

Marion Saby, Marie Larocque, Daniele L. Pinti et Florent Barbecot

GEOTOP et département des sciences de la Terre et de l'atmosphère, Université du Québec à Montréal

INTRODUCTION

La compréhension des processus impliqués dans la variation spatiale de la qualité des eaux souterraines est primordiale dans la gestion des ressources en eau souterraines.

Le but de ce projet est de déterminer la vulnérabilité des eaux souterraines face aux contaminants naturels tels le fluor, le baryum, le fer ou le manganèse.

Cette étude s'inscrit dans un programme plus global de caractérisation des sources et d'écoulements des eaux souterraines dans le bassin versant de la rivière Nicolet et dans la partie basse du bassin versant de la rivière Saint-François (Fig. 1).

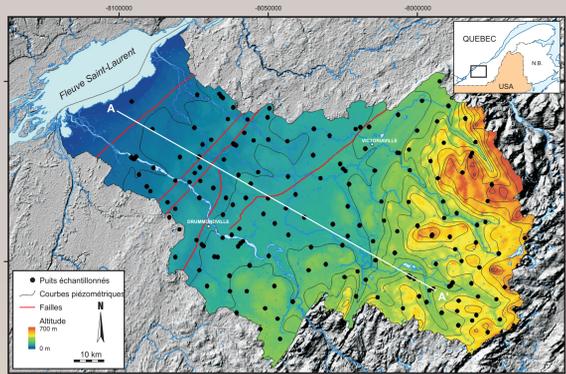


Figure 1 : Courbes piézométriques de la zone d'étude et puits échantillonnés

ZONE D'ÉTUDE

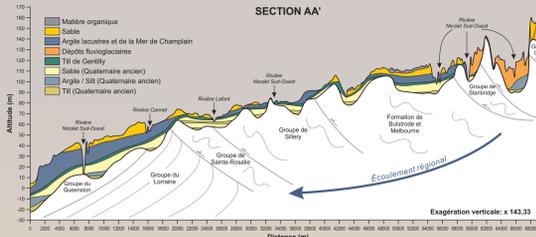


Figure 2 : Coupe régionale du bassin (Larocque et al., 2013)

La zone d'étude, d'une superficie de 4584 km², se situe à mi-chemin entre Montréal et Québec.

L'eau souterraine s'écoule régionalement depuis la zone de recharge dans les Appalaches vers le fleuve Saint-Laurent qui correspond à la principale zone de décharge.

La zone est divisée selon deux provinces géologiques, le piedmont des Appalaches dans la portion sud-ouest et la plate-forme du Saint-Laurent dans la portion basse au nord-ouest (Fig. 2).

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Durant l'été 2013, 192 puits ont été échantillonnés dans la zone d'étude (Fig. 1).

Les échantillons d'eau souterraine ont été analysés pour les éléments majeurs, mineurs et traces ainsi que pour le tritium (³H), le carbone-14 (¹⁴C) et les gaz rares.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Le but du travail était de regrouper les échantillons en considérant les éléments polluants tels que le fluor, le baryum, le fer et le manganèse en utilisant les outils statistiques.

1. Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) :

Le dendrogramme (Fig. 4) classe les échantillons dans un premier groupe en fonction des plus grandes similitudes. Ensuite, les échantillons restant sont traités de la même façon jusqu'à ce qu'ils aient tous été classés. Dans ce cas, le nombre de clusters a été défini à 7. Les contaminants sont associés à des types d'eau particuliers. Par exemple, le fer et le manganèse semblent reliés au groupe de l'eau Ca-HCO₃ quand le baryum et le fluor semblent liés au groupe Na-HCO₃.

Reportée sur le modèle 3D de terrain du bassin versant (Fig. 5), la distribution des différents clusters suit clairement la tendance suggérée précédemment selon laquelle l'eau de type Ca-HCO₃ représente une eau fraîche rechargée dans le piedmont des Appalaches et qui évolue graduellement vers une eau plus sodique en aval.

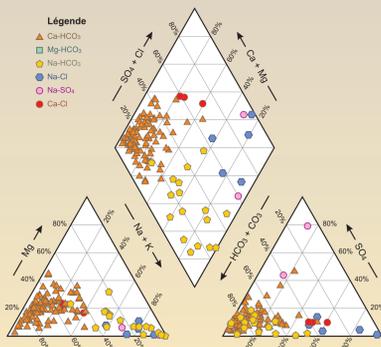


Figure 3 : Diagramme de Piper de la chimie des eaux souterraines

L'eau souterraine a pu être classée en 3 principaux groupes (Fig. 3) :

1. Le groupe Ca, Mg-HCO₃ qui correspond à de l'eau fraîche dans la partie libre de la zone de recharge.
2. Le groupe Na-HCO₃ caractéristique d'une eau plus évoluée avec un temps d'interaction eau-roche plus important où Ca²⁺ échange avec Na⁺ (e.g., Cloutier et al., 2010) et représentant les contextes semi-confinés à confinés.
3. Le groupe Na-Cl qui correspond à des eaux dont la salinité provient probablement de l'échange d'eau fraîche avec de l'eau de mer piégée dans les pores des argiles de la Mer de Champlain ou dans le roc fracturé. (Cloutier et al., 2010).

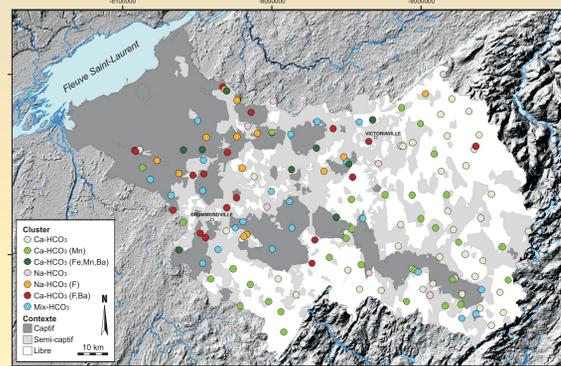


Figure 5 : Cartes des échantillons associés avec les groupes de la CAH et les contextes hydrogéologiques

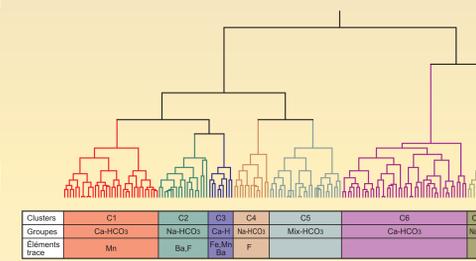


Figure 4 : Dendrogramme obtenu à partir de la CAH

2. Analyse en Composante Principale (ACP, Fig. 6) :

En utilisant les mêmes paramètres que la CAH, le premier facteur qui explique la plus grande variation de la composition géochimique de l'eau souterraine est la «salinité» composée des paramètres Na et Cl. Le deuxième facteur expliquant la variation de la composition de l'eau est la «dureté» représentée par le calcium et le magnésium.

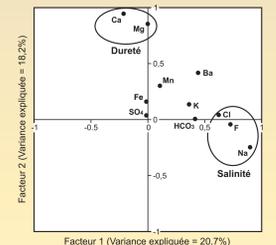


Figure 6 : Graphe des principaux facteurs responsables de la variation chimique de l'eau souterraine

QUALITÉ DES EAUX SOUTERRAINES

Les résultats montrent de nombreux excès en baryum, fluor, fer, manganèse, phosphore, nitrates et ammonium. Il semble que la plupart de ces excès se retrouvent dans la partie aval du bassin à l'exception des nitrates. Il est donc possible de conclure que le bassin versant de la zone NSF renferme à la fois des pollutions d'origine naturelle et anthropique et l'un des buts des travaux menés est de comprendre leur origine et leur évolution au cours du temps.

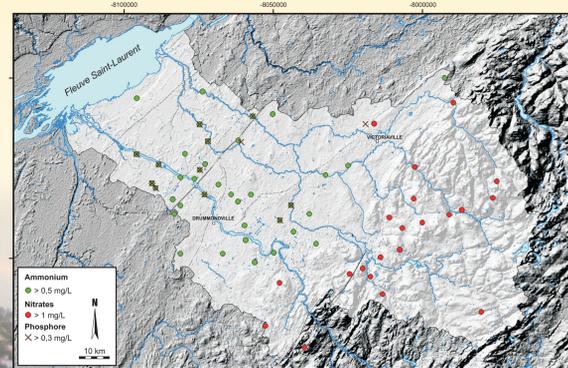


Figure 8 : Distribution du NO₃⁻, NH₄⁺ et P dans la zone d'étude

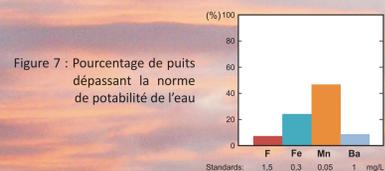


Figure 7 : Pourcentage de puits dépassant la norme de potabilité de l'eau

Les pollutions d'origine anthropique, bien que moins présentes dans les eaux souterraines, se retrouvent réparties distinctement géographiquement. On retrouve en aval principalement de l'azote ammoniacal ainsi que du phosphore alors que l'amont est plus touché par la présence de nitrates (Fig. 8). Les sources et évolutions de ces contaminants feront l'objet d'une étude plus poussée.

La qualité naturelle des eaux souterraines est un facteur très important dans toute étude de caractérisation. En effet, la connaissance du fond géochimique permet de différencier les anomalies d'origine anthropique et celles intrinsèques au milieu dans lequel l'eau circule (roche, sol, sédiment). Dans le cas de la zone NSF, des excès en fluor, baryum, fer et manganèse ont été détectés de façon importante, c'est pourquoi il a semblé nécessaire de comprendre les sources et les processus à l'origine de leur présence dans les eaux souterraines.

CAS D'ÉTUDE : LE FLUOR

Pour le moment, seule l'origine du fluor commence à être bien comprise. Il semble que la source primaire du fluor remonte à l'Ordovicien lorsque le rift du Saint-Laurent était actif et que les dépôts marins étaient en cours dans le bassin (Fig. 9). Les failles normales présentes le long du rift auraient permis la remontée de fluides riches en fluor (Carignan, 1990) et peut-être également en baryum, fer et manganèse, qui aurait été adsorbé par les argiles marines présentes dans le bassin de sédimentation par échange cationique entre F⁻ et OH⁻ (Hem, 1985).

Des millions d'années plus tard, la basification des eaux souterraines circulant à travers les roches (et donc l'augmentation de la concentration en ions OH⁻) entraîne une désorption du fluor des argiles et donc sa mise en solution (Fig. 10). C'est pour cela que l'on a tendance à en retrouver seulement dans la zone aval du bassin, zone où les eaux sont les plus minéralisées et donc les plus basiques.

Il semblerait que le baryum, le fer et le manganèse puissent avoir la même origine mais que les processus responsables de leur piégeage et de leur libération diffèrent. Ces travaux de recherche sont encore en cours actuellement.

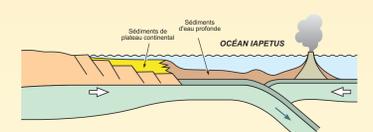


Figure 9 : Coupe schématisée de l'ouverture du rift à l'Ordovicien (modifiée de Bourque, 2010)

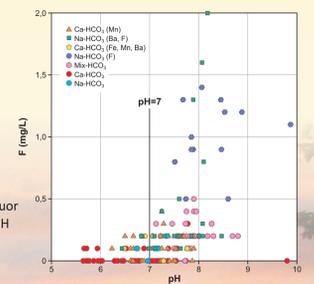


Figure 10 : Désorption du fluor en fonction du pH

CONCLUSION

Les premiers résultats montrent :

- Un écoulement régional allant de la partie amont, non confinée des Appalaches vers la partie aval des Basses-Terres du Saint-Laurent, confinée par les argiles de la Mer de Champlain.
- L'eau souterraine se charge progressivement en éléments dissous le long de la section d'écoulement avec des eaux caractéristiques du groupe Ca-HCO₃ en amont et des eaux du type Na-HCO₃ en aval du bassin.
- Deux familles de pollutions : celles d'origine anthropique comme les nitrates, phosphore, ammonium, et celles d'origine naturelle comme le baryum, le fluor ainsi que le fer et le manganèse.
- Les pollutions naturelles semblent plus étendues que celles d'origine anthropique sur la zone d'étude.

RÉFÉRENCES

Bourque, P.A., 2010. Planète Terre. Département de géologie et de génie géologique, Université Laval.

Carignan, J. 1990. Caractérisation isotopique (C, O, Sr, Pb) et genèse de filons épithermaux associés au rift du Saint-Laurent. Thèse de maîtrise, Université du Québec à Montréal.

Cloutier, V., Lefebvre, R., Therrien, R., Savard, M.M., 2008. Multivariate statistical analysis of geochemical data as indicative of the hydrogeochemical evolution of groundwater in a sedimentary rock aquifer system. Journal of Hydrology, 353, 294-313.

Cloutier, V., Lefebvre, R., Therrien, R., Savard, M.M., 2010. Desalination of a sedimentary rock aquifer system invaded by Pleistocene Champlain Sea water and processes controlling groundwater geochemistry. Environmental Earth Science, 59, 977-994.

Hem, J.D., 1985. Study and interpretation of the chemical characteristics of natural waters, USGS, Alexandria, VA.

Larocque, M., Gagné, S., Tremblay, L., 2013. Rapport d'étape Phase I. Projet de connaissances des eaux souterraines du bassin versant de la zone Nicolet et de la partie basse de la zone Saint-François. Rapport d'étape Phase I présenté au MDDEFP. 73 p.

REMERCIEMENTS

Je voudrais remercier Marie Larocque et Daniele L. Pinti pour leur supervision et leur disponibilité. Je voudrais également remercier Florent Barbecot pour son aide et ses conseils concernant la science. Finalement, je voudrais remercier toute l'équipe d'hydrogéologie pour la super ambiance qui règne dans le groupe!