



Chaire de recherche
en géothermie sur
l'intégration des PCP dans
les bâtiments institutionnels

Caractérisation hydrogéothermique d'un aquifère fracturé accueillant un système géothermique avec puits à colonne permanente

Stéphanie Robert

Source : Robert, S. (2022). Caractérisation hydrogéothermique d'un aquifère fracturé accueillant un système géothermique avec puits à colonne permanente (Mémoire de maîtrise, Polytechnique Montréal)

En 2019, l'École de la Clé-des-Champs située à Mirabel sur la rive nord de Montréal a été sélectionnée afin d'accueillir un système géothermique de basse température doté de puits à colonne permanente. Le site a donc fait l'objet d'une caractérisation hydrogéothermique détaillée qui a permis d'acquérir les paramètres hydrogéologiques et thermiques de l'aquifère. Le jeu de données expérimentales acquises a ensuite été employé pour développer un modèle numérique 3D d'éléments finis afin d'étudier l'influence du contexte hydrostratigraphique sur la réponse thermique d'un puits à colonne permanente installé dans un milieu très perméable. Les résultats ont démontré que le site de Mirabel présente un important potentiel géothermique pour l'implantation de puits à colonne permanente. L'exploitation du modèle numérique a mis en lumière l'impact du contexte hydrostratigraphique, ainsi que l'influence des fractures et de la conductivité hydraulique sur la réponse thermique. De plus, l'étude du modèle a révélé que le transfert de chaleur advectif peut être dominant en milieu hétérogène même en l'absence de saignée. Finalement, il a été conclu que l'approximation de premier ordre de la source linéique infinie ne peut pas toujours être employée pour déduire la valeur de la conductivité thermique autour d'un puits à colonne permanente.

Introduction et problématique

Les puits à colonne permanente (PCP) sont des échangeurs de chaleur souterrains ouverts sur l'aquifère qui sont plus efficaces et moins dispendieux que les systèmes géothermiques conventionnels. L'École de la Clé-des-Champs située à Mirabel (Québec) a été sélectionnée pour être l'hôte d'un projet pilote sur l'efficacité des PCP suite à une revue du contexte géologique et hydrogéologique à l'échelle régionale identifiant le site comme ayant un potentiel géothermique intéressant pour les PCP. Ainsi, une caractérisation terrain a été réalisée en amont du projet pilote.

La caractérisation réalisée à l'École de la Clé-des-Champs était également l'occasion d'acquérir des données expérimentales sur un PCP opéré en milieu fracturé. Effectivement, dans la littérature, des résultats contradictoires sont rapportés quant à l'évaluation de la réponse thermique des puits à colonne permanente en milieu fracturé. La plupart des études disponibles reposent sur des travaux de modélisation et peu d'études impliquent des essais expérimentaux menés sur des PCP, c'est particulièrement le cas pour les études réalisées sur des PCP opérés sans saignée. Ainsi, l'effet du contexte hydrostratigraphique sur la réponse thermique du PCP est mal défini surtout en l'absence de saignée.

Caractérisation hydrogéothermique

La caractérisation hydrogéothermique avait comme objectif d'obtenir les valeurs des principaux paramètres hydrogéologiques et thermiques de l'aquifère devant accueillir des PCP. Pour ce faire, deux forages exploratoires ont été aménagés au site de Mirabel tel qu'illustré à la Figure 1.

Ils ont permis de réaliser : un essai de réponse thermique, un essai de pompage, des analyses géochimiques de l'eau souterraine et des profils de vélocimétrie en forage. Ceci a permis d'établir un portrait détaillé du site et de confirmer l'important potentiel géothermique.

Les résultats des travaux de terrain indiquent que l'aquifère au site de Mirabel est caractérisé par une zone perméable et transmissive localisée dans la section inférieure des forages, ce qui correspond à la Formation de Cairnside. Outre les observations témoignant d'un important écoulement d'eau souterraine, l'essai de réponse thermique a révélé une performance thermique considérable pour le PCP. L'approximation de premier ordre de la source linéique infinie (SLI) n'a toutefois pas permis de dégager une valeur réaliste pour la conductivité thermique, un modèle numérique s'est avéré requis pour interpréter l'essai et pour évaluer les raisons de l'importante performance thermique enregistrée.

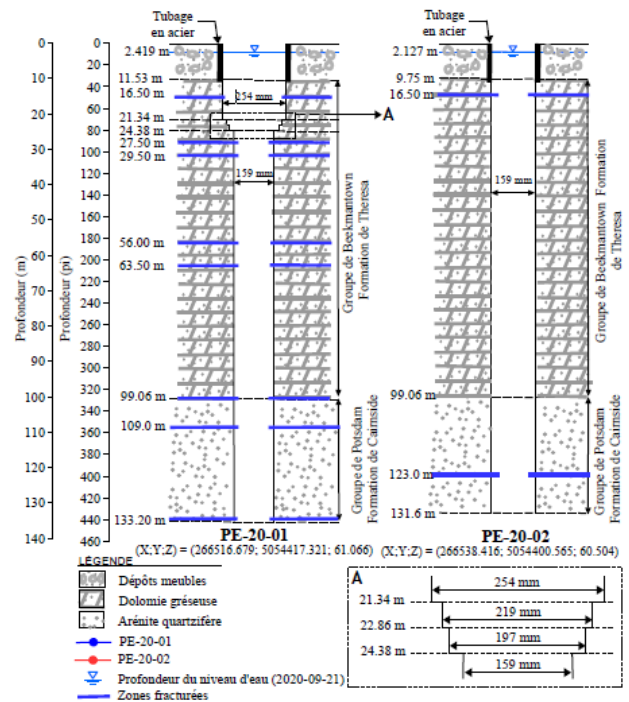


Figure 1 Forages exploratoires réalisés au site de l'École de la Clé-des-Champs. PE-20-01 a été aménagé comme un PCP alors que le PE-20-02 a été aménagé comme un puits d'injection.

Modélisation numérique

Ainsi un modèle 3D à éléments finis incorporant les données expérimentales a été développé afin d'interpréter l'essai de réponse thermique et d'étudier l'effet du contexte hydrostratigraphique sur la réponse thermique d'un PCP.

Le modèle est composé des trois unités géologiques observées au site ainsi que du forage exploratoire converti en PCP. L'incorporation du contexte hydrostratigraphique, plus particulièrement l'intégration de la zone fracturée près de la base du modèle a permis de reproduire les données expérimentales de l'essai de réponse thermique avec une erreur moyenne absolue de 0,04°C (*Base case*). Dans le but d'étudier l'impact du contexte hydrostratigraphique sur la réponse thermique d'un PCP opéré sans saignée, trois cas supplémentaires ont été simulés. D'abord, le cas d'un aquifère homogène (*C1*), puis le cas d'un aquifère homogène ayant une conductivité hydraulique moyenne plus élevée (*C2*), et finalement, le cas d'un aquifère hétérogène présentant la conductivité thermique moyenne déduite de la méthode d'approximation de la SLI (*C3*). Les signaux de température simulés entrant à l'unité de réponse thermique (EWT) sont illustrés pour chacun de ces cas à la Figure 2.

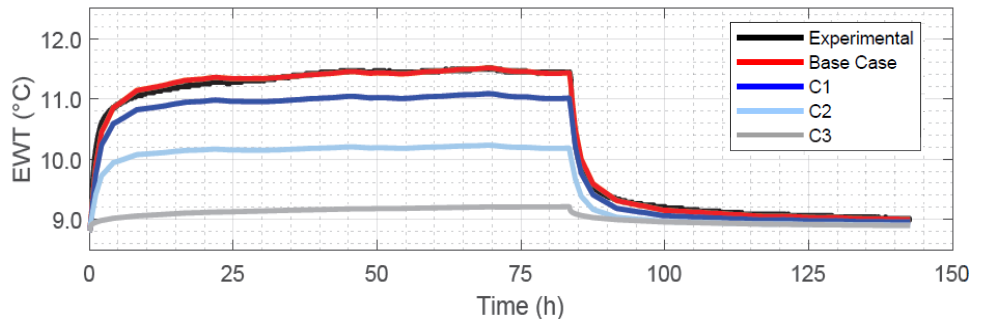


Figure 2: Comparaison des signaux de température EWT simulés (Base case, C1 C2 et C3) au signal expérimental de température EWT enregistré pendant l'essai de réponse thermique.

Impacts du contexte hydrostratigraphique

Les résultats des simulations ont permis de déduire les conclusions suivantes : 1) Le transfert de chaleur par advection peut être dominant par rapport à la conduction, et ce, même en l'absence de saignée. La Figure 3 illustre l'advection pour un cas homogène et pour un cas fracturé. Pour un même débit de pompage, on observe un abaissement du point de balancement dans le cas fracturé.

2) La conductivité hydraulique moyenne influence la réponse thermique du PCP et l'ajout d'une zone fracturée peut contribuer à reproduire les données d'un essai de réponse thermique. 3) L'approximation de la SLI ne peut pas toujours être employée pour obtenir la conductivité thermique moyenne de l'aquifère autour du PCP puisque cette méthode repose exclusivement sur le transfert de chaleur conductif. 4) Une évaluation erronée des paramètres de l'aquifère peut mener à une surestimation de la performance thermique d'un PCP et ultimement, mener à un dimensionnement inapproprié. En résumé, les résultats obtenus encouragent la réalisation d'une étude hydrogéologique pour bien définir le contexte hydrostratigraphique afin de considérer son effet lors de l'interprétation des essais de réponse thermique exécutés sur des PCP.

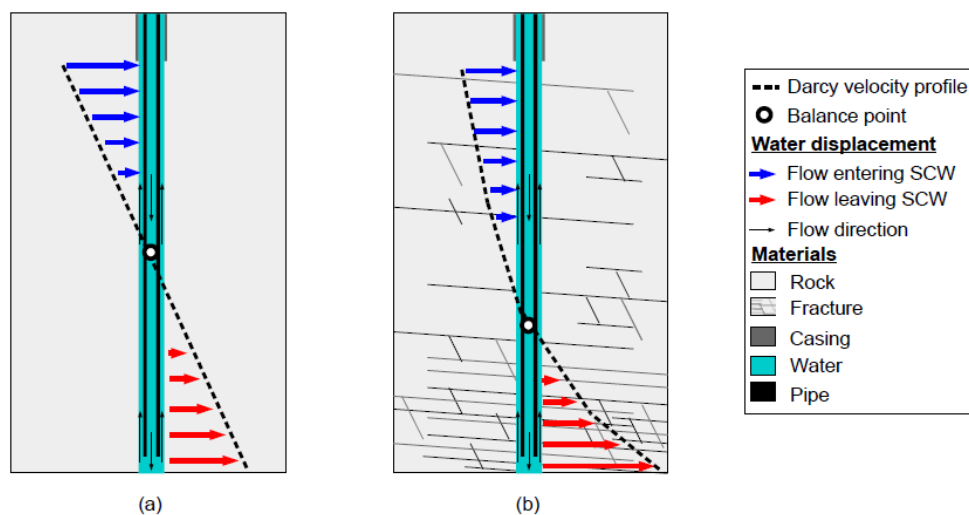


Figure 3: Représentation simplifiée de l'écoulement de l'eau le long de la paroi du forage pour un SCW pompé par le haut dans a) un aquifère homogène (adapté de l'analyse de Yuill et Mikler (1995)) et b) un aquifère hétérogène fracturé avec une perméabilité plus élevée dans la partie inférieure du forage.

Conclusions et perspectives

Un système géothermique à colonne permanente a été construit à l'école Clef-des-Champs. Les données acquises au site ont permis d'étudier le comportement thermique d'un PCP implanté dans un milieu géologique hétérogène. Certaines conclusions de la présente étude contredisent partiellement ou totalement des publications sur les PCP et il est donc nécessaire de mentionner que davantage d'études seront requises pour baliser adéquatement l'effet du contexte hydrostratigraphique sur la réponse thermique des PCP. Finalement, puisque le site de l'École de la Clé-des-Champs servira de site de recherche dans les années à venir, le modèle numérique pourra bénéficier des investigations de terrain qui seront réalisées.

Les résultats, analyses et constats présentés sont la seule responsabilité de la Chaire en géothermie et n'engagent pas les partenaires. On ne peut présumer, non plus, que ceux-ci partagent les conclusions qui sont tirées.

Partenaires



Polytechnique Montréal
Département des génies civil,
géologique et des mines
C.P. 6079, succursale Centre-Ville
Montréal, Québec, Canada
Pour plus d'information :
www.polymtl.ca/geothermie