

Exploitation des hydrogrammes de puits du projet PACES en Montérégie Est

Jean - Sébastien Gosselin^{1*}, Marc Laurencelle^{1**}, Christine Rivard², Richard Martel¹ et René Lefebvre¹

¹ INRS-ETE, 490 rue de la Couronne, Québec, Qc, Canada, G1K 9A9 ; *jean-sebastien.gosselin@ete.inrs.ca, **marc.laurencelle@ete.inrs.ca

² CGC- Division Québec, 490 rue de la Couronne, Québec, Qc, Canada, G1K 9A9

1. Introduction

1.1. MISE EN CONTEXTE ET PROBLÉMATIQUE

Il est maintenant pratique courante en hydrogéologie de mesurer le niveau de l'eau dans les puits d'observation sur une base quotidienne, voire horaire. Toutefois, l'interprétation et la valorisation de ces données dans le cadre d'une étude régionale ne sont pas toujours évidentes, ce qui explique sans doute la sous-utilisation de ce type de donnée.

Les résultats présentés dans cette affiche découlent d'une collaboration entre deux étudiants dont les projets de doctorat portent sur la Montérégie Est.



Figure 1: Puits d'observation PO19

1.2. APPROCHE ET SUJET DE L'AFFICHE

L'objectif de cette étude est de voir si des séries temporelles de niveau d'eau acquises dans des puits d'observation peuvent être utilisées comme outil diagnostique autonome pour caractériser le contexte hydrogéologique d'un aquifère rocheux à l'échelle locale ou subrégionale.

Pour ce faire, les données de niveau d'eau acquises en Montérégie Est ont été analysées avec diverses approches qualitatives et quantitatives. Les résultats ont ensuite été comparés avec les livrables du PACES.

Cette affiche présente un survol du travail réalisé à ce jour dont les résultats sont prometteurs.



Figure 2: Foreuse Foremost DR-12

2. Acquisition des données météorologiques

Une carte de localisation des stations météorologiques et des puits d'observation a été produite pour la région d'étude (Figure 1).

Une station météorologique a ensuite été associée à chacun des puits par la méthode des polygones de Thiessen.

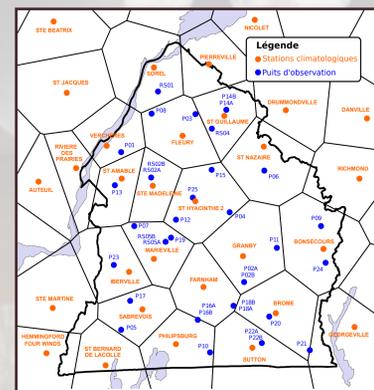


Figure 3: Localisation des stations météorologiques et des puits d'observation et polygones de Thiessen des stations climatiques

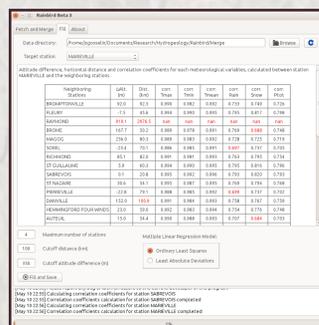


Figure 4: Interface de Rainbird, un logiciel permettant de télécharger, mettre en forme et compléter les données météorologiques disponibles sur climate.weather.gc.ca/

Les données météorologiques pour chacune des stations ont été récupérées sur le site d'Environnement Canada.

Les données manquantes ont ensuite été complétées avec le logiciel Rainbird qui est développé à l'INRS-ETE (Figure 4).

3. Production des hydrogrammes de puits

Les hydrogrammes ont été produits à l'aide du logiciel Hydroprint qui est développé à l'INRS-ETE (Figure 5).

Afin de faciliter l'interprétation visuelle des hydrogrammes, les quelques lignes directrices suivantes ont été respectées autant que possible :

- (1) Les échelles des axes sont les plus cohérentes possible pour l'ensemble des puits ;
- (2) Les niveaux d'eau sont tracés par rapport à la surface du sol et non au niveau de la mer ;
- (3) Les hydrogrammes sont tracés sur une période de 2 à 3 ans maximum afin de pouvoir discerner les variations de niveau d'eau dues à la recharge ;
- (4) Les données météorologiques sont tracées sur une base hebdomadaire.

Une présentation adéquate des séries temporelles de niveau d'eau et météorologiques peut fournir, à elle seule, beaucoup d'informations sur le contexte hydrogéologique des puits. Quelques hydrogrammes de puits sont présentés dans la section 5 au centre de l'affiche, à cet effet.

Par une simple inspection visuelle des hydrogrammes, il est possible de classer les puits en fonction de leur réponse aux événements de précipitations et de fonte de la neige.

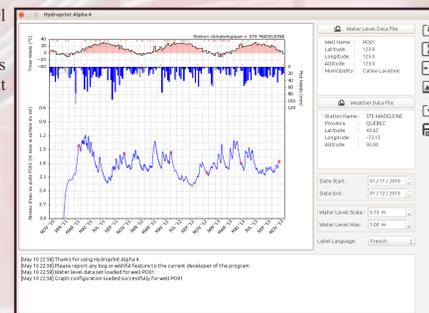
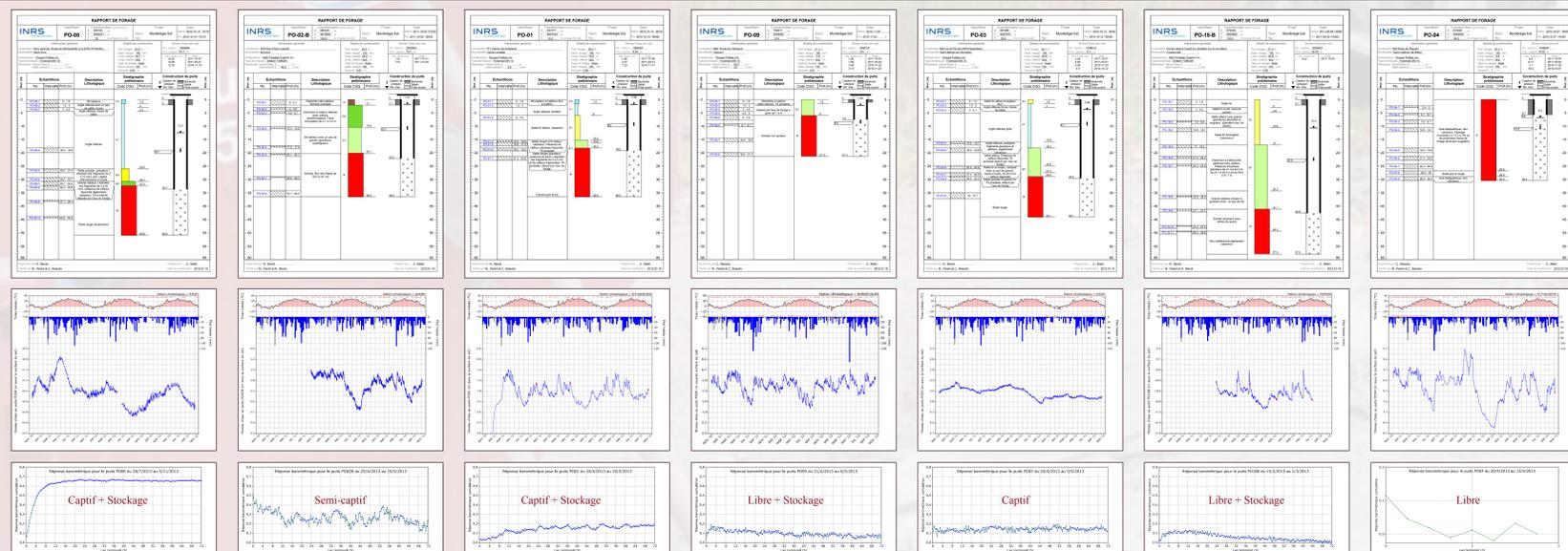


Figure 5: Interface de Hydroprint, un logiciel permettant de mettre en forme automatiquement les données de niveau d'eau et les données météorologiques sur un même graphique. Hydroprint est compatible avec Rainbird.

5. Rapports de forage, hydrogrammes et réponses barométriques pour quelques puits



4. Réponse barométrique des puits

4.1. QUELQUES NOTIONS THÉORIQUES

Les variations de pression atmosphérique (ΔP_{atm}) sont connues pour causer des fluctuations proportionnelles et opposées du niveau de l'eau dans les puits (cf. Figure 6).

Plusieurs techniques existent pour corriger les niveaux d'eau de ces effets qui, parfois, masquent les variations réelles du niveau piézométrique de l'aquifère (ex. : courbe verte de la Figure 6).

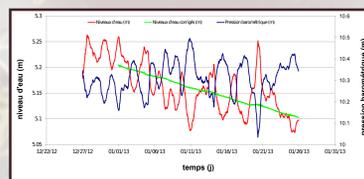


Figure 6: Pression atmosphérique et niveaux d'eau brut et corrigé pour le puits d'observation PO13.

Or, ce « bruit », qui semble à première vue indésirable, contient de l'information utile car la réponse temporelle du niveau d'eau aux variations de pression atmosphérique, dite réponse barométrique, varie en fonction :

- (1) des propriétés mécaniques et du niveau de confinement de l'aquifère,
- (2) et des propriétés hydrauliques et géométriques du puits.

La Figure 7 présente différents types de réponses barométriques définies avec des modèles théoriques de cas idéalisés. Différemment, les réponses barométriques obtenues à partir de l'analyse de données réelles correspondent le plus souvent à une combinaison de ces courbes théoriques.

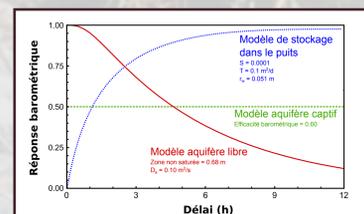


Figure 7: Modèles théoriques de réponses barométriques pour des cas idéalisés (adapté de Spane, 2002)

4.2. RÉPONSE BAROMÉTRIQUE DES PUIITS DE LA MONTÉRÉGIE EST

Des données de niveau d'eau ont été acquises aux 15 minutes, sur une période de près d'un an, dans l'ensemble des puits d'observation de la région qui étaient accessibles.

La réponse barométrique des puits a ensuite été calculée à partir de ces données, via le logiciel KGS_BRF développé par Butler et al., 2011.

La comparaison des réponses barométriques des puits aux courbes théoriques renseigne sur le niveau de confinement et la transmissivité de l'aquifère, au moins à l'échelle locale autour du puits. La réponse barométrique pour quelques puits sont présentés dans l'encadré 5 de cette affiche.

La réponse barométrique d'un puits correspond à la proportion de ΔP_{atm} qui est supportée par la matrice solide de l'aquifère.

Modèle d'aquifère captif :
Les ΔP_{atm} sont transmises instantanément de la surface du sol à l'aquifère. Une partie de cette charge est alors supportée par la matrice solide de l'aquifère.

Modèle d'aquifère libre :
Les ΔP_{atm} prennent un certain temps avant d'atteindre la surface libre de l'aquifère. Il en résulte alors une réponse barométrique avec un effet transitoire.

Modèle de stockage dans le puits :
Selon le volume du puits et sa transmissivité hydraulique, la réponse barométrique sera affectée par un délai plus ou moins important.

6. Analyse des variations saisonnières des niveaux d'eau

6.1. ESTIMATION DU DÉLAI DU CYCLE SAISONNIER DES NIVEAUX D'EAU

En théorie, puisque l'aquifère rocheux régional est supposé continu, les variations saisonnières de la nappe dans les zones libres devraient être mesurables aux puits au roc dans les zones captives, mais avec un certain retard ou délai.

Afin de vérifier cette hypothèse, le décalage temporel des variations saisonnières des niveaux d'eau de tous les puits de la Montérégie Est a été estimé par rapport au puits PO04 puisque ce dernier est installé dans une zone où le roc est affleurant.

Afin de faciliter la comparaison des hydrogrammes entre eux, les niveaux d'eau de chaque puits ont été normalisés par rapport à leurs moyenne et écart-type. (ex. : Figure 8)

Les délais ainsi estimés pour les puits au roc captifs ont été comparés à la distance à la zone non captive la plus proche d'après la carte des conditions de confinement de l'aquifère rocheux régional produite dans le cadre du PACES en Montérégie Est (cf. Figure 9).

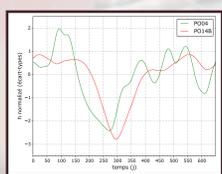


Figure 8: Estimation du délai pour le puits PO14B

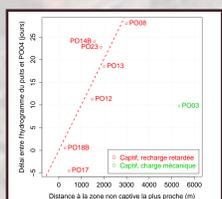


Figure 9: Relation délai-distance pour les puits au roc captifs

6.2. ESTIMATION DES PROPRIÉTÉS DE L'AQUIFÈRE ROCHEUX À L'ÉCHELLE SEMI-RÉGIONALE (~ 5 KM)

La propagation des variations de la charge hydraulique (h) dans un aquifère est décrite par une équation aux dérivées partielles parabolique. La solution analytique de cette équation pour un système transitoire 1Dx, auquel est imposée une charge hydraulique fluctuant de façon sinusoïdale de fréquence ω ($\omega = 2\pi/P$) avec une amplitude Δh , est analogue à l'équation de la chaleur de Fourier (1822):

$$h(x,t) = h_0 + \Delta h \cdot \exp\left(-x \cdot \sqrt{\frac{\omega}{2\alpha}}\right) \cdot \sin\left(\omega \cdot t - x \cdot \sqrt{\frac{\omega}{2\alpha}}\right) \quad \text{ou} \quad h(x,t) = h_0 + \Delta h \cdot \exp\left(-x \cdot \sqrt{\frac{\omega}{2\alpha}}\right) \cdot \sin\left(\omega \cdot t - x \cdot \sqrt{\frac{\omega}{2\alpha}}\right)$$

atténuation déphasage

En étudiant le déphasage de $h(x,t)$ à différents points d'observation, il est possible d'estimer la diffusivité hydraulique, α , comme suit :

$$\alpha = \frac{1}{2\omega} \left(\frac{\Delta x}{\Delta t} \right)^2$$

où $\Delta x/\Delta t$ est estimé à partir de la relation linéaire obtenue entre délais et distances (cf. Figure 9). La diffusivité hydraulique subrégionale de l'aquifère rocheux peut alors être estimée à : $\alpha \approx 1.65 \text{ m}^2/\text{s}$. De plus, ayant analysé statistiquement les données hydrauliques directes et indirectes de la base de données régionale du PACES et déterminé un mode $T \approx 5.6 \times 10^5 \text{ m}^2/\text{s}$ pour la transmissivité, nous pouvons déduire l'emmagasinement : $S \approx 3.4 \times 10^{-5}$.

L'intérêt de cette démarche est que les propriétés hydrauliques ainsi obtenues sont représentatives à l'échelle semi-régionale (~5 km) plutôt que locale.

6.3. ESTIMATION D'UNE LIMITE DE DÉTECTION

D'après le modèle analytique présenté précédemment, pour une fluctuation saisonnière typique dans l'aquifère captif à l'étude, l'amplitude crête à crête de l'onde passe sous les 0.5 m à partir de $x \approx 5 \text{ km}$, tel que représenté sur la Figure 10).

Ceci est dès lors similaire à l'effet que peut induire la charge mécanique exercée par le poids de la neige s'accumulant au sol au cours de l'hiver (cas du puits PO03) et pourrait constituer une limite de cette approche.

6.4. INTERPRÉTATION DE LA CARTE DE LA FIGURE 11

La Figure 11 montre que la majorité des puits ouverts dans l'aquifère rocheux captif du secteur nord-ouest de la région d'étude répondent aux variations saisonnières après un délai de 6 jours ou plus. Inversement, la majorité des puits crépinés dans les dépôts meubles montrent un délai négatif à nul, démontrant la pertinence du délai comme indicateur de l'étendue de la zone captive autour du puits. Certains puits ont des comportements particuliers qui, une fois étudiés, peuvent s'expliquer par l'influence de conditions locales ou d'autres mécanismes que la diffusion hydraulique horizontale (ex. : PO03, RS04).

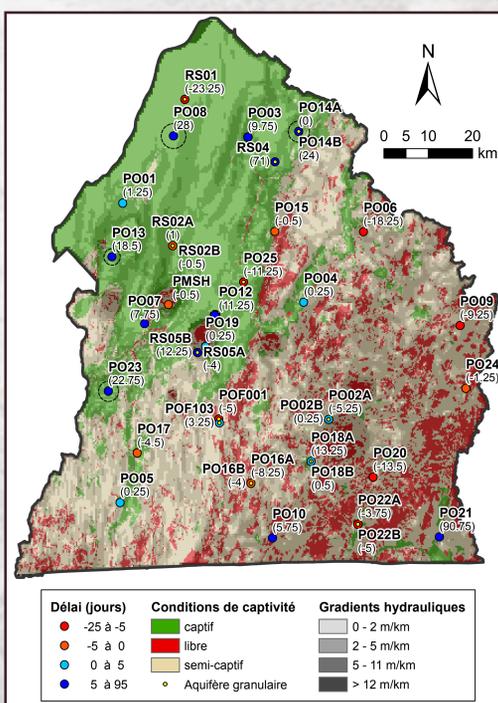


Figure 11: Mise en relation du délai de propagation des fluctuations piézométriques des zones libres (repr. par PO04) jusqu'aux puits, et des conditions de captivité de l'aquifère rocheux

7. Conclusion

Cette affiche démontre qu'en utilisant diverses méthodes d'analyse des séries temporelles de niveau d'eau dans les puits, il est possible d'obtenir un portrait assez fidèle du contexte hydrogéologique de l'aquifère dans lequel le puits est ouvert. En résumé:

- (1) L'inspection visuelle des hydrogrammes et des données météorologiques permet de caractériser la réponse de l'aquifère aux événements de recharge, permettant de départager les puits qui ont une réponse libre de ceux qui ont une réponse captive.
- (2) En plus d'éliminer le « bruit » induit par les variations de la pression atmosphérique présent dans les hydrogrammes bruts, la réponse barométrique des puits permet de caractériser le niveau de confinement de l'aquifère à l'échelle locale autour du puits.
- (3) L'analyse du cycle des variations saisonnières du niveau d'eau permet de caractériser le niveau de confinement ainsi que des propriétés hydrauliques, à l'échelle subrégionale.

Les réseaux de suivi des niveaux d'eau installés lors des PACES pourraient donc être mis à profit au-delà du simple suivi descriptif de la piézométrie régionale, en utilisant des outils et méthodes d'analyse tels que ceux présentés ici.