

Étude de cas

Volume 1, numéro 4
avril 2000

Production de glace simplifiée et moins coûteuse dans une petite ville du sud-ouest du Manitoba *Étude de cas : Patinoire et salle communautaire de Miami (Manitoba)*



Fenêtres du deuxième étage et de l'aire d'observation surplombant la patinoire. En médaillon : à l'avant-plan, patinoire de Miami et salle communautaire en arrière-plan.

Durant les longs hivers manitobains, la patinoire est vraiment le centre de toutes les activités de la petite ville de Miami, dans le sud-ouest de la province. Depuis la construction de la patinoire en 1952, la collectivité avait toujours compté sur les vents froids des prairies pour produire la glace nécessaire au hockey et au patinage artistique. On pouvait espérer durant un hiver typique profiter de 50 à 100 jours de hockey et de patinage, souvent interrompus par les périodes de réchauffement de la mi-janvier. Mais au fur et à mesure que les villes voisines se dotaient de patinoires à glace artificielle, on s'est mis à ignorer Miami pour les tournois de hockey et les épreuves de patinage.

Les autorités ont donc décidé en 1998 de prendre les mesures nécessaires pour avoir de la glace pendant une période plus longue et sans interruptions et, en même temps, réduire les frais d'exploitation et les opérations d'entretien au minimum. Grâce à un concept unique en son genre et un système géothermique, la patinoire de Miami utilise le stockage thermique pour produire la glace et assurer le chauffage et la climatisation des locaux et d'une salle communautaire attenante.

La saison de patinage peut commencer jusqu'à six semaines plus tôt à l'automne et finir un mois plus tard au printemps, ce qui s'est traduit par une augmentation des recettes et par un plus grand confort dans les deux bâtiments. Il devrait être possible de récupérer en moins de trois ans la différence de coûts entre le système géothermique à thermopompes et un système de production de la glace traditionnel.

- Travaux par phases pour étaler les coûts d'investissement
- Réduction annuelle de 30 000 \$ en coûts d'exploitation, d'entretien et d'énergie permettant le remboursement en moins de deux ans
- Économies d'énergie permettant de récupérer en moins de trois ans la différence entre les coûts de l'option géothermique et ceux d'un système traditionnel
- Entretien du système par des entrepreneurs en mécanique locaux et non par des spécialistes en réfrigération
- Solution évitant la modernisation de l'installation électrique qui est requise avec un système de production de la glace
- Solution comprenant les fonctions de CVCA grâce à l'intégration du système géothermique
- Services de CVCA à un coût minime pour le centre communautaire voisin
- Entretien simple ne requérant pas de formation poussée pour les opérateurs
- Élimination des coûts annuels de mise en service à l'automne et de mise hors service au printemps propres à un système traditionnel de production de la glace à ammoniac ou au Fréon
- Un seul système pour la production de la glace et le chauffage des locaux

Patinoire de Miami

Il s'agit d'un bâtiment à arcs en bois d'environ 27 mètres sur 67. Une section de 27 mètres sur 11 à l'une des extrémités abrite au rez-de-chaussée une aire d'observation, des concessions et des bureaux. Le sous-sol abrite les vestiaires et le local technique. L'étage mesure environ 21 mètres sur 11. L'isolation est de R10 à R12, conformément aux normes de 1952. Les seules fenêtres de cette aire font face à la surface de glace. Le chauffage est assuré par deux fournaies électriques à air chaud de 30 kW.

La partie qui abrite la surface de glace de 25 mètres sur 56 n'est ni chauffée, ni isolée. Les seules fenêtres sont celles qui permettent d'observer les événements qui s'y déroulent de l'aire d'observation et de la salle située à l'étage.

La salle communautaire, construite en 1974, mesure 929 mètres carrés et est située à environ 24 mètres de la patinoire. Elle est chauffée en majeure partie par des appareils électriques. Quatre unités de toit alimentées au propane assurent l'admission d'air d'appoint, la ventilation, la climatisation ainsi que le chauffage.

Les autorités locales avaient déjà envisagé d'installer un système traditionnel de production de la glace, mais y avaient renoncé en raison des coûts d'exploitation et d'entretien prohibitifs et de la consommation élevée de ces systèmes. Ce n'est qu'après avoir constaté que plusieurs patinoires manitobaines utilisaient sans problème des systèmes géothermiques à thermopompes pour produire de la glace qu'on a opté pour cette solution.

Le projet a été financé par des dons de membres de la collectivité, des subventions des différents niveaux de gouvernement, des mesures incitatives des services publics, des économies d'énergie futures et l'augmentation anticipée des recettes à cause du prolongement de la période d'exploitation.

Contribution du stockage thermique à la production de la glace

On a creusé la couche de sable existante jusqu'à une profondeur d'environ 60 cm et on a recouvert les parois et le fond de la partie excavée de huit centimètres de mousse isolante à forte densité. Sur la mousse, on a placé une couche de gravier de 35 cm d'épaisseur, puis des tuyaux en polyéthylène haute densité de trois quart de pouce espacés de 20 cm, puis on a recouvert de 20 cm de gravier. Cela a permis de constituer une « zone tampon de stockage thermique » sous la surface de glace.

Ce système, qui fait l'objet d'une demande de brevet, a plusieurs avantages :

- La masse froide empêche les variations de température de la glace pendant les périodes d'usage intensif.
- Les thermopompes basse température refroidissent la zone tampon lorsque la glace n'est pas utilisée et la chaleur dégagée par la glace est injectée dans l'échangeur souterrain pour chauffer le bâtiment.

- Il assure l'intégrité de la glace durant plusieurs jours en cas de panne de courant.

Une thermopompe liquide-liquide basse température avec un compresseur de 10 kW a été installée dans le local technique de fabrication de la glace. La thermopompe est conçue pour fonctionner avec une température d'eau à l'entrée aussi basse que -29°C , des compresseurs de refroidissement et un réfrigérant qui n'est pas un CFC (R404A). La saumure refroidie par la thermopompe circule dans les tuyaux sous la glace.

Intégration d'un système géothermique

Pour réaliser une boucle de sol verticale, à côté de la patinoire, on a foré dans le sol argileux 48 trous de dix centimètres de diamètre et d'une profondeur de 38 mètres. Des tuyaux en polyéthylène haute densité de 0,75" avec des raccords en U ont été introduits dans les trous, puis raccordés à quatre paires de conduites d'alimentation et de retour de 61 cm. Ces dernières, qui comportent des robinets de sectionnement individuels, sont raccordées à un collecteur dans le local technique.

On a remplacé les deux fournaies électriques de 30 kW par deux thermopompes à air forcé de 5 tonnes* pour chauffer et refroidir l'aire d'observation, les vestiaires et la salle. La boucle thermique de sol sert de source de chaleur. On alimente l'échangeur souterrain en chaleur rejetée par la glace, ce qui permet d'accroître sensiblement le rendement des thermopompes de chauffage des bâtiments.

À l'automne, au moment de la mise en service, la température de l'échangeur souterrain monte entre 21 et 27°C . Au fur et à mesure de l'augmentation de la demande en chauffage, les thermopompes de CVCA extraient de plus en plus de chaleur de la boucle; celle-ci voit sa température diminuer graduellement jusqu'à -1 et 4°C au plus froid de l'hiver. On utilise des pompes distinctes pour faire circuler l'eau de la boucle par chaque thermopompe et par l'appareil basse température de production de glace, le but étant de réduire la consommation d'électricité lorsqu'il n'y a que les appareils de CVCA qui fonctionnent.

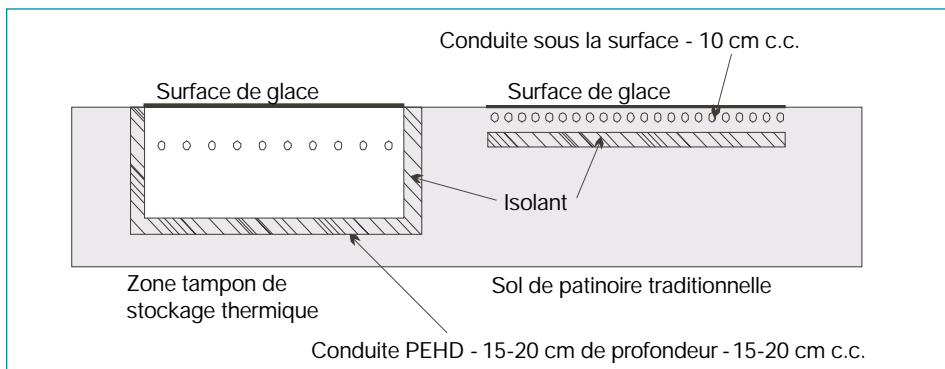


FIGURE 1. Illustration du sol d'une patinoire traditionnelle et du sol avec zone tampon de stockage thermique. La zone de stockage thermique a une capacité de 300 à 500 tonnes-heures qui permet d'assurer l'intégrité de la glace sur une longue période en cas d'interruption de courant, de panne d'une pompe ou autre machine. Cette masse de froid empêche les variations de température de la glace et nécessite une puissance frigorifique réduite. REMARQUE : Le système de « zone tampon de stockage thermique » est en instance de brevet.

* Une tonne correspond à une capacité de refroidissement de 211 kilojoules ou 200 BTU par minute.

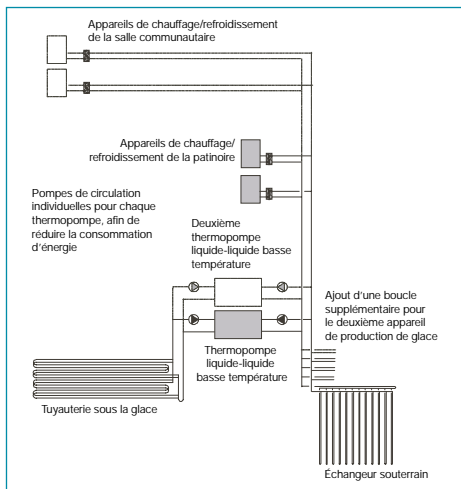


FIGURE 2. Schéma de tuyauterie illustrant l'alimentation de la boucle de sol en chaleur dégagée par les appareils de production de glace et les appareils de CVCA utilisant la boucle de sol comme source de chaleur. Au moment de la mise en service, la température de la boucle atteint 21 à 27 °C. Par temps froid, la demande de réfrigération diminue dans la partie non chauffée où se trouve la surface de glace, la quantité de chaleur fournie à la boucle devient minime et les besoins en chauffage augmentent; la température de la boucle diminue entre -1 et 4 °C. Au printemps, la demande de réfrigération augmente, les besoins en chauffage chutent et la température de la boucle augmente de nouveau.

Conception prévoyant une installation sur une période de 2 à 4 ans

L'installation du système a été prévue pour s'échelonner sur deux à quatre ans, selon les disponibilités de fonds.

La première phase du projet, qui portait sur l'installation d'une thermopompe basse température pour fabriquer la glace et deux thermopompes de cinq tonnes pour assurer le chauffage de l'entrée, des vestiaires et de



Local technique de l'aréna de Miami.

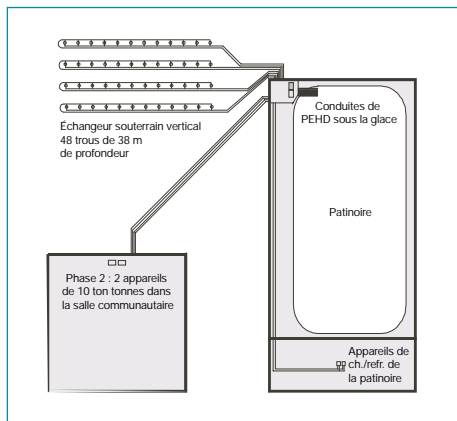


FIGURE 3: Plan de la patinoire et de la salle communautaire de Miami

la salle à l'étage, a été menée à terme en 1998. La deuxième phase portait sur l'installation de deux thermopompes de dix tonnes dans la salle communautaire voisine.

La troisième phase consistera à ajouter une deuxième thermopompe basse température pour accroître la capacité de production de glace.

Additions futures

L'ajout d'un plafond à faible émissivité permettra d'accroître le rendement du système en réduisant l'absorption de chaleur par la glace. En isolant mieux la patinoire, on réduira les pertes de chaleur et on pourra chauffer l'aire des spectateurs. On pourra toujours ajouter le cas échéant une dalle

de béton avec une deuxième tuyauterie incorporée. Celle-ci permettra d'accélérer la production de la glace à l'automne et d'accroître la flexibilité d'exploitation de la patinoire l'été.

Comparaison des frais d'installation

La solution géothermique exigeant le remplacement de tout le chauffage électrique, les frais d'installation sont bien entendu plus élevés

que ceux d'un système traditionnel de production de la glace. Le tableau suivant permet de comparer les frais d'installation des deux systèmes; on prend pour hypothèse qu'en optant pour un système traditionnel de production de la glace, on utilise les fournaies électriques et les unités de toit alimentées au propane.

Le système traditionnel à ammoniac entraîne des coûts supplémentaires de

La demande d'énergie du système géothermique est en fait inférieure à celle du système actuel de production de glace naturelle et de chauffage électrique locaux.

TABLEAU 1 Coûts du projet

| | INSTALLATION GÉOTHERMIQUE | INSTALLATION TRADITIONNELLE |
|---|---------------------------|-----------------------------|
| Thermopompes basse temp. de prod. de glace | 72 000 \$ | – |
| Thermopompes géotherm. (CVCA et conduits) | 43 000 \$ | – |
| Pompes de circulation (glace, échangeur souterrain) | 4 500 \$ | 5 000 \$ |
| Échangeur souterrain vertical | 33 000 \$ | – |
| Commandes | 3 500 \$ | 1 500 \$ |
| Sol sous la surface de glace | 19 000 \$ | 30 000 \$ |
| Excavation (coût défrayé par la collectivité) | 15 000 \$ | 5 000 \$ |
| Isolation du sol sous la surface de glace | 16 000 \$ | 16 000 \$ |
| Main-d'œuvre gratuite locale | 22 000 \$ | 18 000 \$ |
| Système de production de la glace | – | 85 000 \$ |
| Addition à l'édifice pour abriter le système | – | 15 000 \$ |
| Modernisation des installations électriques | – | 4 000 \$ |
| Incitatif des Services publics | (15 500 \$) | – |
| Coût de projet total | 212 500 \$ | 179 500 \$ |

construction d'un local pour la production de la glace, mais également pour rendre les systèmes de ventilation conformes aux règles de sécurité particulières à ces systèmes. Le système géothermique à thermopompes n'exige pas de telles dépenses et permet en plus de bénéficier d'un incitatif d'Hydro-Manitoba.

Courte période de remboursement du système géothermique

Les coûts d'installation d'un système géothermique intégré, c'est-à-dire servant à produire la glace et chauffer les locaux, étaient plus élevés que pour un système traditionnel de production de glace, la composante CVCA du premier représentant une dépense de l'ordre de 43 000 \$. Sans cette composante, les coûts d'installation des deux systèmes sont pratiquement identiques.

En ne tenant compte que des économies d'énergie, il faut moins de trois ans pour récupérer la différence entre les coûts de l'option géothermique et ceux d'un système

traditionnel. Il faut souligner que la consommation d'énergie du système géothermique est inférieure à celle de production de glace naturelle, si on tient compte des coûts d'exploitation des appareils de chauffage électrique en place. Un système traditionnel demande plus d'énergie qu'un système géothermique intégré pour produire la glace et exige en outre des appareils électriques pour le chauffage des locaux.

| | GLACE NATURELLE, CHAUFFAGE ÉLECTRIQUE | SYSTÈME GÉOTHERMIQUE INTÉGRÉ | SYSTÈME TRADITIONNEL DE PRODUCTION DE LA GLACE, CHAUFFAGE ÉLECTRIQUE |
|-----------------|---------------------------------------|------------------------------|--|
| Coûts d'énergie | 11,600 \$ | 8,500 \$ | 22,000 \$ |

Au Manitoba, le tarif moyen de l'électricité pour un bâtiment du genre est de l'ordre de 0,053 \$/kWh. Les coûts d'exploitation du complexe pour chacune des options sont indiqués ci-dessus.

Autres avantages du système géothermique intégré

Le système géothermique intégré offre plus que des avantages liés aux économies d'énergie par rapport au système traditionnel de production de la glace. Ses frais d'entretien, par exemple, sont beaucoup plus bas. Les systèmes à ammoniac ou au Fréon exigent des travailleurs qualifiés qui ont suivi le cours de frigoriste. Elles exigent également une surveillance quotidienne, la tenue d'un registre de performance et des opérations complexes de mise en service à l'automne et de mise hors service au printemps.

Si l'on tient compte des économies en frais d'entretien, la période de remboursement du système géothermique est inférieure à deux ans.

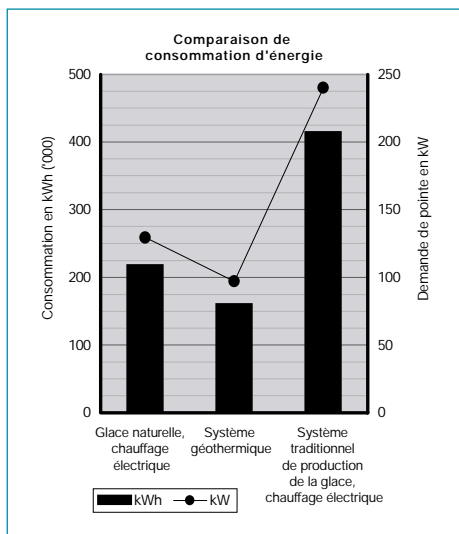


FIGURE 4: Comparaison de la consommation d'énergie de trois options au complexe de la patinoire et salle communautaire de Miami. La consommation en kWh et la demande de pointe en kW sont illustrées à gauche pour la production de glace naturelle et le chauffage électrique des deux bâtiments. Les mêmes paramètres électriques sont illustrés au centre avec le système géothermique. La consommation et la demande estimées pour un système traditionnel de production de la glace et les appareils de chauffage électrique existants sont illustrées à droite.

| TABLEAU 2 Coûts annuels d'opération et d'entretien | | |
|--|----------------------|----------------------|
| | SYSTÈME TRADITIONNEL | SYSTÈME GÉOTHERMIQUE |
| Coûts d'énergie (patinoire et salle) | 22 000 \$ | 8 500 \$ |
| Service annuel (mise en service et hors service) | 2 500 \$ | – |
| Entretien quotidien (environ 1,5 heure/jour) | 4 000 \$ | – |
| Production de la glace - personnel d'exploit. (6 mois/année) | 18 000 \$ | 12 000 \$ |
| Contrôle de 6 000 heures (tous les 3-4 ans - coût/année) | 1 500 \$ | – |
| Contrôle de 12 000 heures (tous les 6-8 ans - coût/année) | 1 500 \$ | – |
| Remplacement des thermopompes (tous les 20 ans) | – | 3 500 \$ |
| Remplacement de la pompe de circulation (tous les 20 ans) | 225 \$ | 130 \$ |
| Refroidisseur, collecteur, condenseur (tous les 20 ans) | 2 800 \$ | – |
| Remplacement du système CVCA (tous les 20 ans) | 1 500 \$ | – |
| Coût total par année | 54 025 \$ | 24 130 \$ |

Réduction des émissions de gaz à effet de serre

La presque totalité de l'électricité produite au Manitoba provient de centrales hydroélectriques, c'est-à-dire de sources qui ne contribuent pas à l'effet de serre. Par ailleurs, toute réduction de la consommation d'énergie donne lieu indirectement à une réduction des émissions de gaz à effet de serre, puisque l'énergie qui n'est pas consommée dans la province est vendue à l'extérieur à des consommateurs potentiels d'électricité produite à partir de combustibles fossiles. Il y a également le fait que les droits de pollution peuvent être vendus à un gros producteur de gaz à effet de serre.

En moyenne, chaque MWh de l'électricité produite au Canada correspond à 187 kg de CO₂ émis dans l'atmosphère. L'installation d'un système géothermique au complexe de la patinoire - salle communautaire de Miami a permis de réduire la consommation d'énergie d'environ 254,7 MWh/année et de 47,6 tonnes/année les émissions de CO₂ dans l'atmosphère.

Performance du système géothermique

La saison de patinage à l'aréna de Miami peut maintenant commencer jusqu'à un mois et demi plus tôt. Grâce à la zone tampon de stockage thermique, la glace résiste aux périodes de réchauffement et est utilisable au maximum un mois de plus au printemps.

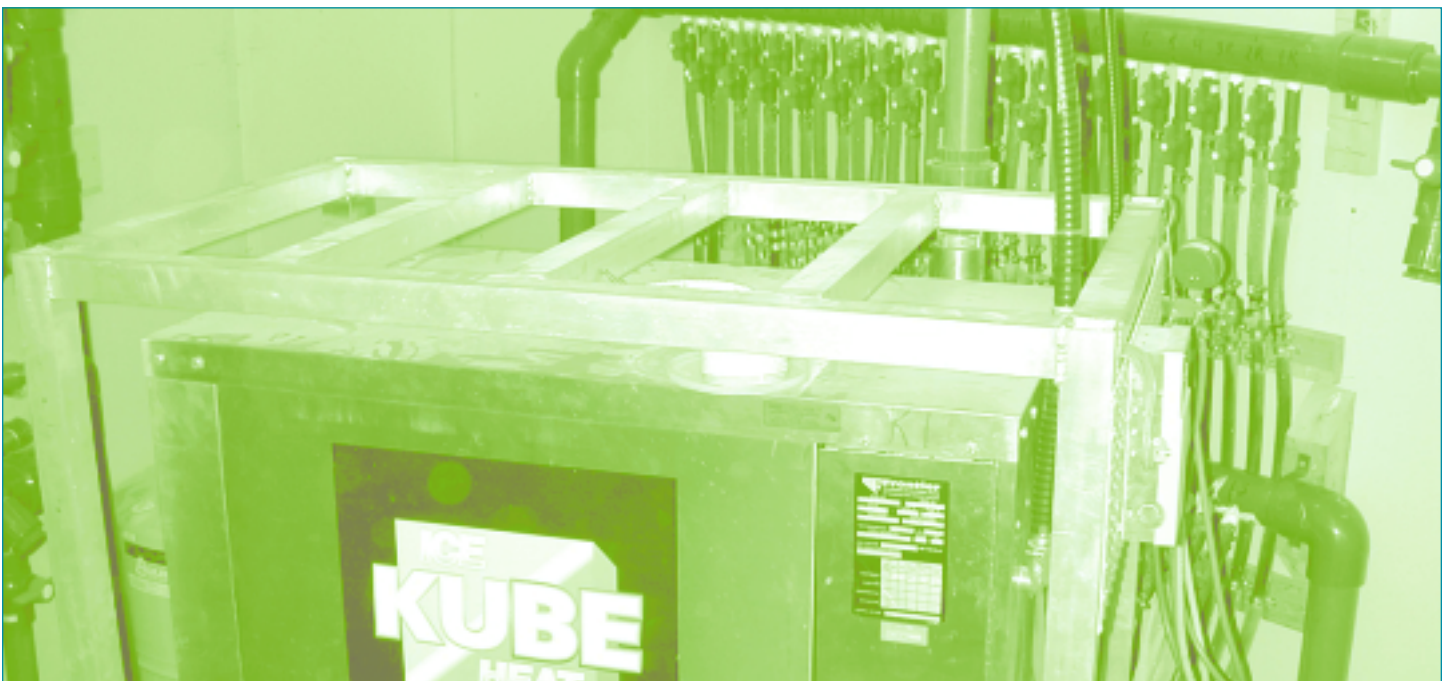
La puissance frigorifique installée dépend des détails de conception du sol de la patinoire et, par le fait même, des pompes de circulation de l'antigel refroidi. Un système traditionnel aurait nécessité une pompe à antigel de 11 kW à 18,5 kW, alors qu'une pompe de 1,5 kW suffit pour faire circuler l'antigel dans la tuyauterie sous la glace de la patinoire de Miami. Les débits plus élevés

dans la tuyauterie d'un sol conventionnel entraînent de plus fortes pertes de charge par frottement. Cette déperdition d'énergie se traduit par une augmentation de chaleur dans le frigorigène, chaleur que doit éliminer le matériel de production de glace. Il faut une puissance frigorifique supplémentaire de 3 à 5 tonnes uniquement pour éliminer les gains de chaleur dus à des pompes plus puissantes.

Degré de satisfaction au sein de la collectivité

L'installateur du système et ses propriétaires n'ont éprouvé aucune difficulté pour sa mise en service et son exploitation depuis son installation en 1998. Des commandes simplifiées permettent d'exploiter sans difficulté les systèmes de production de la glace et de CVCA : thermostats numériques individuels pour les appareils de chauffage/refroidissement, alimentation commandée par thermopompes pour les circulateurs et contrôleur à deux étages utilisant des thermocontacts dans les tuyaux de liquide pour la production de la glace et la circulation de l'antigel. En raison de son caractère autonome, le système géothermique à thermopompes n'exige pratiquement pas de contrôle ou de surveillance.

Les exploitants de la patinoire sont satisfaits du peu d'entretien et des économies d'énergie du système géothermique intégré. Le confort de l'aire d'observation, des vestiaires et de la salle communautaire a été grandement amélioré. On compte ajouter des thermopompes pour accroître la capacité de production de glace et mieux chauffer la salle voisine. En dépit des records de chaleur automnale qui ont repoussé à la fin de novembre le début de la deuxième saison, en 1999 on a pu ouvrir la patinoire un mois avant les patinoires à glace naturelle.



Thermopompe pour la production de la glace.

Description du bâtiment

USAGE : Patinoire et salle communautaire

LOCALITÉ : Miami (Manitoba)

SURFACE DE PLANCHER BRUTE :

PATINOIRE :

929 mètres carrés, chauffée

1 589 mètres carrés,

section non chauffée

SALLE COMMUNAUTAIRE :

929 mètres carrés

TOTAL :

3 447 mètres carrés

NOMBRE D'ÉTAGES :

Patinoire 2

Salle communautaire 1

TYPE DE TRAVAUX :

Modernisation

DATE D'ACHÈVEMENT :

Patinoire 1998,

Salle communautaire 1999

DEGRÉS-JOURS :

• Refroidissement (10 °C) 0

• Chauffage (18,3 °C) 10 860

Caractéristiques du sol

ÉPAISSEUR DE LA COUCHE SUPERFICIELLE :

43 mètres

COMPOSITION DE LA COUCHE SUPERFICIELLE :

argiles lacustres

TEMPÉRATURE MOYENNE ANNUELLE DU SOL :

5,5 °C

Type de système utilisé dans le sol comme source de chaleur :

BOUCLE FERMÉE VERTICALE :

48 trous forés à 38 mètres de profondeur

LONGUEUR TOTALE DE FORAGE

(avant / après) :

1 829 mètres / 2 743 mètres

LONGUEUR TOTALE DE L'ÉCHANGEUR DE CHALEUR

(avant / après) :

3 658 mètres / 5 486 mètres

TUYAU D'ÉCHANGEUR DE CHALEUR :

PEHD de 0,75" (polyéthylène haute densité)

LIQUIDE D'ÉCHANGEUR DE CHALEUR SECONDAIRE :

eau avec 28 % de méthanol (volume)

DÉBIT DANS LA BOUCLE

(avant / après) :

322 L/min / 719 L/min

Résumé
sur la
bâtisse

Système intérieur

PUISSANCE TOTALE DES THERMOPOMPES :

RÉFRIGÉRATION

(avant / après) : 12 / 24 tonnes

CHAUFFAGE/REFROIDISSEMENT

(PATINOIRE) 10 / 10 tonnes

CHAUFFAGE/REFROIDISSEMENT

(SALLE) 0 / 20 tonnes

TOTAL : 22 / 54 tonnes

NOMBRE DE THERMOPOMPES (avant/après) : 3 / 6

SYSTÈME INTERNE DE DISTRIBUTION DE FLUIDE :

Le fluide du collecteur de l'échangeur souterrain commun est acheminé aux thermopompes.

Chaque thermopompe est reliée à une pompe de circulation.

DÉBIT/PUISSANCE INSTALLÉE :

11 L/min/tonne

PUISSANCE DE POMPAGE INSTALLÉE :

Boucle : 1.1 kW/appareil

Glace : 1.5 kW/appareil

APPAREILS DE CHAUFFAGE/FRIGORIFÈRES :

250 W/appareil

PUISSANCE DE POMPAGE EN SERVICE :

Appareils de réfrigération :

Boucle : 100 W / tonne

Glace : 127 W / tonne

APPAREILS DE CHAUFFAGE/REFROIDISSEMENT :

37 W / tonne

SYSTÈMES ET CARACTÉRISTIQUES SUPPLÉMENTAIRES :

- Zone tampon de stockage thermique sous la glace pour réduire la demande de pointe et maintenir une température de la glace constante
- Agencement optimisé de la tuyauterie sous la glace pour réduire la puissance de pompage nécessaire
- Échangeur souterrain servant à emmagasiner la chaleur dégagée par le procédé de production de la glace