

AMÉLIORER LE DIMENSIONNEMENT DES CHAMPS GÉOTHERMIQUES : POURQUOI ET COMMENT?

LA GÉOTHERMIE : DE L'ESPOIR ET DES BARRIÈRES...

L'énergie géothermique présente un fort potentiel en vue de la transition de nos sociétés vers une utilisation plus durable des sources d'énergie que la Terre est en mesure de fournir. Plus particulièrement, les pompes à chaleur couplées à un échangeur de chaleur géothermique (ECG) pavent la voie de l'amélioration de l'efficacité énergétique des bâtiments de toute taille. Néanmoins, en dépit de son grand potentiel technique et d'un marché en croissance, la géothermie ne comblait encore en 2011 que 0,5% des besoins de chauffage et de refroidissement des bâtiments canadiens [Photo 1]. En effet, nul n'est contre la vertu, mais lorsque vient le temps de passer à l'action, un constat demeure : en comparaison avec un système traditionnel, les implications financières d'un système géothermique en découragent plusieurs. Essentiellement, le coût d'implantation passablement plus élevé et, conséquemment, la période de retour sur l'investissement relativement longue sont l'envers de la médaille pour bénéficier des économies d'énergie à long terme et des avantages environnementaux qui en découlent. La variabilité des propriétés thermiques et hydrauliques des environnements géologiques représente également un risque, surtout pour les grands bâtiments où un

surdimensionnement préventif n'est pas une option. Le travail présenté ici aborde ce risque. Il se concentre sur les systèmes à puits verticaux en boucle fermée, soit le type le plus répandu au Québec, avec 83% des systèmes résidentiels installés ces dernières années [Photo 2].



PHOTO 1 : PUIITS GÉOTHERMIQUE EN COURS DE RACCORDEMENT DANS UNE TRANCHEE EXCAVEE.



PHOTO 2 : PUIS DE GÉOTHERMIE À UNE ÉTAPE INTERMÉDIAIRE DE CONSTRUCTION (APRÈS FORAGE ET INSTALLATION DES BOUCLES DE TUYAUSERIE, MAIS AVANT L'EXCAVATION).

LES PRÉVISIONS VERSUS LA PERFORMANCE RÉELLE

Les méthodes de conception actuelles ont permis des avancées importantes par rapport aux simples « règles du pouce » de jadis. En plus des règles de dimensionnement proposées par l'ASHRAE [3], divers outils et logiciels permettent aujourd'hui d'effectuer des simulations pour dimensionner les champs géothermiques et prédire leurs performances. Toutefois, que l'on parle des modèles analytiques (ex. ligne ou cylindre source), ou encore des modèles basés sur des volumes finis ou des éléments finis, ils sont tous fondés sur un certain nombre d'hypothèses qui sont rarement mises en doute, en partie faute de pouvoir les confronter à la réalité du terrain. En effet, les différents modèles sont souvent comparés entre eux dans la littérature scientifique, mais pour des raisons évidentes, il est difficile de les valider par un suivi expérimental de longue durée de champs géothermiques. Cela se reflète entre autres dans les différences allant jusqu'à plus de 20% entre différents modèles pour déterminer la longueur de forage requise et dans les performances réelles qui s'écartent parfois d'autant par rapport à ce qui était prévu. Considérant les coûts d'implantation élevés, il importe donc de mieux comprendre la source de ces écarts afin d'améliorer davantage la précision et la fiabilité des outils de dimensionnement et des prédictions de performance. À terme, des systèmes qui répondent mieux aux attentes et qui performent de façon satisfaisante représentent également un risque financier diminué, ce qui se traduit ultimement par un coup de pouce pour une plus grande pénétration du marché. Des améliorations ont déjà été suggérées pour différents modèles existants, mais il demeure des manques au niveau de la validation expérimentale et de l'intégration des améliorations

proposées dans des outils pratiques pour l'industrie. De ces besoins est né un projet de recherche en partenariat avec l'Université Laval, la chaire de recherche industrielle 3e de l'École de technologie supérieure (ETS) et l'entreprise Ecosystem.

LA R&D EN COURS

Globalement, la première partie du projet consiste à développer une méthodologie rigoureuse d'analyse et de suivi de champs d'ÉCG en service afin d'en comparer la performance réelle avec les prédictions de modèles. Les résultats de cette première phase permettront d'évaluer l'influence de diverses hypothèses et simplifications des modèles, et à terme, de recommander certaines pratiques à l'industrie en intégrant les connaissances développées dans ce projet.



PHOTO 3 : COLLECTEURS GÉOTHERMIQUES SITUÉS DANS LA SALLE MÉCANIQUE.

SYSTÈME D'ACQUISITION

Pour ce faire, la première étape consistait à déterminer l'instrumentation nécessaire pour mesurer précisément l'énergie qui est soutirée et injectée dans un champ de géothermie au fil des saisons. La figure 1 présente différents éléments d'un système géothermique instrumenté dans le cadre de cette étude. À première vue, il peut sembler facile d'effectuer un bilan thermique avec une mesure du débit et de la température du fluide à l'entrée et la sortie du champ géothermique. Cependant, une analyse des incertitudes révèle qu'il est plus difficile qu'il n'y paraît d'obtenir des résultats fiables et significatifs. En effet, bien qu'ayant une précision suffisante pour la gestion et le contrôle des systèmes, les sondes de température et les interfaces installées couramment pour les applications en mécanique du bâtiment génèrent une incertitude importante sur le taux de transfert de chaleur réel au niveau du champ géothermique. Pour le présent projet, en choisissant toutes les composantes de la chaîne de mesure de façon à minimiser l'incertitude totale et en appliquant un processus d'étalonnage systématique régulier, l'incertitude a été réduite à ± 0.1 °C pour chaque sonde de température, ce qui représente une erreur relative de $\pm 10\%$ sur une différence de température de 2 °C entre l'entrée et la sortie du champ géothermique. Cette valeur a été jugée satisfaisante dans les circonstances. Concernant la mesure du débit, elle est effectuée ponctuellement à l'aide d'un débitmètre portatif à ultrasons comportant

une incertitude entre 3 et 5 % (figure 2). Cette approche a été choisie en raison des coûts élevés de l'installation d'un débitmètre fixe à chaque site. En contrepartie, les installations à débit variable ont été exclues d'emblée.

CHOIX DES SITES ÉTUDIÉS

Pour obtenir des données, il faut évidemment avoir accès à des sites où des systèmes géothermiques sont installés, d'où l'intérêt d'un partenariat entreprise-université. Parmi différents projets réalisés par Ecosystem, six systèmes géothermiques à puits verticaux mis en service récemment ont été sélectionnés sur la base des critères suivants :

- Diversité des milieux géologiques : les six sites présentent des milieux variés en termes d'épaisseur de mort-terrain, de présence d'eau souterraine, de type de sols, etc.
- Disponibilité de données sur l'environnement géologique : diverses bases de données et études permettent d'obtenir de l'information sur les milieux géologiques et les eaux souterraines (par exemple, le système d'information hydrogéologique (SIH) et le programme d'acquisition de connaissance sur les eaux souterraines (PACES) du MDDEP). Finalement, pour certains sites, des tests de réponse thermique avaient été réalisés lors de la phase de conception du système.
- Diversité des choix de conception : pour permettre d'étudier une variété de concepts ayant été mis en œuvre, tels que la présence ou l'absence de recharge thermique estivale, de dispositif d'espacement des tuyaux, etc., ainsi que les choix de matériau au niveau du coulis et des tuyaux. De plus, des champs de puits de diverses tailles sont étudiés (de 6 à 46 puits, selon le site).
- Facilité d'implantation du système de mesure sans débitmètre fixe.

Les sites retenus sont répartis sur les territoires de Montréal, Québec, Baie-Comeau et en Montérégie. Trois des bâtiments choisis sont des écoles et les trois autres sont des centres hospitaliers, avec les horaires de fonctionnement et les charges de chauffage et climatisation propres à ces deux types de bâtiment.

... L'ÉTUDE PERMETTRA DE METTRE EN ÉVIDENCE LA VALEUR AJOUTÉE DE TESTS DE RÉPONSE THERMIQUE ET DE DIFFÉRENTS TUYAUX, COULIS OU DISPOSITIFS D'ESPACEMENT DES TUYAUX EN LIEN AVEC LEUR SURCÔÛT À L'INSTALLATION.



FIGURE 1 : SYSTÈME GÉOTHERMIQUE VU DE LA SALLE MÉCANIQUE
A (ENCERCLÉ) : SONDÉS DE TEMPÉRATURE
B : COLLECTEUR D'ALIMENTATION DU CHAMP GÉOTHERMIQUE
C : COLLECTEUR DE RETOUR
D : THERMOPOMPE EAU-EAU



FIGURE 2 : MESURE PONCTUELLE DU DÉBIT CIRCULANT DANS LE CHAMP GÉOTHERMIQUE À L'AIDE D'UN DÉBITMÈTRE À ULTRASONS PORTATIF.

TRAVAUX EN COURS

À l'heure actuelle, l'instrumentation est déployée dans tous les sites visés, et l'acquisition des mesures est en cours et se poursuivra au cours des prochaines années. Une comparaison détaillée sera effectuée à partir des données recueillies sur la performance mesurée et les résultats issus de différents modèles sur la performance prédite. L'objectif consiste à déterminer les raisons pouvant expliquer les différences observées. Par exemple, au nombre des hypothèses pouvant être réévaluées, on note l'influence de la stratigraphie des sols et des écoulements d'eau souterraine, la distribution de température du fluide caloporteur, les variations de température en surface du sol, la température uniforme sur le périmètre du forage, le régime transitoire négligée dans le forage, etc. En particulier, l'influence de l'environnement géologique sur la performance sera considérée.

En outre, l'étude permettra de mettre en évidence la valeur ajoutée de tests de réponse thermique et de différents tuyaux, coulis ou dispositifs d'espacement des tuyaux en lien avec leur surcoût à l'installation. L'ensemble des connaissances développées servira à établir d'une part des lignes directrices pour la conception et le suivi d'ÉCG, et d'autre part, des recommandations quant au développement de tests de terrain et à l'utilisation de données géoréférencées lors de la conception.

En somme, ces travaux contribuent à une meilleure compréhension du couplage entre les phénomènes thermiques et géologiques en jeu dans les champs géothermiques. Grâce à l'interaction développée entre entreprise et université, ce projet combine la force des ressources universitaires à une meilleure compréhension des enjeux sur le terrain en bénéficiant de données sur des installations bien réelles. L'amélioration de la conception et de la performance de ces systèmes pourra contribuer à leur déploiement à plus grande échelle, ce qui permet d'envisager des retombées environnementales et économiques importantes. ■

REMERCIEMENTS

Ce projet bénéficie du support financier du Fonds de recherche du Québec - Nature et technologies (FRQNT) et du Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada (CRSNG), ainsi que de la participation financière et technique de Ecosystem.

1. Denis Tanguay et Ted Kantrowitz, « Le rôle de la géothermie pour l'avenir du Canada en matière d'énergie durable », présentation de la Coalition canadienne de l'énergie géothermique (CCÉG) au Comité sénatorial permanent de l'Énergie, de l'Environnement et des Ressources naturelles, 8 février 2011.
2. Coalition canadienne de l'énergie géothermique (CCÉG), « État de l'industrie canadienne de la géothermie 2011 - Analyse du marché et enquête de l'industrie », février 2012.
3. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE), « ASHRAE Handbook - HVAC Applications, Chapter 34: Geothermal Energy », 2011.

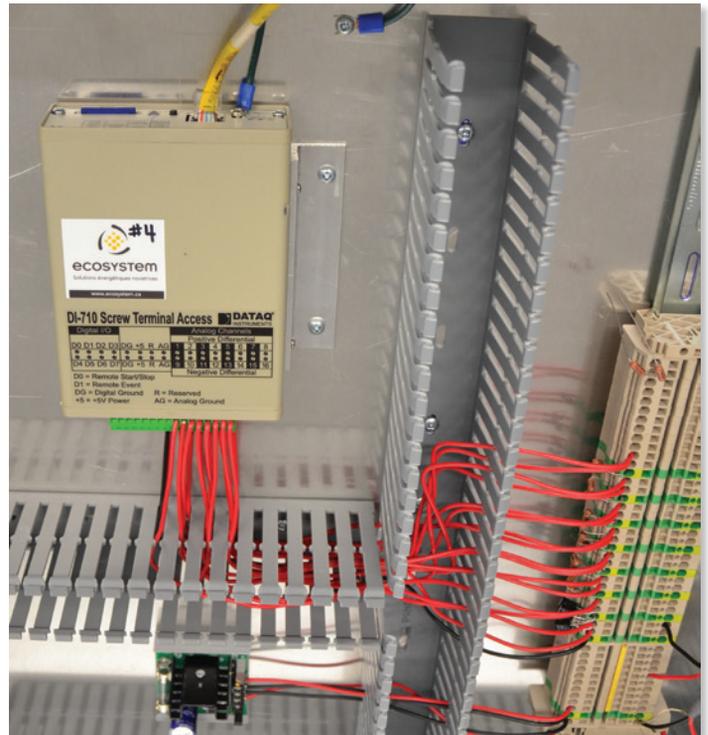


PHOTO 4 : MODULE ÉLECTRONIQUE D'ENREGISTREMENT DE DONNÉES ET MONTAGE AVEC BORNIER DANS LE PANNEAU DE MESURAGE.



PHOTO 5 : SONDE DE TEMPÉRATURE (INSÉRÉE DANS UN Puits D'IMMERSION DANS LA TUYAUTERIE) ET SON TRANSMETTEUR DE SIGNAL ÉLECTRONIQUE.