

AMÉLIORER LA PERFORMANCE DES SYSTÈMES GÉOTHERMIQUES GRÂCE À LA RÉCUPÉRATION DE CHALEUR DES EAUX GRISSES

David Morrow, P. Eng., M. Sc. *

Introduction

La géothermie est maintenant une technologie établie comme en témoigne le nombre de systèmes conçus, installés et en opération. Plusieurs concepteurs cherchent maintenant des méthodes pour améliorer le rendement des systèmes et optimiser ou réduire la longueur des boucles géothermiques. Cet article discute de l'une de ces méthodes et porte sur une amélioration du processus d'échange thermique par l'introduction d'énergie provenant de la récupération thermique des eaux grises (RTEG) dans les bâtiments.

Alors que l'énergie de base provenant des boucles géothermiques fermées ou ouvertes est facilement accessible, il est possible d'augmenter cette énergie et d'améliorer le coefficient de performance des pompes géothermiques de 4 à 20 % et de réduire la longueur des boucles de sol de 3 à 14 %. Les économies conséquentes de cette amélioration de la performance sont forcément positives et contribuent à une argumentation favorable aux investissements dans les systèmes géothermiques dans leur ensemble.

L'énergie associée à la RTEG est disponible *in situ*, là où une grande quantité d'eau chaude est utilisée pour ensuite être rejetée à l'égout. On peut penser ici à la plupart des habitations résidentielles mais également à plusieurs édifices commerciaux où l'on retrouve des cuisines commerciales, des centres d'entraînement, des spas, des salons de coiffure, des nettoyeurs, des piscines ou autres types d'établissements susceptibles de produire de la chaleur excédentaire. Par exemple, un lave-vaisselle commercial moyen utilise jusqu'à 70 GJ d'énergie annuellement – assez d'énergie pour chauffer 13 logements dans un édifice à haut rendement d'efficacité énergétique. Après utilisation, une bonne partie de cette énergie se retrouve dans les eaux grises sous forme de rejets thermiques.

Des systèmes de RTEG permettent de récupérer jusqu'à 85 % de l'énergie évacuée aux égouts. Ceci se traduit en plusieurs gigajoules de pertes thermiques qui sont relativement faciles à récupérer. Un système de RTEG typique préchauffe l'eau domestique – ce qui est une option intéressante

à considérer, particulièrement en l'absence d'une thermopompe géothermique. Toutefois, il est possible de bonifier l'usage de tels systèmes.

Il est en effet possible de capitaliser sur une synergie entre les systèmes de RTEG et les pompes géothermiques. L'eau tiède qui est évacuée par les drains peut améliorer l'efficacité du système géothermique. La température du liquide caloporteur du système géothermique peut en effet être augmentée grâce aux systèmes de RTEG, augmentant la récupération de chaleur jusqu'à 25 %. Ces conditions favorables sont à la base de deux systèmes géothermiques conçus récemment et installés dans deux complexes d'habitations multiples en Alberta. Cette amélioration de la récupération de la chaleur est identifiée par l'acronyme « PA-Geo » pour Pump Augmented Geothermal Heat Pump System, par le concepteur de ce type de systèmes.

Fonctionnement du système

Alors que la géothermie permet l'exploitation d'une source d'énergie de faible qualité mais hautement prévisible, une pompe à chaleur peut utiliser n'importe quelle source d'énergie thermique. En fait, l'utilisation de l'énergie récupérée des eaux grises – et qui affiche une température supérieure à la source géothermique – résultera en une augmentation des performances du système géothermique.

Figure 1
PA-Geo : amélioration des performances d'un système géothermique grâce à la récupération de chaleur des eaux grises

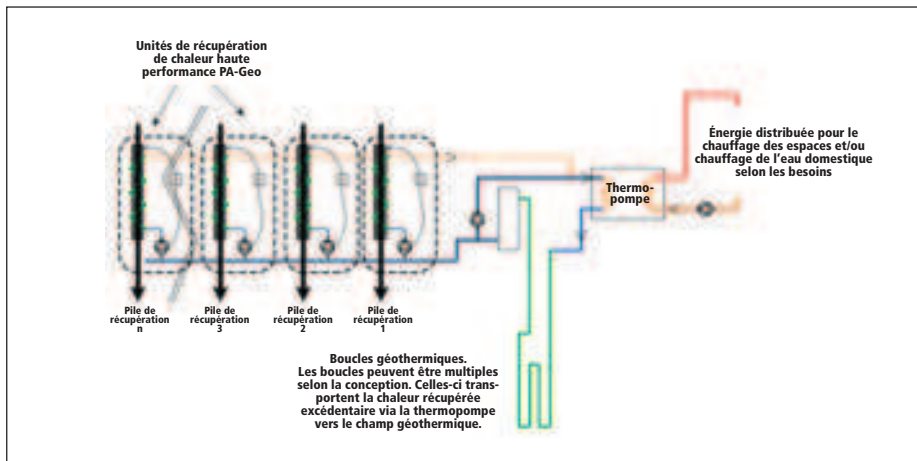


Figure 2
Impact de l'augmentation de la température d'entrée d'eau sur le coefficient de performance de la thermopompe (modèle TMW036 utilisé)



La production d'eau chaude nécessite souvent jusqu'à 50 % de la charge thermique des blocs appartements (habitations multiples) et jusqu'à 20 % dans les habitations individuelles. Dans un tel contexte la récupération, ne serait-ce que d'une partie de cette énergie (chaleur) peut être significative. Avec un système PA-Geo, la chaleur est extraite du drain des eaux grises et ensuite recyclée dans la thermopompe et dans la boucle géothermique. Cette énergie peut être utilisée pour le stockage thermique dans le sol (ce qui s'apparente à la chaleur récupérée par le système géothermique en mode climatisation) ou peut être utilisée directement par la thermopompe, dans la mesure où cette dernière fonctionne lorsque de l'énergie est évacuée par les eaux grises. La conception idéale d'un tel système voit l'énergie de la RTEG disponible d'abord à la thermopompe, ensuite recyclée à nouveau dans la boucle géothermique pour une recharge du sol. Cette approche fragmentée garantit que le maximum d'énergie est disponible pour la thermopompe lorsque cela est possible ce qui procure une plus grande marge d'amélioration du coefficient de performance. La même quantité d'énergie thermique de basse qualité est disponible en tout temps. La figure 1 offre une représentation schématique simple du système PA-Geo.

La température de la chaleur récupérée d'une unité de RTEG en mode PA-Geo est d'environ 20 °C (variant typiquement de 18 à 23 °C), bien au-delà de l'énergie géothermique disponible dans le sol au Canada pour les pompes à chaleur géothermiques.

Le débit d'un système PA-Geo sera normalement fixé à environ 7,5 L/min (2 US gpm). Cette source tiède d'énergie est ensuite combinée à l'énergie de retour de la boucle géothermique (disons 1 °C et 5 USgpm pour une petite maison) pour créer une source combinée (lorsque le système de RTEG fonctionne) d'environ 9 °C à la thermopompe. Si désiré, cette température peut être réduite en changeant le débit relatif ou en dirigeant une partie ou la totalité du débit de l'unité de RTEG directement vers la boucle géothermique. Le coefficient de performance de la thermopompe en travaillant à une température d'entrée de 9 °C sera fortement amélioré par rapport à la température originale de 1 °C. Par exemple, une thermopompe ClimateMaster TMW036 verrait son coefficient de performance passer de 3,28 (1 °C) à 3,83 (9 °C) avec l'apport thermique supplémentaire. Ceci représente une amélioration momentanée du coefficient de performance de 16,7 %. Évidemment, le coefficient de performance moyen annuel sera pondéré en fonction de la fréquence des apports d'énergie de la boucle et du système PA-Geo. Le coefficient de performance sera aussi affecté par l'énergie traitée par la thermopompe et qui est redirigée vers le sol comme énergie de recharge.

La figure 2 montre l'impact d'une augmentation de la température d'entrée d'eau sur le coefficient de performance.

De la perspective d'un système géothermique, l'unité PA-Geo produit de l'énergie de manière très intense mais dans une faible proportion du temps – en fait, seulement lorsque le système de RTEG est sollicité et que la température excède les paramètres prédéterminés. Un drain de rejet domestique peut fonctionner de 30 à 45 minutes par jour: 2 ou 3 douches de 7 à 10 minutes chacune; plus 2 ou 3 rejets de lave-vaisselle de moins d'une minute chacun; plus 2 ou 3 rejets de laveuse d'environ 1 minute – lavage et rinçage; plus des rejets provenant des éviers et qui sont plutôt aléatoires et habituellement de courtes durées; et finalement quelques rejets de baignoire. En pratique, même les renvois de toilettes peuvent fournir une certaine quantité d'énergie (dans la plupart des cas la température de l'eau est > T_{Geo} = 1 °C) bien que dans ce cas le débit de renvoi est élevé et la température modérée. La récupération de chaleur de cette source est donc modeste.

Dans une maison dont la charge thermique annuelle est de 80 GJ et que 25 % de cette énergie est affectée à la production d'eau chaude domestique (20 GJ) et avec un taux de récupération de 55 %, la contribution annuelle d'un système PA-Geo serait de l'ordre de 11 GJ. La charge requise du puits géothermique serait donc réduite d'autant alors que l'énergie utile du système de RTEG est consommée par la thermopompe ou rejetée au sol pour utilisation future.



Pour cette même maison, et en supposant un coefficient de performance moyen de 3,2, la contribution thermique du puits géothermique sera 68,8 % du 80 GJ, ou environ 55 GJ. Ainsi, le système PA-Geo réduit la charge thermique requise pour la maison à seulement 44 GJ, soit une réduction de 20 %.

La longueur de la boucle géothermique (L_h) dépend à la fois de la charge instantanée et de l'énergie annuelle. En conséquence, elle ne changera pas dans la même proportion que les ratios présentés plus haut. Dans ce cas, le champ géothermique serait réduit de 1 867 pieds à 1 801,1 pieds, soit une réduction de 3,6 %.

Nos études montrent que plus le pourcentage de récupération de la charge par le système PA-Geo est élevé, plus l'impact sur la longueur de la boucle géothermique et l'impact sur le coefficient de performance seront élevés. Quand la proportion de la charge thermique pour les besoins en eau chaude domestique compte pour plus de 50 % de la charge totale (comme c'est

souvent le cas dans les habitations multiples performantes), la réduction de la L_h approche 14 %. L'augmentation du coefficient de performance est aussi très marquée puisqu'une température d'entrée d'eau élevée était disponible pour une durée plus grande par rapport aux heures de fonctionnement du système géothermique. Le coefficient de performance est très sensible à la température d'entrée d'eau alors une recharge aussi faible que 20 % de l'énergie du sol peut avoir un impact significatif.

Des simulations plus complètes ont démontré que le coefficient de performance annuel peut être altéré de 4 à 8 % pour une maison de taille moyenne et d'un pourcentage beaucoup plus élevé dans le cas des habitations multiples ou pour les projets avec plusieurs puits géothermiques. Là où les charges thermiques des eaux grises sont les plus intenses – comme c'est le cas pour les entreprises de nettoyage, les commerces avec des lave-vaisselle commerciaux ou encore là où il y a plusieurs douches (par ex. les gymnases) – l'impact est plus prononcé. Il faut aussi noter que l'amélioration du coefficient de

performance augmentera avec le temps (plus de 5 ans) à cause de la recharge conséquente de l'utilisation du PA-Geo par rapport à un système normal dont la performance dépend seulement du cycle saisonnier de refroidissement et de chauffage.

Aspects économiques

Les avantages économiques du système PA-Geo peuvent être évalués par une analyse financière. Les deux principaux avantages portent sur la réduction de la longueur de la boucle géothermique et sur l'augmentation du coefficient de performance du système et la réduction conséquente de la consommation d'électricité nécessaire au fonctionnement du système.

À titre d'exemple, supposons un système géothermique avec un coefficient de performance annuel initial de 3,2 et qui est ensuite augmenté avec le système PA-Geo. Supposons aussi une boucle géothermique de 1 800 pieds avec tuyau de $\frac{3}{4}$ de pouce et qui sera réduite par l'ajout du système PA-Geo.

Supposons ensuite que le coût marginal du pied de forage est de 10 \$ (incluant le forage, le coulis, les connections, les tranchées et la main-d'œuvre) et que le coût de l'électricité est de 10 cents / kWh avec un ajustement pour l'inflation de 3,5 % par année. Comme la durée de vie utile du puits géothermique et du système PA-Geo est très longue, retenons un horizon de 30 ans pour fins de calculs. L'investissement net sera donc réduit de 10 \$ pour chaque pied de boucle économisé et les frais d'électricité réduits de 10 cents par kWh économisé. Avec ces informations, il est possible de calculer un taux de rendement interne associé au coût net d'ajouter un système PA-Geo à un système géothermique.

Les figures 3 et 4 montrent l'effet d'une variation de L_h et du coefficient de performance sur le taux de rendement interne. On y voit clairement que l'ajout d'un système PA-Geo à un système géothermique entraînera des économies substantielles qui justifient l'investissement supplémentaire. Par ailleurs, comme le système PA-Geo sollicite peu d'énergie de pompage pour matérialiser ces économies, il en résulte des économies d'énergie supplémentaires qui n'ont pas été prises en compte dans cet exemple.

Figure 3
Taux de rendement interne et amélioration du coefficient de performance

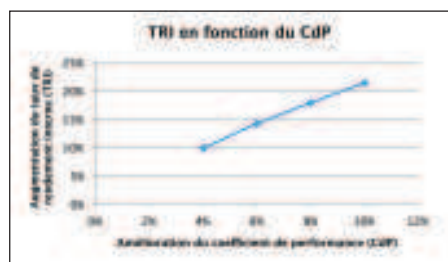


Figure 4
Taux de rendement interne avec amélioration (réduction) de la longueur de la boucle géothermique



Exemple de fonctionnement d'un système PA-Geo

Il y a maintenant plusieurs cas concrets d'installations de systèmes PA-Geo en Alberta. En particulier, mentionnons deux projets d'habitations multiples qui ont été complétés au cours de la dernière année. Le premier est le complexe d'habitations multiples Happy Creek situé à Hinton. Dans ce projet de 46 logements répartis dans 5 édifices, on retrouve 5 systèmes géothermiques auxquels sont couplés 10 systèmes PA-Geo. Dans ce projet, les concepteurs ont établi qu'une réduction de la longueur de la boucle géothermique de 12 % était possible mais ont opté pour une réduction de 6 %. Cette approche conservatrice a été jugée prudente puisqu'il s'agissait de la première installation du genre. Le projet est opérationnel depuis un an et les données relatives à la consommation d'énergie seront disponibles dans les prochains mois.

Le second projet est le complexe d'habitations Stony Mountain Plaza à Fort McMurray. Ce projet comprend 125 logements répartis dans deux bâtiments. En plus des 20 systèmes PA-Geo installés dans ce projet, on retrouve aussi 10 panneaux solaires thermiques qui sont utilisés à des fins de stockage thermique dans le sol. Selon les estimations, la combinaison des deux types de systèmes couplés à la géothermie devrait amener une réduction de l'utilisation de la charge thermique du sol dans une proportion de 20 à 30 %. Les concepteurs de ce projet pensent que la dégradation thermique du sol dans le temps sera aussi relativement faible. Le projet fait l'objet de travaux de recherches de l'auteur, de l'Université de l'Alberta, de Ressources naturelles Canada et du propriétaire de l'édifice. Ces travaux visent la collecte d'information des paramètres suivants en situation réelle: chauffage de l'espace et utilisation de l'eau chaude, énergie d'éclairage utilisée par logement, taux d'occupation et utilisation de toutes les formes d'énergie à toute heure de la journée ainsi qu'un monitoring de la qualité de l'air intérieur.

De plus, le système PA-Geo, le système géothermique, le système solaire thermique et le système de bouilloires font aussi l'objet de mesurage particulier et les données sont enregistrées pour analyse ultérieure. Une quantité importante de données seront ainsi collectées au cours des 3 à 5 prochaines années ce qui permettra une analyse plus approfondie et le partage conséquent des résultats en temps et lieu.

Conclusions

Nous avons discuté dans cet article une amélioration des performances des systèmes géothermiques par l'addition de systèmes de récupération de la chaleur des eaux grises. L'interaction entre le système Pa-Geo et le système géothermique crée une synergie qui profite aux deux composantes. Il a été démontré que la chaleur d'appoint provenant de la récupération de chaleur des eaux grises pouvait être profitable à presque tous les systèmes géothermiques et que cette rentabilité était croissante avec l'augmentation de la taille des systèmes. Le système PA-Geo capitalise sur la basse température du liquide caloporteur de la boucle géothermique pour accroître la température dans les échangeurs de chaleurs, augmentant significativement l'impact de la récupération de chaleur des eaux grises. En retour, la rentabilité du système géothermique est améliorée grâce à un échangeur de sol plus petit et à une augmentation du coefficient de performance conséquent d'une température d'entrée d'eau plus élevée. ■

(*) David Morrow est un ingénieur professionnel qui se spécialise dans la conception de structures et de systèmes efficaces. Il a suivi les cours de conception de systèmes géothermiques résidentiels et commerciaux de la CCÉG. Son travail porte principalement sur l'intégration et l'optimisation des améliorations sur l'enveloppe des bâtiments, la géothermie, l'énergie solaire et la récupération de chaleur dans les édifices modernes et dans les procédés, souvent en conjonction avec des systèmes au gaz naturel, à la biomasse et autres systèmes énergétiques d'appoint.

(*) David est le président de Hydraft Development Services Inc., une entreprise qui se spécialise dans l'offre de solutions énergétiques rentables aux propriétaires de bâtiments. Il agit soit comme fournisseur de systèmes, consultant pour la conception et pour l'accompagnement des propriétaires de bâtiments dans la gestion de leurs projets ou encore comme fournisseur et consultant pour d'autres entrepreneurs. Les principales activités de Hydraft portent sur la fabrication et la distribution de systèmes de récupération de chaleur des eaux usées et le développement de produits spécialement adaptés à diverses clientèles. Pour plus de renseignements, on peut communiquer avec David Morrow au 780-474-6212 ou david.morrow@shaw.ca