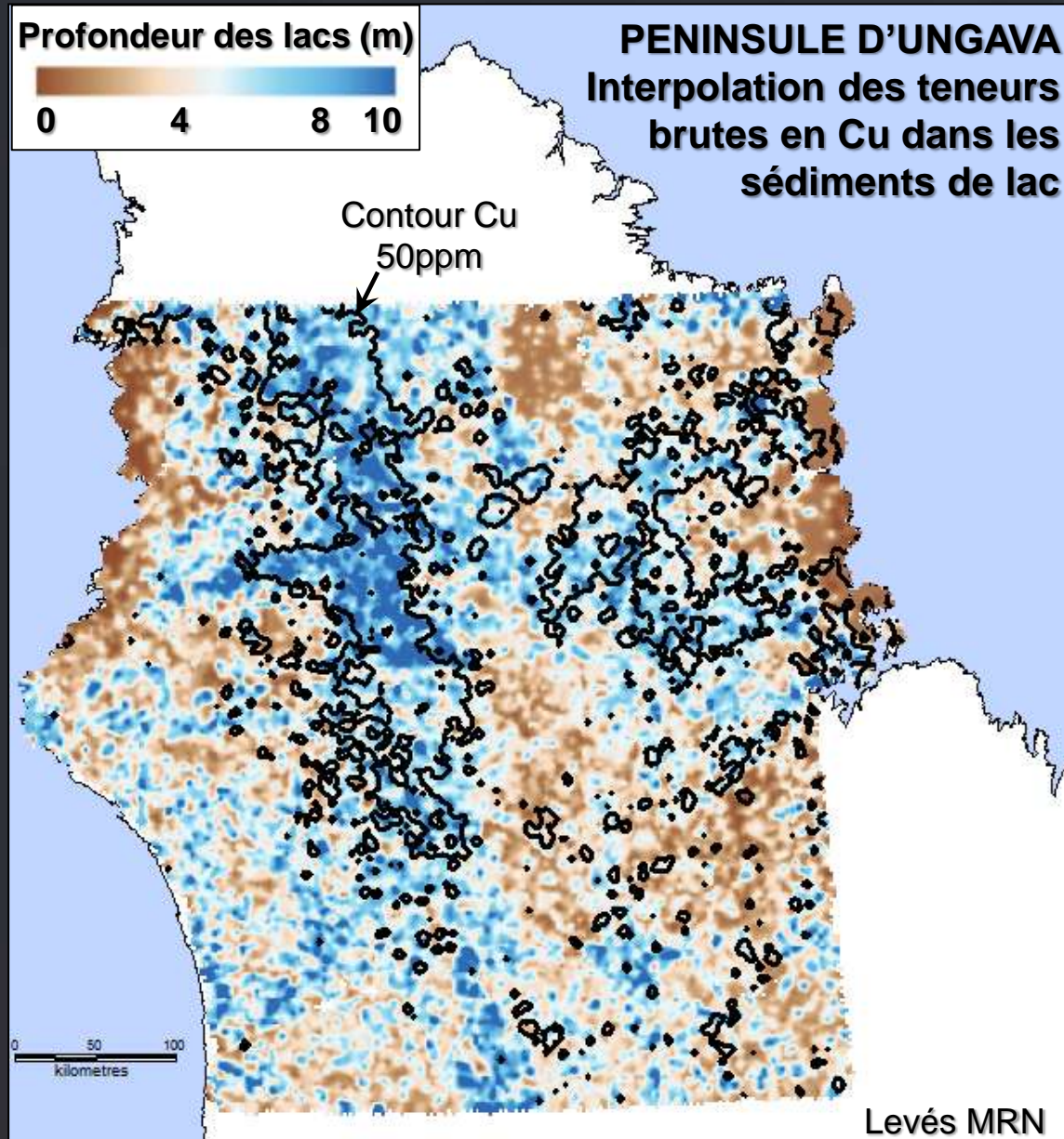
PENINSULE D'UNGAVA
Interpolation des teneurs
brutes en Cu dans les
sédiments de lac

Contour Cu
50ppm



**Alignement SSE de
hauts niveaux de base**

Importance du signal parasite : exemple d'une fausse anomalie régionale



Alignement SSE de
hauts niveaux de base

→ Zone de lacs profonds

Rehaussement d'anomalies : traitement des facteurs secondaires par régression spatiale

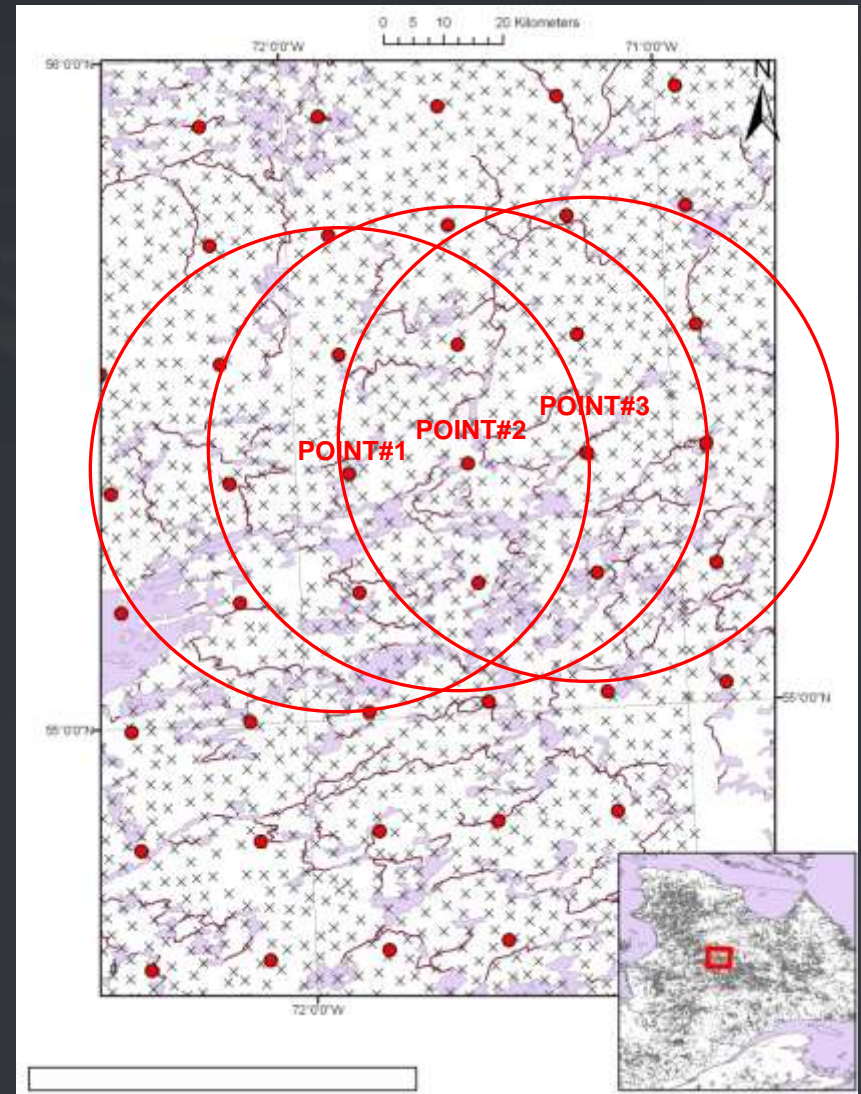
- Méthode introduite au Consorem par S. Trépanier (2004-09)
- Disponible dans le logiciel « Outil de traitement de la géochimie secondaire »
- **Principe** : en chaque point , déterminer une *valeur prédite* en fonction des valeurs connues, aux points voisins, en divers éléments choisis (variables explicatives)

Point 1 : $Zn_Predit = 0.1*Al + 0.3*Ba - 0.6*Cu... + 2.2$

Point 2 : $Zn_Predit = 0.3*Al + 0.4*Ba + 1.7*Cu... + 1$

Point 3 : etc.

• Valeur résiduelle = $\frac{\text{valeur observée}}{\text{valeur prédite}}$

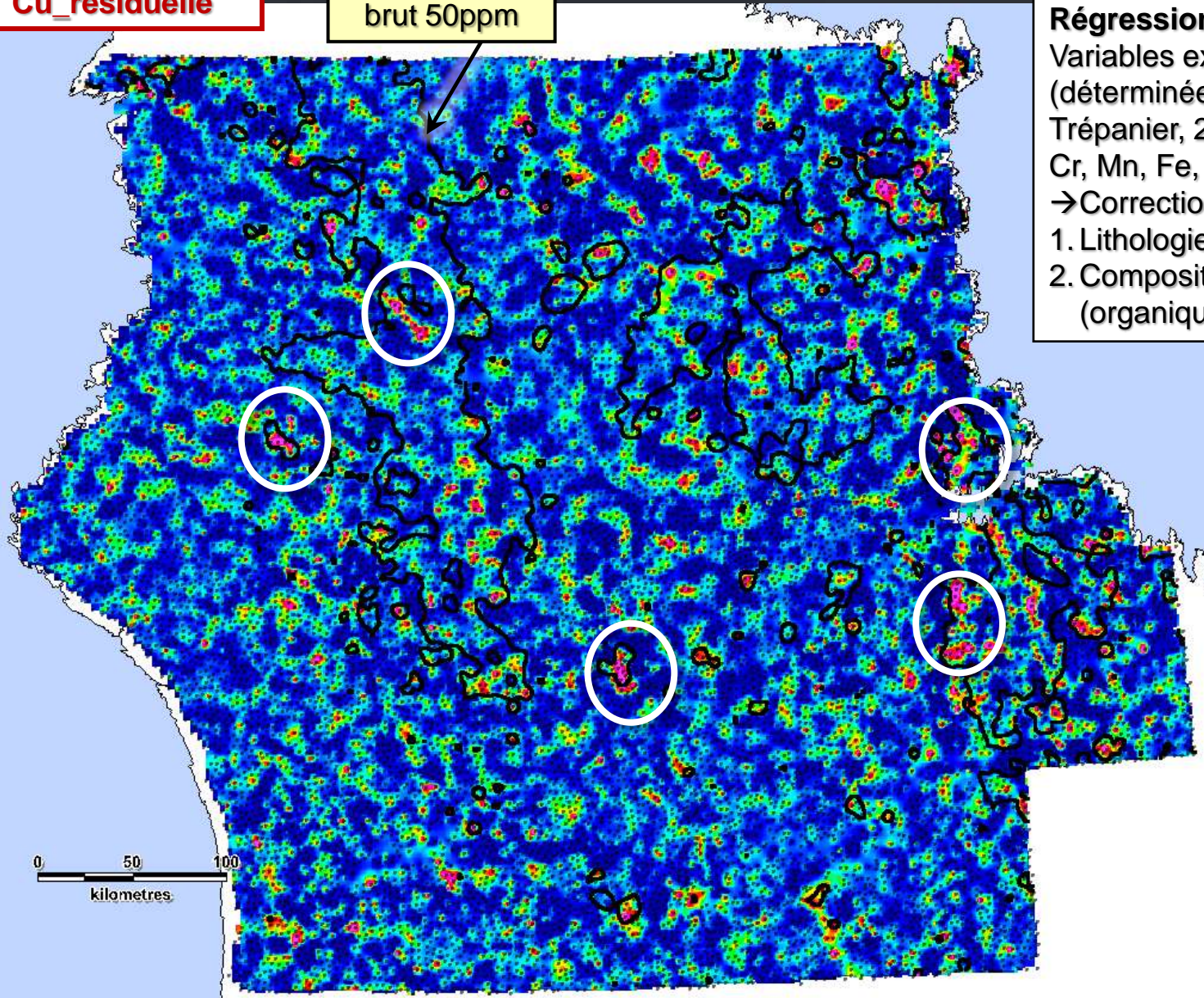


Régression multiple spatiale (« Geographically weighted regression »). Trépanier, 2010.

Sédiments de lacs
Cu_residuelle

Contour Cu
brut 50ppm

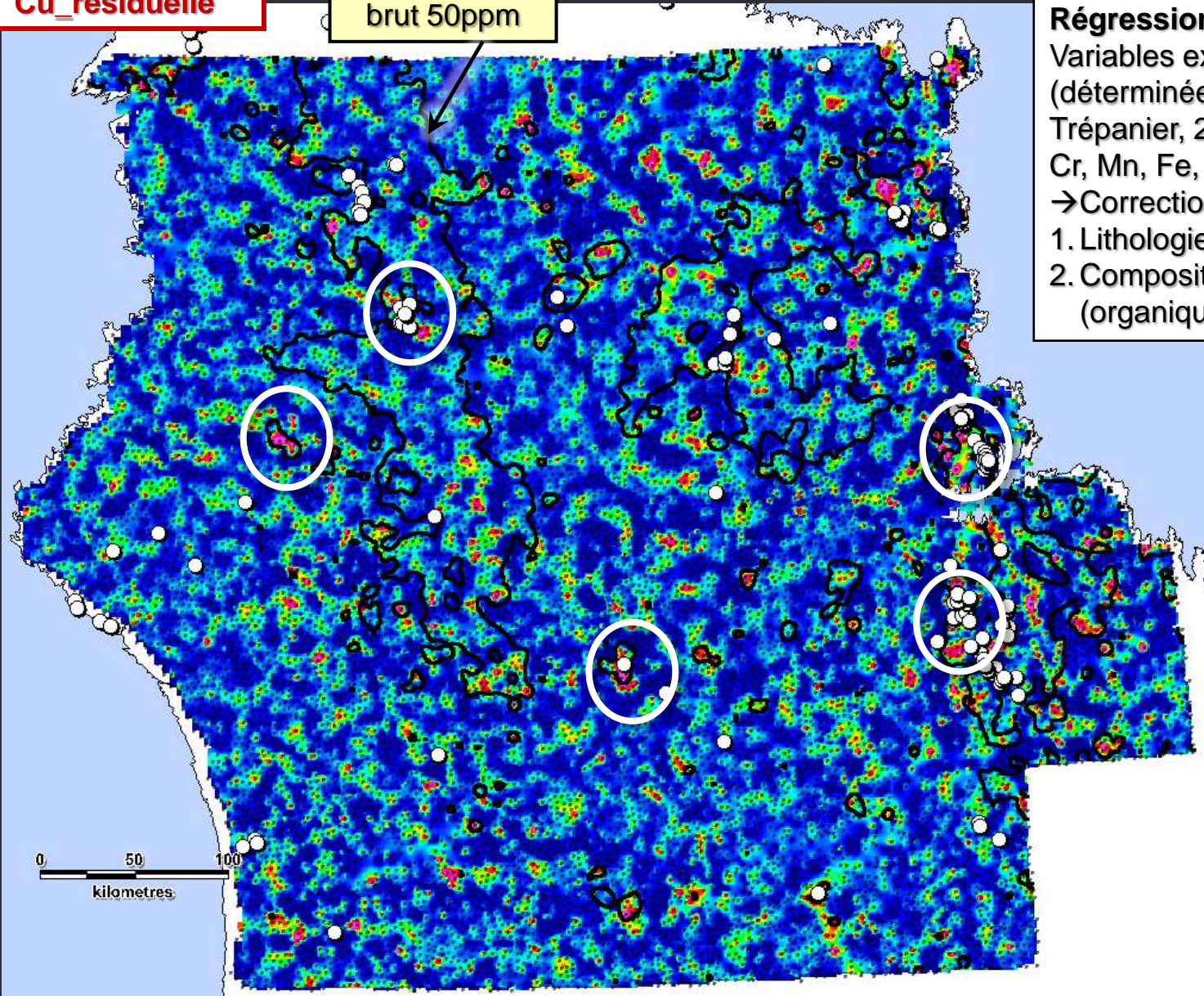
Régression spatiale Cu
Variables explicatives
(déterminées par ACP,
Trépanier, 2004-09) : Al, Ti,
Cr, Mn, Fe, Mg, K, V, La
→ Corrections sur :
1. Lithologie
2. Composition du sédiment
(organique / détritique)



Sédiments de lacs
Cu_residuelle

Contour Cu
brut 50ppm

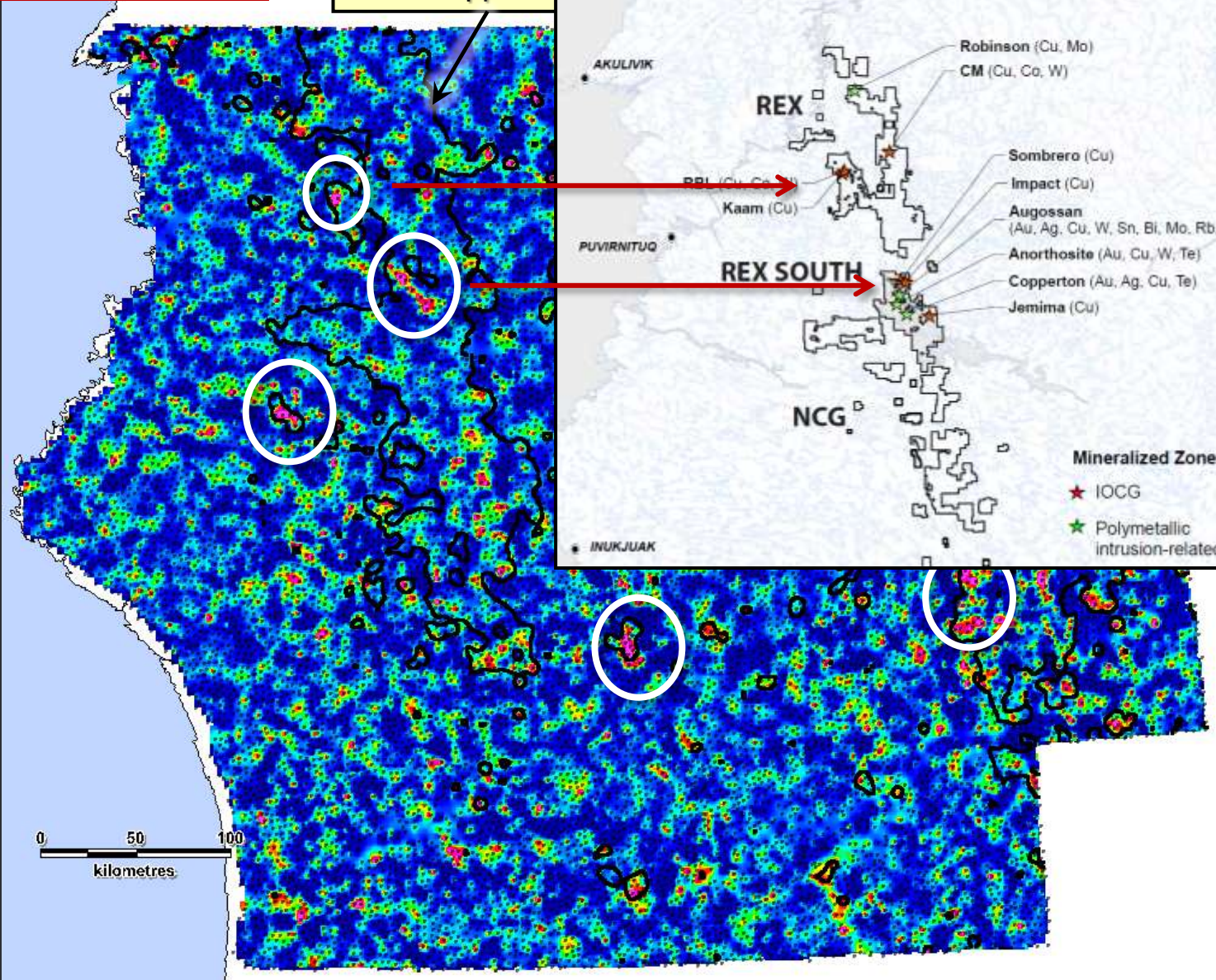
Régression spatiale Cu
Variables explicatives
(déterminées par ACP,
Trépanier, 2004-09) : Al, Ti,
Cr, Mn, Fe, Mg, K, V, La
→ Corrections sur :
1. Lithologie
2. Composition du sédiment
(organique / détritique)



Gîtes et indices
Cu (Sigéom
2012)

**Sédiments de lacs
Cu_residuelle**

Contour Cu
brut 50ppm



spatiale Cu
 applicatives
 par ACP,
 (04-09) : Al, Ti,
 Mg, K, V, La
 sur :
 on du sédiment
 / détritique)

Azimut

- Introduction du projet
- Efficacité des combinaisons *élément-méthode* : contexte théorique
 - Le fractionnement des métaux dans l'environnement secondaire
 - Accumulation « naturelle » vs dispersion : quels sites privilégier ?
 - Variabilité du bruit de fond : signal parasite
 - Importance du signal parasite : exemple d'une fausse anomalie régionale
 - Traitement du signal parasite
- Comparaison de la performance des différentes méthodes
 - Discussion sur l'approche adoptée
 - Efficacité des sédiments de lacs et de ruisseaux sur l'ensemble du Québec
 - Rehaussement par densité d'anomalies
 - Comparaison ponctuelle des performances du till et du sol
 - Efficacité des levés de till et de sols : projets antérieurs
- Synthèse des performances, conclusions

Approche initialement proposée : observations locales et ponctuelles sur des gîtes disposant des quatre méthodes

Automne 2012

- Vérification de la possibilité de répondre aux objectifs avec les données existantes (levés existants du MRN et des compagnies) suivant cette approche locale et ponctuelle
- Vérification de la pertinence de passer à une phase d'acquisition de données

Réponse (fin novembre 2012) : cette approche ne permet pas d'atteindre les objectifs

1. Des observations ponctuelles ne permettent pas de conclure sur la valeur d'une méthode
 - Les méthodes d'environnement secondaire ne sont jamais efficaces à 100%
 - Efficacité fortement conditionnée par le contexte local superficiel (relief, conditions de drainage, directions d'écoulement) et glaciaire
 - **Lacs et ruisseaux : l'efficacité comparative doit nécessairement être envisagée de manière statistique, sur des levés régionaux**
2. Des observations locales ne permettent pas de comparer les différentes méthodes
 - Biais lié aux écarts trop importants entre les mailles des levés → statistiquement plus de chance de détecter l'anomalie avec un maillage serré
 - Sol-till : maillage local sans limite inférieure
 - Lacs-ruisseaux : maillage local conditionné par la disposition des lacs et des ruisseaux

Hiver 2012

- Comparaison de l'efficacité statistique des méthodes lacs et ruisseaux sur l'ensemble des levés du Québec

Comparaison de l'efficacité des sédiments de lacs et de ruisseaux sur l'ensemble du Québec

Objectif

Établir la performance statistique des combinaisons *élément-méthode* en utilisant des grandes bases de données contenant **tous les levés régionaux existants au Québec**

- Résultats fiables car établis sur un très grand nombre de données : dilution des effets locaux (p.ex., un gîte sur-échantillonné), nivellement de facteurs externes
- Résultats généralisables sur l'ensemble de la province

Traitement préalable des données

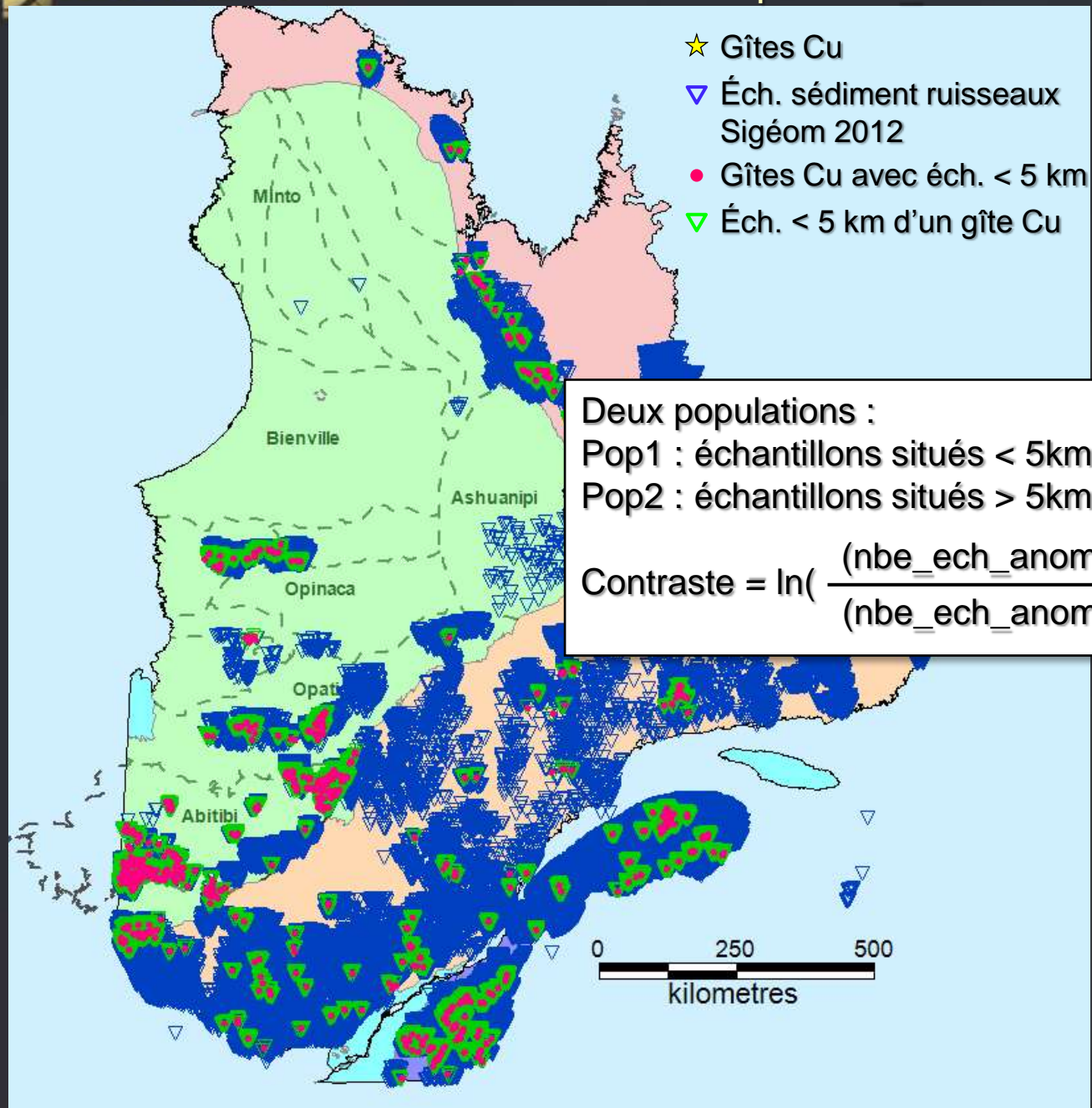
Calcul des centiles locaux (déterminés indépendamment pour chaque levé)

- Permet pour chaque méthode de traiter tous les levés dans une base unique
- Enlève le biais lié aux différents protocoles d'échantillonnage/analyse entre les levés

Approche

Comparaison des indicateurs de performances statistiques pour l'exploration minérale pour

- Zn, Cu, Pb, Ni
- Au et traceurs communs (As, Sb, W, Bi, Mo, Se, Te)



- ★ Gîtes Cu
- ▽ Éch. sédiment ruisseaux Sigéom 2012
- Gîtes Cu avec éch. < 5 km
- ▽ Éch. < 5 km d'un gîte Cu

Deux populations :

Pop1 : échantillons situés < 5km des gîtes

Pop2 : échantillons situés > 5km des gîtes

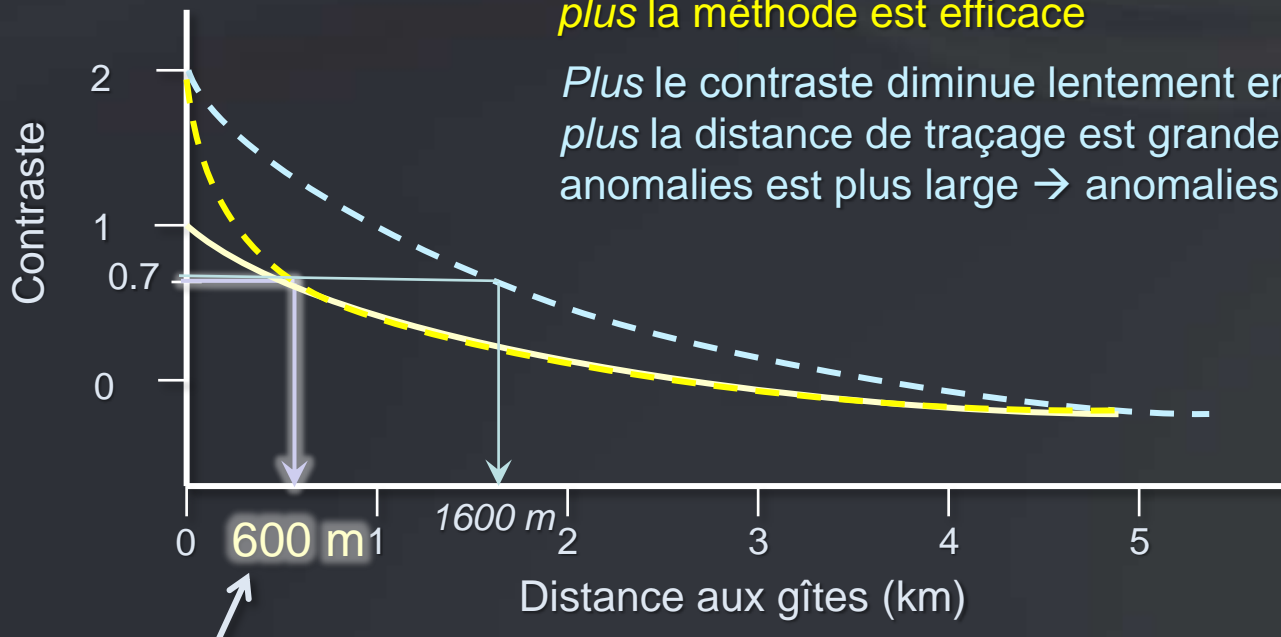
Contraste = $\ln\left(\frac{\text{nbe_ech_anomaux_pop1}/\text{nbe_ech_pop1}}{\text{nbe_ech_anomaux_pop2}/\text{nbe_ech_pop2}}\right)$

- Indicateurs de performance :

1. Le contraste (paramètre standard) : proportion d'anomalie normalisée
2. La distance de doublement : rayon d'influence de l'anomalie, distance de traçage

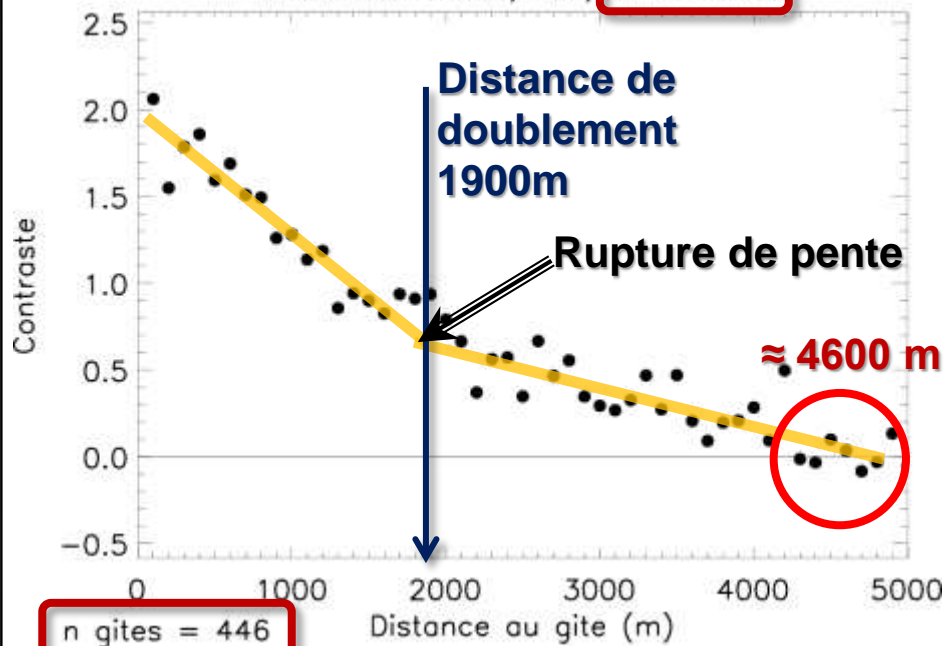
Plus le contraste augmente en s'approchant des gîtes, plus la méthode est efficace

Plus le contraste diminue lentement en s'éloignant des gîtes, plus la distance de traçage est grande (c.a.d., diffusion des anomalies est plus large → anomalies plus faciles à détecter)

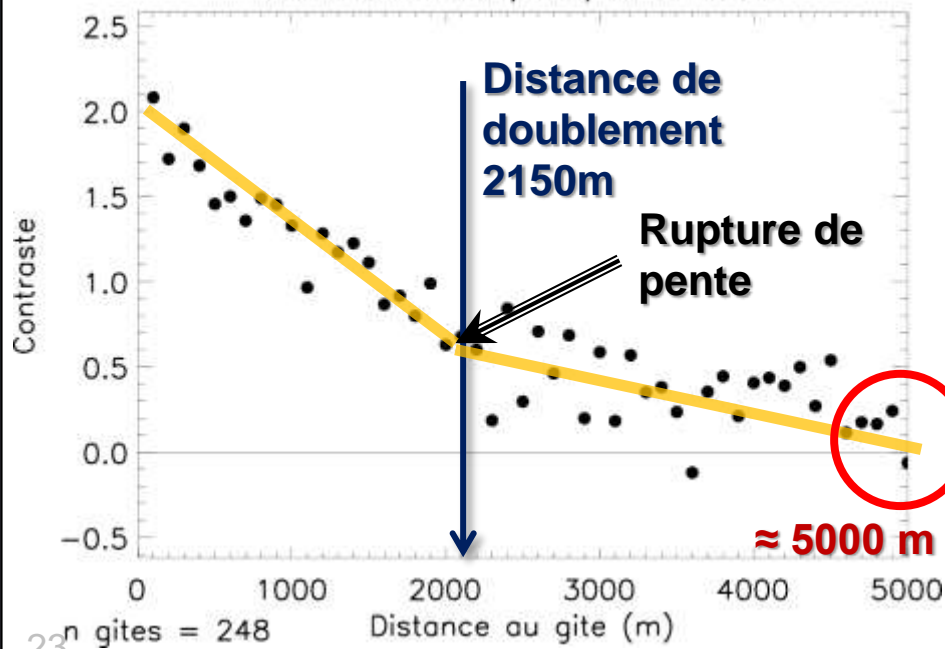


Distance de doublement = distance pour laquelle le contraste est égal à 0.7 (contraste $0.7 = \ln(2)$ → la proportion d'anomalie est double de la normale)

sed.ruisseaux, Cu, n=22513



sed.ruisseaux, Zn, n=14902



Performances statistiques des sédiments de ruisseaux : Cu et Zn

Évolution du contraste (= taux d'anomalies) en s'approchant des gîtes (par tranche de 100m)

- Le contraste augmente significativement en s'approchant des gîtes

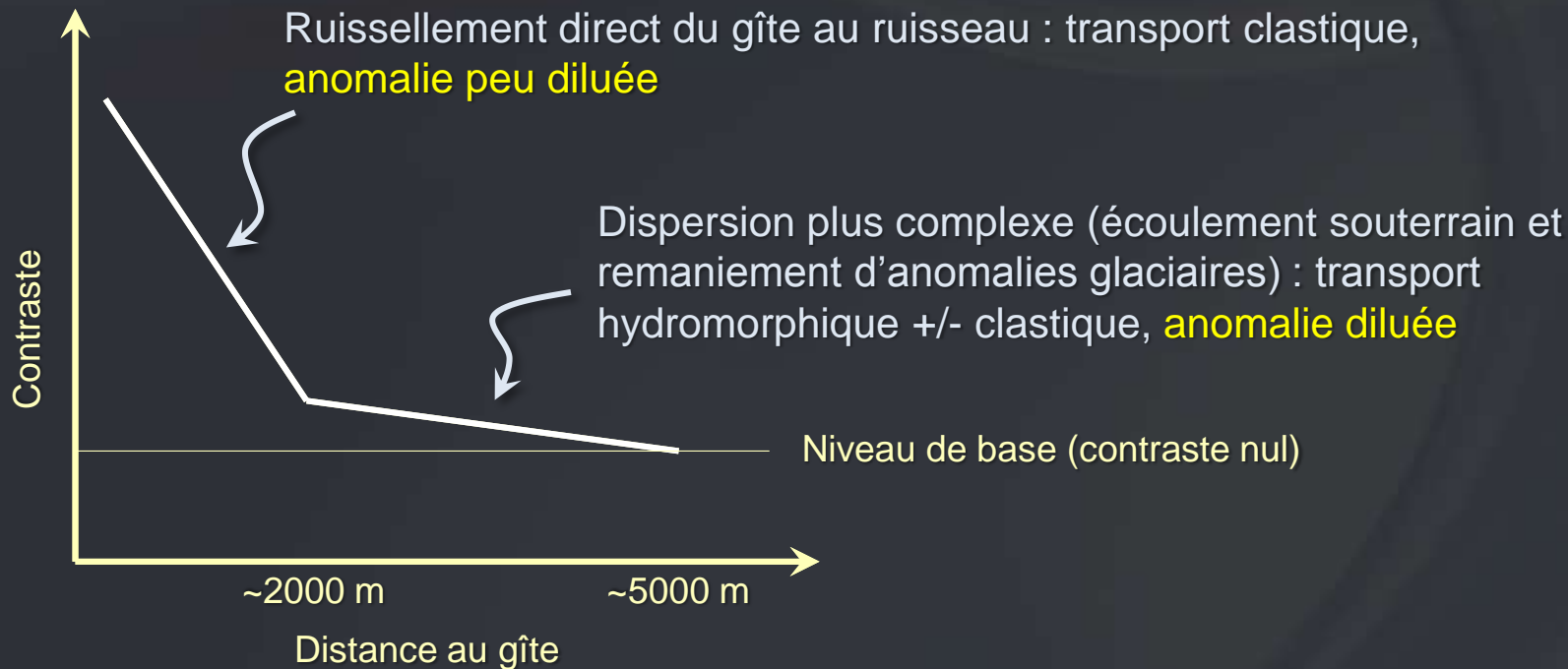
→ **Confirmation de l'efficacité des sédiments de ruisseaux pour la détection des gîtes Cu et Zn**

- Distances de doublement :
Cu = 1900 m, Zn : 2150 m
- Contraste cumulé tranche 0 - 1km :
Cu = 1.64, Zn = 1.56
- Disparition totale du signal anomal (retour à un taux normal d'anomalie de 5%, contraste nul) : Cu : ≈ 4600 m, Zn : ≈ 5000 m
- On distingue deux segments linéaires (une rupture de pente)



Signal segmenté en deux relations linéaires successives :
ruptures de pentes (Cu, Zn)

→ Différents types de chemins de dispersion ?



Statistiques établies sur l'ensemble de la province, tous contextes confondus

Medium / élément	Substance gîte	Contraste (<1km d'un gîte)	Statistique établie sur (nombre échantillons ; nombre de gîtes) *	Distance de doublement
Ruisseaux Cu	Cu	1.54	1870 ; 330	1900 m
Ruisseaux Zn	Zn	1.51	1091 ; 180	2100 m
Ruisseaux Pb	Pb	1.51	744 ; 120	1900 m
Ruisseaux Ni	Ni	1.97	300 ; 54	4700 m
Ruisseaux Ni/Cr	Ni	1.71	75 ; 20	2000 – 2500 m

* Échantillons et gîtes distants de moins de 1 km

- Très bonne performance globale des métaux de base comme traceurs dans les sédiments de ruisseaux
- Les anomalies sont tracées jusqu'à ≈ 2km (légèrement plus pour Zn qui est plus mobile)
- Ni : distance et contraste élevés en raison des hauts niveaux de base des volcanites ultramafiques encaissantes → Ni/Cr plus rigoureux pour la détection des gîtes



Statistiques établies sur l'ensemble de la province, tous gîtes aurifères confondus

Medium / élément	Subst.	Contraste (<1km d'un gîte)	Statistique établie sur (nombre échantillons ; nombre de gîtes) *	Distance de doublement *
Ruisseaux As	Au	1.23	903 ; 246	1600 m
Ruiss As+Sb	Au	1.23	569 ; 105	
Ruisseaux Au	Au	1.09	495 ; 121	950 m
Ruisseaux Sb	Au	1.05	622 ; 132	900 m
Ruiss AS+BI	Au	0.98	421 ; 76	
Ruisseaux Mo	Au	0.69	1611 ; 317	400 m
Ruisseaux W	Au	0.38	465 ; 119	300 m
Ruisseaux Se	Au	-0.46	381 ; 98	

* Échantillons et gîtes distants de moins de 1 km

Traceurs Au efficaces dans les ruisseaux

- Performance relativement bonne pour As, faible pour Sb et Au, très faible pour Bi, W, Mo, Se
- As permet de tracer les anomalies sur des distances deux fois plus grandes que Au et Sb

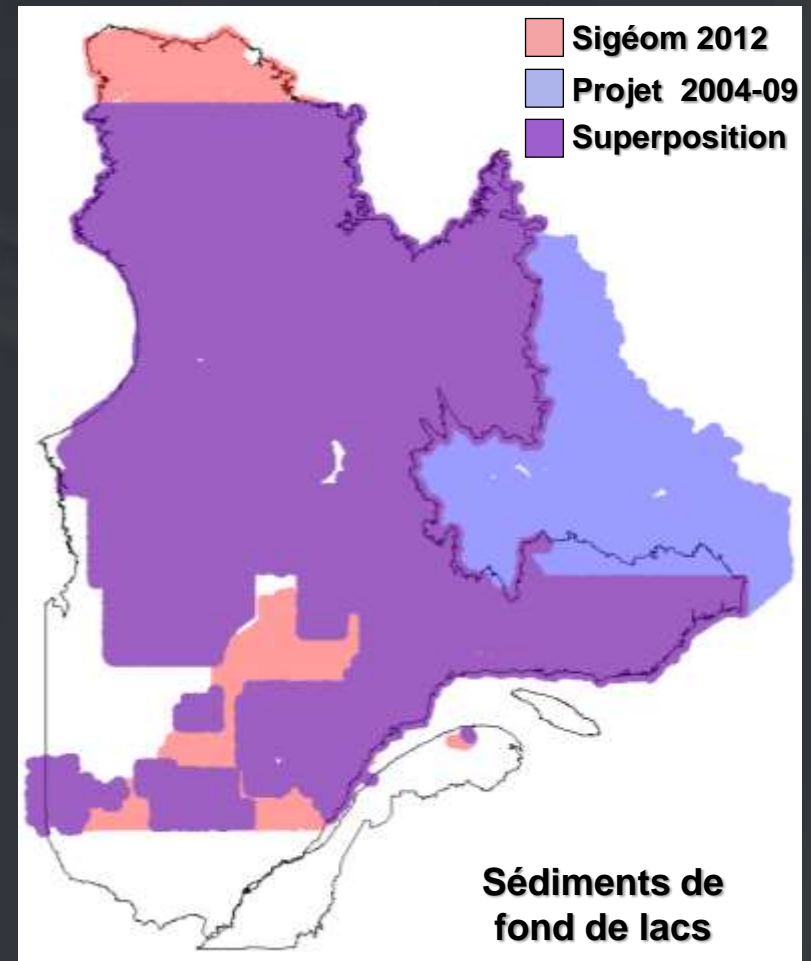
Efficacité As (distale et proximale) >> Au > Sb > Bi

Mo, W, Se inefficaces

Performances statistiques des sédiments de fond de lacs sur l'ensemble du Québec

Comparaison de la méthode des centiles locaux (cette étude) avec la méthode de nivellement par bandes (Trépanier, 2005 : projet CONSOREM 2004-09)

Vérification du gain en performance offert par la régression spatiale



Statistiques établies sur l'ensemble de la province, tous contextes confondus

* Échantillons et grès distants de moins de 1 km

Medium / élément	Subst.	Contraste	Statistique établie sur (n éch. ; nombre de grès) *	Distance de doublement
Lacs Ni_centloc	Ni	1.66	84 ; 70	2000 – 5000 m
Lacs Ni_niv	Ni	1.77	72 ; 60	
Lacs Ni_res	Ni	1.63	39 ; 35	
Lacs Cu_centloc	Cu	1.29	289 ; 232	~ 1800 m
Lacs Cu_niv	Cu	1.29	287 ; 232	
Lacs Cu_res	Cu	1.45	123 ; 111	
Lacs Zn_centloc	Zn	1.06	125 ; 100	~ 2000 m
Lacs Zn_niv	Zn	0.78	120 ; 98	
Lacs Zn_res	Zn	1.31	51 ; 48	
Lacs Pb	Pb	0.72	58 ; 44	1000 – 5000 m

_centloc : méthode des centiles locaux (cette étude)

_niv : nivellement des levés par la méthode des bandes (Trépanier, 2005 : projet CONSOREM 2004-09)

_res : valeur résiduelle de la régression spatiale avec 9 variables explicatives (Al, K, Fe, Mn, Mg, Cr, V, Ti, La)

- Méthode des centiles locaux donne résultats comparables au nivellement par bandes
- Relativement bonne performance globale pour Ni et Cu, faible pour Zn et Pb
- Régression spatiale : 1) augmentation très significative de la performance pour Cu et Zn, 2) baisse de performance pour Ni !



Statistiques établies sur l'ensemble de la province, tous gîtes aurifères confondus

Medium / élément	Subst.	Contraste (<1km d'un gîte)	Statistique établie sur (nombre échantillons ; nombre de gîtes) *	Distance de doublement
Lacs Sb	Au	1	110 ; 101	~ 2100 m
Lacs As	Au	0.98	233 ; 188	~ 3400 m
Lacs Se	Au	0.6	110 ; 101	~ 1600 m
Lacs W	Au	0.24	110 ; 101	~ 900 m
Lacs Bi	Au	0.16	102 ; 93	~ 1400 m
Lacs Au	Au	-0.22	99 ; 91	~ 800 m
Lacs Te	Au	-0.43	93 ; 86	~1400 m

* Échantillons et gîtes distants de moins de 1 km

- Performances des traceurs aurifères sont très faibles dans les sédiments de lacs
- Sb et As demeurent les moins inefficaces, suivis de Se
- As permet un traçage distal, deux fois plus loin que Sb et Se
- Au, Te, Bi, W à proscrire

Élément	Substance	Contraste séd. ruisseaux	Contraste séd. lacs
Cu	Cu	1.54	1.29
Zn	Zn	1.51	1.06
Pb	Pb	1.51	0.72
Ni	Ni	1.97	1.66
Au	Au	1.09	<i>Inefficace</i>
As	Au	1.23	0.98
Sb	Au	1.05	1
Bi	Au	0.94	<i>Inefficace</i>
W	Au	<i>Inefficace</i>	<i>Inefficace</i>
Se	Au	<i>Inefficace</i>	0.6
Te	Au	–	<i>Inefficace</i>
Mo	Au	0.69	–

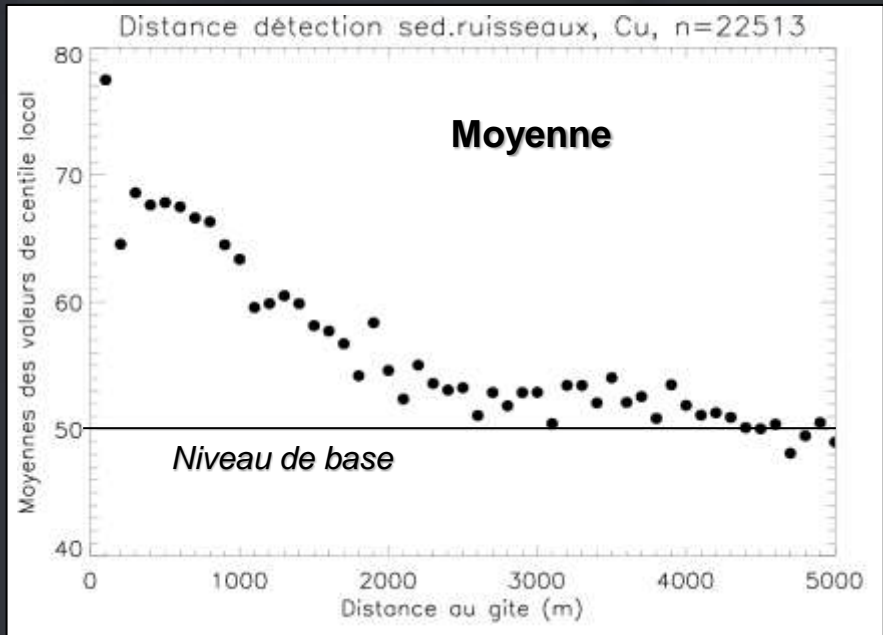
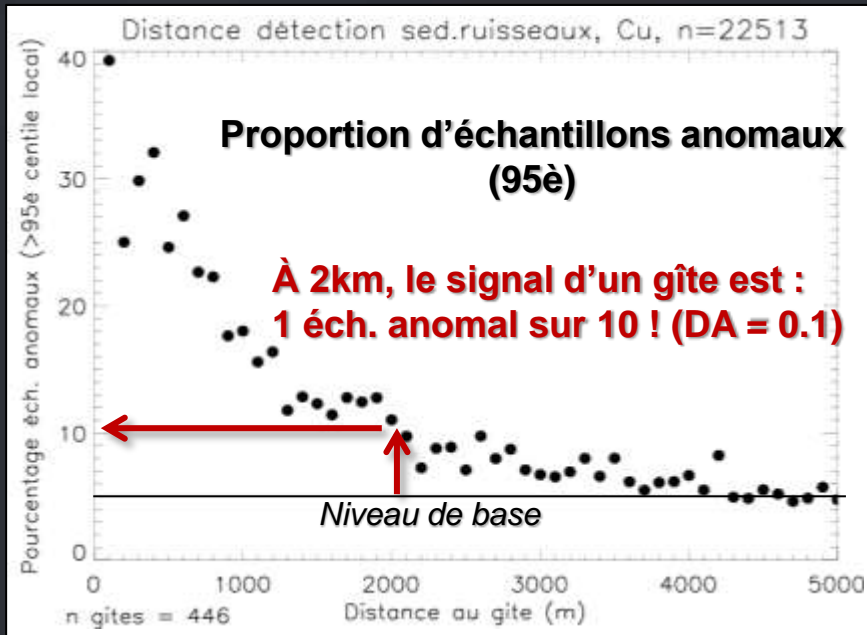
→ Les sédiments de ruisseaux montrent des performances systématiquement meilleures que les lacs

- Introduction du projet
- Efficacité des combinaisons *élément-méthode* : contexte théorique
 - Le fractionnement des métaux dans l'environnement secondaire
 - Accumulation « naturelle » vs dispersion : quels sites privilégier ?
 - Variabilité du bruit de fond : signal parasite
 - Importance du signal parasite : exemple d'une fausse anomalie régionale
 - Traitement du signal parasite
- Comparaison de la performance des différentes méthodes
 - Discussion sur l'approche adoptée
 - Efficacité des sédiments de lacs et de ruisseaux sur l'ensemble du Québec
 - Rehaussement par densité d'anomalies
 - Comparaison ponctuelle des performances du till et du sol
 - Efficacité des levés de till et de sols : projets antérieurs
- Synthèse des performances, conclusions

Consiste à rechercher le regroupement spatial des échantillons anomaux (rejoint la logique de la statistique U) : **approche très robuste**, bonne fiabilité des cibles détectées

Différence avec la statistique U :

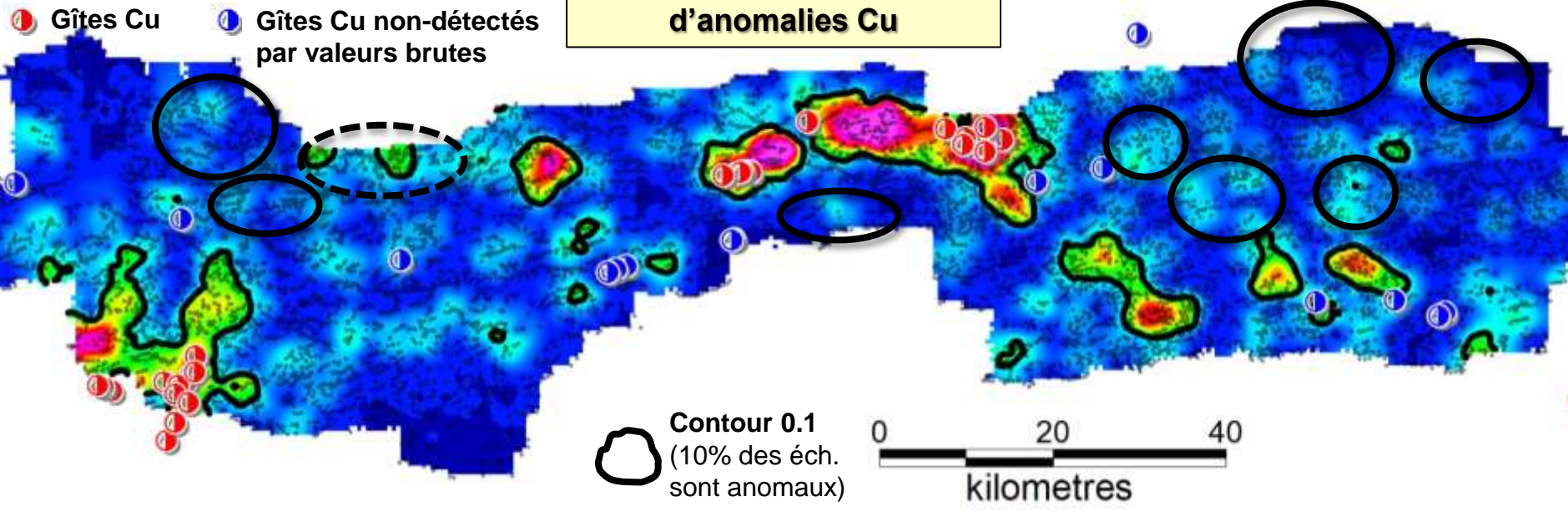
- Méthode DA considère le taux d'anomalies dans un *buffer* autour de chaque point (rayon du *buffer* fixe)
- Statistique U considère l'écart entre la moyenne proximale autour d'un point et une moyenne distale, et optimise le rayon d'intégration



- Le taux d'anomalie proche des gîtes est un paramètre plus discriminant que la moyenne
- Méthode DA très simple d'application : manipulation basique sous MapInfo ou ArcGIS (1. passer les données en centiles ; 2. faire un buffer de 2km autour de chaque point ; 3. calculer la proportion d'échantillons > 95è centile)

Illustration secteur La Grande

Ruisseaux densité d'anomalies Cu



Grid centiles Cu valeurs brutes : bruit de fond génère des anomalies « isolées », dispersées

Grid densité d'anomalie : ne conserve que les secteurs contenant des anomalies *regroupées*, « nettoie » le bruit de fond

Seuil critique régional pour la détection de gîtes : 10 % d'échantillons anomaux (contour 0.1)

Permet de supprimer une partie des anomalies non-regroupées, non-significatives
→ Nivellement efficace du bruit de fond

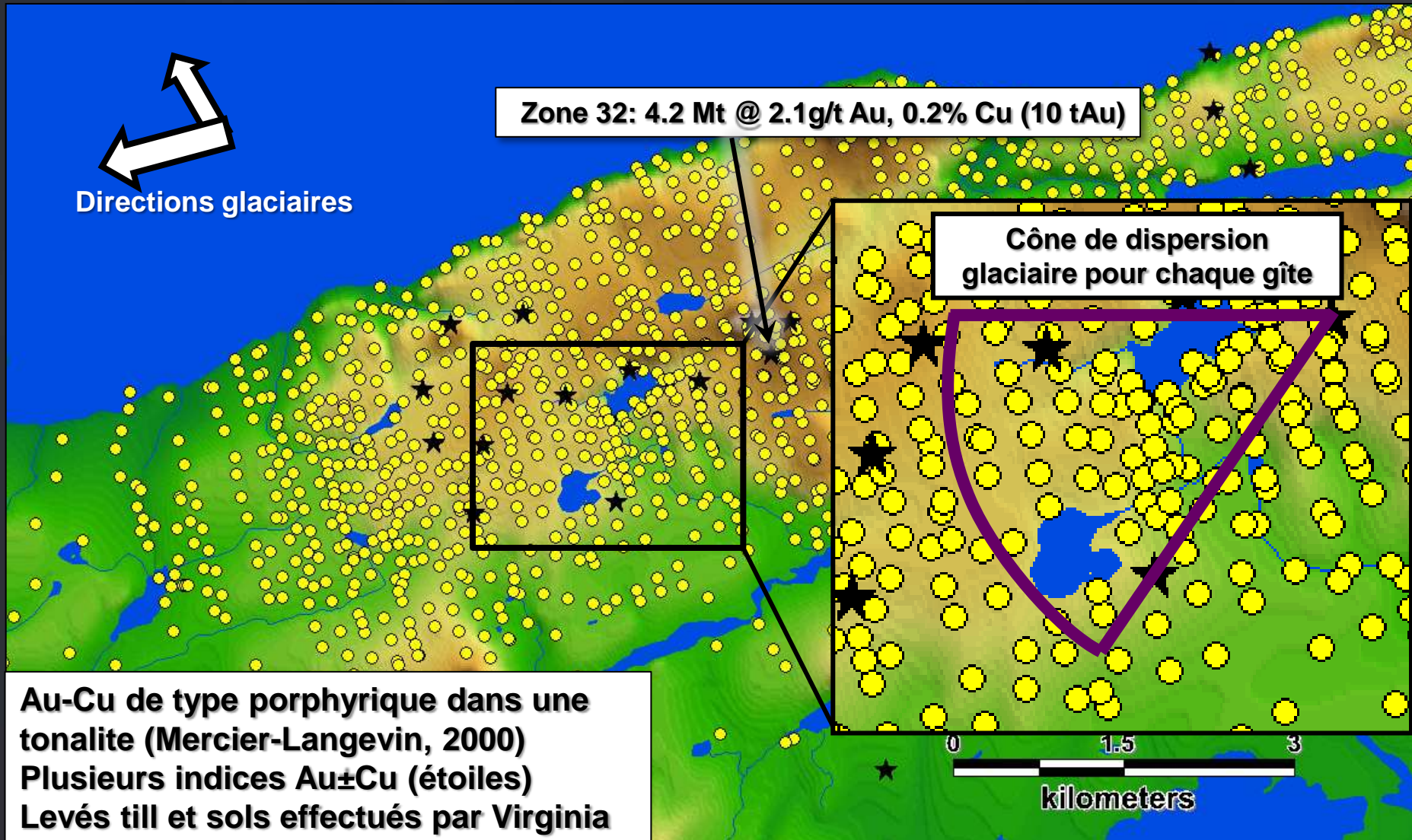
Medium / élément	Subst.	Contraste
Ruisseaux Cu	Cu	1.54
Ruiss_Cu_DA	Cu	1.77
Ruisseaux Zn	Zn	1.51
Ruiss_Zn_DA	Zn	1.77
Ruisseaux Pb	Pb	1.51
Ruiss_Pb_DA	Pb	1.71
Ruisseaux Ni	Ni	1.97
Ruiss_Ni_DA	Ni	2.16
Ruisseaux Au	Au	1.09
Ruiss_Au_DA	Au	1.8
Ruisseaux As	Au	1.23
Ruiss_As_DA	Au	1.61
Ruisseaux Sb	Au	1.05
Ruiss_Sb_DA	Au	1.61

Performances nettement améliorées par la méthode des densités d'anomalies, particulièrement pour les traceurs aurifères (Au, As, Sb)

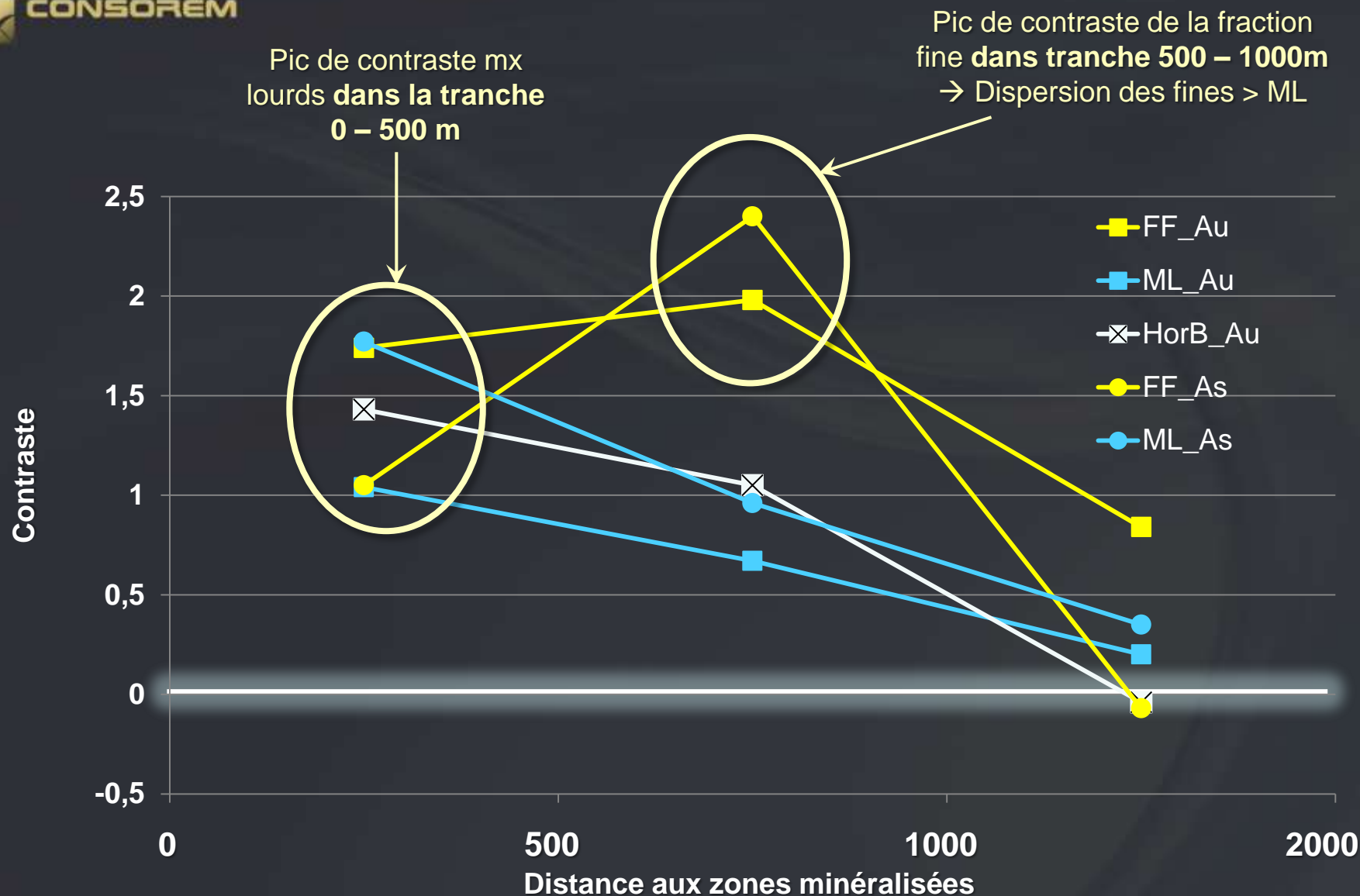
- Introduction du projet
- Efficacité des combinaisons *élément-méthode* : contexte théorique
 - Le fractionnement des métaux dans l'environnement secondaire
 - Accumulation « naturelle » vs dispersion : quels sites privilégier ?
 - Variabilité du bruit de fond : signal parasite
 - Importance du signal parasite : exemple d'une fausse anomalie régionale
 - Traitement du signal parasite
- Comparaison de la performance des différentes méthodes
 - Discussion sur l'approche adoptée
 - Efficacité des sédiments de lacs et de ruisseaux sur l'ensemble du Québec
 - Rehaussement par densité d'anomalies
 - Comparaison ponctuelle des performances du till et du sol
 - Efficacité des levés de till et de sols : projets antérieurs
- Synthèse des performances, conclusions

Secteur de La Grande Sud

Levés de till et de sols de densités comparables



Contraste : rapport des probabilités d'anomalie dans le cône de dispersion vs en dehors du cône



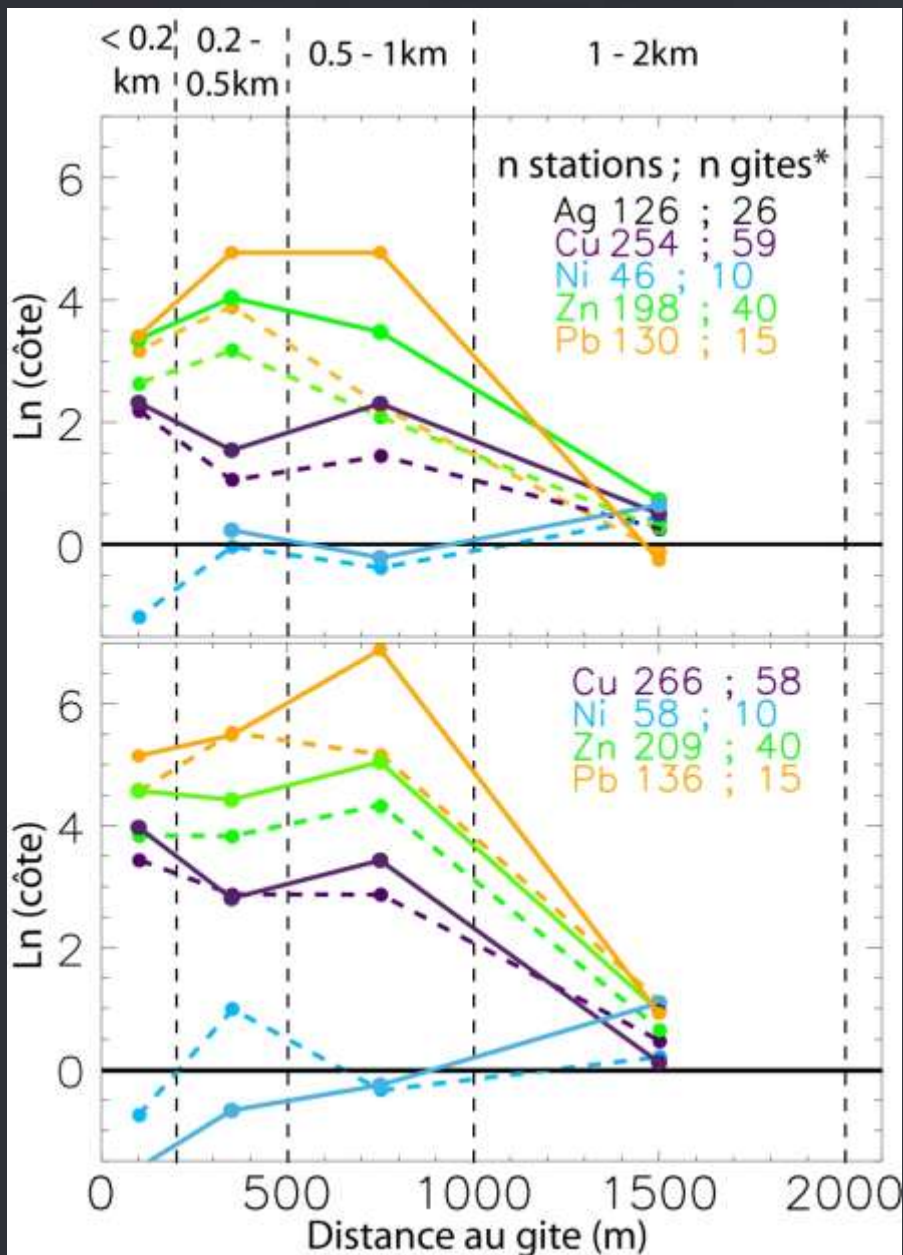
- La meilleure performance est obtenue pour As et Au fraction fine (FF) dans la tranche 0.5-1km
- Till minéraux lourds (ML) et sol (horizon B) montrent des résultats comparables (As_ML proximal légèrement meilleurs)

- Introduction du projet
- Efficacité des combinaisons *élément-méthode* : contexte théorique
 - Le fractionnement des métaux dans l'environnement secondaire
 - Accumulation « naturelle » vs dispersion : quels sites privilégier ?
 - Variabilité du bruit de fond : signal parasite
 - Importance du signal parasite : exemple d'une fausse anomalie régionale
 - Traitement du signal parasite
- Comparaison de la performance des différentes méthodes
 - Discussion sur l'approche adoptée
 - Efficacité des sédiments de lacs et de ruisseaux sur l'ensemble du Québec
 - Rehaussement par densité d'anomalies
 - Comparaison ponctuelle des performances du till et du sol
 - Efficacité des levés de till et de sols : projets antérieurs
- Synthèse des performances, conclusions



Horizon B

Horizon C



Trait pointillé : côte avant rehaussement
Trait plein : côte après rehaussement sur le *background* de phyllosilicates

* Nbe stations et nbe gîtes < 2km
 (gîtes sélectionnés par commodité correspondant au métal analysé)

→ Traceur (substances) efficaces dans les sols horizons B et C :

Pb > Zn > Cu >> Ni

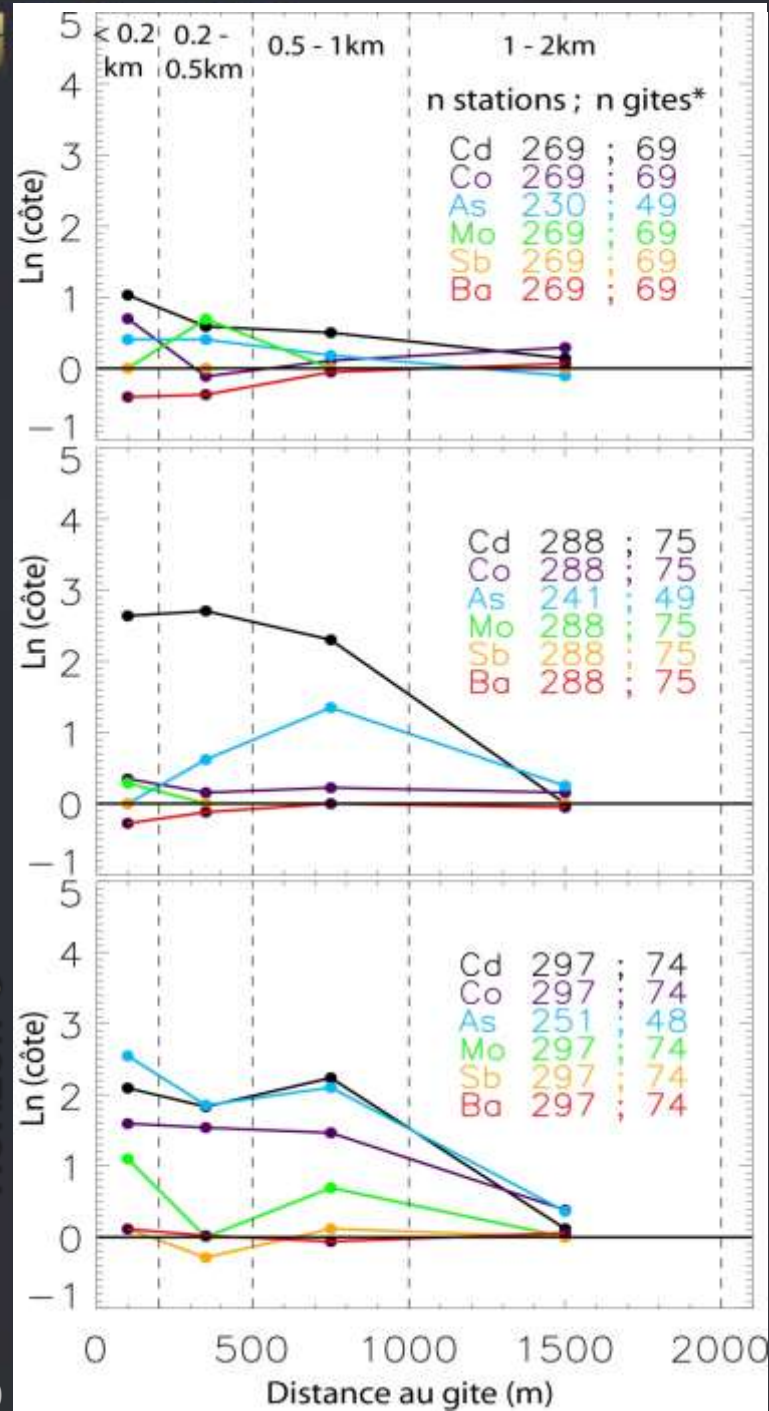
→ Efficacité toujours très proximale (0 – 1km)



Humus

Horizon B

Horizon C



Comparaison avec performances des données de sols établies par les travaux antérieurs : projet 2011-06 (Rafini, 2012), District de Timmins (MRD015)

* Nbe stations et nbe gîtes < 2km (tous gîtes confondus, sauf As : gîtes aurifères)

- Horizons C : Cd, Co, As
- Horizon B : Cd
- Humus très peu performant

Traceurs efficaces dans sols horizons C :

$$As = Cd > Co \gg Mo, Sb, Ba$$

➔ Efficacité toujours très proximale (0 - 1 km)

- Introduction du projet
- Efficacité des combinaisons *élément-méthode* : contexte théorique
 - Le fractionnement des métaux dans l'environnement secondaire
 - Accumulation « naturelle » vs dispersion : quels sites privilégier ?
 - Variabilité du bruit de fond : signal parasite
 - Importance du signal parasite : exemple d'une fausse anomalie régionale
 - Traitement du signal parasite
- Comparaison de la performance des différentes méthodes
 - Discussion sur l'approche adoptée
 - Efficacité des sédiments de lacs et de ruisseaux sur l'ensemble du Québec
 - Rehaussement par densité d'anomalies
 - Comparaison ponctuelle des performances du till et du sol
 - Efficacité des levés de till et de sols : projets antérieurs
- Synthèse des performances, conclusions

- *Meilleurs traceurs aurifères dans l'environnement secondaire*
 - Sédiments de ruisseaux : As, suivi de Au (efficacité moyenne)
 - Sédiments de lacs : Sb, suivi de très près par As
 - Till : grain d'or est plus efficace que fraction fine et métaux lourds (projet 2011-05)
 - Till fraction fine : As suivi de Au et Sb
 - Sols : As horizon C

- *Ordre de préférence :*

**till (grain d'or) > till (As, Sb fraction fine) >* sols (As horizon C)
ruisseaux (As, Sb, Au) > lacs (Sb, As)**

** Observation ponctuelle*

- *Traceurs aurifères à proscrire*
 - Sédiments de ruisseaux : W, Se
 - Sédiments de lacs : Au, W, Bi, Te
 - Sols : Au (humus, horizon B, horizon C)

- *Distances de traçage des anomalies aurifères*
 - As permet un traçage distal
 - Ruisseaux : signal As anomal double à 1.6 km des gîtes aurifères (Au, Sb, Bi : 0.9 km)
 - Ces distances semblent être deux fois plus grandes dans les lacs (anomalies aurifères s'y diffusent deux fois plus loin)
 - Ruisseaux : signal As anomal disparaît totalement à 5km des gîtes aurifères (\approx 10km dans les lacs)
 - Sol : traçage toujours proximal ($<$ 1km)
 - Till : diffusion plus distale de la fraction fine (vs minéraux lourds)
- **Les sédiments de ruisseaux sont systématiquement plus efficaces que les sédiments de lacs**
- Sols : en toutes circonstances (métaux de base ou précieux), l'horizon C montre une plus grande efficacité que l'humus et l'horizon B
- Lacs : Cu et Ni sont efficaces tandis que Zn et Pb sont inefficaces
- Sols (horizon C) : c'est l'inverse ! Zn et Pb sont efficaces tandis que Cu et Ni sont inefficaces
- Plusieurs combinaisons suggèrent que les sites d'accumulation ne sont pas des bons candidats pour la détection des minéralisation : Au dans l'humus, Zn et Pb dans les lacs

Synthèse qualitative des performances des méthodes sols, till, lacs et ruisseaux

Métaux de base

Élément	Substance	Ruisseaux (1)		Lacs(1)(2)		Sols(3)		Till(4)	
		Efficacité	Remarque	Efficacité	Remarque	Efficacité	Remarque	Efficacité	Remarque
Cu	Cu	★★★★	–	★★★	–	★★★	Hor C ; rehausst phyllo (3)	★★★	Fraction fine ; rehausst Al ou RN (4)
Zn	Zn	★★★★	–	★	–	★★★★	Hor C ; rehausst phyllo (3)	★★★	Fine (rehausst Al) ; mx lourds (val brutes) (4)
Pb	Pb	★★★★	–	<i>Ineff.</i>	–	★★★★	Hor C ; rehausst phyllo (3)	–	Fine (rehausst Al) ; mx lourds (val brutes) (4)
Ni	Ni	★★★★	Correction /Cr	★★★★	–	<i>Ineff.</i>	–	–	–

(1) Cette étude

(2) Trépanier, 2005 (Projet CONSOREM 2004-09)

(3) Rafini, 2011 (Projet CONSOREM 2011-06)

(4) Trépanier, 2010 (Projet CONSOREM 2010-05)

Synthèse qualitative des performances des méthodes sols, till, lacs et ruisseaux

Or

Élé ment	Subst.	Ruisseaux ⁽¹⁾		Lacs ⁽¹⁾⁽²⁾		Sols ⁽³⁾		Till ⁽⁴⁾⁽⁵⁾	
		Efficacité	Remarque	Efficacité	Remarque	Efficacité	Remarque	Efficacité	Remarque
Au	Au	★	Rehausst DA efficace	<i>Ineff.</i>	-	-	Horizon C	★★	Fraction fine
					-			★★★★	Grains d'or
As	Au	★★	Rehausst DA efficace	★	-	★★★	Horizon C	★★★	Fraction fine
Sb	Au	★	Rehausst DA efficace	★	-	<i>Ineff.</i>	-	★★★	Fraction fine
Bi	Au	★	Rehausst DA efficace	<i>Ineff.</i>	-	-	-	-	-
W	Au	<i>Ineff.</i>	-	<i>Ineff.</i>	-	-	-	★	Fraction fine

(1) Cette étude

(2) Trépanier, 2005 (Projet CONSOREM 2004-09)

(3) Rafini, 2011 (Projet CONSOREM 2011-06)

(4) Trépanier, 2010 (Projet CONSOREM 2010-05)

(5) Trépanier, 2011 (Projet CONSOREM 2011-05)