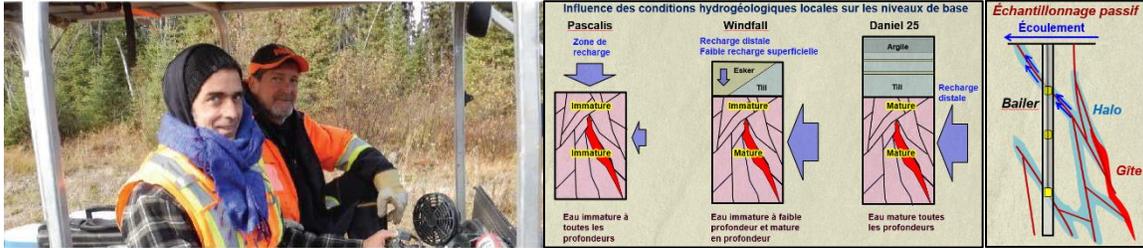


Projet 2019-06 : Hydrogéochimie souterraine appliquée à l'exploration minérale – Phase IV



Par *Silvain Rafini, géo., Ph.D. – CONSOREM*

Le CONSOREM a consacré depuis 2016 trois projets de recherche au développement d'une nouvelle méthode d'exploration minérale : l'hydrogéochimie souterraine. Ces trois phases ont été des études de cas sur quatre gisements représentatifs de l'Abitibi : deux gîtes zincifères de type sulfure massif volcanogène du camp de Matagami (Phelps Dodge 1 et Daniel 25), un gîte aurifère orogénique typique porté par des veines discrètes (Pascalis, camp de Val d'Or), et un gîte aurifère atypique (Windfall, ceinture de Urban Barry). Ces trois projets ont permis d'acquérir une base de données unique au monde sur la composition chimique complète (majeurs, traces et ultra-traces) de l'eau souterraine profonde dans l'environnement de corps minéralisés. Ils ont d'ores-et-déjà donné lieu à plusieurs conclusions majeures sur la validation de la méthode :

1. Aux contacts des quatre gîtes investigués, l'eau souterraine acquiert un bagage métallique anomal très marqué, depuis la subsurface (100^{es} de m) jusqu'aux niveaux très profonds (env. 1200 m) ;
2. Le transport de ces empreintes dans l'aquifère de roc fracturé produit des halos de forme variable et de grande dimension (env. 2 km), typiquement supérieure au signal accessible par l'analyse de carotte de sorte que plusieurs forages négatifs à l'analyse lithogéochimique se sont avérés positifs à l'analyse hydrogéochimique ;
3. L'empreinte hydrogéochimique des gîtes métallifères augmente en profondeur ;
4. Les tests expérimentaux ont permis d'établir des protocoles opératoires, d'échantillonnage et d'analyse valides dans les conditions de terrain nordique québécois.

Le mandat du projet 2019-06, la quatrième phase, était de poursuivre le développement de la méthode en approfondissant plusieurs aspects importants de son utilisation : connaissance des niveaux de bases et de leur variabilité naturelle, influence de la profondeur sur la formation de l'empreinte et sa composition, influence des conditions hydrostructurales et hydrostratigraphiques sur les paramètres d'acquisition et d'interprétation, analyse des fractionnements chimiques lors du transport, apport des indices géochimiques pour le marquage des minéralisations (indices de saturation, ratios d'éléments). Sur le plan méthodologique, un traitement approfondi des quatre jeux de données générés lors des phases d'acquisition a été réalisé, tandis que la modélisation géochimique a permis d'investiguer les mécanismes impliqués dans la formation des empreintes ainsi que leurs différents facteurs contrôlants.

Les principaux apports de cette étude sont les suivants.

1. La modélisation des équilibres géochimiques prédit un accroissement de la mobilité de Zn en profondeur, en lien avec les changements de composition chimique de l'eau (évolution inverse de Cl et P) lors du processus de salinisation continentale, c.a.d. la prolongation des échanges eau-roche. Ces résultats expliquent l'augmentation de l'intensité de l'empreinte en Zn observée à forte profondeur de façon particulièrement nette sur le gîte Daniel 25. Par ailleurs, les concentrations en Zn modélisées à l'équilibre avec la sphalérite dans une eau dont la composition évolue progressivement d'une eau immature peu profonde vers une saumure continentale, sont inférieures à celles mesurées, ce qui pourrait s'expliquer par la présence de Zn sous forme de nanoparticules non-réactives.
2. Une analyse méticuleuse des quatre jeux de données a permis d'identifier avec confiance une population *background*. Sur cette population statistique valable, les niveaux de base ont été établis pour l'ensemble des éléments ainsi que leur variabilité naturelle et leur évolution lors de la « maturation » (salinisation) de l'eau en profondeur. Ces valeurs fournissent des repères jusqu'alors inexistantes et particulièrement utiles à la détection des concentrations anormales (Figure 1).
3. L'analyse des empreintes par rapport à un niveau de base non-local a permis d'identifier quels éléments caractérisent les larges halos associés potentiellement à un environnement fertile. Il s'agit, pour le cas du gîte aurifère Windfall, du W et de l'indice Au régional $\sqrt[4]{Ag_{Std} \cdot Ce_{Std} \cdot La_{Std} \cdot W_{Std}}$. Le Sc est aussi remarquablement enrichi régionalement dans le secteur du gîte Daniel 25.
4. La comparaison des conditions hydrostratigraphiques et hydrostructurales des 4 sites investigués met en évidence les contrôles hydrogéologiques de premier ordre sur l'efficacité de la méthode : les conditions libre/captive de l'aquifère de roc ainsi que la distance de recharge influencent drastiquement le degré de maturité de l'eau à toutes les profondeurs, et par conséquent l'intensité de l'empreinte. Par ailleurs, les minéralisations très discrètes (gîtes Au) produisent des halos géométriquement plus discontinus et ségrégués dans les fractures directement connectées aux lentilles minéralisées en amont, du fait même des propriétés discontinues du milieu fracturé.
5. Un retour sur les mesures réalisées dans le secteur central de Windfall a permis de préciser les conditions d'utilisation de cette méthode en contexte d'exploration active. Il est observé que la zone d'influence hydraulique au voisinage de forages actifs est limitée à la portion supérieure du socle. En effet, tous les échantillons au contact des zones minéralisées à plus de 700 m de profondeur verticale montrent clairement une empreinte aurifère tandis que les autres ont une signature diluée voire absente.

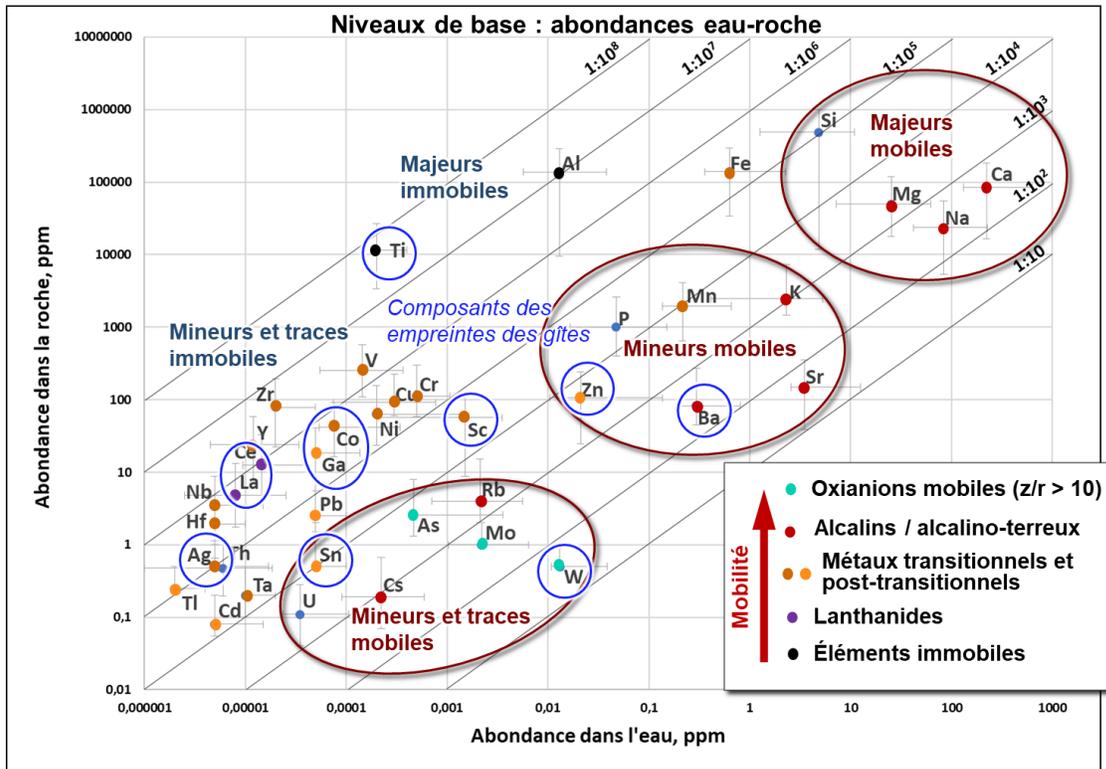


Figure 1. Abondance et mobilité d'éléments majeurs et traces dans la roche et l'eau en contexte d'enceaissant igné à dominante mafique-intermédiaires du secteur de Matagami (données Glencore, ce projet).

D'un point de vue pratique, ces résultats permettent de mieux comprendre les conditions optimales d'utilisation de cette méthode d'exploration : 1) les stratégies d'échantillonnage (mailles) doivent être adaptées aux caractéristiques géométriques typiques des gîtes explorés (discret vs continu) ; 2) la présence de forages actifs au voisinage n'est pas restrictive mais nécessite d'adapter les profondeurs d'échantillonnage ; 3) la détection est plus efficace à forte profondeur et/ou en présence d'une forte épaisseur de sédiments glaciaires.

En conclusion, l'ensemble des résultats permet de démontrer qu'il s'agit d'une méthode particulièrement indiquée et efficace pour l'exploration profonde et aveugle, tant à proximité de gîtes connus qu'en contextes peu explorés, autrement dit à tous les stades d'exploration.

FICHE SOMMAIRE

Objectifs

- ♦ Poursuivre le développement de la méthode d'exploration par l'hydrogéochimie souterraine
- ♦ Établir les conditions optimales d'utilisation de la méthode
- ♦ Déterminer les niveaux de bases élémentaires dans l'eau souterraine ainsi que leur variabilité géographique et en profondeur, par modélisation et par analyse statistique

Résultats

- ♦ Établissement d'une BD des niveaux de base pour l'ensemble des éléments analysés permettant de connaître leur variabilité et évolution en profondeur
- ♦ Meilleure compréhension des conditions optimales d'utilisation de cette méthode d'exploration ; avec ajustement des stratégies d'échantillonnage selon les conditions géologiques et hydrogéologiques, et selon le contexte d'exploration (forages actifs ou récents)
- ♦ Méthode particulièrement indiquée et efficace pour l'exploration profonde tant à proximité de gîtes connus qu'en contextes peu explorés

Innovations

- ♦ Nouvelle méthode d'exploration avec protocoles d'échantillonnage, d'analyse et d'interprétation validés dans les contextes de l'exploration sur le territoire québécois

Produits livrés

- ♦ 3 présentations
 - ♦ Rapport
 - ♦ Base de données des niveaux de base et coefficients d'évolution avec la salinisation continentale de l'eau en profondeur
-