



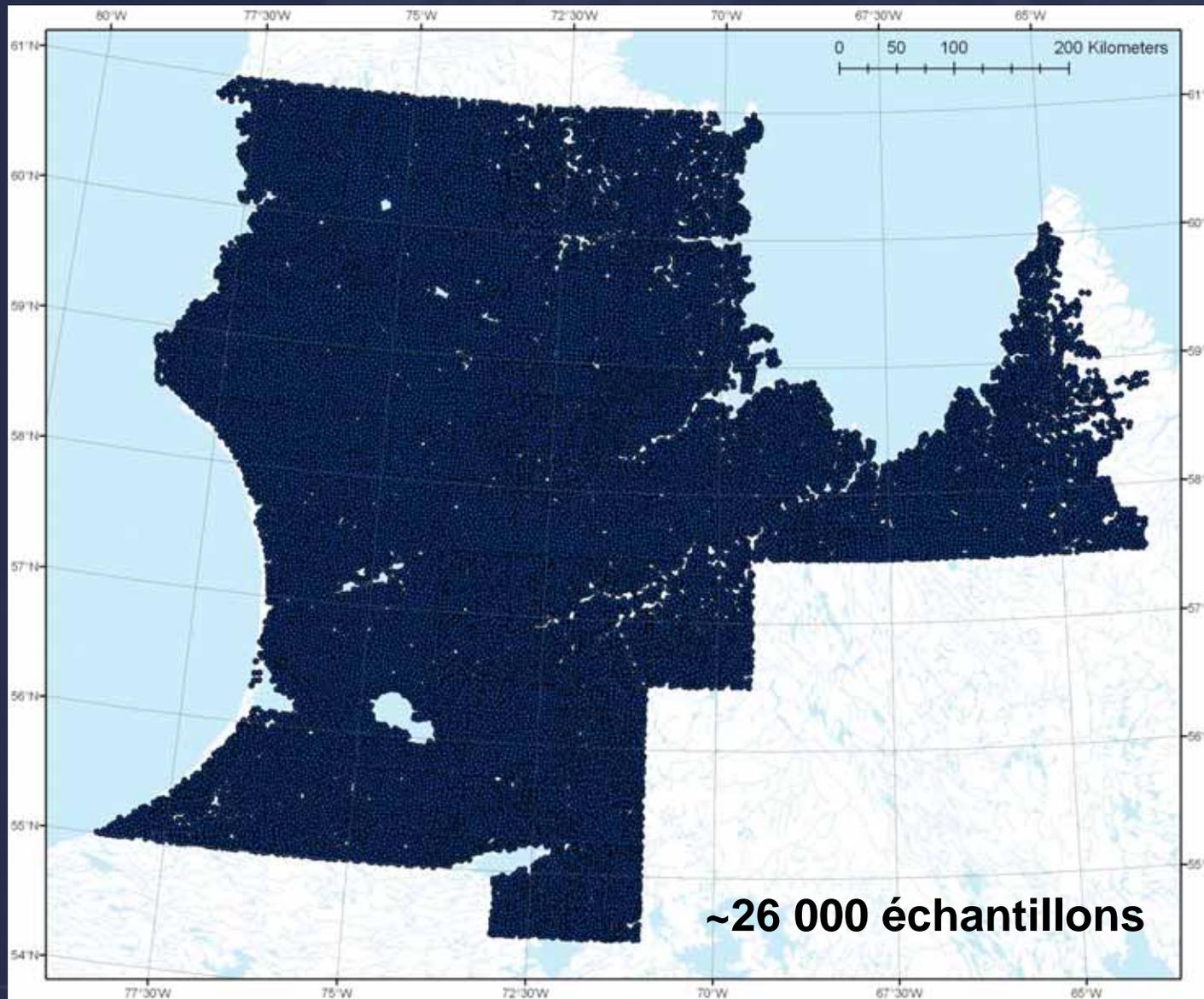
**Forum technologique du CONSOREM  
Exploration et Géosciences Abitibi 2007  
Centre des congrès de Rouyn-Noranda, 19 septembre 2007**

**Méthodes de délimitation d'anomalies  
géochimiques appliquées aux levés régionaux  
de sédiments de lacs**

*Présenté par: Sylvain Trépanier*  
**CONSOREM**



# Contexte de la géochimie d'exploration à l'échelle régionale





# Méthodes de délimitation d'anomalies géochimiques

- De nombreuses méthodes de délimitation d'anomalies géochimiques existent
  - Seuil unique déterminé par la valeur d'un certain centile (ex: 99e) sur les valeurs brutes
  - Seuil unique déterminé par la brisure dans une distribution normale
  - Etc.
- Certaines méthodes développées récemment sont de plus en plus raffinées
  - Approche multifractale (ex: Panahi et Cheng, 2004)
  - Contre-validation géostatistique et krigeage factoriel (ex: Jimenez-Espinosa et Chica-Olmo, 1999)
  - Filtrage du bruit de fond par analyse en composantes principales (Bellehumeur et Jébrak, 1993)
  - Etc.

# Classification générale des méthodes de délimitation d'anomalies géochimiques

Utilise un seul ou plusieurs éléments?

**UN**

Monovariabiles

**PLUSIEURS**

Multivariabiles

Considère la distribution spatiale des échantillons?

**NON**

Statistiques

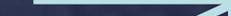
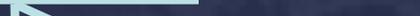
**OUI**

Spatiales / Géostatistiques

Seul élément avec 99e percentile sur un élément  
**+SIMPLE**

**+COMPLEXE**

Méthodes de délimitation d'anomalies





# Méthodes de délimitation d'anomalies géochimiques dans les sédiments de lacs

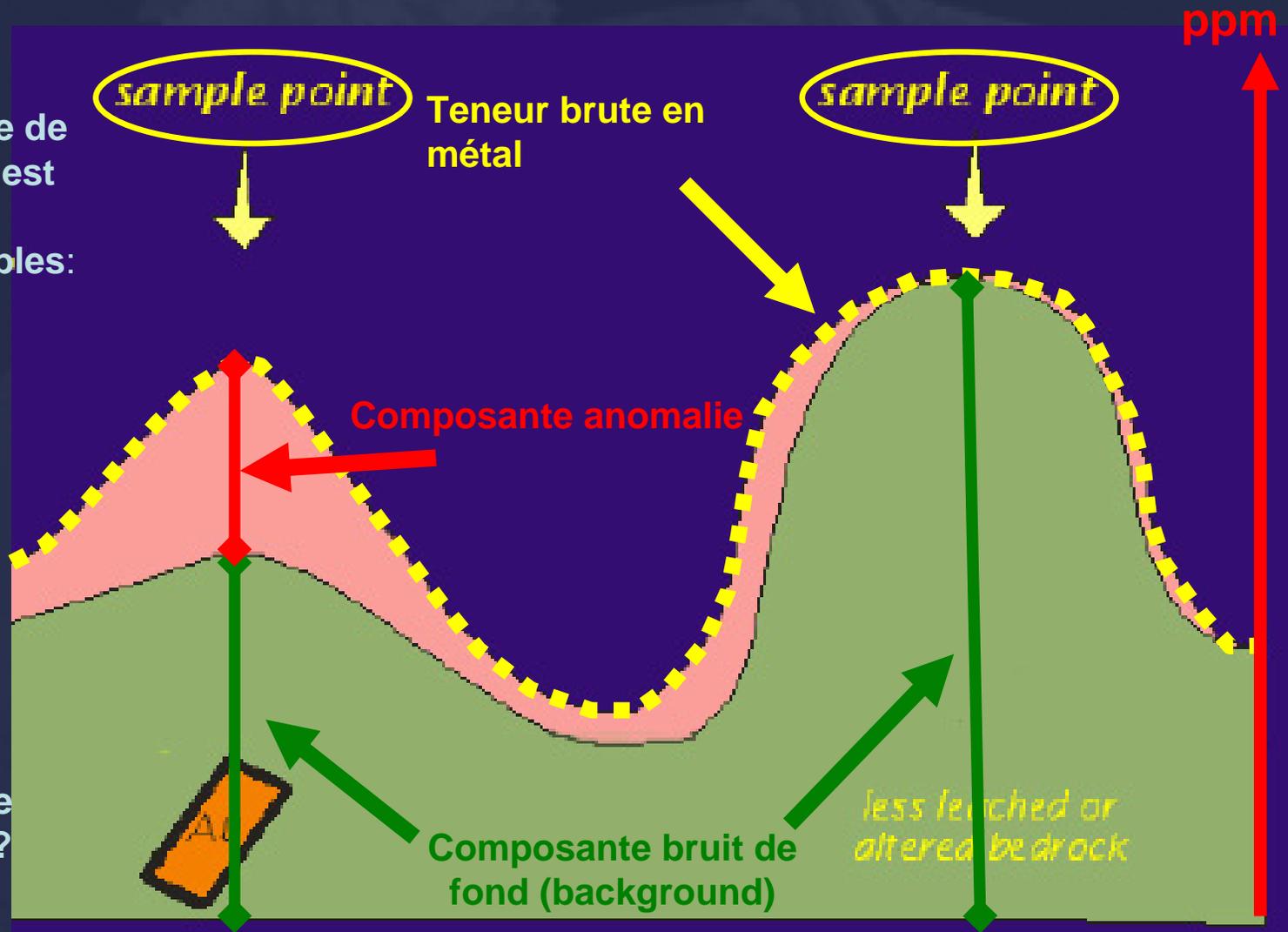
- Comment choisir une méthode? Aller vers
  - Une méthode simple (statistique et/ou monovariante) ?
  - Ou complexe (spatiale et/ou multivariante)?
- Réponse par l'utilisation du concept de ratio Signal des anomalies / Bruit de fond géochimique
- Exemple d'une méthode avancée utilisée dans un cas où les méthodes simples ne fonctionnent pas: le cas de Voisey's Bay.

# Anomalies et bruit de fond géochimique

Chaque valeur brute de chaque échantillon est la somme de deux composantes variables:

Comment séparer les deux, i.e. rehausser le signal des anomalies? Nécessaire?

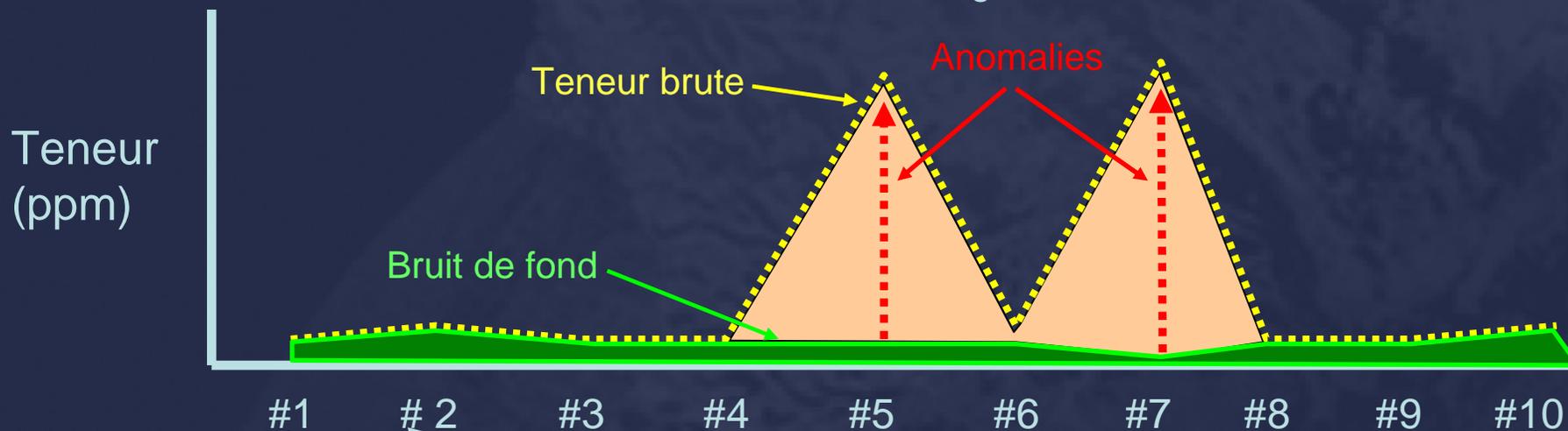
Ampleur de variation du bruit de fond vs. anomalies?  
**Rapport Signal / Bruit (télécoms)**



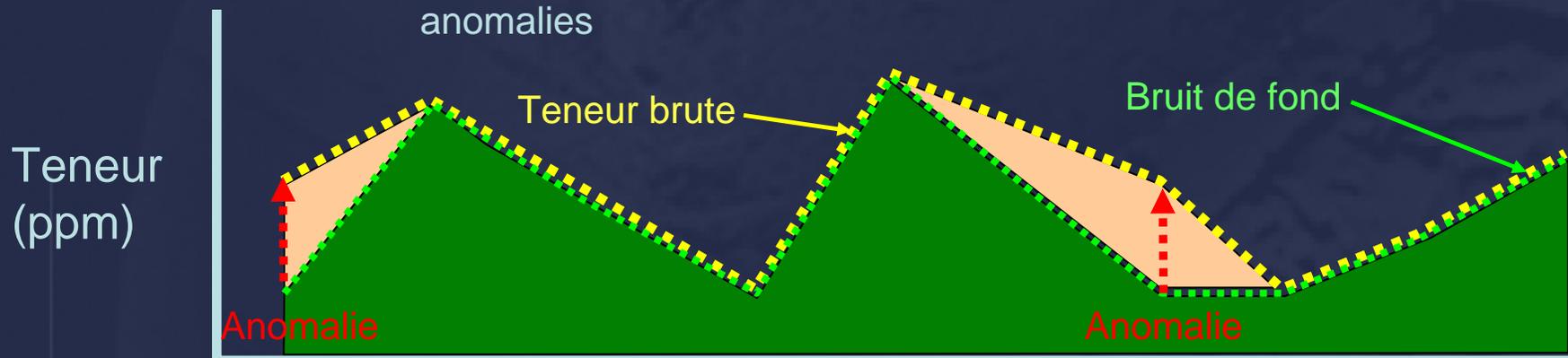
Ici, variations du bruit de fond peuvent masquer les anomalies

# Ratio Signal sur Bruit – Exemple théorique pour deux éléments

Element A: les anomalies se démarquent clairement du bruit de fond. Pas de rehaussement de signal à faire



Element B: les valeurs brutes de certaines anomalies sont plus faibles que les variations du bruit de fond. Rehausser le signal des anomalies





## Causes de variation du bruit de fond: exemple des sédiments de lacs

- Différents facteurs vont varier le bruit de fond d'un élément donné pour différents échantillons, parmi d'autres:
  - Variations lithologiques dans le bassin de drainage
  - Variations des pourcentages de différentes fractions fondamentales des sédiments (les métaux ayant différentes affinités pour différentes fractions)
    - Proportion de matière organique
    - Proportion d'argiles vs. silt vs. sable
    - Proportion de précipités chimiques (ex: oxydes de Fe-Mn)
    - Etc.
  - Causées par différents facteurs environnementaux tels que
    - Conditions sédimentologiques (profondeur de l'eau, configuration du bassin lacustre, etc.
    - Latitude
    - Relief environnant et taux d'érosion



# Évaluation du ratio Signal / Bruit

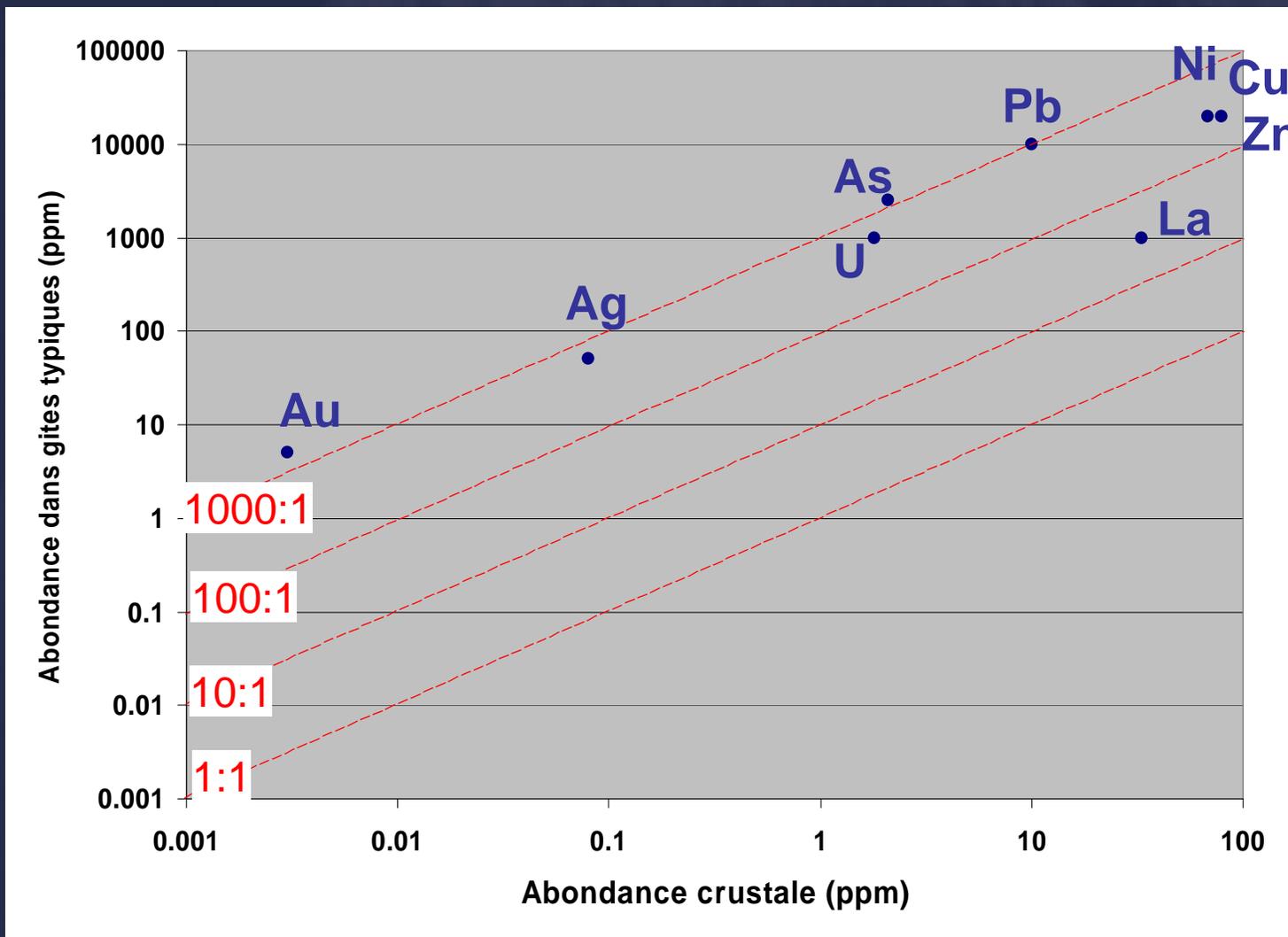
- Pour évaluer le ratio Signal / Bruit moyen pour différents éléments dans les sédiments de lacs
  - Approche Théorique - Qualitative
  - Approche Quantitative



## Évaluation du ratio Signal des anomalies / Bruit de fond Approche Théorique - Qualitative

- **Abondance des métaux dans la minéralisation recherchée vs. abondance crustale**
- **Mobilité dans l'environnement secondaire (lacustre) à partir d'une minéralisation**
- **Extraction par les méthodes analytiques**

# Abondance crustale des éléments vs. abondance dans des minéralisations



# Abondance crustale des éléments vs. abondance dans des minéralisations

Substance avec minéral typique d'un gîte	Facteur de concentration gîte vs croûte
Au	1667
As (arsénopyrite)	1190
Pb (galène)	1000
Ag	625
U (uraninite)	556
Ni (pentlandite)	294
Cu (Chalcopyrite)	294
Zn (Sphalerite)	253
Ti (Ilménite)	50
La (monazite)	30
Fe (Magnétite)	8
Mg (Chlorite)	3
K (Sericite)	3



# Évaluation du ratio Signal / Bruit – Approche théorique

- Abondance des métaux dans la minéralisation recherchée vs. abondance crustale
- **Mobilité dans l'environnement secondaire (lacustre) à partir d'une minéralisation**
- Extraction par les méthodes analytiques



# Mobilité chimique de certains éléments dans l'environnement secondaire

Substance avec minéral typique d'un gîte	Mobilité chimique relative des mx vers l'environnement lacustre
As (arsénopyrite)	Élevée →
U (uraninite)	Élevée →
Fe (Pyrite ou magnétite)	Élevée →
Zn (Sphalerite)	Élevée
Cu (Chalcopyrite)	Moyenne-élevée
Ni (pentlandite)	Moyenne-élevée
La (monazite)	Faible-moyenne?
Ti (Ilménite)	Faible →
Pb (galène)	Faible
Ag	Faible
Au	Faible ↓



# Évaluation du ratio Signal / Bruit de fond

## Approche Théorique - Qualitative

- Abondance des métaux dans la minéralisation recherchée vs. abondance crustale
- Mobilité dans l'environnement secondaire (lacustre)
- **Extraction par les méthodes analytiques**



# Variations du ratio Signal / Bruit moyen dans les sédiments de lacs: Approche théorique

Substance avec minéral typique d'un gîte	Facteur de concentration ds gîte vs croûte	Mobilité chimique relative des mx vers l'environnement lacustre	Extraction par aqua-regia	Ratio Signal / Bruit théorique
<b>As (arsénopyrite)</b>	<b>1190</b>	<b>Élevée</b>	<b>Complète</b>	<b>ÉLEVÉ</b>
<b>U (uraninite)</b>	<b>556</b>	<b>Élevée</b>	<b>Complète</b>	<b>ÉLEVÉ</b>
<b>Au</b>	<b>1667</b>	<b>Faible</b>	<b>N/A</b>	<b>MOYEN-ÉLEVÉ</b>
Ni (pentlandite)	294	Moyenne-élevée	Complète	MOYEN
Cu (Chalcopyrite)	294	Moyenne-élevée	Complète	MOYEN
Zn (Sphalerite)	253	Élevée	Complète	MOYEN
Pb (galène)	1000	Faible	Complète	MOYEN
Ti (Ilménite)	50	Faible	Partielle	FAIBLE
La (monazite)	30	Faible-moyenne?	Partielle	FAIBLE
Fe (Magnétite)	8	Élevée	Complète	FAIBLE
Mg (Chlorite)	3	Faible	Complète	FAIBLE
K (Sericite)	3	Faible	Partielle	FAIBLE



# Évaluation du ratio Signal / Bruit

- Pour évaluer le ratio Signal / Bruit moyen pour différents éléments dans les sédiments de lacs
  - Approche théorique - Qualitative
  - Approche Quantitative

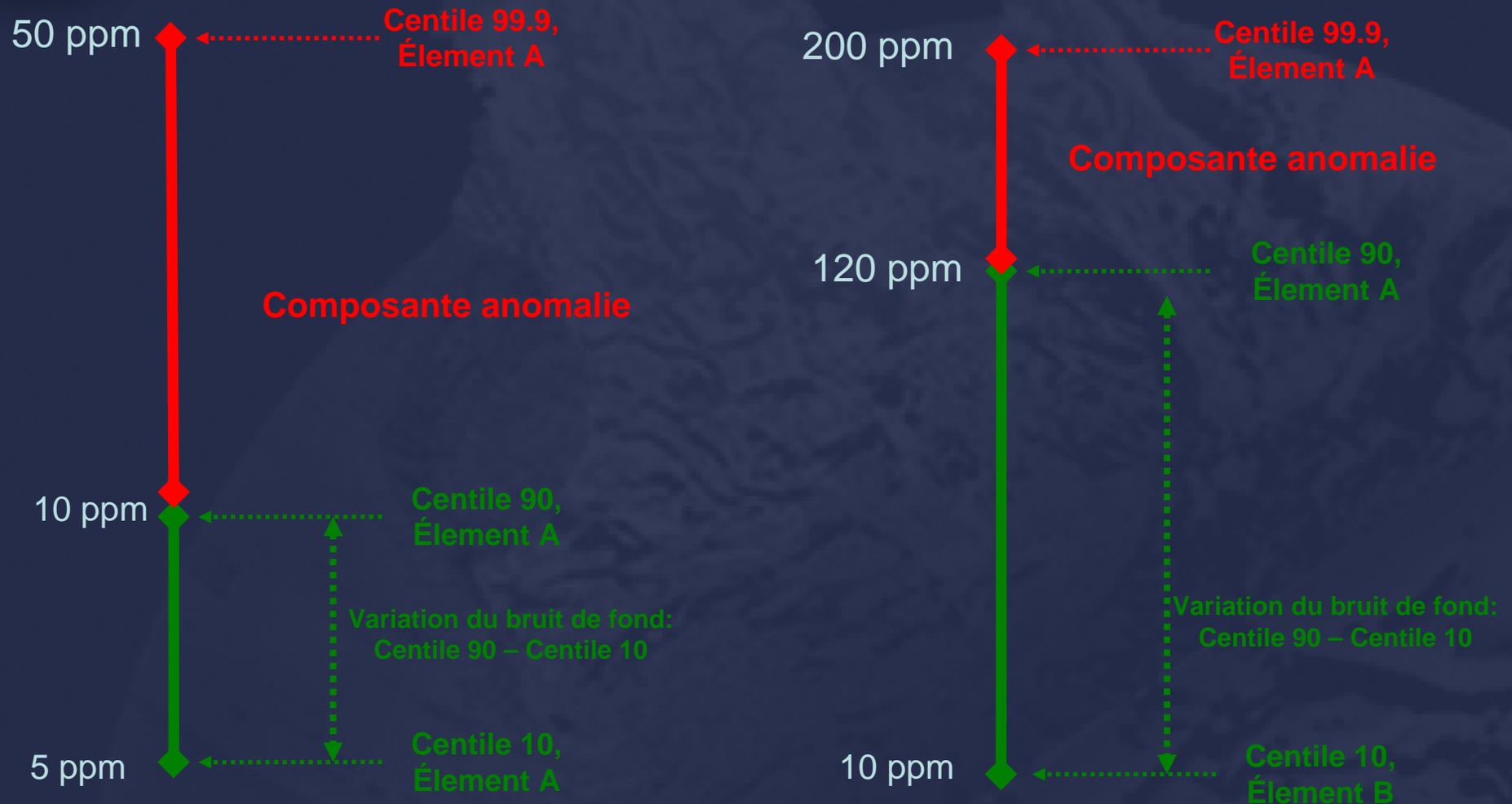


## Évaluer l'ampleur de variation du bruit de fond en considérant les anomalies constantes

- Calculer à l'aide de levés existants le rapport entre le signal des anomalies et l'amplitude du bruit de fond
- Méthode:
  - Calculer l'écart entre le 10e et le 90e centiles pour différents éléments
  - Prendre les 99.9 centiles (anomalie extrême) et diviser par les résultats précédents



# Anomalies et bruit de fond géochimique



Le Ratio Centile 99.9 / (Centile 90 – Centile 10) pour élément A est supérieur au même ratio pour l'élément B

A:  $50 / (10 - 5) = 10$

B:  $200 / (120 - 10) = 1.81$



# Amplitude de variation du ratio Signal / Bruit – Grand Nord – levés de lacs 1997520

Substance	Centile 90 – Centile 10 (ppm)	Centile 99.9 (ppm)	Centile 99.5 / (Centile 90 – Centile 10)
<b>Au (ppb)</b>	<b>&lt; 0.5</b>	<b>16</b>	<b>&gt;32</b>
<b>As</b>	<b>2 - 3</b>	<b>43</b>	<b>14 – 21</b>
<b>U</b>	<b>16.9</b>	<b>315</b>	<b>19</b>
<b>Ni</b>	<b>27</b>	<b>161</b>	<b>6.0</b>
<b>Cu</b>	<b>54</b>	<b>268</b>	<b>5.0</b>
<b>Pb</b>	<b>7 - 9</b>	<b>38</b>	<b>4 – 5.5</b>
<b>La</b>	<b>111</b>	<b>488</b>	<b>4.4</b>
<b>Zn</b>	<b>115</b>	<b>472</b>	<b>4.1</b>
<b>K</b>	<b>2900</b>	<b>10055</b>	<b>3.5</b>
<b>Ti</b>	<b>800</b>	<b>2700</b>	<b>3.3</b>
<b>Mg</b>	<b>4900</b>	<b>15200</b>	<b>3.1</b>
<b>Fe</b>	<b>34000</b>	<b>96577</b>	<b>2.8</b>



## Conclusions – Ratio Signal sur Bruit pour différents éléments

- Les approches théorique/qualitative et quantitative mènent à des résultats similaires
- As, U, Au: signal des anomalies semble très clair. Peu / pas besoin de rehausser le signal des anomalies
  - Utilisation de méthodes statistiques monovariées simples est probablement suffisante pour la délimitation d'anomalies
- Zn, Cu, Ni, Pb, Ti: signal des anomalies plus subtil. Besoin de rehausser le signal des anomalies vs. le bruit de fond.
  - Utilisation de méthodes plus avancées pour la délimitation des anomalies est nécessaire – Statistiques multivariées et spatiales

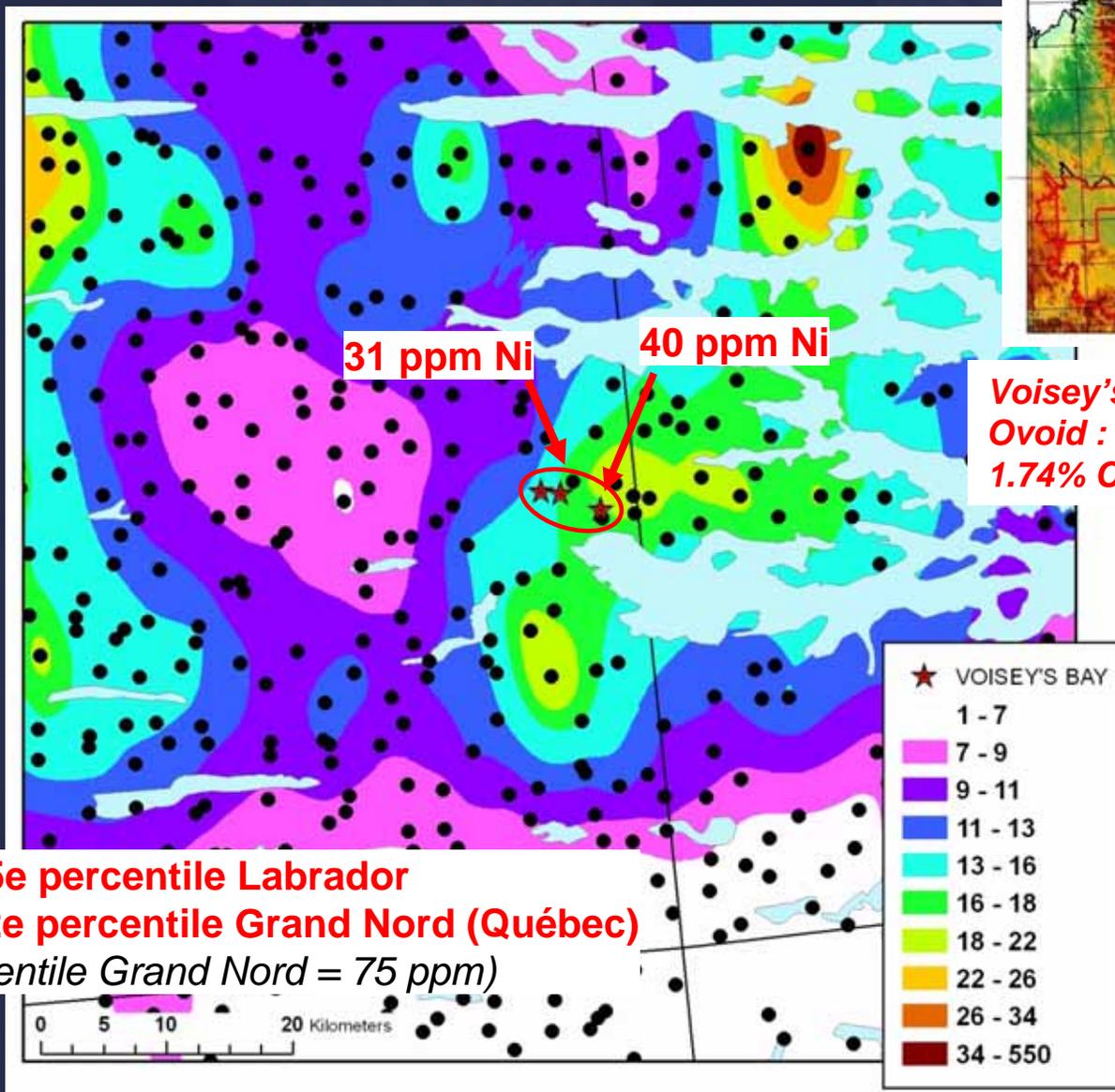


# Méthodes de délimitation d'anomalies géochimiques dans les sédiments de lacs

- Comment choisir une méthode? Aller vers
  - Une méthode simple (statistique et/ou monovariante) ?
  - Ou complexe (spatiale et/ou multivariante)?
  - Réponse par l'utilisation du concept de ratio Signal / Bruit
- Exemple d'une méthode avancée utilisée dans un cas où les méthodes simples ne fonctionnent pas: le cas de Voisey's Bay.

# Voisey's Bay

CONSOREM

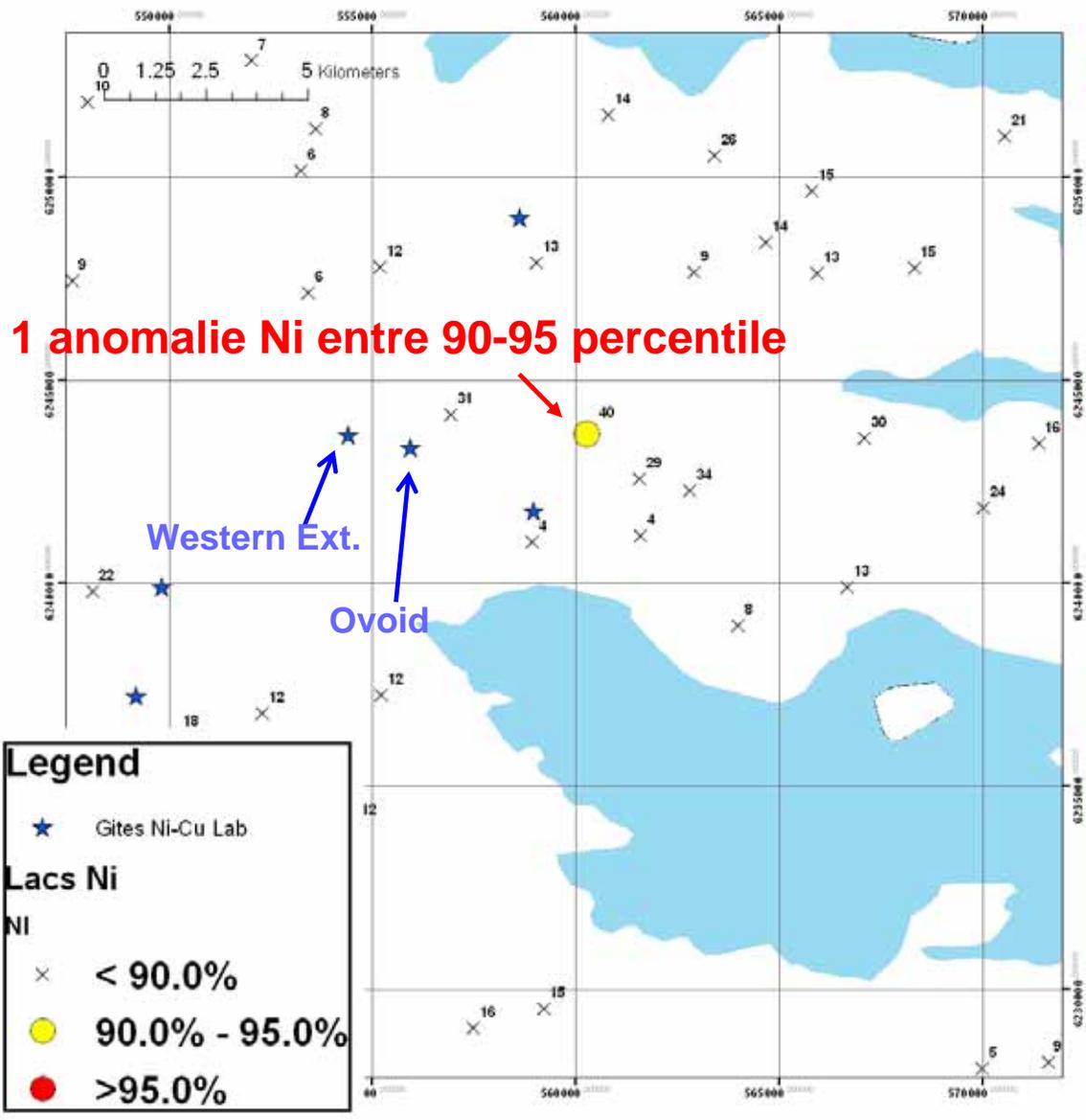


**Voisey's Bay Ni-Cu-Co  
Ovoid : 31.2 Mt @ 2.83% Ni,  
1.74% Cu**

**40 ppm Ni: < 95e percentile Labrador  
~ 92e percentile Grand Nord (Québec)**  
(N.B. : 99e percentile Grand Nord = 75 ppm)

Source : Données géochimiques du Programme national de reconnaissance géochimique du Canada, Ressources Naturelles Canada

# Gisement de Ni Voisey's Bay : Ni percentiles sur les valeurs brutes



1 anomalie Ni entre 90-95 percentile

Western Ext.

Ovoid

**Legend**

- ★ Gites Ni-Cu Lab

**Lacs Ni**

**Ni**

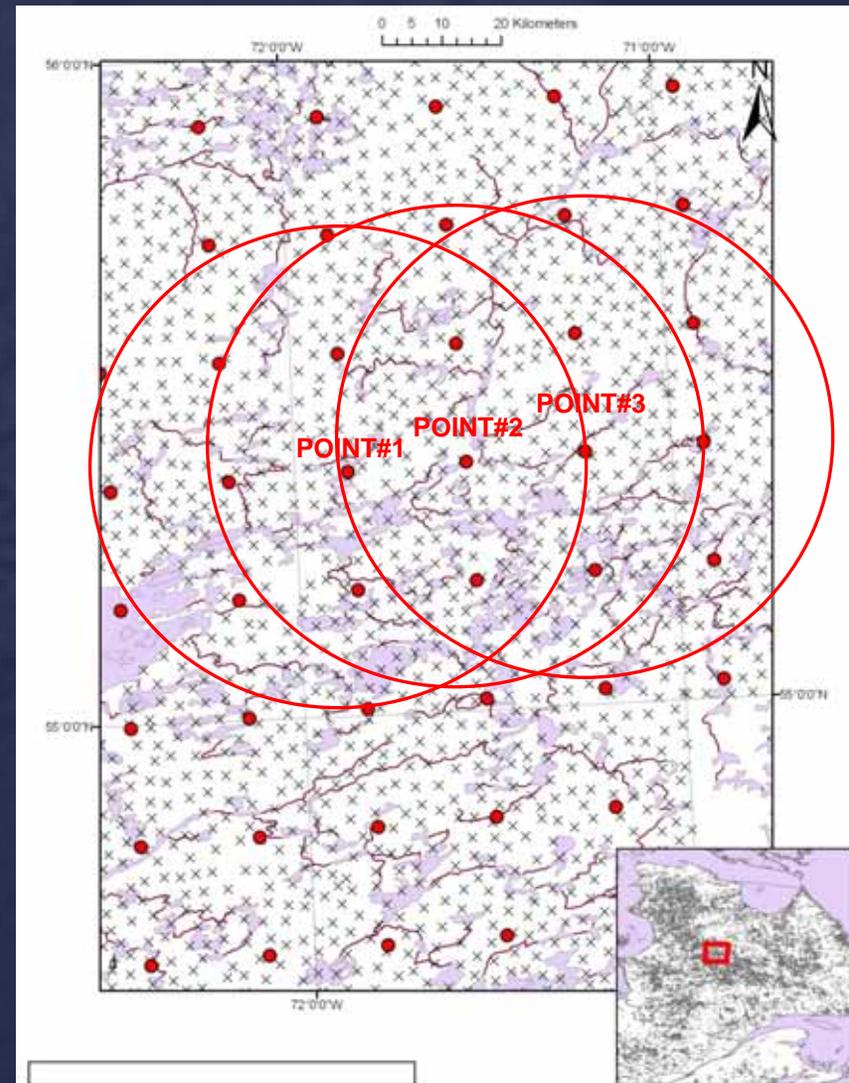
- x < 90.0%
- 90.0% - 95.0%
- >95.0%

# Méthode de la régression spatiale

Point 1 :  $Zn\_Predit = 0.1 * Al + 0.3 * Ca - 0.6 * Cr... + 2.2$

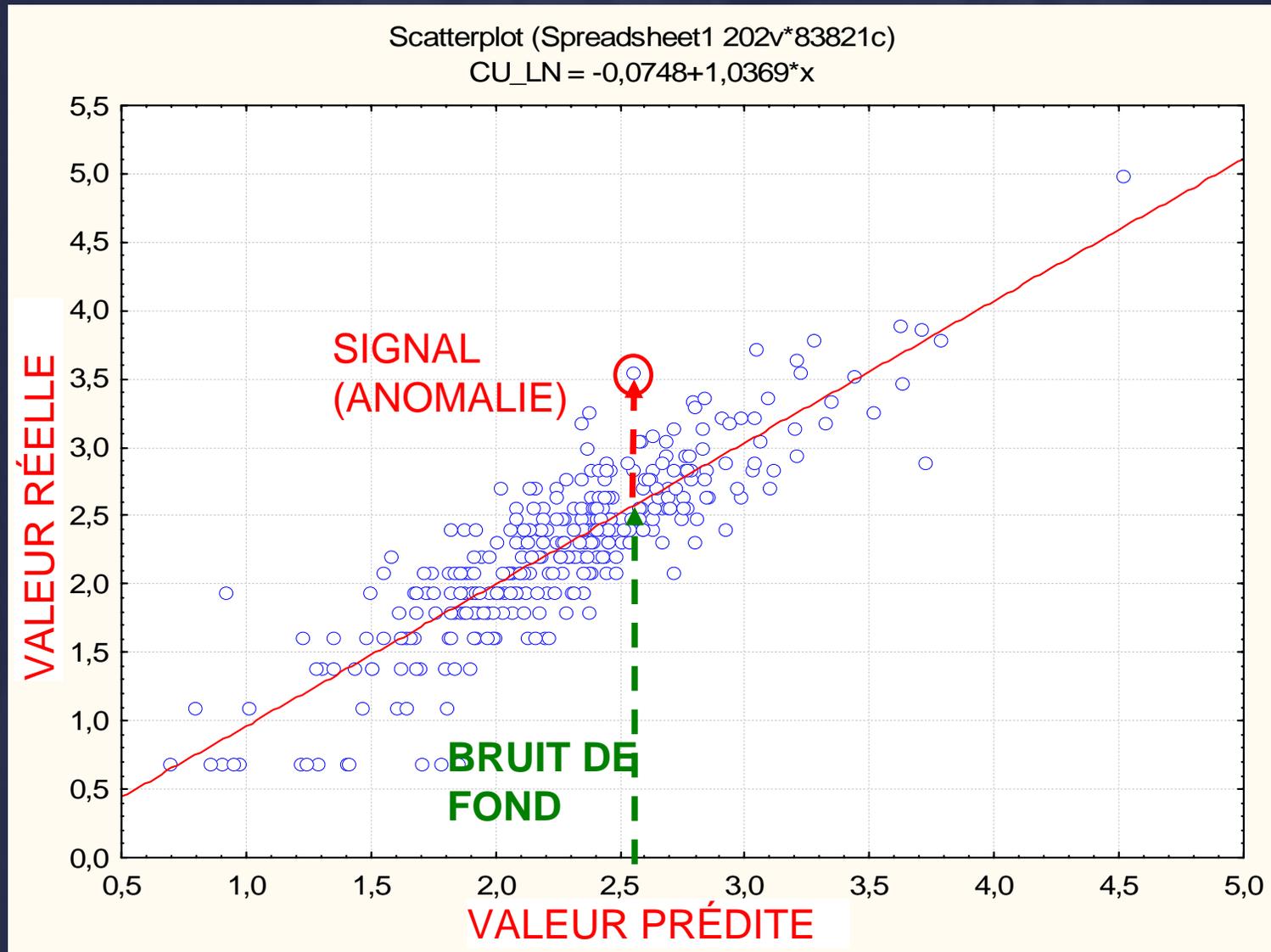
Point 2 :  $Zn\_Predit = 0.3 * Al + 0.4 * Ca + 1.7 * Cr... + 1$

Point 3 : etc



*Régression multiple spatiale (« Geographically weighted regression »)*

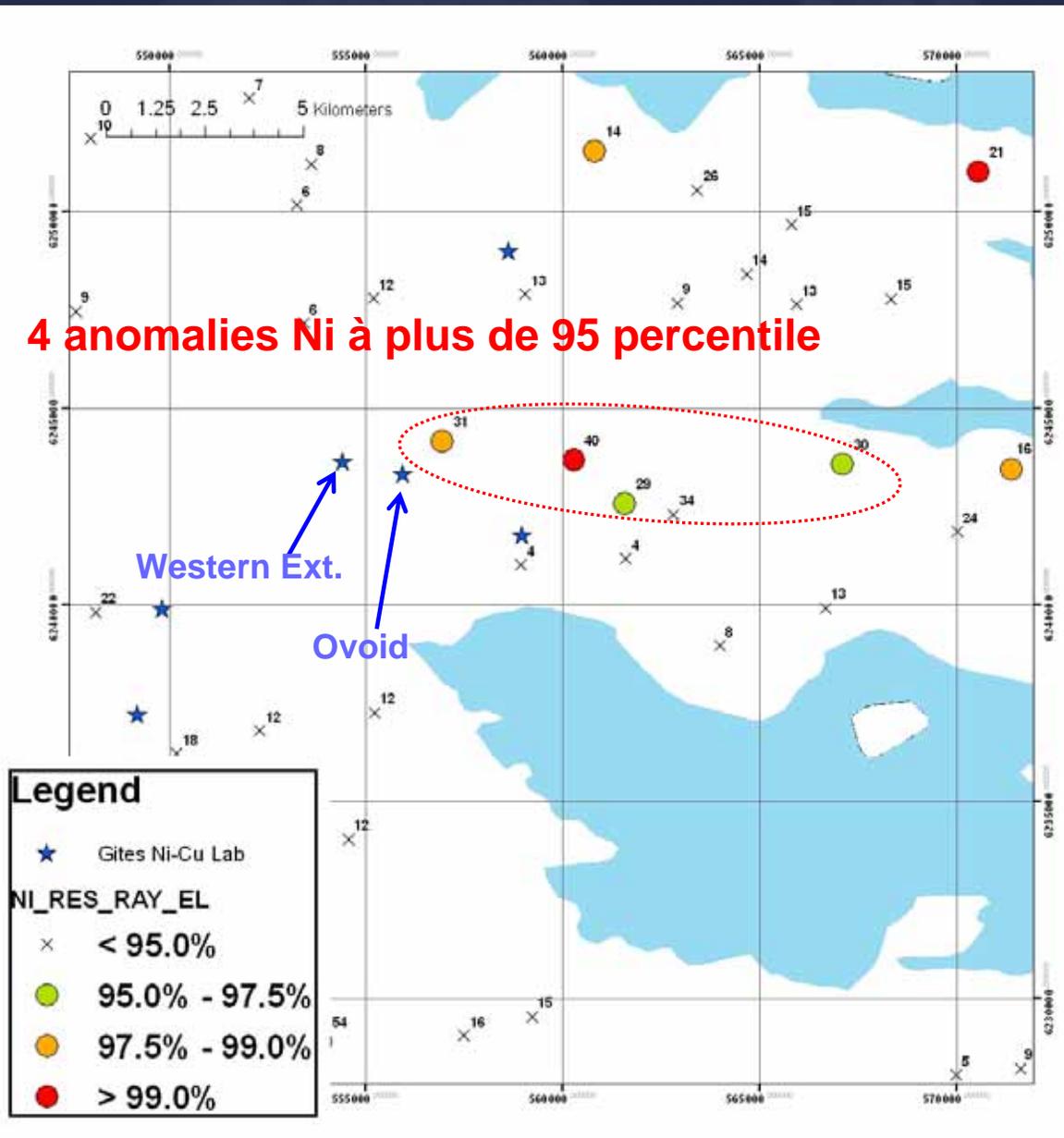
# Méthode de la régression spatiale





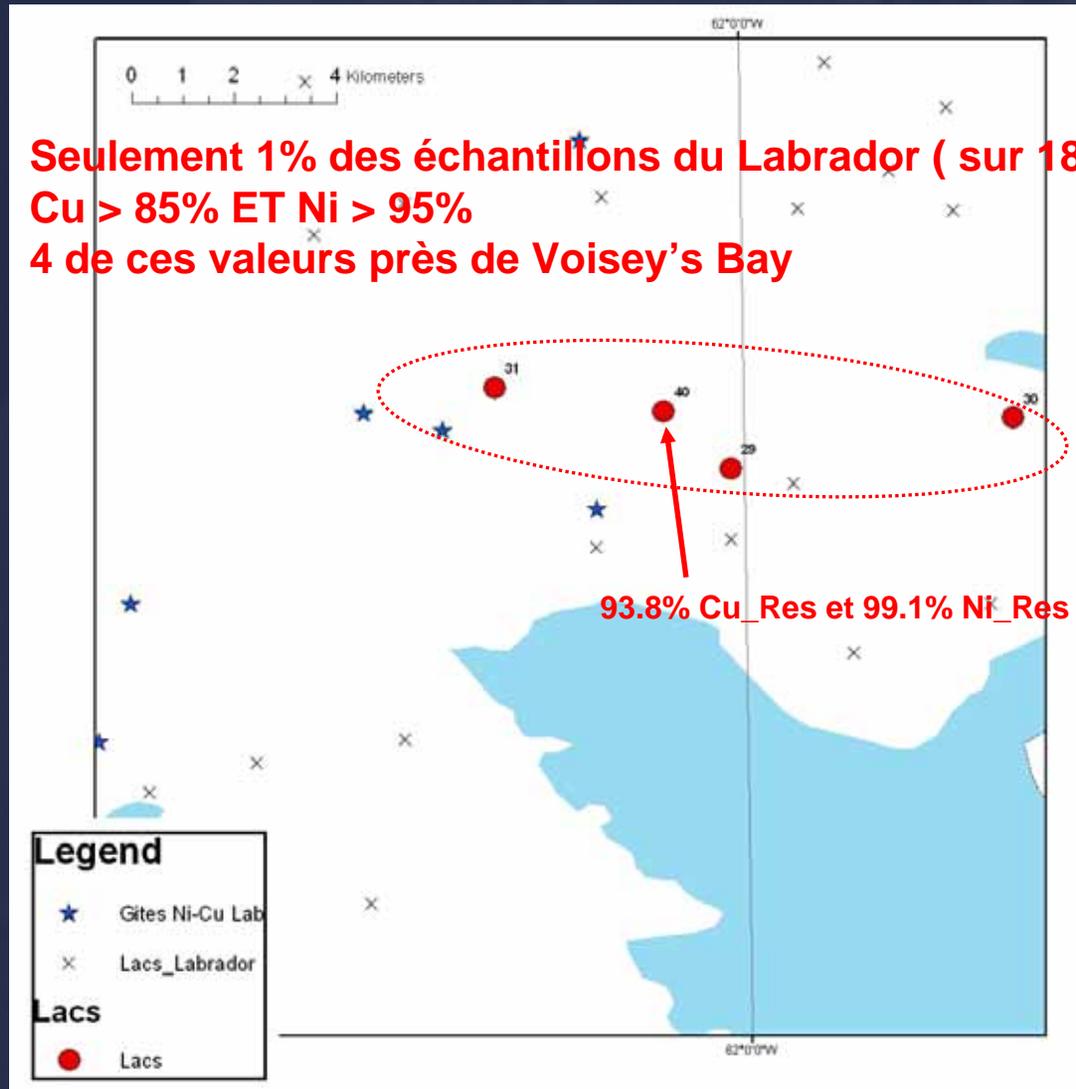
# Anomalies en Nickel par régression spatiale

4 anomalies Ni à plus de 95 percentile



# Anomalies en Cu > 85% ET Ni > 95% par régression spatiale

Seulement 1% des échantillons du Labrador ( sur 18000) ont Cu > 85% ET Ni > 95%  
 4 de ces valeurs près de Voisey's Bay



93.8% Cu\_Res et 99.1% Ni\_Res – 35e sur 18000 – 99.8%

Combiner les anomalies en Cu ET Ni rehausse la signature du gisement de façon très considérable



## Conclusions

- Dans le cadre de la géochimie des sédiments de lacs:
- Il est préférable d'utiliser des méthodes avancées de traitement d'anomalies géochimiques pour les éléments ayant un rapport signal / bruit faible → Ex: métaux de base
- Les bonnes vieilles méthodes simples peuvent être suffisantes pour les éléments ayant un rapport signal / bruit élevé → Ex: As, U, Au.
- L'exemple de Voisey's Bay illustre bien l'utilité de méthodes plus avancées avec les métaux de base dans un cas où les méthodes simples performant moins bien.