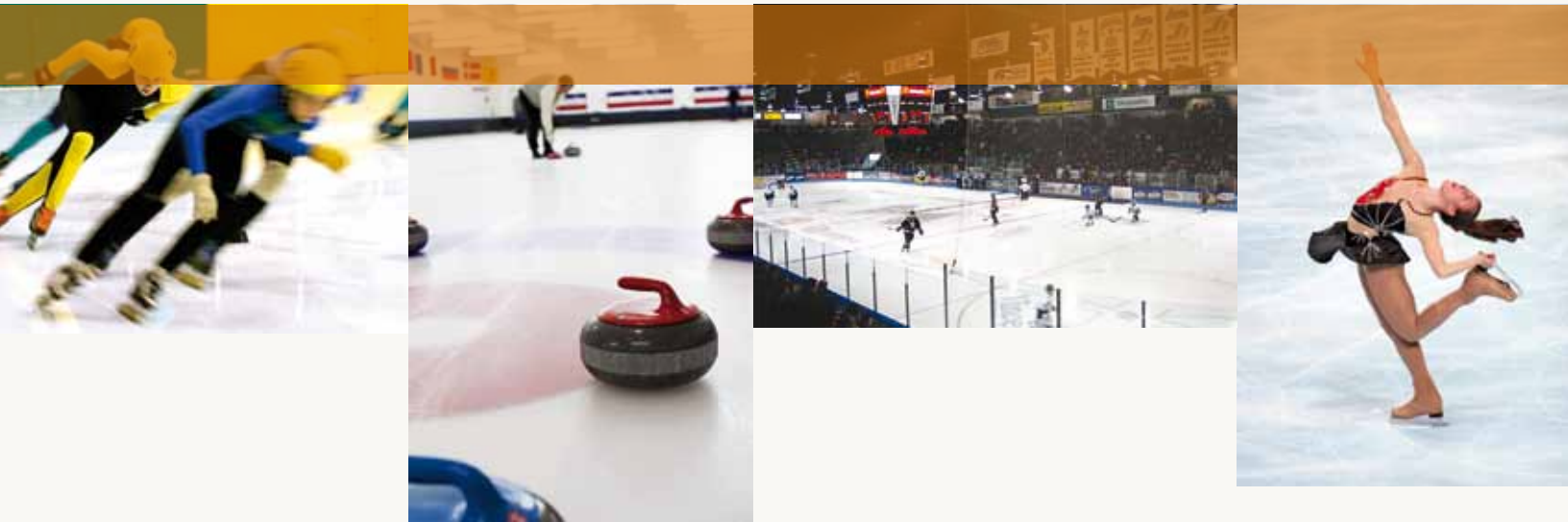




POUR PLUS D'INFORMATION :

www.aee.gouv.qc.ca
1 877 727-6655

**Agence de l'efficacité
énergétique**
Québec 



Agence de l'efficacité énergétique

PROGRAMME D'OPTIMISATION EN RÉFRIGÉRATION (OPTER)

Volet aré纳斯 et centres de curling

Fiche technique

La récupération de chaleur
à l'aide d'un désurchauffeur

AGENCE DE L'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE

5700, 4^e Avenue Ouest, RC, Québec (Québec) G1H 6R1

Téléphone : 418 627-6379 • Ligne sans frais : 1 877 727-6655

Télécopieur : 418 643-5828

Site Internet : www.aee.gouv.qc.ca

Courriel : aee@aee.gouv.qc.ca

© Gouvernement du Québec 2011

Dépôt légal - 1^{er} trimestre 2011

Bibliothèque nationale du Québec

ISBN : 978-2-550-61956-7

Numéro de publication : AEE-11-05-18

Le contenu de cette fiche a été développé en collaboration avec CanmetÉNERGIE de Varennes.

TABLE DES MATIÈRES

CONTEXTE	4
PRINCIPE DE BASE DE LA RÉCUPÉRATION DE CHALEUR DE DÉSURCHAUFFE	4
Le cycle de réfrigération	5
Récupération de la chaleur en provenance du cycle de réfrigération.....	6
ÉTUDE DES CARACTÉRISTIQUES D'UN DÉSURCHAUFFEUR	7
Cas de base	7
Étude comparative	7
Schéma du système.....	8
Répercussions directes.....	9
Répercussions indirectes.....	10
CONSTATS	10
CONCLUSION	11
RÉFÉRENCES	11

CONTEXTE

Dans un aréna, le système de réfrigération doit constamment extraire la chaleur de la glace pour en maintenir la qualité requise. Cette chaleur est ensuite rejetée à l'extérieur par le système de réfrigération ou récupérée pour combler des besoins de chauffage à l'intérieur du bâtiment.

PRINCIPE DE BASE DE LA RÉCUPÉRATION DE CHALEUR DE DÉSURCHAUFFE

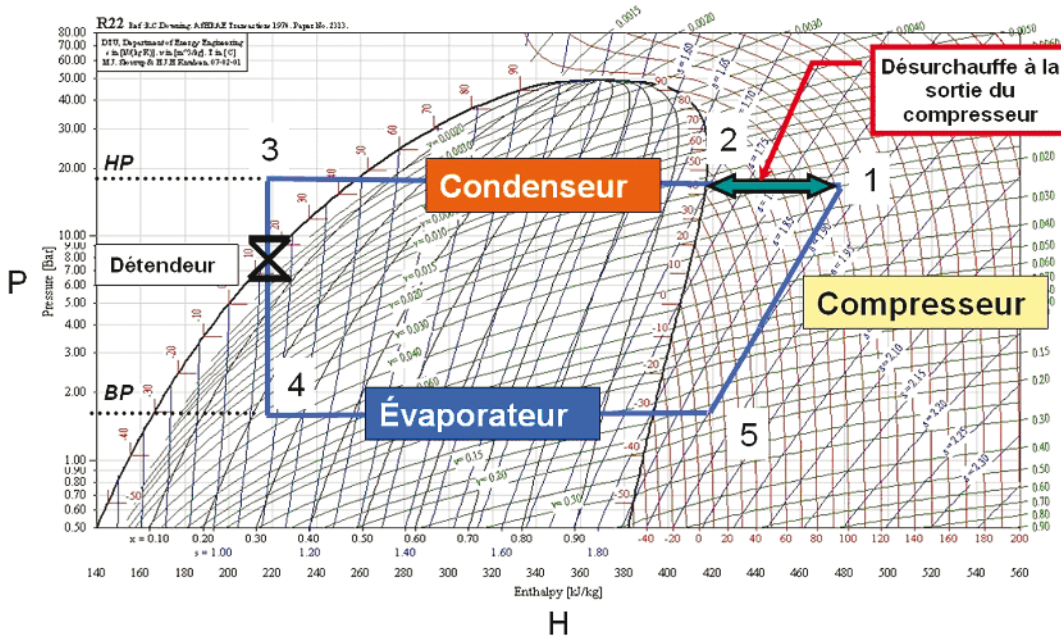


Fig. 1 - Diagramme simplifié du cycle de réfrigération
Sources : CoolPack et CanmetÉNERGIE

La **Figure 1** illustre le cycle de réfrigération simplifié sur un graphique appelé diagramme de Mollier. L'enthalpie (**H**) ou la chaleur est en abscisse, la pression (**P**) en ordonnée.

Le cycle de réfrigération

Les lignes bleues (lignes reliant les points 1, 2, 3, 4 et 5) représentent le cheminement du réfrigérant dans le cycle. La courbe en noir appelée « cloche » est liée à l'état du réfrigérant. Lorsque la ligne bleue passe à l'intérieur de la « cloche », le réfrigérant change d'état de liquide à gaz lorsqu'il s'évapore et l'inverse lorsqu'il se condense. Lorsqu'il passe à droite de la cloche, il est à l'état gazeux et à gauche de la cloche, à l'état liquide. La ligne **HP** indique que le réfrigérant est à haute pression et **BP**, à basse pression.

À la sortie du compresseur, le réfrigérant transporte toute la chaleur à rejeter, soit la chaleur extraite de la patinoire dans l'évaporateur, plus la chaleur qui résulte du travail du compresseur. C'est le point 1 du diagramme. Cette chaleur se divise en deux parties. La première est la désurchauffe (partie 1 à 2) et la seconde, la chaleur de condensation (partie 2 à 3). Or, le réfrigérant surchauffé (point 1) est à une température élevée, entre 50 °C et 160 °C selon le type de réfrigérant et la pression de refoulement. La pression de refoulement est la pression à la sortie du compresseur. La pression de succion est la pression à l'entrée du compresseur. Ces conditions correspondent aux conditions de fonctionnement habituel des arénas.

Le principe du désurchauffeur consiste à utiliser la température élevée du réfrigérant pour chauffer de l'eau d'usage domestique. Le désurchauffeur est donc un échangeur de chaleur dans lequel le réfrigérant cède sa chaleur (appelée chaleur sensible, c'est la quantité de chaleur échangée sans qu'il n'y ait de changement de phase du réfrigérant qui reste à l'état gazeux lors de cet échange) à l'eau qui en sortira à une température se rapprochant de celle du réfrigérant surchauffé. Cette partie du cycle est représentée par le trait 1 à 2 sur le schéma. À la sortie du désurchauffeur, le réfrigérant a perdu une partie importante, sinon la totalité de sa chaleur sensible. La température du réfrigérant est alors comprise entre 30 et 40 °C dans un aréna type. Il parvient au condenseur où il cède le reste de sa chaleur en changeant d'état, c'est-à-dire en passant de gazeux à liquide (partie 2 à 3). La condensation s'effectue à température constante.

Le cycle se poursuit en faisant chuter la pression du réfrigérant par une détente (partie 3 à 4). La chute de pression produit instantanément une baisse importante de la température. Celle-ci atteint environ -13 °C dans un aréna type, ce qui est le point de consigne pour maintenir une glace à environ -6 °C. Le réfrigérant est ensuite introduit dans l'évaporateur pour refroidir la saumure (ou un autre type de fluide secondaire) qui circule ensuite sous la glace pour la maintenir à la température souhaitée. Dans l'évaporateur, le réfrigérant s'évapore (partie 4 à 5). À 100 % gazeux, il est aspiré par le compresseur qui augmente sa pression et sa température (partie 5 à 1) pour atteindre les conditions de température du début, c'est-à-dire celle d'un gaz surchauffé. Le cycle recommence alors.

Récupération de la chaleur en provenance du cycle de réfrigération

Environ le quart de la chaleur totale rejetée est sous forme de chaleur sensible ou de surchauffe, et le reste est sous forme de chaleur latente de condensation à moyenne température (voir **Figure 2**). L'énergie du cycle de réfrigération peut être récupérée à deux niveaux. En premier lieu et en raison de sa température élevée, la chaleur de surchauffe est généralement récupérée pour le chauffage de l'eau d'usage domestique et de surfaçage. Deuxièmement, la température de condensation étant moins élevée, la chaleur de condensation sert généralement au chauffage de l'air.

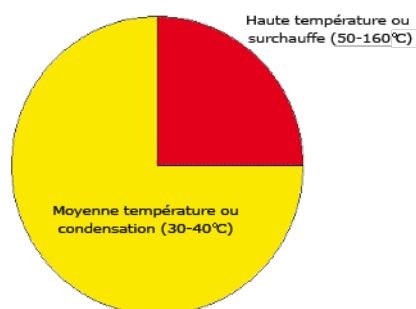


Fig. 2 - Répartition des rejets de chaleur du système de réfrigération

La température de surchauffe à la sortie du compresseur varie passablement avec le réfrigérant utilisé et la présence ou non d'un refroidisseur d'huile. Les réfrigérants de synthèse (R-22, R-404, R-134a) ont une température de refoulement, qui est la température à la sortie du compresseur, entre 85 °C et 100 °C, alors que celle de l'ammoniac (R-717) est de 140 °C sans refroidisseur d'huile, et d'environ 85 °C avec celui-ci. Plus la température du réfrigérant est élevée, plus la température du fluide à chauffer dans le désurchauffeur (généralement de l'eau) le sera aussi.

Le refroidisseur d'huile permet d'assurer le refroidissement du compresseur. Certains compresseurs sont refroidis à l'air, mais ils ont des températures de fonctionnement plus élevées. D'autres compresseurs ont un circuit d'huile interne qui assure leur refroidissement, et ils peuvent donc fonctionner à plus basse température, ce qui augmente leur durée de vie. L'huile de refroidissement cède sa chaleur dans un échangeur externe distinct du désurchauffeur, et on peut récupérer cette chaleur de la même façon que la chaleur de surchauffe. L'échangeur est généralement du type à plaques. Lorsqu'un refroidisseur d'huile est utilisé, la température des gaz de refoulement est plus faible, car ces derniers perdent une partie de leur énergie dans l'huile de refroidissement, et la chaleur disponible au désurchauffeur diminue. Dans tous les cas, la chaleur de surchauffe totale disponible reste la même, même si elle est partagée entre le refroidisseur d'huile et le désurchauffeur.

Le désurchauffeur est un échangeur de chaleur (à tubes coaxiaux, à plaques ou autres) dans lequel les gaz chauds provenant des compresseurs échangent la chaleur avec l'eau d'usage domestique principalement. Les désurchauffeurs comportent généralement une double paroi pour éviter la contamination de cette eau, advenant une fuite du réfrigérant dans l'échangeur. L'espace entre les deux parois est ventilé vers l'extérieur de l'échangeur permettant au réfrigérant de s'échapper, s'il y a lieu. Il existe des désurchauffeurs compatibles avec tous les systèmes de réfrigération et les types de réfrigérants.

ÉTUDE DES CARACTÉRISTIQUES D'UN DÉSURCHAUFFEUR

Cas de base

L'aréna de référence (cas 0) considéré ici est situé dans la région de Montréal. Il comporte une seule glace et est exploité neuf mois par année, de septembre à mai pendant 17 heures par jour. Il comporte 10 douches et quatre lavabos dans les vestiaires. Les huit surfaçages réalisés quotidiennement nécessitent chacun 380 litres d'eau à 80 °C. On compte sept périodes de douches de 15 minutes chacune par jour. La demande énergétique annuelle pour tous ces besoins d'eau chaude totalise 142 300 kWh. L'aréna de référence ne comporte pas de désurchauffeur.

Le système de réfrigération utilise un réfrigérant de synthèse (HFC). Les caractéristiques de ce système sont décrites au **Tableau 1**.

Tableau 1 - Caractéristiques du système de réfrigération du cas de base

Charge moyenne	176 kW (50 TR)
Puissance nominale	264 kW (75 TR)
Température de condensation	35 °C
Température de refoulement	90 °C

TR : tonne de réfrigération

Étude comparative

Quelques désurchauffeurs ont été sélectionnés à partir d'un catalogue de manufacturiers afin de faire ressortir les répercussions du dimensionnement du désurchauffeur sur l'efficacité énergétique de l'aréna de référence. Le plus petit désurchauffeur est raccordé à la moitié des compresseurs. Il a une puissance nominale de 18 kW. Un autre désurchauffeur standard plus puissant de 27 kW, également étudié, est branché à la moitié des compresseurs. Enfin, une autre option examine un appareil de 54 kW raccordé à l'ensemble des compresseurs.

L'option de brancher le désurchauffeur sur la moitié des compresseurs tient au fait que la pleine puissance de réfrigération n'est utilisée qu'une partie de l'année. Le désurchauffeur sera donc plus efficace et plus rentable s'il est branché aux compresseurs dont le fonctionnement est quasi continu. Avec la moitié des compresseurs, la quantité de chaleur de désurchauffe disponible a été calculée à 37 kW pour une puissance nominale de réfrigération de 132 kW (37,5 TR). D'autres options de puissance de désurchauffeur seront aussi comparées.

Schéma du système

Un circuit d'eau chaude avec désurchauffeur est illustré à la **Figure 3**. Dans cette configuration, une pompe fait circuler en permanence l'eau à chauffer à travers le désurchauffeur et un réservoir de stockage. Lorsqu'on consomme de l'eau chaude dans l'arène, l'eau du réservoir passe par un chauffe-eau d'appoint pour être ensuite acheminée vers les points de consommation. L'élément chauffant du chauffe-eau d'appoint ne fonctionne que si la température de consigne n'est pas atteinte par la récupération. L'eau de l'aqueduc peut aussi être préchauffée en utilisant la chaleur d'un condenseur de récupération avant d'être introduite dans le circuit du désurchauffeur. Quant au circuit de réfrigération, le compresseur pousse les gaz surchauffés dans le désurchauffeur puis dans le condenseur de préchauffage, et enfin dans le condenseur extérieur ou la tour de refroidissement. Les deux premiers appareils absorbent une part de la chaleur à rejeter en fonction des besoins d'eau chaude. L'excédent est rejeté à l'extérieur dans le condenseur ou la tour de refroidissement. Le réfrigérant condensé est ensuite acheminé vers l'évaporateur, après avoir été détendu par la soupape d'expansion. Puis le cycle recommence.

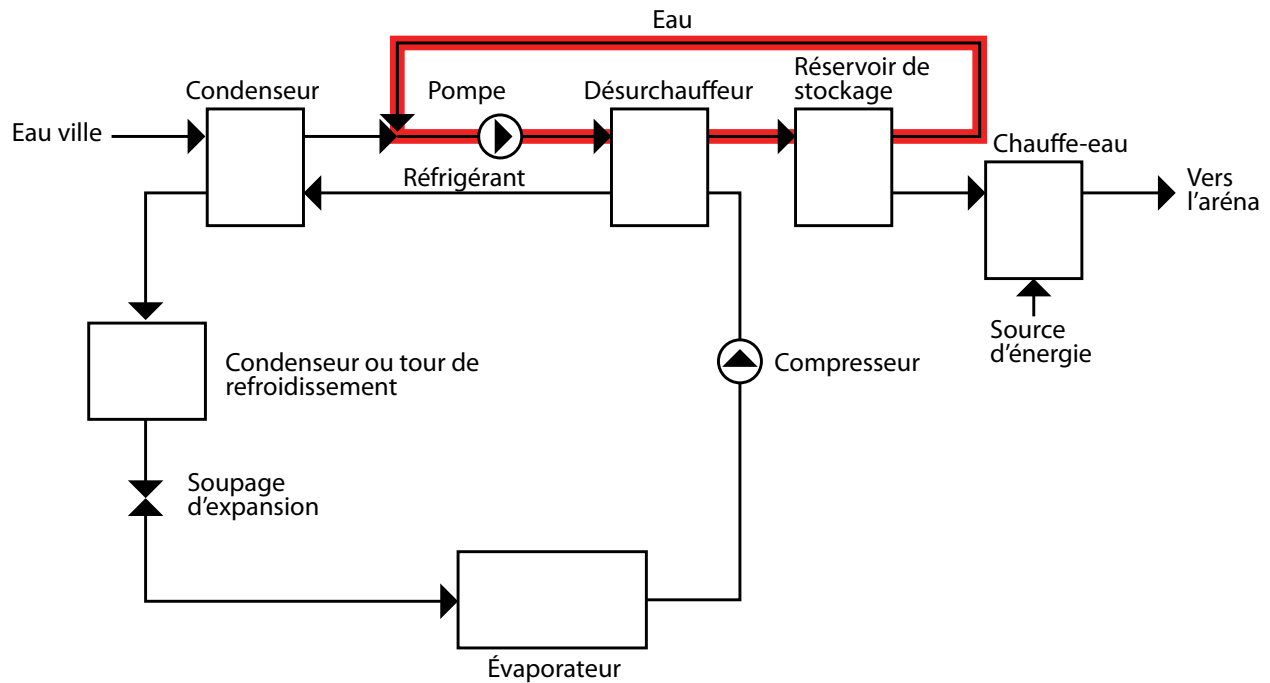


Fig.3 - Schéma du circuit d'eau chaude d'usage domestique avec récupération de chaleur et du circuit de réfrigération

Les cas suivants sont examinés pour étudier l'effet de leurs paramètres conceptuels sur la récupération de chaleur :

0. Cas sans récupération de chaleur
1. Cas de base avec désurchauffeur de 18 kW branché à la moitié des compresseurs
2. Cas de base avec désurchauffeur de 27 kW branché à la moitié des compresseurs
3. Cas de base avec désurchauffeur de 27 kW branché à tous les compresseurs
4. Cas de base avec désurchauffeur de 54 kW branché à tous les compresseurs
5. Cas n° 1 avec réservoir d'accumulation de chaleur de 2 000 litres au lieu de 1 000 litres
6. Cas n° 1 avec un récupérateur de chaleur à condensation à l'entrée de l'eau dans le circuit. Utilisation d'un échangeur de 34 plaques, 25 kW, avec des températures d'entrée de 35 °C pour le réfrigérant, et de 4 °C pour l'eau

Répercussions directes

Les sept cas précédents ont été simulés et analysés du point de vue de leur efficacité énergétique en fonction des paramètres modulés. Les résultats, dont la consommation totale d'eau chaude, les économies en kWh et en pourcentage de la consommation de référence (cas 0) et la puissance nominale du désurchauffeur, sont présentés au **Tableau 2**.

Observations :

- Le simple fait d'utiliser un petit désurchauffeur de 18 kW (cas 1) permet de récupérer 45 % de la charge de chauffage de l'eau chaude. **Cette mesure est incontournable.**
- Le fait de doubler la capacité du réservoir de stockage (cas 5) augmente le taux de récupération d'environ 5 %.
- Le préchauffage de l'eau avec la chaleur de condensation (cas 6) hausse le taux de récupération de 5 % par rapport au cas de base.
- L'utilisation d'un désurchauffeur trois fois plus puissant que dans le cas de base (cas 4) et branché à la totalité des compresseurs permet de récupérer jusqu'à 66 % de la charge de chauffage de l'eau chaude. Toutefois, le désurchauffeur coûtera trois fois plus cher à l'achat.

Tableau 2 - Économies d'énergie obtenues lors de la simulation

CAS	DESCRIPTIF	CONSOMMATION (kWh/an)	ÉCONOMIES		DÉSURCHAUFFEUR (kW)
			(kWh/an)	(%)	
0	Sans récupération	142 300	0	0	0
1	Désurchauffeur 18 kW branché sur la moitié des compresseurs	78 700	63 600	45 %	18
5	Même que le cas 1 avec un réservoir de 2 000 litres (plutôt que 1 000 litres)	73 200	69 100	49 %	18
6	Même que le cas 1 avec un récupérateur de préchauffage à l'entrée	71 300	71 000	50 %	18
2	Désurchauffeur 27 kW branché sur la moitié des compresseurs	68 500	73 800	52 %	27
3	Désurchauffeur 27 kW branché sur tous les compresseurs	65 400	76 900	54 %	27
4	Désurchauffeur 54 kW branché sur tous les compresseurs	49 000	93 300	66 %	54

Répercussions indirectes

En plus des économies sur le chauffage de l'eau d'usage domestique, il y aura une légère diminution de la consommation d'énergie du système global de réfrigération. En effet, en récupérant la chaleur de surchauffe, la quantité résiduelle de chaleur à rejeter dans le condenseur extérieur ou la tour de refroidissement peut diminuer de 25 %, ce qui occasionne une légère diminution de la consommation d'énergie des moteurs des ventilateurs du condenseur ou de la tour de refroidissement.

CONSTATS

- **La récupération de chaleur de désurchauffe est une mesure incontournable et probablement la mesure d'efficacité énergétique la plus rentable à mettre en place pour un système de réfrigération.**
- La puissance nominale du désurchauffeur demeure le facteur le plus important pour réduire la consommation d'énergie normalement consacrée au chauffage de l'eau d'usage domestique dans un aréna.
- La récupération de la chaleur de surchauffe diminue la quantité de chaleur rejetée par le condenseur. Toutefois, il a été démontré que cette quantité de chaleur résiduelle était toujours suffisante pour combler d'autres besoins, dont le chauffage de l'air et des gradins dans les arénas québécois.

CONCLUSION

Plusieurs modèles de désurchauffeur de différentes capacités offerts sur le marché ont été simulés dans un aréna type exploité neuf mois par année, dans la région de Montréal. Les résultats de la simulation démontrent que la récupération de chaleur de désurchauffe est une mesure incontournable, et probablement la mesure d'efficacité énergétique la plus rentable à mettre en place pour un système de réfrigération. La puissance nominale du désurchauffeur demeure le facteur le plus important pour réduire la consommation d'énergie normalement consacrée au chauffage de l'eau d'usage domestique. La récupération de la chaleur de désurchauffe diminue la quantité de chaleur rejetée au condenseur. Toutefois, il a été démontré que cette quantité de chaleur résiduelle au condenseur était toujours suffisante pour combler d'autres besoins comme le chauffage de l'air dans un aréna type au Québec.

RÉFÉRENCES

ASHRAE Handbook - Fundamentals, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers Inc., Atlanta, GA, 2005.

Logiciel CoolPack 1.49, Department of Mechanical Engineering, Technical University of Denmark, www.et.dtu.dk/CoolPack.

