

---

# OPTIMISATION DES ANALYSES DES SUITES MULTIÉLÉMENTS ICM-MS POUR L'EXPLORATION MINÉRALE

---

PROJET 2014-05

PAR : DOMINIQUE GENNA, GEO, PH.D.

AVRIL 2015



---

## 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. Le CONSOREM ne peut être tenu responsable pour des décisions prises sur la base de ces résultats.

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 :

*Genna, D., 2014. Optimisation des analyses des suites multiéléments ICP-MS pour l'exploration minérale. Rapport préliminaire, Projet CONSOREM 2014-05, 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](mailto:consorem@uqac.ca)  
Site Web: [www.consorem.ca](http://www.consorem.ca)

---

## RÉSUMÉ

---

L'évolution remarquable des moyens technologiques permet aujourd'hui de réaliser de façon routinière, et à des prix abordables, des analyses en éléments traces pour une grande partie du tableau périodique des éléments chimiques. Cependant, une proportion mineure des éléments communément analysée est utilisée en exploration minérale. Le potentiel d'utilisation des autres éléments demeure mal évalué. Dans l'optique d'optimiser l'utilisation des éléments traces en exploration minérale, deux approches ont été utilisées dans le cadre de ce projet : 1) la documentation des éléments traces d'intérêts en exploration minérale et 2) la documentation des méthodes de dissolution et d'analyse des éléments traces dans les laboratoires commerciaux.

Afin d'identifier les éléments traces d'intérêt pour l'exploration, leurs comportements ont été documentés dans les halos d'altération de 4 types de gisements hydrothermaux : porphyres, or orogénique, SMV et SEDEX. Un groupe d'éléments (Ge, As, Se, Cd, In, Sn, Sb, Te, Hg, Tl, Pb, Bi) identifiés comme « volatils » sont quasi-systématiquement détectés dans les halos d'altération des gisements compilés. Pour établir les seuils de concentration anormaux de ces éléments dans les roches altérées, la concentration dans les roches ignées fraîches a été établie à partir de la banque de donnée du GEOROC (projet 2012-05). En couplant avec les valeurs compilées dans la littérature, nous proposons les seuils compilés dans le tableau ci-dessous, indiquant les concentrations (en ppm), dans les roches ignées fraîches et dans les halos d'altération.

Il n'existe pas de méthode unique pour analyser tous les éléments traces. Pour des analyses ICP-MS, la méthode de digestion proposée (complète par fusion Li-métaborate ou Na-péroxyde ou partielle par eau régale ou 4 acides) est souvent fonction du type d'échantillon (sulfures ou silicates dominants) et des éléments recherchés. Les éléments du groupe des « volatils » présentent généralement un point de fusion bas et leur utilisation nécessite des précautions particulières lors de la dissolution des échantillons pour éviter leur volatilisation (typique lors des processus de fusion). Il est donc recommandé d'utiliser une méthode d'analyse qui ne fait pas intervenir de dissolution (INAA – activation neutronique). De plus, certains de ces éléments « volatils » (Sb et Tl par exemples) ont des comportements ambivalents. Ils peuvent se comporter à la fois comme des chalcophiles et lithophiles (Tl) ou sidérophiles (Sb). Ce comportement leurs permet d'être incorporés à la fois dans la structure des sulfures et celle de certains silicates (exemple du Tl : pyrite et séricite). Ce comportement ouvre des perspectives particulièrement intéressantes pour l'utilisation des « volatils » en exploration (reconnaissance des halos d'altération associés à des minéralisations économiques, dispersion dans l'environnement secondaire, etc.), mais implique une méthode de dissolution adéquate pour quantifier les éléments présents dans la structure des sulfures et des silicates. Une revue des méthodes de dissolution et d'analyse des éléments traces par les laboratoires commerciaux était donc indispensable pour identifier les méthodes analytiques fiables proposées par les laboratoires commerciaux.

---

## TABLE DES MATIÈRES

---

|   |    |
|---|----|
| Problématique.....  | 1  |
| Approches utilisées.....                                      | 2  |
| Partie 1 – Méthodes d’analyse des éléments traces.....        | 2  |
| Méthodes de Dissolution.....                                  | 3  |
| Méthodes alternatives.....                                    | 7  |
| Recommandations.....  | 8  |
| Partie 2 – Éléments traces d’intérêt pour l’exploration ..... | 9  |
| Éléments volatils.....  | 11 |
| Cas d’études.....   | 12 |
| Faits saillants du projet – Valeurs de référence .....        | 23 |
| Recommandations.....  | 23 |

# Problématique

Comment optimiser l'utilisation des éléments traces en exploration minière?

- Avancées technologiques
- Limites de détection
- Frais analytiques abordables

Que fait-on avec ces listes de multitudes éléments reçus ?

Que signifie 2 ppm de germanium?

| Sample #                       | 5376-A | 5377-A | 5382-A   | 5432-O2 | 5434A2       | 5418-O2 |
|--------------------------------|--------|--------|----------|---------|--------------|---------|
| Rock type                      | S22    | O12B   | N019     | O149A   | W4019A       | T00019A |
| Econ. Inhibits                 | 15% SF | 15% SF | 5-10% SF | 5% SF   | fr. to 5% SF | 10% SF  |
| TiO <sub>2</sub>               | 42.43  | 45.70  | 49.51    | 43.44   | 44.80        | 43.70   |
| ThO <sub>2</sub>               | 0.21   | 0.24   | 0.29     | 0.17    | 0.29         | 0.06    |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 3.71   | 3.28   | 16.96    | 2.86    | 4.46         | 17.50   |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 12.68  | 14.50  | 10.50    | 19.96   | 16.30        | 10.70   |
| MnO                            | 0.16   | 0.16   | 0.11     | 0.16    | 0.20         | 0.11    |
| MgO                            | 24.41  | 26.20  | 1.13     | 26.30   | 15.20        | 17.40   |
| CaO                            |        |        |          |         |              | 8.86    |
| Na <sub>2</sub> O              |        |        |          |         |              | 1.25    |
| K <sub>2</sub> O               |        |        |          |         |              | 0.06    |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  |        |        |          |         |              | 0.01    |
| Cl <sub>2</sub> O              |        |        |          |         |              | 0.02    |
| S                              |        |        |          |         |              | 1.02    |
| Total                          |        |        |          |         |              | 100.52  |
| LOI                            |        |        |          |         |              | 0.71    |
| Mg#                            |        |        |          |         |              | 76.17   |
| Si <sub>2</sub> factor         |        |        |          |         |              | 1.00    |
| Si <sub>2</sub> ratio          |        |        |          |         |              | 807.69  |
| Ag                             |        |        |          |         |              | -0.5    |
| As                             |        |        |          |         |              | +1      |
| Au                             |        |        |          |         |              | 7.00    |
| Ba                             |        |        |          |         |              | 24.00   |
| Bi                             |        |        |          |         |              | -0.10   |
| Br                             |        |        |          |         |              | +1      |
| Ca                             |        |        |          |         |              | 86      |
| Co                             |        |        |          |         |              | 1.14    |
| Cd                             |        |        |          |         |              | 82      |
| Cr                             |        |        |          |         |              | 17.0    |
| Cs                             |        |        |          |         |              | +1      |
| Ce                             | 1.200  | 1400   | 774      | 210     | 4.6          | 888     |
| Dj                             | 0.84   | 1.50   | 1.22     | 0.65    | 1.85         | 0.20    |
| Ef                             | 0.55   | 1.01   | 0.50     | 0.44    | 1.14         | 0.12    |
| Eg                             | 0.21   | 0.37   | 0.41     | 0.15    | 0.39         | 0.21    |
| Ga                             | 0.82   | 0.70   | 1.41     | 1.19    | 1.1          | 10      |
| Ge                             | 0.49   | 1.11   | 1.07     | 0.40    | 1.82         | 0.15    |
| Os                             |        |        |          |         |              |         |
| Pa                             |        |        |          |         |              |         |
| Hf                             |        |        |          |         |              |         |
| Hg                             |        |        |          |         |              |         |
| Ho                             |        |        |          |         |              |         |
| Ir                             |        |        |          |         |              |         |
| K                              |        |        |          |         |              |         |
| La                             |        |        |          |         |              |         |
| Li                             |        |        |          |         |              |         |
| Mo                             |        |        |          |         |              |         |
| Nb                             |        |        |          |         |              |         |
| Ni                             |        |        |          |         |              |         |
| Nr                             |        |        |          |         |              |         |
| Os                             | -0.3   | -0.3   | -0.2     | -0.3    | -0.3         | -0.4    |
| Pb                             | 3      | 5      | 5        | 4       | 9            | 4       |
| Pd                             | -0     | -0     | -0       | 2.30    | 2.50         | 1.80    |
| Pf                             | 0.38   | 0.83   | 0.84     | 0.45    | 1.38         | 0.14    |
| Pt                             | +13    | 1.77   | +2       | +1      | 4.00         | -2      |
| Rb                             | 2.26   | 3.82   | 9.87     | 2.00    | 10.05        | -0      |
| Rh                             | 6.90   | 4.20   | 1.40     | 1.42    | -0.24        | 3.25    |
| Re                             | -0.7   | 0.14   | 0.18     | +0.2    | -0.08        | -0.3    |
| Ru                             | -0.9   | -2     | -0.8     | +1      | -2           | -2      |
| Sb                             |        |        |          |         |              |         |
| Se                             |        |        |          |         |              |         |
| Sn                             |        |        |          |         |              |         |
| Str                            |        |        |          |         |              |         |
| Ta                             |        |        |          |         |              |         |
| Tb                             |        |        |          |         |              |         |
| Tm                             |        |        |          |         |              |         |
| Tl                             |        |        |          |         |              |         |
| Tn                             |        |        |          |         |              |         |
| U                              | 97.01  | 108.81 | 135.43   | 151.00  | 115.94       | 19.00   |
| V                              | -1     | +1     | +1       | +1      | +1           | +1      |
| Vv                             | 4.68   | 8.78   | 7.00     | 3.80    | 10.41        | 1.10    |
| Yb                             | 0.51   | 0.85   | 0.74     | 0.45    | 1.01         | 0.11    |
| Zn                             | 61     | 84     | 80       | 230     | 70           | 26      |
| Zr                             | 10     | 22     | 20       | 14      | 26           | 2       |

**Exemple 1**  
 $K_2O = 4\%$   
 $Rb = 200 \text{ ppm}$   
 $TI = 2.6 \text{ ppm}$   
 Zone séricitisée  
 → Potentiel pour VMS

**Exemple 2**  
 $Bi = 2.5 \text{ ppm}$   
 $Te = 4 \text{ ppm}$   
 → Potentiel pour Or orogénique?

**Indices de fertilité ?**  
 Projet à fort potentiel ?

# Problématique

## Définition Éléments Traces

- Pas de définition rigoureuse
- 11 éléments qui sont considérés comme majeurs (99% des roches ignées)
  - O, Na, Mg, Al, Si, P, K, Ca, Ti, Mn, Fe
- Éléments mineurs: 0,1% (1000 ppm)
- Éléments traces: <100 ppm
- Pas indispensables à la formation des minéraux majeurs (Substitution dans minéraux majeurs ou dans minéraux accessoires)

## Approche utilisée

**Partie 1**  
Documentation  
des méthodes  
d'analyses actuelles

**Partie 2**  
Recherche d'éléments  
traces d'intérêt pour  
l'exploration

3

### Partie 1 - Méthodes d'analyse des éléments traces

#### Offre ICP-MS 2014

#### Pas de méthode miracle!

| ANALYTES AND RANGES (ppm)      |             |                                |            | ALS Chemex                    |            |     |            | CODE  |
|--------------------------------|-------------|--------------------------------|------------|-------------------------------|------------|-----|------------|---|
| SiO <sub>2</sub>               | 0.01-100%   | MgO                            | 0.01-100%  | TiO <sub>2</sub>              | 0.01-100%  | BaO | 0.01-100%  | ME-ICP06<br><b>Fusion<br/>ou press-pellet</b> |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0.01-100%   | Na <sub>2</sub> O              | 0.01-100%  | MnO                           | 0.01-100%  | LOI | 0.01-100%  |   |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0.01-100%   | K <sub>2</sub> O               | 0.01-100%  | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | 0.01-100%  |     |            |   |
| CaO                            | 0.01-100%   | Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0.01-100%  | SrO                           | 0.01-100%  |     |            |   |
| Ba                             | 0.5-10,000  | Hf                             | 0.2-10,000 | Sn                            | 1-10,000   | Y   | 0.5-10,000 | <b>ICP-MS</b>                                 |
| Ce                             | 0.5-10,000  | Ho                             | 0.01-1,000 | Sr                            | 0.1-10,000 | Yb  | 0.03-1,000 |   |
| Cr                             | 10-10,000   | La                             | 0.5-10,000 | Ta                            | 0.1-2,500  | Zr  | 2-10,000   |   |
| Cs                             | 0.01-10,000 | Lu                             | 0.01-1,000 | Tb                            | 0.01-1,000 |     |            |   |
| Dy                             | 0.05-1,000  | Nb                             | 0.2-2,500  | Th                            | 0.05-1,000 |     |            |   |
| Er                             | 0.03-1,000  | Nd                             | 0.1-10,000 | Tm                            | 0.01-1,000 |     |            |   |
| Eu                             | 0.03-1,000  | Pr                             | 0.03-1,000 | U                             | 0.05-1,000 |     |            |   |
| Ga                             | 0.1-1,000   | Rb                             | 0.2-10,000 | V                             | 5-10,000   |     |            |   |
| Gd                             | 0.05-1,000  | Sm                             | 0.03-1,000 | W                             | 1-10,000   |     |            |   |
| Ag                             | 0.5-100     | Cu                             | 1-10,000   | Ni                            | 1-10,000   | Zn  | 2-10,000   |   |
| Cd                             | 0.5-1,000   | Li                             | 10-10,000  | Pb                            | 2-10,000   |     |            | ME-4ACD81<br><b>4 acides</b>                  |
| Co                             | 1-10,000    | Mo                             | 1-10,000   | Sc                            | 1-10,000   |     |            |   |
| As                             | 0.1-250     | Hg                             | 0.005-25   | Se                            | 0.2-250    | Tl  | 0.02-1,000 | ME-MS42<br><b>Aqua régia</b>                  |
| Bi                             | 0.01-250    | Sb                             | 0.05-250   | Te                            | 0.01-250   |     |            |   |
| C                              | 0.01-50%    | S                              | 0.01-50%   |                               |            |     |            | ME-IR08                                       |

## Partie 1 - Méthodes d'analyse des éléments traces

### Offre ICP-MS 2015

... en évolution constante! (Ajout de Ge, In, Re)

| ANALYTES AND RANGES (ppm)      |             |                                |            | ALS Chemex                    |            |     |            | CODE  |
|--------------------------------|-------------|--------------------------------|------------|-------------------------------|------------|-----|------------|---|
| SiO <sub>2</sub>               | 0.01-100%   | MgO                            | 0.01-100%  | TiO <sub>2</sub>              | 0.01-100%  | BaO | 0.01-100%  | ME-ICP06<br><b>Fusion<br/>ou press-pellet</b> |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0.01-100%   | Na <sub>2</sub> O              | 0.01-100%  | MnO                           | 0.01-100%  | LOI | 0.01-100%  |   |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0.01-100%   | K <sub>2</sub> O               | 0.01-100%  | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | 0.01-100%  |     |            |   |
| CaO                            | 0.01-100%   | Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0.01-100%  | SrO                           | 0.01-100%  |     |            |   |
| Ba                             | 0.5-10,000  | Gd                             | 0.05-1,000 | Sm                            | 0.03-1,000 | W   | 1-10,000   | <b>ICP-MS</b>                                 |
| Ce                             | 0.5-10,000  | Hf                             | 0.2-10,000 | Sn                            | 1-10,000   | Y   | 0.5-10,000 |   |
| Cr                             | 10-10,000   | Ho                             | 0.01-1,000 | Sr                            | 0.1-10,000 | Yb  | 0.03-1,000 |   |
| Cs                             | 0.01-10,000 | La                             | 0.5-10,000 | Ta                            | 0.1-2,500  | Zr  | 2-10,000   |   |
| Dy                             | 0.05-1,000  | Lu                             | 0.01-1,000 | Tb                            | 0.01-1,000 |     |            |   |
| Er                             | 0.03-1,000  | Nb                             | 0.2-2,500  | Th                            | 0.05-1,000 |     |            |   |
| Eu                             | 0.03-1,000  | Nd                             | 0.1-10,000 | Tm                            | 0.01-1,000 |     |            |   |
| Ga                             | 0.1-1,000   | Pr                             | 0.03-1,000 | U                             | 0.05-1,000 |     |            |   |
| Ge                             | 5-1,000     | Rb                             | 0.2-10,000 | V                             | 5-10,000   |     |            |   |
| Ag                             | 0.5-100     | Cu                             | 1-10,000   | Ni                            | 1-10,000   | Zn  | 2-10,000   |   |
| Cd                             | 0.5-1,000   | Li                             | 10-10,000  | Pb                            | 2-10,000   |     |            | ME-4ACD81<br><b>4 acides</b>                  |
| Co                             | 1-10,000    | Mo                             | 1-10,000   | Sc                            | 1-10,000   |     |            |   |
| As                             | 0.1-250     | In                             | 0.005-250  | Se                            | 0.2-250    |     |            | ME-MS42<br><b>Aqua regia</b>                  |
| Bi                             | 0.01-250    | Re                             | 0.001-250  | Te                            | 0.01-250   |     |            |   |
| Hg                             | 0.005-25    | Sb                             | 0.05-250   | Tl                            | 0.02-250   |     |            |   |
| C                              | 0.01-50%    | S                              | 0.01-50%   |                               |            |     |            | ME-IR08                                       |

## Partie 1 - Méthodes d'analyse des éléments traces

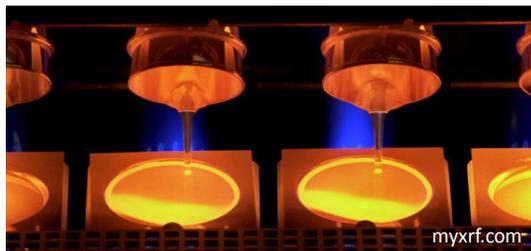
### Méthodes de dissolution

#### Fusion

Digestion complète

*Li-métaborate*

- 1050°C
- Digestion efficace même des mx résistants
- Perte des volatils



Destruction des liaisons covalentes et ioniques  
Et réorganisation avec des atomes O libres

#### GERMANIUM - ATTENTION

Ajout de 0.01 à 1% d'Oxyde de Germanium  
Permet d'abaisser la température de fusion de  
200°C



+ dissolution HF-HNO<sub>3</sub>

Totland et al. 1992; Yu et al. 2001

6

## Partie 1 - Méthodes d'analyse des éléments traces

### Méthodes de dissolution

#### Fusion

Digestion complète

##### *Li-métaborate*

- 1050°C
- Digestion efficace même des minéraux résistants
- Perte des volatils



##### *Na-peroxyde*

- 480-650°C
- Méthode pour sulfures et mx réfractaires
- REE, Sc, Y, HFSE
- Récupération basse Sn, Sb, Tl



Totland et al. 1992; Yu et al. 2001

7

## Partie 1 - Méthodes d'analyse des éléments traces

### Dissolution Peroxyde de sodium

#### Taux de récupération faible de certains éléments

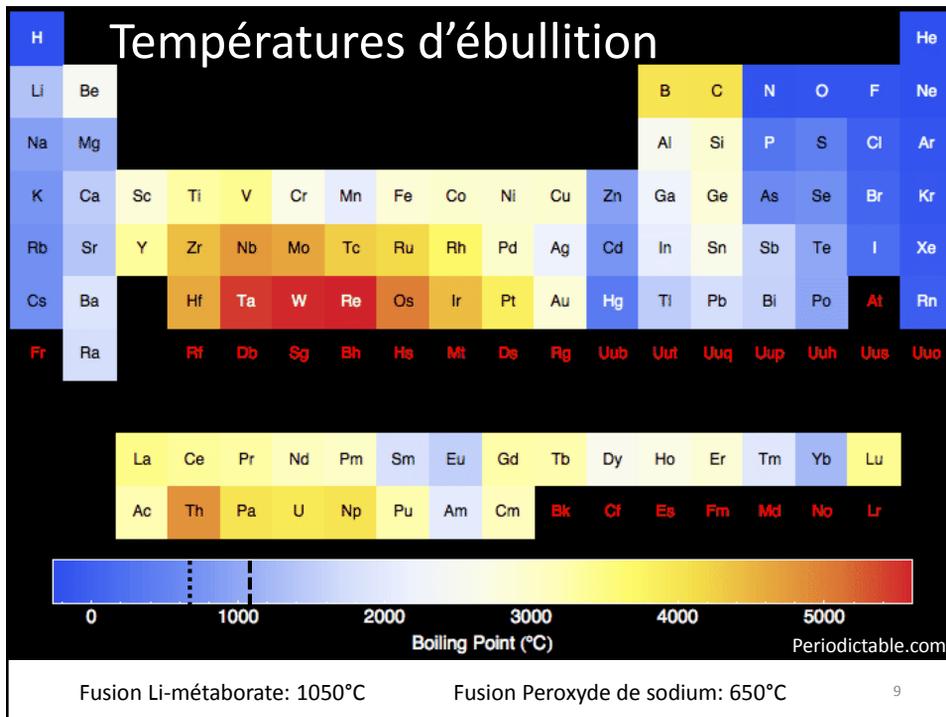
Recovery (% yield) for nine selected geological reference materials using the Na<sub>2</sub>O<sub>2</sub> sinter method

|    | AC-E<br>n = 3 | GSR-1<br>n = 2 | G2<br>n = 2 | TASGRAN<br>n = 2 | BHVO1<br>n = 2 | TASBAS<br>n = 4 | TAFahi<br>n = 4 | FeR-2<br>n = 2 | FeR-4<br>n = 2 | Average<br>(%) |
|----|---------------|----------------|-------------|------------------|----------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|
| Rb | 3             | 4.6            | 5           | 5                | 3              | 4               | 7               | 1.1            | 1.3            | 4              |
| Sr | -             | 104            | 97          | 105              | 98             | 89              | 111             | 117            | 111            | 104            |
| Zr | 90            | 53             | 37          | 85               | 81             | 90              | 87              | -              | -              | 75             |
| Nb | 98            | 91             | 85          | 93               | 76             | 94              | 100             | -              | -              | 91             |
| Mo | 1             | 1.1            | 0           | -                | 2              | 6               | 12              | 3              | -              | 4              |
| Sn | 86            | 51             | 60          | 48               | 59             | 48              | 100             | -              | -              | 65             |
| Sb | 45            | 73             | -           | -                | 26             | -               | -               | -              | -              | 48             |
| Cs | 4             | 5              | 7           | 6                | 20             | 4               | 13              | 1.3            | 1.2            | 7              |
| Ba | 93            | 80             | 90          | 89               | 89             | 90              | 101             | 70             | 71             | 86             |
| Hf | 88            | 53             | 37          | 98               | 92             | 94              | 93              | -              | -              | 79             |
| Ta | 76            | 73             | 23          | 96               | 59             | 86              | -               | -              | -              | 69             |
| Tl | 67            | 79             | 72          | 50               | 65             | -               | -               | -              | -              | 66             |
| Pb | 85            | 68             | 66          | 72               | 70             | 75              | 70              | 45             | 72             | 69             |
| Bi | 63            | 94             | 79          | -                | -              | -               | -               | -              | -              | 78             |
| Th | 93            | 97             | 91          | 106              | 93             | 94              | -               | 106            | 100            | 98             |
| U  | 74            | 58             | 53          | 70               | 58             | 61              | 53              | 56             | 40             | 58             |

Missing data indicates elements either too low in concentration or preferred values unavailable. n = number of digestions.

Yu et al. 2001

8



## Partie 1 - Méthodes d'analyse des éléments traces

### Méthodes de dissolution

#### Fusion

Digestion complète

##### *Li-métaborate*

- 1050°C
- Digestion efficace même des mx résistants
- Perte des volatils

##### *Na-peroxyde*

- 480-650°C
- REE, Sc, Y, HFSE
- Récupération basse Sn, Sb, Tl (50%)

#### Acides

Digestion partielle

##### *Aqua Regia*

- Dissolution partielle
- Sulfures, oxydes
- Pas de perte de volatils

##### Exemple Zn:

Sphalérite

Gahnite

behr-labor.com



Totland et al. 1992; Yu et al. 2001

10

## Partie 1 - Méthodes d'analyse des éléments traces Offre ICP-MS 2015 Problématique des Volatils

| ANALYTES AND RANGES (ppm)      |             |                                |            |                               |            |     |            | CODE                  |
|--------------------------------|-------------|--------------------------------|------------|-------------------------------|------------|-----|------------|-----------------------|
| SiO <sub>2</sub>               | 0.01-100%   | MgO                            | 0.01-100%  | TiO <sub>2</sub>              | 0.01-100%  | BaO | 0.01-100%  | ME-ICP06              |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0.01-100%   | Na <sub>2</sub> O              | 0.01-100%  | MnO                           | 0.01-100%  | LOI | 0.01-100%  |                       |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0.01-100%   | K <sub>2</sub> O               | 0.01-100%  | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | 0.01-100%  |     |            |                       |
| CaO                            | 0.01-100%   | Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0.01-100%  | SrO                           | 0.01-100%  |     |            | <b>ICP-MS</b>         |
| Ba                             | 0.5-10,000  | Gd                             | 0.05-1,000 | Sm                            | 0.03-1,000 | W   | 1-10,000   |                       |
| Ce                             | 0.5-10,000  | Hf                             | 0.2-10,000 | Sn                            | 1-10,000   | Y   | 0.5-10,000 |                       |
| Cr                             | 10-10,000   | Ho                             | 0.01-1,000 | Sr                            | 0.1-10,000 | Yb  | 0.03-1,000 |                       |
| Cs                             | 0.01-10,000 | La                             | 0.5-10,000 | Ta                            | 0.1-2,500  | Zr  | 2-10,000   |                       |
| Dy                             | 0.05-1,000  | Lu                             | 0.01-1,000 | Tb                            | 0.01-1,000 |     |            |                       |
| Er                             | 0.03-1,000  | Nb                             | 0.2-2,500  | Th                            | 0.05-1,000 |     |            |                       |
| Eu                             | 0.03-1,000  | Nd                             | 0.1-10,000 | Tm                            | 0.01-1,000 |     |            |                       |
| Ga                             | 0.1-1,000   | Pr                             | 0.03-1,000 | U                             | 0.05-1,000 |     |            |                       |
| Ge                             | 5-1,000     | Rb                             | 0.2-10,000 | V                             | 5-10,000   |     |            |                       |
| Ag                             | 0.5-100     | Cu                             | 1-10,000   | Ni                            | 1-10,000   | Zn  | 2-10,000   |                       |
| Cd                             | 0.5-1,000   | Li                             | 10-10,000  | Pb                            | 2-10,000   |     |            | ME-4ACD81             |
| Co                             | 1-10,000    | Mo                             | 1-10,000   | Sc                            | 1-10,000   |     |            |                       |
| As                             | 0.1-250     | In                             | 0.005-250  | Se                            | 0.2-250    |     |            | <b>Volatils</b>       |
| Bi                             | 0.01-250    | Re                             | 0.001-250  | Te                            | 0.01-250   |     |            |                       |
| Hg                             | 0.005-25    | Sb                             | 0.05-250   | Tl                            | 0.02-250   |     |            |                       |
| C                              | 0.01-50%    | S                              | 0.01-50%   |                               |            |     |            | ME-MS42<br>Aqua regia |
|                                |             |                                |            |                               |            |     |            | ME-IR08               |

## Partie 1 - Méthodes d'analyse des éléments traces Méthodes de dissolution

### Fusion

Digestion complète

#### *Li-métaborate*

- 1050°C
- Digestion efficace même des mx résistants
- Perte des volatils

#### *Na-peroxyde*

- 480-650°C
- REE, Sc, Y, HFSE
- Récupération basse Sn, Sb, Tl (50%)

Totland et al. 1992; Yu et al. 2001

### Acides

Digestion partielle

#### *Aqua Regia*

- Dissolution partielle
- Sulfures, oxydes
- Pas de perte de volatils

#### *HF-HClO<sub>4</sub>-HNO<sub>3</sub>-HCl*

- Dissolution quasi complète
- Pb avec zircon, chromite, barite...
- Perte de certains volatils (F<sup>-</sup>)

Open vessel



Bomb reaction vessel



## Partie 1 - Méthodes d'analyse des éléments traces

### Méthodes de dissolution

#### Fusion

Digestion complète

##### *Li-métaborate*

- 1050°C
- Digestion efficace même des mx résistants
- Perte des volatils

##### *Na-peroxyde*

- 480-650°C
- REE, Sc, Y, HFSE
- Récupération basse Sn, Sb, Tl (50%)

#### Acides

Digestion partielle

##### *Aqua Regia*

- Dissolution partielle
- Sulfures, oxydes
- Pas de perte de volatils

##### *HF-HClO<sub>4</sub>-HNO<sub>3</sub>-HCl*

- Dissolution quasi complète
- Pb avec zircon, chromite, barite...
- Perte de certains volatils (F<sup>-</sup>)

#### Micro-onde

##### *Micro-onde*

- Problème avec mx résistants (Zr, Hf...)
- Récupération souvent <80%



Totland et al. 1992; Yu et al. 2001

## Partie 1 - Méthodes d'analyse des éléments traces

### Méthode alternative ? – Activation neutronique

- Forfaits multi-méthodes
- INAA, analyses en ppb/ppm, sans mise en solution!
- Interférences

Irradiation dans un réacteur nucléaire.  
Mesure du rayonnement gamma émis.

|  |    |  |     |     |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |    |    |    |    |
|--|----|--|-----|-----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|----|----|----|----|
| 1  |    |  |     |     |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |    | 2  |    |    |
| H  |    |  |     |     |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |    | He |    |    |
| 3  | 4  | Irradiation dans un réacteur nucléaire.<br>Mesure du rayonnement gamma émis. |     |     |    |    |    |    |    |    |    |     |     | 5   | 6   | 7  | 8  | 9  | 10 |
| Li   | Be |  |     |     |    |    |    |    |    |    |    |     |     | B   | C   | N  | O  | F  | Ne |
| 11   | 12 |  |     |     |    |    |    |    |    |    |    |     |     | 13  | 14  | 15 | 16 | 17 | 18 |
| Na   | Mg |  |     |     |    |    |    |    |    |    |    |     |     | Al  | Si  | P  | S  | Cl | Ar |
| 19   | 20 | 21   | 22  | 23  | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31  | 32  | 33  | 34  | 35 | 36 |    |    |
| K  | Ca | Sc   | Ti  | V   | Cr | Mn | Fe | Co | Ni | Cu | Zn | Ga  | Ge  | As  | Se  | Br | Kr |    |    |
| 37   | 38 | 39   | 40  | 41  | 42 | 43 | 44 | 45 | 46 | 47 | 48 | 49  | 50  | 51  | 52  | 53 | 54 |    |    |
| Rb   | Sr | Y  | Zr  | Nb  | Mo | Tc | Ru | Rh | Pd | Ag | Cd | In  | Sn  | Sb  | Te  | I  | Xe |    |    |
| 55   | 56 | 57   | 72  | 73  | 74 | 75 | 76 | 77 | 78 | 79 | 80 | 81  | 82  | 83  | 84  | 85 | 86 |    |    |
| Cs   | Ba | <sup>1</sup> La  | Hf  | Ta  | W  | Re | Os | Ir | Pt | Au | Hg | Tl  | Pb  | Bi  | Po  | At | Rn |    |    |
| 87   | 88 | 89   | 104 | 105 |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |    |    |    |    |
| Fr   | Ra | <sup>2</sup> Ac  | Rf  | Db  |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |    |    |    |    |
| <sup>1</sup> Lanthanide  |    | 58   | 59  | 60  | 61 | 62 | 63 | 64 | 65 | 66 | 67 | 68  | 69  | 70  | 71  |    |    |    |    |
|  |    | Ce   | Pr  | Nd  | Pm | Sm | Eu | Gd | Tb | Dy | Ho | Er  | Tm  | Yb  | Lu  |    |    |    |    |
| <sup>2</sup> Actinide series   |    | 90   | 91  | 92  | 93 | 94 | 95 | 96 | 97 | 98 | 99 | 100 | 101 | 102 | 103 |    |    |    |    |
|  |    | Th   | Pa  | U   | Np | Pu | Am | Cm | Bk | Cf | Es | Fm  | Md  | No  | Lr  |    |    |    |    |
| No n-gamma radioactive isotopes  |    |  |     |     |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |    |    |    |    |
| Radioactive isotopes can be produced. Limitation is short half-life or flux energy |    |  |     |     |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |    |    |    |    |
| Elements routinely determined by INAA ~205   |    |  |     |     |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |    |    |    |    |

14

## Partie 1 - Méthodes d'analyse des éléments traces

### Méthode alternative ?

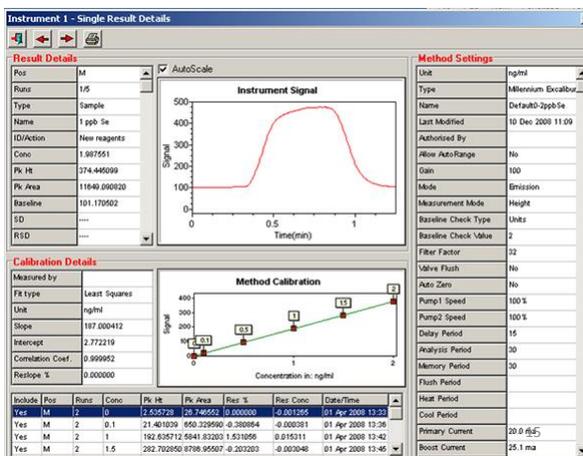
### Spectrométrie par Fluorescence Atomique

- Analyse de As, Se, Sb, Bi, Te (ppt)

PSA 10.055 Millennium Excalibur



<http://www.psanalytical.com/>



## Partie 1 - Méthodes d'analyse des éléments traces

### Recommandations

- Choix de la méthode de dissolution et d'analyse sont des paramètres importants pour la qualité de vos données
  - Identifier les limites de détection nécessaires
    - (ex: Ge, LD 5 ppm par fusion + ICP-MS)
  - Perte des volatiles (ex: fusion, 4 acides)
- Ne pas hésiter à contacter les analystes!

16

## Partie 2 - Éléments traces d'intérêts pour l'exploration

### Méthodologie et objectifs

- Identifier des éléments traces d'intérêts
  - Documentation et compilation de la répartition des éléments traces dans différents contextes métallogéniques hydrothermaux:
    - Porphyres
    - Or orogénique
    - SMV
    - Sedex
  - Documentation du comportement géochimique
  - Associations métalliques
  - Définir des seuils anormaux pour chaque élément
- Charte des éléments traces utiles en exploration

17

## Partie 2 - Éléments traces d'intérêts pour l'exploration

### Éléments traces dans les roches fraîches

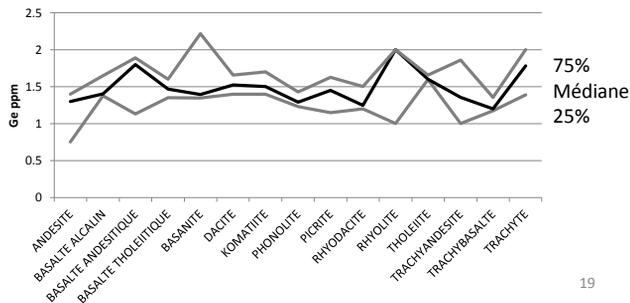
- Utilisation des roches fraîches du GEOROC
- Banque de données du projet 2012-05
  
- 30 éléments:
  - Sc, V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, As, Se, Rb, Sr, Mo, Ag, Cd, In, Sn, Sb, Cs, Ba, W, Au, Hg, Tl, Pb, Bi, Th, U

18

## Partie 2 - Éléments traces d'intérêts pour l'exploration Exemple du Ge

| GE(PPM)             | Level | #  | Mean | Std Dev | Std Err |           |           |         |      |      |        |      |      |         |
|---------------------|-------|----|------|---------|---------|-----------|-----------|---------|------|------|--------|------|------|---------|
|                     |       |    |      |         | Mean    | Lower 95% | Upper 95% | Minimum | 10%  | 25%  | Median | 75%  | 90%  | Maximum |
| ANDESITE            |       | 42 | 1.17 | 0.46    | 0.07    | 1.03      | 1.32      | 0.00    | 0.58 | 0.75 | 1.30   | 1.40 | 1.90 | 1.95    |
| BASALTE ALCALIN     |       | 32 | 1.60 | 0.41    | 0.07    | 1.46      | 1.75      | 1.31    | 1.35 | 1.37 | 1.40   | 1.65 | 2.25 | 3.00    |
| BASALTE ANDESITIQUE |       | 3  | 1.61 | 0.42    | 0.24    | 0.58      | 2.64      | 1.13    | 1.13 | 1.13 | 1.80   | 1.89 | 1.89 | 1.89    |
| BASALTE THOLEITIQUE |       | 26 | 1.49 | 0.32    | 0.06    | 1.36      | 1.61      | 0.90    | 1.17 | 1.35 | 1.47   | 1.60 | 1.73 | 2.75    |
| BASANITE            |       | 16 | 1.79 | 0.78    | 0.20    | 1.38      | 2.21      | 1.13    | 1.21 | 1.35 | 1.39   | 2.22 | 3.38 | 3.44    |
| DACITE              |       | 32 | 1.50 | 0.50    | 0.09    | 1.32      | 1.67      | 0.00    | 0.94 | 1.40 | 1.53   | 1.66 | 1.77 | 3.38    |
| KOMATIITE           |       | 35 | 1.55 | 0.27    | 0.05    | 1.45      | 1.64      | 1.10    | 1.20 | 1.40 | 1.50   | 1.70 | 1.90 | 2.30    |
| PHONOILITE          |       | 7  | 1.31 | 0.15    | 0.06    | 1.17      | 1.45      | 1.06    | 1.06 | 1.23 | 1.29   | 1.43 | 1.51 | 1.51    |
| PICRITE             |       | 10 | 1.40 | 0.32    | 0.10    | 1.17      | 1.63      | 0.90    | 0.91 | 1.15 | 1.45   | 1.63 | 1.88 | 1.90    |
| RHYODACITE          |       | 13 | 1.33 | 0.26    | 0.07    | 1.17      | 1.49      | 0.90    | 1.00 | 1.20 | 1.25   | 1.50 | 1.82 | 1.90    |
| RHYOLITE            |       | 24 | 1.61 | 0.73    | 0.15    | 1.30      | 1.91      | 1.10    | 0.56 | 1.00 | 2.00   | 2.00 | 2.40 | 3.00    |
| THOLEIITE           |       | 9  | 1.60 | 0.08    | 0.03    | 1.54      | 1.67      | 1.40    | 1.40 | 1.59 | 1.60   | 1.66 | 1.70 | 1.70    |
| TRACHYANDESITE      |       | 4  | 1.41 | 0.47    | 0.24    | 0.65      | 2.16      | 1.00    | 1.00 | 1.00 | 1.36   | 1.86 | 1.91 | 1.91    |
| TRACHYBASALTE       |       | 6  | 1.24 | 0.10    | 0.04    | 1.13      | 1.35      | 1.10    | 1.10 | 1.18 | 1.20   | 1.35 | 1.37 | 1.37    |
| TRACHYTE            |       | 15 | 2.46 | 2.24    | 0.58    | 1.22      | 3.70      | 1.09    | 1.21 | 1.39 | 1.78   | 2.00 | 7.57 | 8.96    |

Roche volcanique  
 ou  
 sédimentaire non  
 altérée  
**1.3-1.6 ppm**



19

## Partie 2 - Éléments traces d'intérêts pour l'exploration Éléments mobiles

– Éléments mobiles: Vecteur de l'altération

- Associés à des minéraux d'altérations ou à des minéralisations

20

Partie 2 - Éléments traces d'intérêts pour l'exploration

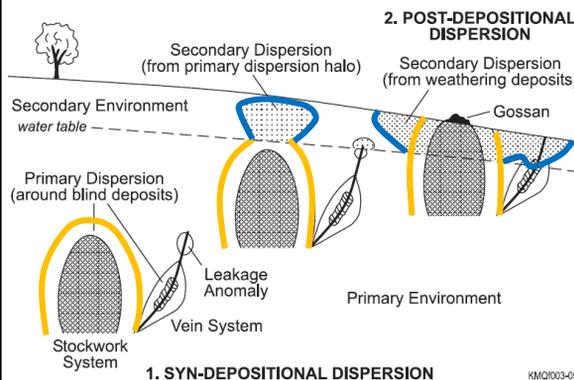
## Éléments « volatils »

- Pas des volatils au sens strict du terme
- Volatilité: capacité d'un élément à se vaporiser
  - Éléments qui présentent un point d'ébullition relativement bas
  - Transport sous forme de vapeur
- Éléments qui sous certaines conditions vont être dispersés au-delà des zones minéralisées, voire même altérées.
- + potentiel de dispersion dans l'environnement secondaire!

21

Partie 2 - Éléments traces d'intérêts pour l'exploration

## Éléments volatils: éléments indicateurs à fort potentiel



- Dans différents contextes métallogéniques (hydrothermaux)

- ... mais aussi les plus difficiles à analyser

Figure 3. The generalized occurrence and possible relationships between primary and secondary geochemical dispersion patterns around ore deposits.

McQueen, 2005

22

## Partie 2 - Éléments traces d'intérêts pour l'exploration

### Cas d'études

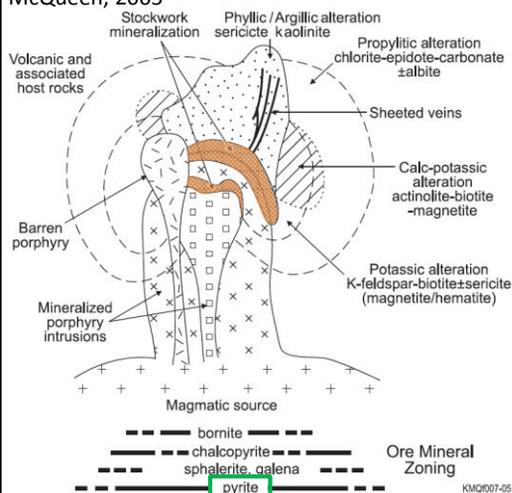
- Porphyriques
- Or orogénique
- SEDEX
- SMV

23

## Partie 2 - Éléments traces d'intérêts pour l'exploration

### Gisements porphyriques

McQueen, 2005



**As-Hg-Li-Sb-Te-  
 Tl-Zn**

**Sulfures  
 Chlorite et séricite**

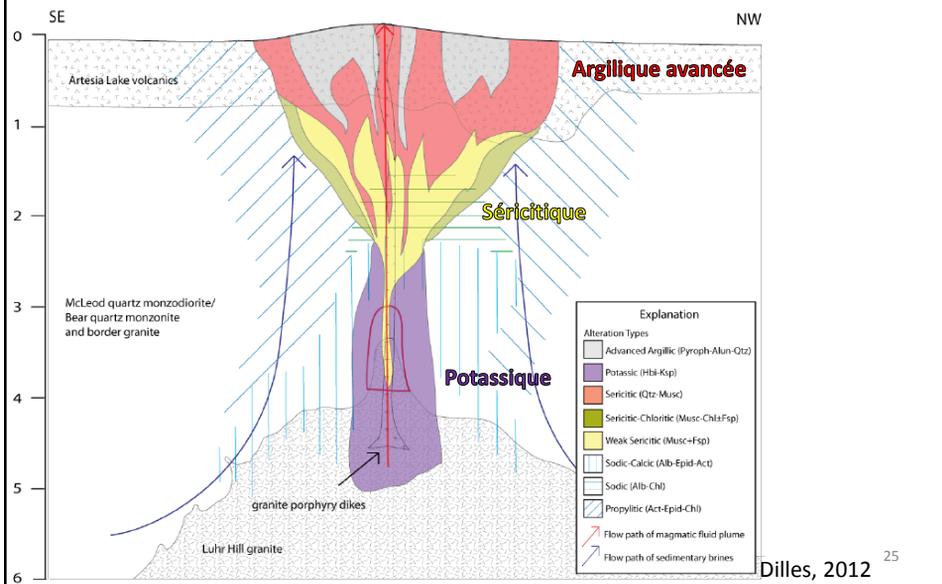
Figure 7. Summary of spatial and temporal wall rock alteration patterns around porphyry copper-gold systems, also showing key alteration minerals and distribution of major sulphides in the mineralized stockwork (adapted from Wilson et al., 2003; Corbett, 2004).

Olade et Fletcher, 1976; Dilles, 2012;  
 Halley et al. 2015

24

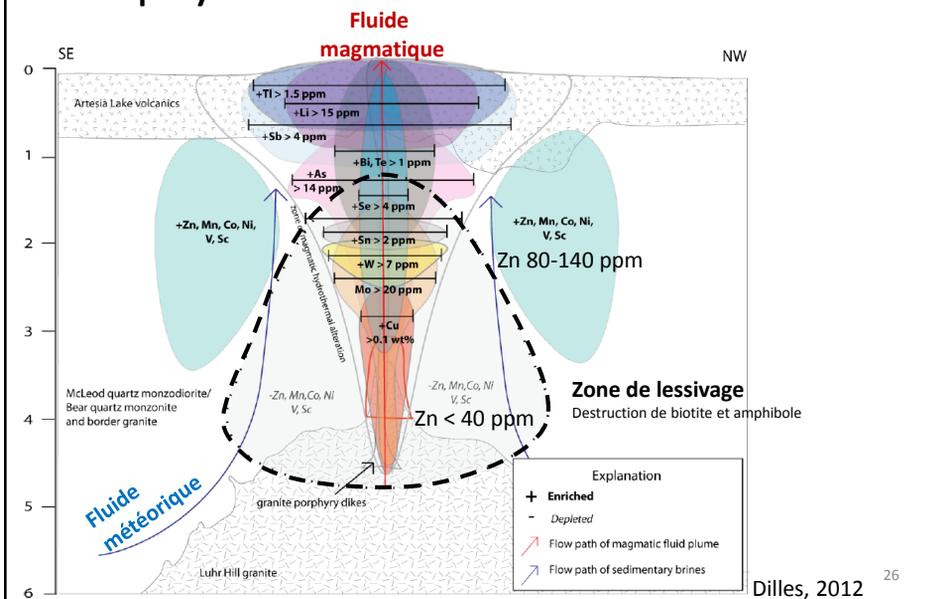
Partie 2 - Éléments traces d'intérêts pour l'exploration

Ann-Mason deposit, Yerington, Nevada

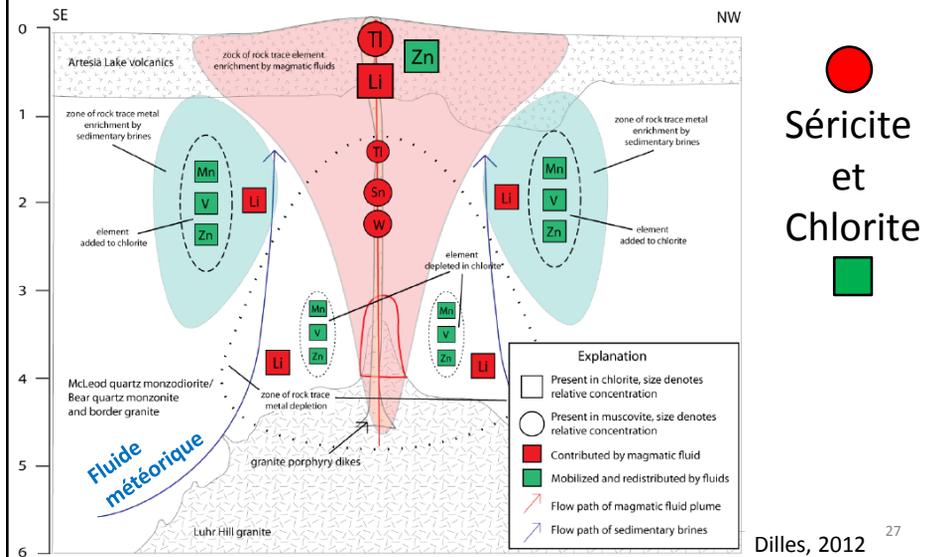


Partie 2 - Éléments traces d'intérêts pour l'exploration

Porphyres: Zonalité en éléments traces



## Partie 2 - Éléments traces d'intérêts pour l'exploration Minéraux hôtes des éléments traces



●  
Séricite  
et  
Chlorite  
■

## Partie 2 - Éléments traces d'intérêts pour l'exploration

**TABLE 1. Typical Pathfinder Elemental Ranges (ppm)** Halley et al, 2015 – SEG Newsletter

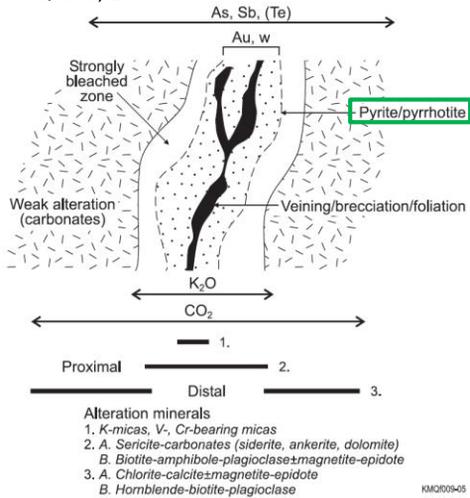
| Metal | Average crust abundance <sup>1</sup> | Potassic | Deep sericitic | Shallow sericitic   |
|-------|--------------------------------------|----------|----------------|---------------------|
| Cu    | 75                                   | >200-ore | 100            | 50                  |
| Mo    | 1                                    | 0.5-ore  | 2-20           | 0.5-5               |
| Sn    | 2.5                                  | 0.5-10   | 2-30           | bkgd                |
| W     | 1                                    | bkgd     | 2-20           | 0.5-5               |
| Mn    | 1,400                                | <bkgd    | 1,000-5,000    | 400-1,000           |
| Zn    | 80                                   | <bkgd    | 200-1,000      | 10-100              |
| Pb    | 8                                    | 50       | 200-1,000      | 10-100 <sup>2</sup> |
| Ag    | 0.08                                 | 0.5-3    | 1-50           | 1-10 <sup>2</sup>   |
| Ni    | 20                                   | <bkgd    | bkgd-30        | <bkgd               |
| Co    | 10                                   | <bkgd    | bkgd-20        | <bkgd               |
| Se    | 0.05                                 | 5-20     | 1              | 1                   |
| Te    | 0.001                                | 0.1      | 1-5            | 0.1-1               |
| Bi    | 0.06                                 | 0.05     | 1-10           | 0.05-1              |
| As    | 1                                    | <bkgd    | 10-50          | 50-1,000            |
| Sb    | 0.2                                  | <bkgd    | 1-3            | 3-100               |
| Li    | 13                                   | <bkgd    | <bkgd          | 15-50               |
| Tl    | 0.36                                 | 0.2      | 0.2            | 1-50                |
| Hg    | 0.08                                 | 0.05     | 0.05           | 0.2-10              |
| Cs    | 1                                    | <bkgd    | 1-10           | 1-20                |

<sup>1</sup>Background concentration (bkgd) varies by rock unit; this is the average crustal abundance (Ni and Co = average upper crust; Taylor and McLennan, 1985); alteration zones are potassic from ore zone, deep sericitic above ore zone, and shallow sericitic and associated advanced argillic near surface

<sup>2</sup>Alunite is commonly enriched in Pb, Ag, Ba, and Sr in advanced argillic alteration

## Partie 2 - Éléments traces d'intérêts pour l'exploration Gisements orogéniques

McQueen, 2005



**Au-As-Sb-W-Bi-Te**

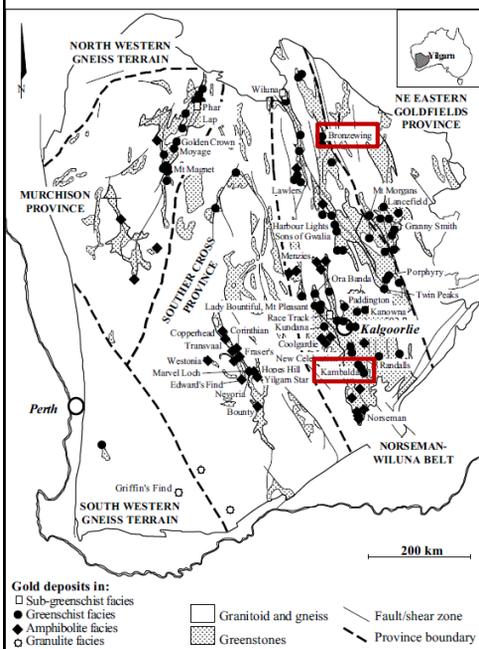
**Sulfures  
 Carbonates-Quartz**

Kerrich, 1983; Colvine et al. 1988; Perring et al. 1990; Nurmi et al. 1991; Goldfarb et al. 1997; Eilu et Mickucki, 1998; Eilu et Groves 2001, Wang et al. 2013

Figure 9. Typical alteration patterns and element zonation around Archean greenstone hosted orogenic gold deposits in mafic rocks. A and B are key assemblages in low- and high-grade metamorphic terrains respectively (adapted from Yeats and Vanderhor, 1998).

29

## Partie 2 - Éléments traces d'intérêts pour l'exploration



Eilu et Groves, 2001

Exemple du Yilgarn

30

## Partie 2 - Éléments traces d'intérêts pour l'exploration Facteurs d'enrichissements dans les roches encaissantes

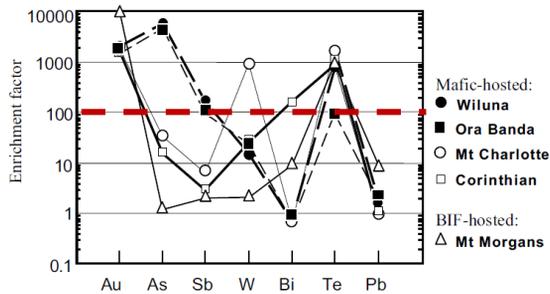


Fig. 4. Trace-element enrichment factors for selected orogenic Au deposits of the Yilgarn Craton, Australia. The enrichment factors are produced by the standard method where  $EF = C_{ore} / C_{host\ rock}$  (e.g. Kerrich 1983). Data from Perring *et al.* (1990) and Kelly (1998).

- Dans les shales noirs, facteur d'enrichissement est beaucoup plus faible (2 à 100)

Eilu et Groves, 2001

31

## Partie 2 - Éléments traces d'intérêts pour l'exploration Éléments traces dans les systèmes orogéniques Zonalité latérale

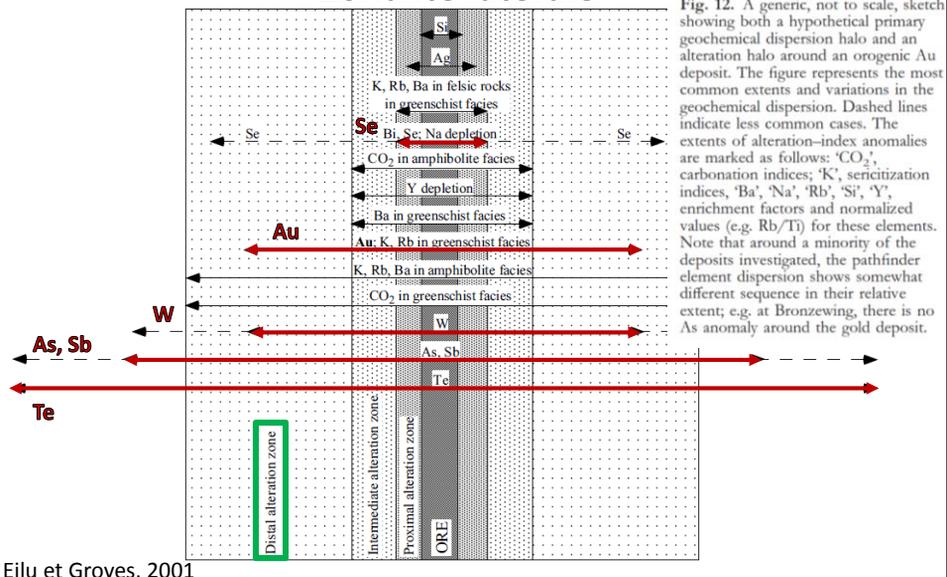


Fig. 12. A generic, not to scale, sketch showing both a hypothetical primary geochemical dispersion halo and an alteration halo around an orogenic Au deposit. The figure represents the most common extents and variations in the geochemical dispersion. Dashed lines indicate less common cases. The extents of alteration-index anomalies are marked as follows: 'CO<sub>2</sub>', carbonation indices; 'K', sericitization indices; 'Ba', 'Na', 'Rb', 'Si', 'Y', enrichment factors and normalized values (e.g. Rb/Ti) for these elements. Note that around a minority of the deposits investigated, the pathfinder element dispersion shows somewhat different sequence in their relative extent; e.g. at Bronzewing, there is no As anomaly around the gold deposit.

Eilu et Groves, 2001

## Partie 2 - Éléments traces d'intérêts pour l'exploration Éléments traces dans les systèmes orogéniques

Table 6. Extent of the primary geochemical dispersion defined by Au and potential pathfinder elements laterally away from ore, in metres

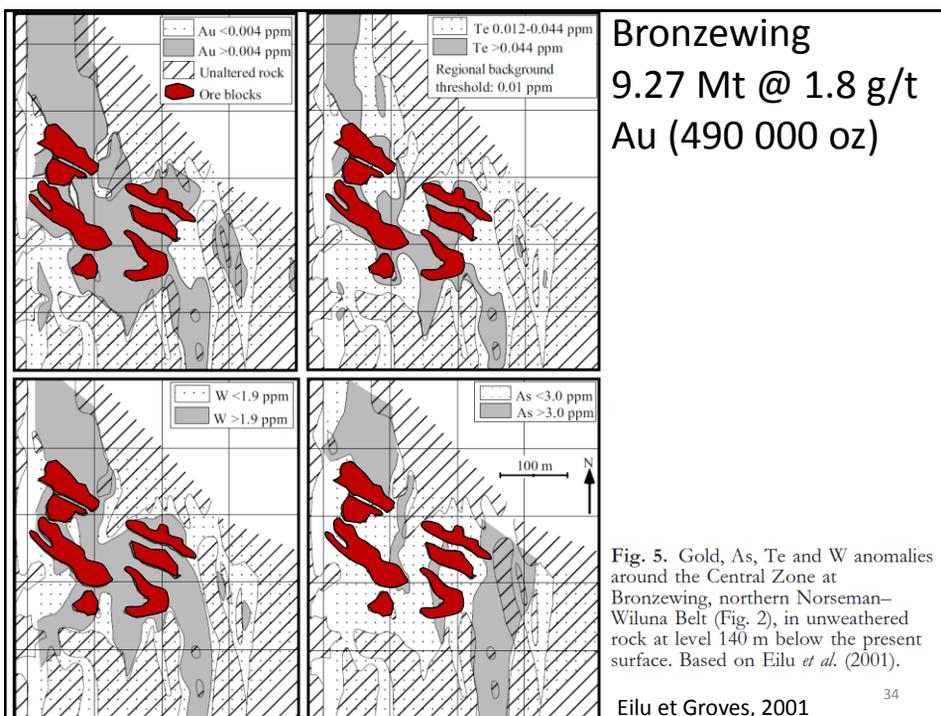
|                                  | Granny Deeps |                        | Twin Peaks        | Bulletin        | Kings Cross | Bronzewing    | Moyagee    |
|----------------------------------|--------------|------------------------|-------------------|-----------------|-------------|---------------|------------|
|                                  | Granodiorite | Sedimentary rocks      | Sedimentary rocks | Basalt          | Basalt      | Basalt        | Komatite   |
| Au                               | 25-70        | 5-30                   | 0-10              | 5-20            | 5           | >80           | 10-35      |
| Ag                               | 0            | 0                      | 0-20              | 0-10            | 0           | >40           | 0-20       |
| As                               | 0            | 0-5                    | 20-100            | >150            | >50         | 0             | 20-50      |
| Bi                               | 0            | 0                      | 0                 | 0               | 0           | 0-10          |            |
| Sb                               | 0            | 0-5                    | 0                 | >150            | 0-20        | >100          | 1-20       |
| Se                               | 0            | 0                      | 0                 | 0               | 0-3         |               | 5-50       |
| Te                               | 2-60         | 1-30                   | 0                 | 10->150         | >90         | >200          | >80        |
| W                                | 1-60         | 3-30                   | 5-30              | 5-25            | 0-5         | >70           | 10->80     |
| Max. lateral extent <sup>1</sup> | 70 m (Au)    | 30 m (Au) <sup>3</sup> | 100 m (As)        | >150 m (As, Sb) | >90 m (Te)  | >200 m (Te)   | >80 m (Te) |
| Into unaltered <sup>2</sup>      | Au, Te, W    | Au, As, W              | Au, As, W         | As, Sb, Te      | As, Sb, Te  | Au, Sb, Te, W | Te, W      |

<sup>1</sup>Maximum lateral extent of dispersion from ore; the elements defining the most extensive anomalies are indicated in brackets. <sup>2</sup>Anomaly extends, at least locally, into area of unaltered rock. <sup>3</sup>Note that, in the sedimentary host at Granny Deeps, Ca and CO<sub>2</sub> enrichments have a wider extent than that of Au (see Table 8). The sign larger than (>) indicates that the anomaly extends beyond the area accessible for continuous sampling of unweathered rock. A blank cell indicates that the element is not significantly enriched in the gold mineralization. Source of data as in Table 5.

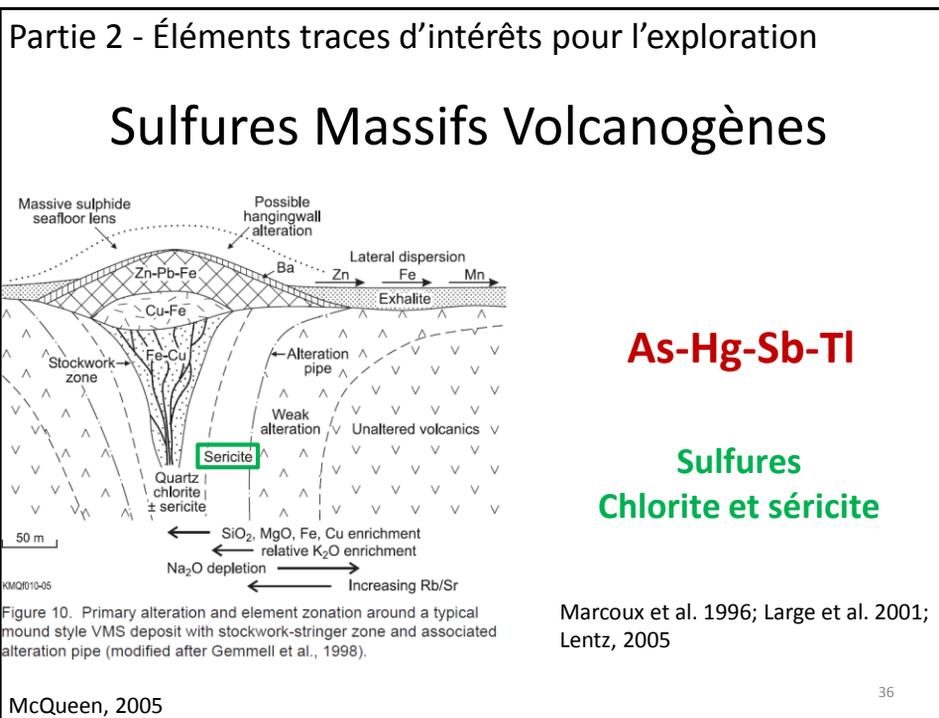
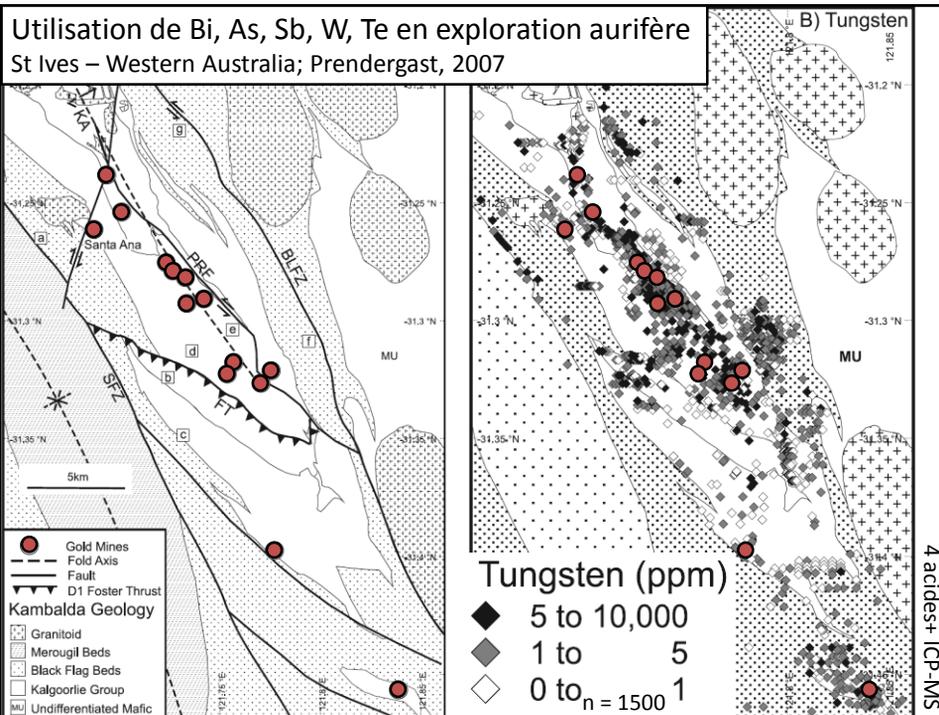
### As-Au-Sb-Te-W

Eilu et Groves, 2001

33



34



## Partie 2 - Éléments traces d'intérêts pour l'exploration

# Éléments traces dans les SMV

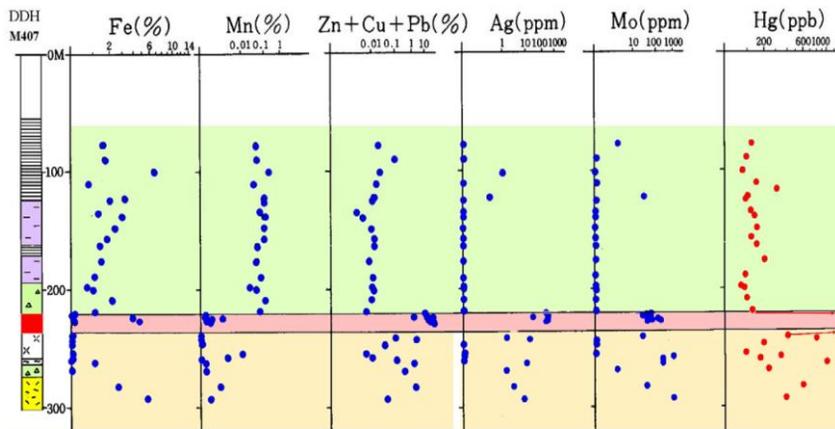
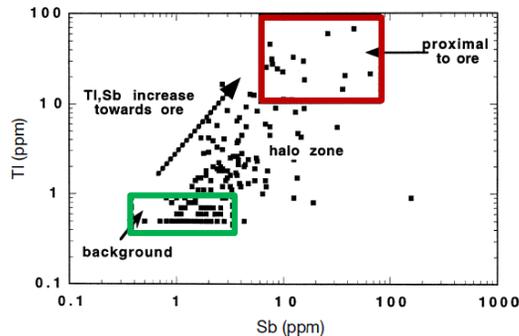


Fig. 2. Geochemical profiles for Fe, Mn, base-metals, Ag, Mo, and Hg in drill hole M407 through the hanging wall and into the footwall of the Uwamuki First deposit, Japan (modified after Tono, 1974).

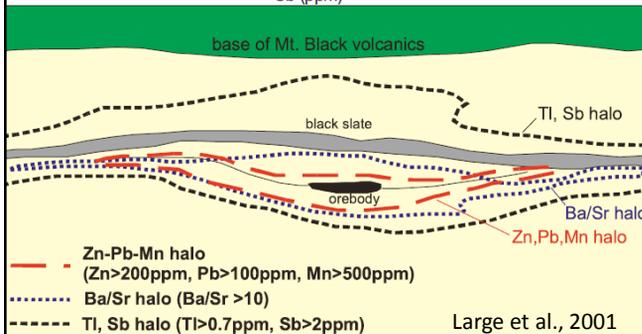
Lentz, 2005

37

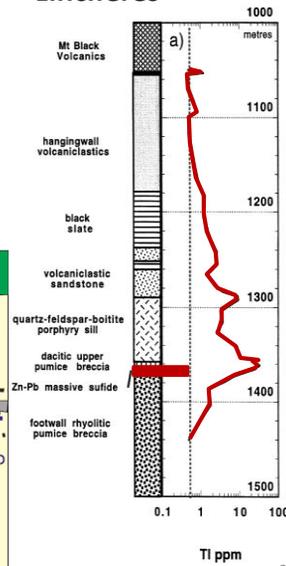
## Partie 2 - Éléments traces d'intérêts pour l'exploration



### Affinité TI-Sb et gisements zincifères



Large et al., 2001



38

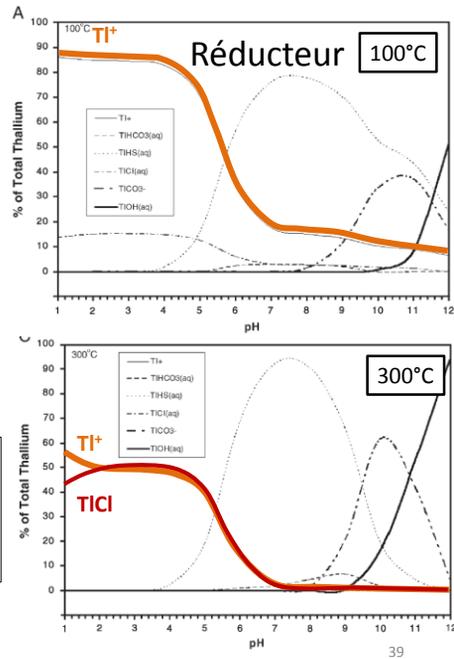
Partie 2 - Éléments traces d'intérêts pour l'exploration

**Solubilité du Tl**

- Lessivage roche >250°C
- Précipitation par neutralisation des fluides (mélange avec eau de mer)

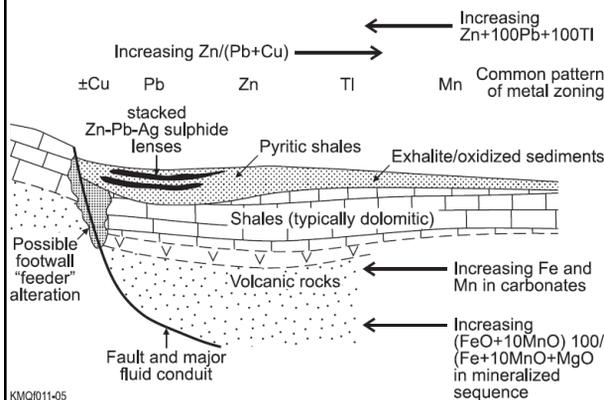
Conditions identiques au transport et à la précipitation du zinc!

Xiong, 2007



Partie 2 - Éléments traces d'intérêts pour l'exploration

**SEDEX**



**As-Ge-Sb-Tl**

**Sulfures  
Quartz**

Figure 11. Some major features and common element zoning of SEDEX deposits (based on Large and McGoldrick, 1998; McGoldrick and Large, 1998).

Slack et al. 2004; Graham et al. 2004

McQueen, 2005

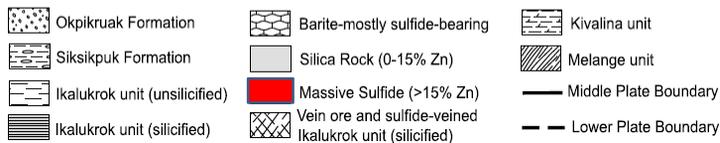
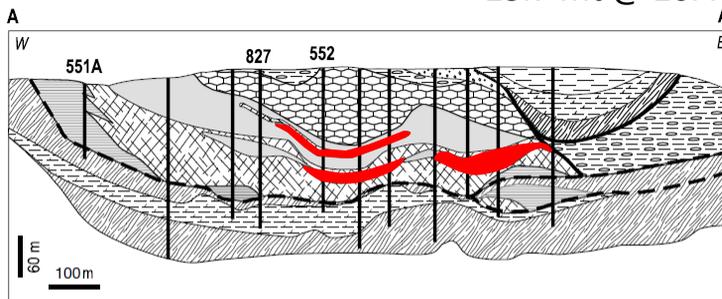
40

Partie 2 - Éléments traces d'intérêts pour l'exploration

Seuils de concentrations et exemples

Red Dog, Alaska

1989 à 2001  
 25.7 Mt @ 20.4% Zn, 5.5% Pb



Slack et al. 2004

Fusion lithium métaborate/tétraborate + ICP-MS

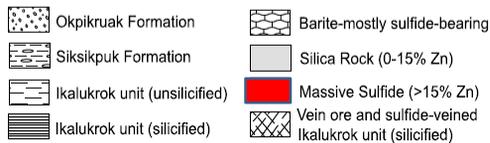
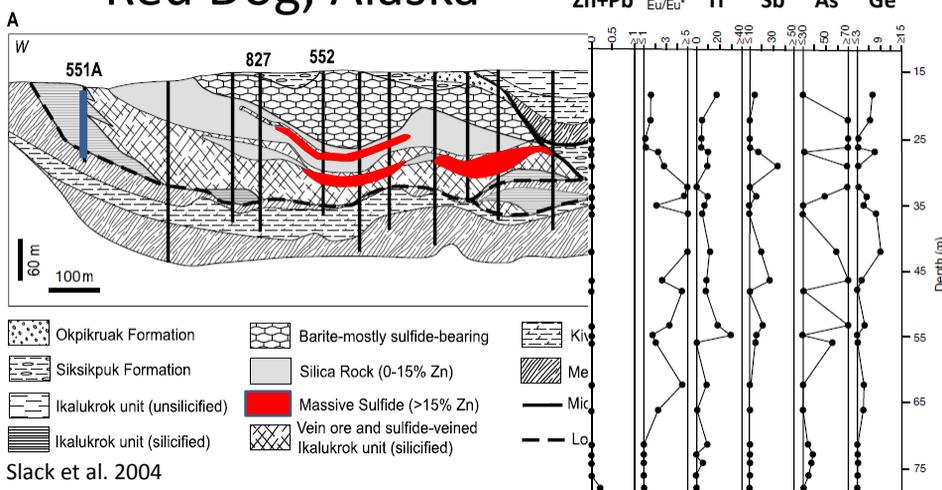
41

Partie 2 - Éléments traces d'intérêts pour l'exploration

Seuils de concentrations et exemples

Red Dog, Alaska

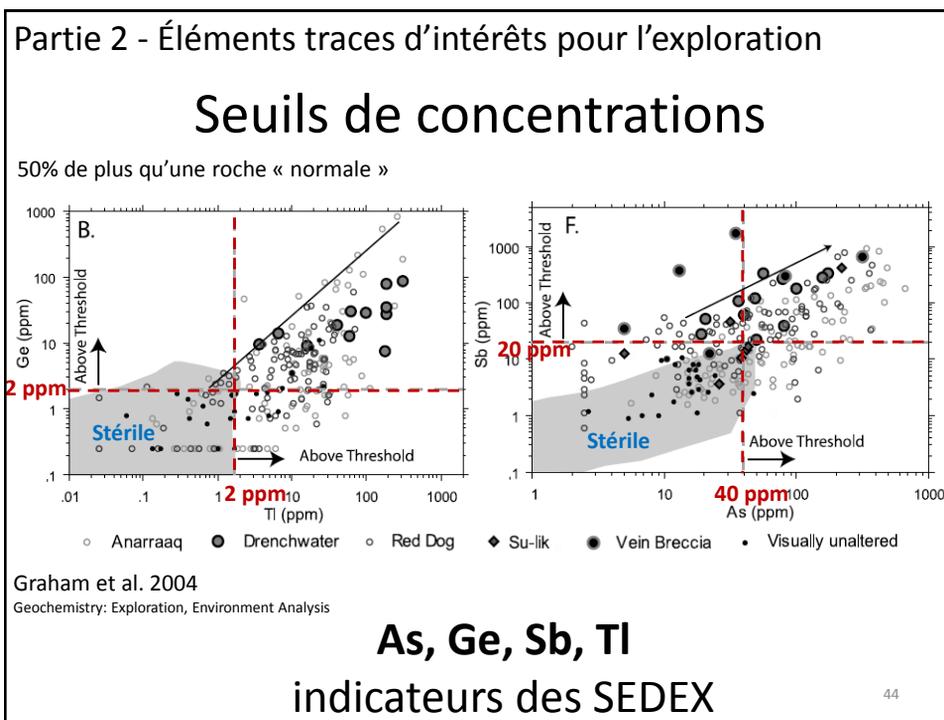
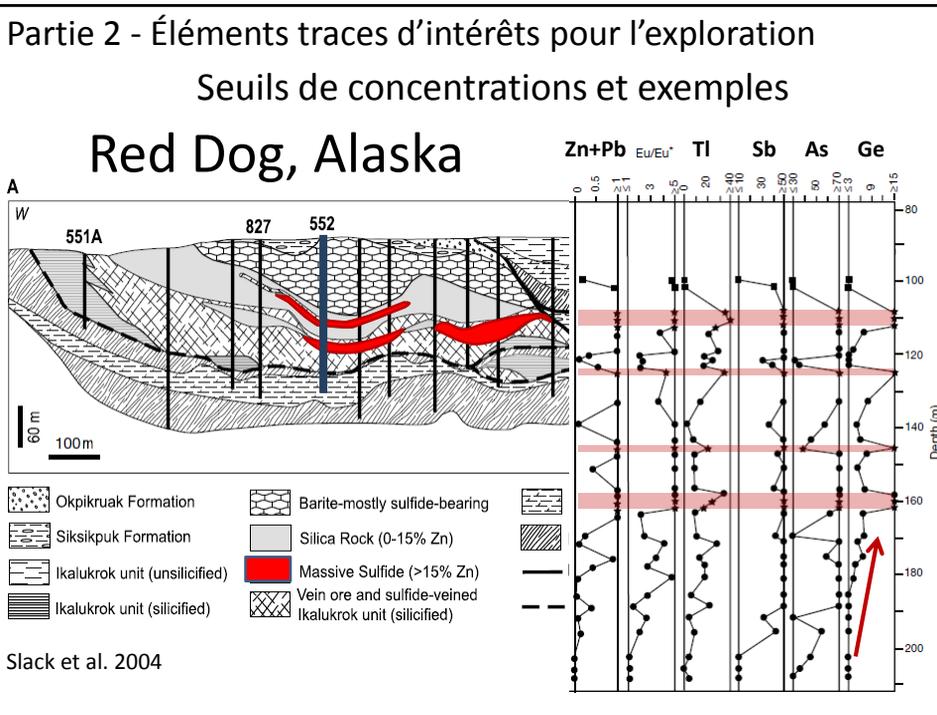
3.5ppm  
 >250%



Slack et al. 2004

Fusion lithium métaborate/tétraborate + ICP-MS

42



## Faits saillants du projet – Valeurs de référence

|                             |                      | Ge                  | As                | Se     | Sn                  | Sb                | Hg                 | Tl                  | Pb                  |
|-----------------------------|----------------------|---------------------|-------------------|--------|---------------------|-------------------|--------------------|---------------------|---------------------|
| <b>Litho</b><br>Faure, 1998 | Ultramafique         | 1.3                 | 0.8               | 0.05   | 0.5                 | 0.1               | 0.01               | 0.04                | 0.5                 |
|                             | Mafique              | 1.4                 | 2.2               | 0.05   | 1.5                 | 0.6               | 0.09               | 0.21                | 7                   |
|                             | Felsique             | 1.3                 | 1.5 - 1.9         | 0.05   | 1.5 à 3             | 0.2               | 0.08               | 0.72 à 2.3          | 15 à 19             |
|                             | Shale                | 1.6                 | 13                | 0.6    | 6                   | 1.5               | 0.4                | 1.4                 | 20                  |
| <b>Porphyre</b>             | Potassique           | N.A.                | -                 | 5 à 20 | 0.5 à 10            | -                 | 0.05               | 0.2                 | 50                  |
|                             | Séricitique profonde |                     | 10 à 50           | 1      | 2 à 30              | 1 à 3             | 0.05               | 0.2                 | 200 à 1000          |
|                             | Séricitique surface  |                     | 50 à 1000         | 1      | -                   | 3 à 100           | 0.2 à 10           | 1 à 50              | 10 à 100            |
| <b>Or</b>                   | Granodiorite         | N.A.                | 5                 | 0.1    |                     | 0.9               |                    |                     |                     |
|                             | Basalte              |                     | 4 à 30            | 0.3    |                     | 0.9               |                    |                     |                     |
|                             | Sédiment             |                     | 6 à 40            |        |                     | 0.9               |                    |                     |                     |
|                             | Komatiite            |                     | 5                 | 0.15   |                     | 0.45              |                    |                     |                     |
| <b>VMS</b>                  |                      | 3                   | 300               | 10     | 10                  | 10                | 0.7                | 2                   | 75                  |
| <b>SEDEX</b>                |                      | 2                   | 40                |        |                     | 12                |                    | 1.5                 | 55                  |
| <b>Méthodes Analyses</b>    |                      | fusion ou 4A ICP-MS | INAA ou 4A ICP-MS | INAA   | fusion ou 4A ICP-MS | INAA ou 4A ICP-MS | Vapeur froide FIMS | fusion ou 4A ICP-MS | fusion ou 4A ICP-MS |

Certains éléments sont présents dans les halos d'altération de plusieurs types de minéralisations hydrothermales

Eilu et Groves, 2001; Large et al. 2001; Slack et al. 2004; Hannington 2005; Halley et al. 2015; etc.

45

## Recommandations

- Ajouter les éléments « volatils » à vos analyses. Attention aux méthodes
- Ajouter une colonne « méthodes d'analyse » et « méthodes dissolution » dans vos banques de données
- Ajouter des standards pour la lithogéochimie

46