

La Maîtrise de

# l'énergie

Volume 23 — Numéro 1 — Mars 2008

## Dossier spécial géothermie

**Le projet 740 Bel Air:  
la géothermie couplée  
à une réserve thermique**

**L'importance des essais  
de réponse thermique**

**Recharge solaire  
d'un puits géothermique**

**La géothermie sans puits**

# La géothermie couplée à une réserve thermique au 740 Bel-Air.

En 2002, Travaux publics et services gouvernementaux Canada (TPSGC) a entrepris les démarches de conception et de construction d'un édifice multi-clients devant être érigé au 740 rue Bel-Air à Montréal. Cet édifice sera éventuellement baptisé l'Édifice Normand-Maurice (photo 1). Une équipe multidisciplinaire, incluant Pageau Morel, a été mandatée dès le début du projet pour assurer la conception de cet édifice, d'une superficie totale de 15700 m<sup>2</sup> d'espaces climatisés. Il devait abriter principalement des bureaux, des salles de réunion et de classe, des entrepôts, un gymnase et une salle de tir, avec une occupation de pointe d'environ 400 personnes. L'édifice devait aussi servir de prototype de « bâtiment durable » pour TPSGC et obtenir une certification LEED Canada-NC de niveau Or.

Dans le but de réduire la consommation énergétique annuelle du bâtiment, l'équipe de conception a opté pour une large panoplie de mesures et de stratégies. Parmi celle-ci, on retrouve notamment une centrale thermique utilisant un système thermopompe de 210 kW nominaux (60 tonnes) couplé à un échangeur géothermique de 60 puits de 137 m (450 pi) et une réserve thermique solide d'un volume de 940 m<sup>3</sup> (33200 pi<sup>3</sup>) de sable. Deux refroidisseurs de 210 kW (60 tonnes) refroidis à l'air et deux chaudières au gaz naturel à haute efficacité de 585 kW (2000 MBH), servant à assurer la charge de climatisation et de chauffage de pointe et d'équipement de relève en cas de panne du refroidisseur principal. Cette centrale alimente notamment l'eau glacée et l'eau de chauffage aux groupes de dalles radiantés.

Le présent article met l'accent sur la conception de l'échangeur géothermique, la réserve thermique et leur utilisation conjointe. Avant tout, voici une courte discussion sur le fonctionnement de la centrale thermique.

## Centrale thermique

Tel que mentionné précédemment (voir aussi figure 1), la centrale thermique est constituée de producteurs d'énergie (refroidisseurs, chaudières et réserve thermique, lorsqu'elle est utilisée en déchargement) et de consommateurs (systèmes de CVC, dalles radiantés, échangeur géothermique et réserve thermique, lorsqu'elle est utilisée en chargement).

En tout temps, le refroidisseur principal est opéré en priorité, produisant à la fois de l'eau glacée et de l'eau de chauffage. Pendant la saison de chauffage, le système cherche en premier lieu à récupérer la chaleur fournie par les consommateurs d'eau glacée (les zones

intérieures du bâtiment) pour la réutiliser vers les utilisateurs d'eau de chauffage (les zones périphériques et le traitement de l'air neuf). S'il y a un manque de consommateurs, l'échangeur géothermique est alimenté en eau glacée pour créer une charge de refroidissement (ce faisant, y extraire de la chaleur). En dernier lieu, les chaudières sont utilisées au besoin. Pendant la saison estivale, l'inverse se produit.

De son côté, pendant la saison hivernale, la réserve thermique sert à préchauffer le retour d'eau de chauffage pendant le jour (elle est donc un producteur d'énergie), alors qu'elle est rechargée en priorité pendant la nuit à l'aide du refroidisseur principal (devenant donc un consommateur d'eau de chauffage). Et vice-versa pour la saison estivale. En tout temps le chargement et le déchargement de la réserve thermique sont faits de manière contrôlée, de façon à ne pas surcharger le refroidisseur principal (mode chargement) ou de ne pas la décharger trop rapidement (mode déchargement). Dans ce dernier cas, l'objectif est d'éviter le démarrage d'une chaudière ou d'un refroidisseur d'appoint.

## Échangeur géothermique vertical

Le concept initial prévoyait l'installation de deux refroidisseurs principaux de 210 kW nominaux (60 tonnes) chacun, combinée avec un échangeur de chaleur ayant 100 puits de 137 m (450 pi). Toutefois, l'espace disponible sous le bâtiment était sévèrement limité, notamment à cause des empattements des fondations, ce qui pouvait entraîner une interférence thermique significative entre les puits. Il était aussi nécessaire de réduire le coût des travaux.



Vue aérienne de l'édifice

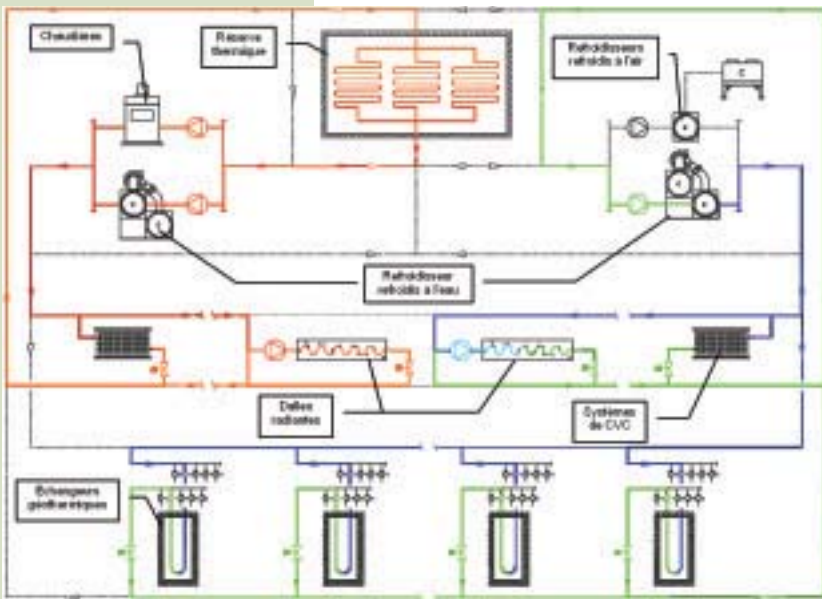


Figure 1  
Diagramme fonctionnel de la centrale thermique (mode chauffage du bâtiment, préchauffage de la réserve thermique avec extraction d'énergie via l'échangeur géothermique).

Les méthodes de dimensionnement des échangeurs géothermiques exigent de tenir compte des paramètres suivants : charges de pointe subies par l'échangeur en rejet et en extraction de chaleur, bilans thermiques mensuel et annuel sur l'échangeur, températures du sol et du fluide circulant dans l'échangeur, type de forage et de coulis, et type de sol.

En examinant l'influence des différents paramètres, on a pu constater que la charge de pointe comptait pour 86 % de la longueur totale requise. Diminuer la charge de pointe était donc une stratégie toute indiquée pour diminuer la taille de l'échangeur géothermique. Toutefois, en réduisant la charge de pointe, on se devait de conserver les mêmes bilans thermiques pour maintenir le rendement

thermique global recherché pour la centrale thermique. Il fallait donc implanter une forme de stockage d'énergie.

Étant donné son usage passé, un large volume du site devait être décontaminé. Un secteur de 1800 m<sup>2</sup> avec dalle sur sol était planifié, nécessitant un remblai complet à cet endroit jusqu'au niveau du sol. Le volume sous ce secteur a donc donné l'opportunité d'y installer un système de stockage d'énergie thermique sensible solide.

Conséquemment, cette réserve a été conçue pour entièrement remplacer un des refroidisseurs principaux de 210 kW. Elle devait être en mesure de produire l'équivalent de 210 kW de climatisation (ou de rejet de chaleur) pendant

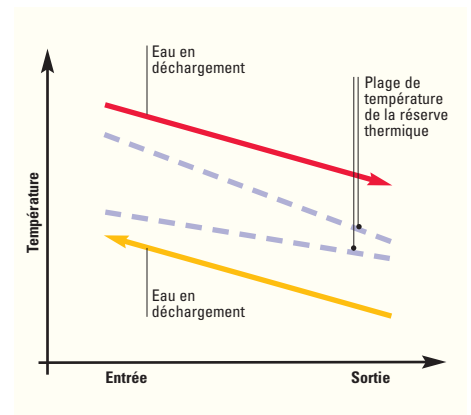


Figure 2  
Profils de température dans la réserve thermique en mode d'opération hivernal

une période d'au moins 8 heures après être chargée pendant la nuit précédente. Ce faisant, la charge de pointe perçue par l'échangeur géothermique serait réduite de moitié, sans changer les bilans thermiques mensuel et annuel. Les nouveaux calculs de dimensionnement de l'échangeur géothermique ont indiqué qu'il ne fallait plus que 60 puits de 137 m (450 pi), ce qui entraine dans l'espace disponible sous le bâtiment sans générer d'interférence thermique.

### Réserve thermique solide

La littérature au sujet du stockage thermique en CVC couvre presque exclusivement les réservoirs contenant un liquide, qui est alors soit chauffé pour emmagasiner de la chaleur ou gelé pour emmagasiner du froid. Très peu d'information scientifique (théorie, règles de dimensionnement, études de cas, etc.) existe sur les systèmes de stockage solide.

Un modèle simple, basé sur la théorie des réseaux de nœuds en différences finies (*finite-difference nodal network*), a donc été programmé dans le but d'observer le comportement transitoire en chargement et en déchargement de la réserve thermique. Ce modèle a permis d'observer la répartition de l'énergie à l'intérieur de celle-ci, ce qui a permis de noter deux phénomènes importants reliés à la diffusion thermique plutôt lente dans la masse solide.

Premièrement, la chaleur ne se répartit pas uniformément le long des tuyaux, mais suit le profil de température de l'eau dans les tuyaux lors du chargement (figure 2). Par conséquent, pour un échange thermique optimal, il est nécessaire d'inverser l'écoulement de l'eau entre les deux modes d'opération, recréant l'effet d'un échangeur à contre-courant.



Installation du rang supérieur de la réserve thermique.

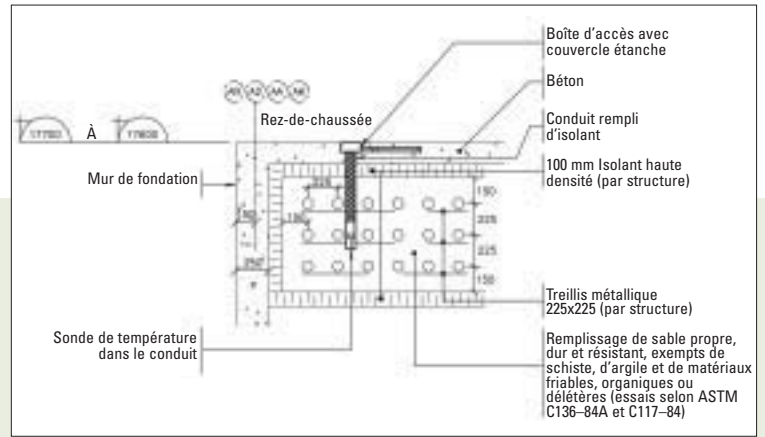


Figure 3 – Détails de construction de la réserve thermique

De plus, la profondeur de pénétration de la chaleur se limite à un rayon d'environ 100 mm (4 po). Par conséquent, la construction de la réserve thermique prévoit un espacement d'environ 225 mm (9 po) entre les tuyaux, pour minimiser les interférences thermiques entre les cycles de chargement et de déchargement (figure 3 et photo 2).

### Consommation énergétique

Dans le cadre de la certification LEED Canada-NC, des simulations ont été réalisées avec le logiciel EE4-PEBC version 1,6 pour établir la performance énergétique du bâtiment.

À l'aide des simulations, il a été estimé que l'utilisation du refroidisseur principal comme une thermopompe, combiné avec l'échangeur géothermal, la réserve thermique, les chaudières et les refroidisseurs d'appoint, se traduit par un COP moyen annuel de la centrale de 2,50 en chauffage et de 4,35 en climatisation.

La révision finale du PEBC établit la consommation énergétique annuelle totale du bâtiment de référence à 29644 GJ (1095,3 MJ/m<sup>2</sup>, pour la superficie simulée qui incluait les

espaces non climatisés, 459 000 \$) et celle du bâtiment proposé à 15 278 GJ (621 MJ/m<sup>2</sup>, 284 000 \$). La réduction globale est donc de 48,5 % en consommation d'énergie et de 38,1 % en frais d'énergie.

Pour la période d'avril 2006 à mars 2007, la consommation d'énergie réelle du bâtiment s'est établie comme suit : électricité, 9841 GJ (191 524 \$); gaz naturel, 1592 GJ (21 460 \$); total, 11 460 GJ (465,9 MJ/m<sup>2</sup>, 212 984 \$). Cette consommation réelle représente une réduction de 61 % de la consommation d'énergie par rapport à la référence du PEBC et une réduction de 55 % des coûts.

### Conclusion

Dans le cadre du projet de construction de l'Édifice Normand-Maurice du Gouvernement du Canada (situé au 740 rue Bel-Air), le couplage d'un système de refroidisseur-thermopompe et d'un échangeur géothermique avec une réserve thermique sensible journalière a eu un impact significatif sur les charges de pointe en rejet et en extraction de chaleur à l'échangeur. Il a donc été possible de réduire de moitié les charges en pointe perçues par l'échangeur géothermique.

Ce faisant, la taille de celui-ci a pu être réduite de 40 %, sans sacrifier les économies d'énergie réalisables puisque la même quantité d'énergie est échangée avec le sol.

L'implantation de cette centrale thermique haute performance a de plus permis d'accroître le rendement annuel saisonnier de la chaufferie du nouvel édifice d'approximativement 85 % (efficacité typique d'une chaudière au gaz naturel à haute efficacité) jusqu'à plus de 270 %, permettant de réduire substantiellement la consommation énergétique du site (61 % inférieure au bâtiment de référence du PEBC) et de réaliser des économies substantielles en frais énergétiques (plus de 55 %).

### Équipes de professionnels

- Propriétaire : Travaux publics et services gouvernementaux Canada
- Architecture : Consortium ABCP, Beauchamp Bourbeau et Busby & Assoc.
- Structure : Saïa Deslauriers Kadanoff Leconte Brisebois Blais
- Mécanique, électricité et énergie : Pageau Morel et associés
- Entrepreneur général : Le groupe Decarel inc. ■

**Les Forages L.B.M. Inc.**

Michel Bouffard  
Président

Martin Sunfaçon  
Directeur de projets

C.P. 740, Victoriaville (Québec) G6P 7W7 | TÉL : 819 758-7883 | Téléc. : 819 758-4369  
www.lesforageslbm.com | info@lesforageslbm.com

- . Travaux d'assèchement
- . Forage pour dynamitage
- . Étude hydrogéologique
- . Puits à drains horizontaux
- . Bulk sampling
- . Environnement
- . Essai de pompage
- . Forage géothermique
- . Construction de puits
- . Exploration minière

**Le partenaire par excellence pour tous vos projets !**

Membre de : **le réseau Géothermie Québec**

Licence RBQ : 1635-8327-47