



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

Simulation d'un réservoir de sédimentation appliqué à un système géothermique ouvert

Dorian Hernandez
Sous la supervision de Philippe Pasquier et François Guibault

Source : Hernandez, D. (2023). Simulation d'un réservoir de sédimentation appliqué à un système géothermique ouvert (Mémoire de maîtrise, Polytechnique Montréal)

Les systèmes géothermiques ouverts de basse température utilisent directement l'eau souterraine comme fluide caloporteur. À cause de la présence de sédiments dans l'eau souterraine, ces systèmes doivent parfois faire face au phénomène de colmatage, impactant principalement le puits d'injection. Les phénomènes de colmatage peuvent induire des pertes d'efficacité et engendrer des opérations de maintenance supplémentaires. Dans le but de réduire ces phénomènes, l'utilisation d'un réservoir de sédimentation placé avant le puits d'injection, afin de récupérer les sédiments, est envisagée. Ainsi, le comportement de différentes géométries de réservoir de sédimentation appliqué à un système géothermique ouvert a été étudié à l'aide d'un modèle numérique capable de représenter l'écoulement et le processus de sédimentation dans un réservoir. Les résultats ont démontré un réel potentiel de réduction de la quantité de sédiments, avec des efficacités de capture variant entre 46.8 et 85 %. De plus, les résultats démontrent la capacité d'un réservoir à récupérer entièrement certaines classes de particules, notamment les sédiments de plus gros diamètres. L'étude de l'impact de la géométrie du réservoir révèle l'avantage d'un déflecteur en entrée de réservoir, qui permet d'augmenter l'efficacité du réservoir, tout en limitant son empreinte. Finalement, il a été conclu qu'un réservoir de sédimentation a le potentiel de réduire les phénomènes de colmatage de puits d'injection de système ouvert.

Introduction et problématique

Les systèmes géothermiques ouverts de basse température font partie des systèmes qui utilisent directement l'eau souterraine comme fluide caloporteur. Parmi eux, les systèmes de puits à colonne permanente (PCP) et puits d'injection (PI), couplés à une pompe à chaleur, peuvent subvenir de façon efficace aux besoins en chauffage et en climatisation de bâtiments, notamment en période de pointe. De par la présence de sédiments dans l'eau souterraine opérée par un système ouvert, l'utilisation du puits d'injection est délicate et sujette, dans certains cas, à des phénomènes de colmatage. L'utilisation d'un réservoir de sédimentation est potentiellement une solution passive permettant de réduire la quantité de particules solides allant au puits d'injection d'un système géothermique ouvert afin de prévenir d'éventuels phénomènes de colmatage.

Le comportement et l'efficacité d'un réservoir de sédimentation dépendent fortement des propriétés hydrauliques en entrée, des propriétés des particules et de la géométrie du réservoir. Le dimensionnement des réservoirs est propre à chaque application et le recours à la simulation numérique dans certains cas peut s'avérer moins dispendieux que des essais expérimentaux. Ainsi, pour les besoins de réductions des risques de colmatage, un modèle numérique de réservoir de sédimentation a été développé sur la base de données hydrauliques typiques des puits à colonne permanente et de données sédimentaires expérimentales. Celui-ci a par la suite été utilisé pour analyser la réponse d'un réservoir et prédire la quantité de sédiments retenus pour différents débits et différentes géométries de réservoir.

Caractérisation du réservoir

La caractérisation du réservoir avait comme objectifs d'obtenir les valeurs des principaux paramètres hydrauliques et sédimentaires du mélange eau et sédiments allant au PI, ainsi que d'effectuer un dimensionnement global théorique au sens de Hazen pour différentes longueurs de réservoir. Au niveau des caractéristiques hydrauliques, des débits typiques de saignées de 20 et 50 l/min par PCP ont été utilisés. En ce qui concerne les propriétés des sédiments, un échantillon d'eau souterraine a été prélevé sur un site expérimental de la région de Montréal pour lequel le milieu géologique était principalement composé de calcaire. Une filtration de cet échantillon a ensuite permis d'obtenir la concentration de sédiments dans cette eau, puis une analyse par diffraction laser a permis d'obtenir la distribution de sédiments selon leurs diamètres tels que présentés à la Figure 1. Connaissant la géométrie du réservoir et les caractéristiques du mélange entrant, un dimensionnement global basé sur le taux de débordement a été effectué. Ce dernier a permis d'obtenir des valeurs théoriques d'efficacité de réservoir idéal. Ainsi pour des longueurs de réservoir comprises entre 5 à 10 mètres et des débits de 50 et 20 l/min, des efficacités théoriques variant de 37.4 à 90.1% ont été obtenues.

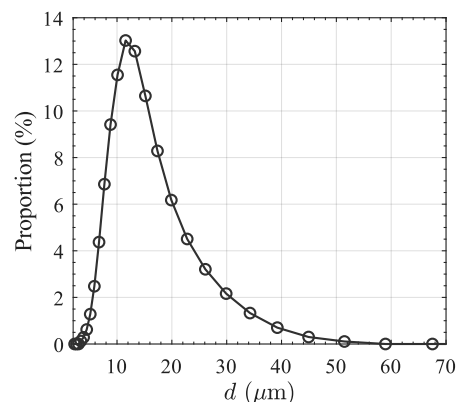


Figure 1 : Résultats de l'analyse laser.

Les résultats de caractérisation du réservoir ont identifié des diamètres de particules relativement faibles ainsi qu'un potentiel de réduction de quantité de sédiments allant au PI d'un système ouvert avec des efficacités relativement hautes. Ne prenant pas en compte les différents phénomènes hydrodynamiques pouvant avoir lieu dans un réservoir, un modèle numérique capable de capturer ces phénomènes et d'obtenir une efficacité du réservoir plus représentative a été développé.

Modélisation numérique

Ainsi un modèle 3D à éléments finis incorporant les données expérimentales a été développé afin de simuler l'écoulement, le transport de sédiments et le processus de sédimentation dans un réservoir. Validé sur des données expérimentales provenant de la littérature, le modèle permet de capturer les phénomènes hydrodynamiques présents dans le réservoir, notamment les phénomènes de cascades en entrée et de courants de densité tels qu'illustrés à la figure 2.

Connaissant la masse injectée et la quantité de sédiments allant au PI, les efficacités globales et de chaque diamètre de particules ont été obtenues pour différents débits et différentes longueurs de réservoir. L'impact de l'ajout de déflecteur dans le réservoir a aussi été étudié du fait de leur rôle bénéfique dans certains cas d'application, notamment pour contrôler l'écoulement, dissiper l'énergie de l'écoulement et diriger les sédiments vers le fond du réservoir.

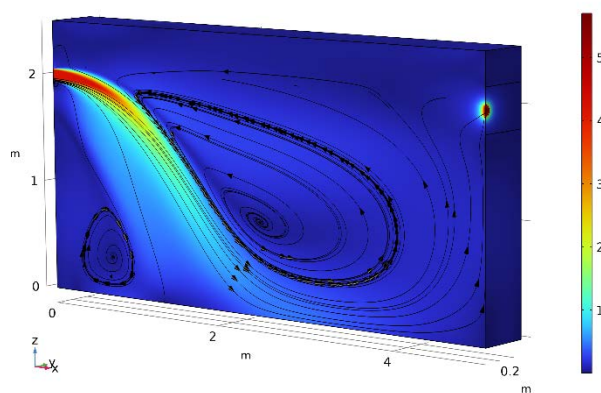


Figure 2 : Champ de vitesses ($\times 10^{-2}$ m/s ou cm/s) et lignes de courants dans le réservoir ($Q = 20$ l/min).

Impact de la géométrie

Au niveau de l'impact de la longueur de réservoir, les résultats des simulations ont mis en avant que les efficacités globales du réservoir étaient relativement proches de celles obtenues par le dimensionnement de Hazen, avec des efficacités variant de 46.8 à 83.9%. Il a aussi été observé que les sédiments de plus gros diamètres sont davantage récoltés que les sédiments de plus petits diamètres. De plus, il est possible de récolter entièrement certaines classes de particules selon la longueur du réservoir. Finalement, les résultats démontrent une diminution de l'efficacité de capture avec l'augmentation du débit (voir figure 3).

Au niveau de l'impact des déflecteurs, il a été observé que l'ajout d'un déflecteur au bas du réservoir n'influence pas beaucoup l'efficacité du réservoir tandis que l'ajout d'un déflecteur en haut proche de l'entrée permet une augmentation importante de l'efficacité, accompagnée d'une dissipation de l'énergie d'écoulement. Des efficacités allant jusqu'à 85% ont ainsi été obtenues avec le déflecteur haut.

Le gain en efficacité par rapport à un réservoir sans déflecteur est alors quasiment aussi important que le gain obtenu lorsque la longueur du réservoir passe de 5 à 10 mètres, mettant en avant le potentiel des déflecteurs à limiter l'empreinte du système notamment dans des conditions de contraintes d'espace comme les zones urbaines denses.

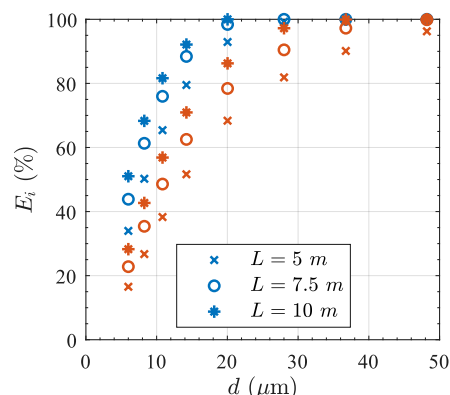


Figure 3 : Efficacités par classes de particule E_i pour différentes longueurs de réservoir et pour les débits de 20 l/min (en bleu) et de 50 l/min (en rouge).

Conclusions et perspectives

Les présents travaux ont permis de caractériser le comportement d'un réservoir de sédimentation appliqué à un système géothermique ouvert de type PCP-PI. Un modèle 3D stationnaire permettant de représenter l'écoulement ainsi que le processus de sédimentation dans un réservoir a été élaboré. Testé pour des données d'entrées hydrauliques typiques de systèmes PCP-PI et pour des données sédimentaires expérimentales, le modèle a permis de mettre en avant les différents phénomènes hydrodynamiques attendus dans le réservoir de sédimentation et d'obtenir des valeurs d'efficacités pour différentes géométries. Les résultats mettent alors en avant un réel potentiel de diminution du risque de colmatage de puits d'injection de système ouvert avec au minimum une diminution par deux de la quantité de sédiments allant au puits d'injection d'un système géothermique ouvert. Finalement, l'impact de la géométrie a mis en avant l'avantage de l'ajout d'un déflecteur en entrée permettant d'augmenter l'efficacité du réservoir tout en limitant l'empreinte du système.

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**
UNIVERSITÉ
D'INGÉNIÉRIE

Éducation
et Enseignement
supérieur

Québec

Centre
de services scolaire
des Mille-îles

Québec

Centre
de services scolaire
de Montréal

Québec

Centre
de services scolaire
des Samares

Québec

Marmott
Énergies

VERSAPROFILES

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

Hydro
Québec

CanmetENERGY
Leadership in ecoInnovation