

LES LACS DE KETTLE, PRÉCURSEURS DE L'IMPACT DES CHANGEMENTS ENVIRONNEMENTAUX SUR LES RESSOURCES EN EAU



Marie Arnoux^{1,2}, Florent Barbecot¹, Elisabeth Gibert-Brunet²

¹GEOTOP, Université du Québec à Montréal, Montréal, Québec, Canada
²GEOPS, UMR8148-IDES, CNRS-UPS, Université Paris Sud XI, France



1. Problématique générale

L'impact des changements environnementaux tel que le réchauffement climatique sur l'évolution des ressources en eaux souterraines et en particulier sur la recharge n'est pas encore bien compris (Rivard et al., 2009). Différentes méthodes sont utilisées pour estimer les flux de recharge à petites et moyennes échelles. Elles possèdent cependant de nombreuses incertitudes et ne permettent pas de déterminer la quantité de recharge de manière satisfaisante au Québec (Rivard et al., 2009). Il est, de plus, difficile d'interpoler les mesures locales à plus grande échelle (Kurylyk, 2013).

Le but de ce projet de recherche est d'identifier la sensibilité des lacs de Kettle aux variations de recharge et de déterminer s'ils sont de bons indicateurs de l'impact des changements climatiques sur les ressources en eaux à l'échelle locale puis régionale.

2. Objectifs

- Identifier interconnexions lacs-eaux souterraines et leur distribution spatiale
- Quantifier ces interactions
- Relier ces évolutions à celles de la recharge

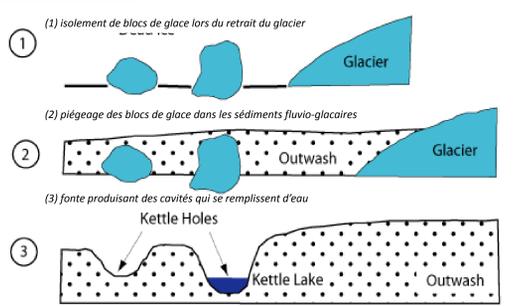
3. Objets d'intérêt

Les lacs de Kettle sont identifiés par leur mode de formation (Figure 2), leur géomorphologie (Figure 1) et leurs fonctionnements hydrologiques, ils peuvent être (Veillette et al., 2008) :

- soit complètement déconnectés des eaux souterraines
- soit en directe interaction avec celles-ci.



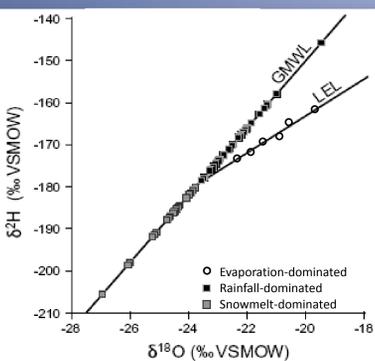
Figure 1. Kettle lakes, Canada (D. Kerr, CGS)



De part leur faible taille et leur petits bassins versants, ces lacs semblent très sensibles aux changements dans le bilan hydrologique sur de petites échelles de temps.

Figure 2. Etapes de formation des lacs de Kettle: (d'après Hall A.M., *Geomorphology of Scotland*)

4. Mise en évidence des interconnexions lacs-eaux souterraines



En intégrant les signatures isotopiques des entrées et sorties et les effets de fractionnements isotopiques dus à l'évaporation, les lacs « contrôlés par l'évaporation » peuvent être différenciés des lacs « contrôlés par les interconnexions avec les eaux souterraines » (Figure 3).

Figure 3. LEI est la ligne d'évaporation locale et GMWL la ligne d'eau météorique mondiale (modifié d'après Turner et al. 2008)

L'échantillonnage d'une 50^{ème} de lacs en juin et septembre permettra de mettre en évidence les signatures relatives des lacs et l'existence ou non de tendances dans l'espace en fonction des paramètres climatiques et géologiques.

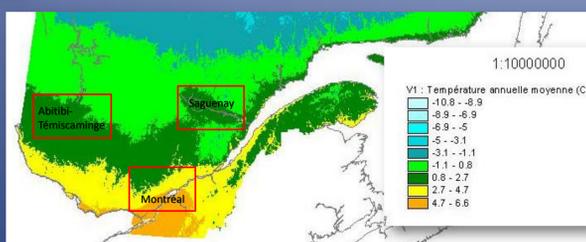


Figure 4. Localisation des sites d'études et température moyenne annuelle au Sud du Québec (Minister of Sustainable Development, Environment, Wildlife and Parks)

5. Quantification des interactions lacs-nappes

Un suivi mensuel de quelques lacs permet de quantifier les interactions entre les eaux des lacs et les eaux souterraines grâce à des bilans hydrologiques et isotopiques.

- Bilan de masse (Figure 5) (lacs bien mixés et à l'équilibre):

$$\frac{dV}{dt} = G_i + P + Q_i - G_o - E - Q_o = 0$$

- Bilan isotopique:

$$\frac{d(V\delta_L)}{dt} = G_i\delta_{G_i} + P\delta_P + Q_i\delta_{Q_i} - G_o\delta_L - E\delta_E - Q_o\delta_L = 0$$

$$\text{avec } \delta_x = \left(\frac{R_x}{R_{std}} - 1 \right) 10^3$$

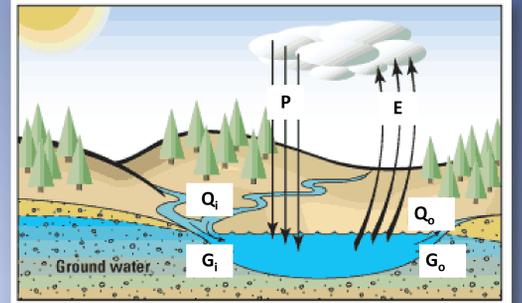


Figure 5. Paramètres du bilan hydrologique des lacs (de Roberston M. et al., *Scientific Investigations Report 2005-5071*)

Ainsi pour quantifier les flux d'eau souterraine pour un lac sans cours d'eau (Krabbenhoft et al., 1990):

$$G_i = \frac{P(\delta_L - \delta_P) + E(\delta_E - \delta_L) + Q_i(\delta_L - \delta_{Q_i})}{\delta_{G_i} - \delta_L}$$

G: Groundwater flow
 Q: surface flow
 E: Evaporation flow
 P: precipitation flow
 i: in
 o: out

6. Sensibilité à la recharge

La signature isotopique des eaux de recharge est contrôlée par le bilan hydrique (Figure 6).

Faire le lien entre l'évolution de la signature des lacs et les interactions avec la nappe permet de discuter la sensibilité de ces lacs aux variations de recharge.

Au Québec:

- il n'y a ni évaporation ni recharge pendant la période de gel
- les eaux de fonte influent sur la signature des lacs en plus des précipitations

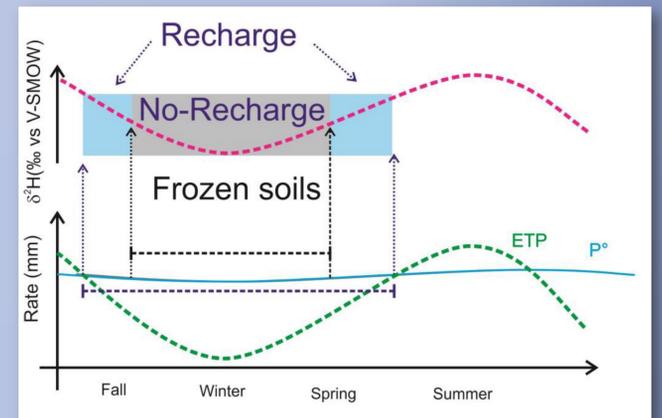


Figure 6. Variations estimées du δ²H des précipitations et de la part de recharge correspondante à des variations théoriques de précipitation et d'évapotranspiration pour un climat continental froid (Barbecot et al. 2014 CGU)

7. En quelques mots

Cette étude contribuera à (1) identifier et quantifier les flux d'eau souterraine dans les lacs et (2) mieux contraindre le fonctionnement hydrodynamique de ces systèmes selon les saisons à l'échelle locale et régionale.

Les résultats généreront des informations hydrologiques nécessaires pour déterminer comment les lacs de Kettle répondent aux conditions hydro-climatiques actuelles. Ceci fournira une base pour l'amélioration de la prévision de la façon dont ils peuvent évoluer à l'avenir, en vertu de l'évolution du climat.

Références

- Gibson, J. J. (2002) Short-term evaporation and water budget comparisons in shallow arctic lakes using non-steady isotope mass balance, *J. Hydrol.*
- Krabbenhoft D.P. et al. (1990) Estimated groundwater exchanges in lakes, *Water resources research*, vol. 26, no. 10, 2445-2453
- Kurylyk, B.L. and K.T.B. MacQuarrie (2013) The uncertainty associated with estimating future groundwater recharge: A summary of recent research and an example from a small unconfined, *Journal of Hydrology* 492, 244-253
- Rivard C. et al. (2009) Groundwater recharge trends in Canada, *Can. J. Earth Sci.* 46, 841-854
- Turner K. W., Wolfe B. B., Edwards T. W. D. (2010) Characterizing the role of hydrological processes on lake water balances in the Old Crow Flats, Yukon Territory, Canada, using water isotope tracers, *Journal of Hydrology* 386 103-117.
- Veillette J. et al. (2004) Hydrogéologie des eskers de la MRC d'Abitibi, Québec, *57th Canadian Geotechnical Conference*
- Winter, T.C. et al. (2003) Evaporation determined by the energy budget method for Mirror Lake, New Hampshire, *Limnology and Oceanography* 48 (3), 995-1009

