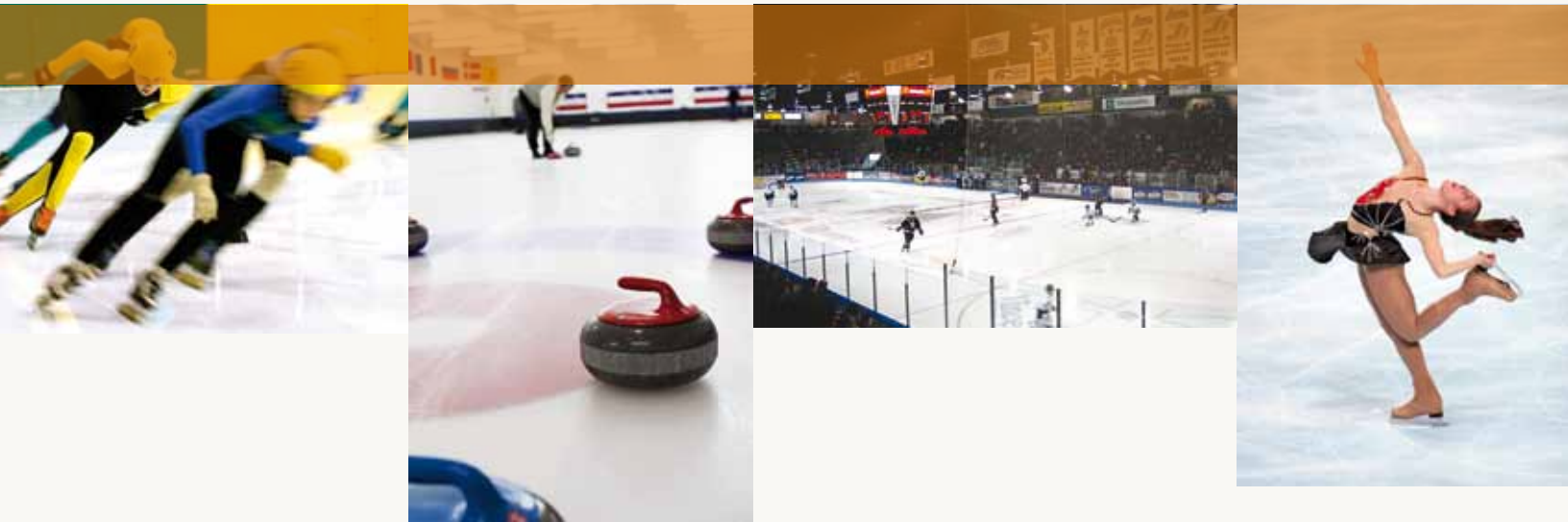




POUR PLUS D'INFORMATION :

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 déshumidification dans
les aré纳斯 du Québec

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 : 978-2-550-61955-0

Numéro de publication : AEE-11-05-16

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

TABLE DES MATIÈRES

CONTEXTE	4
PRINCIPES DE BASE DE LA DÉSHUMIDIFICATION	5
Humidité : définitions et principes.....	5
PRINCIPES DE DÉSHUMIDIFICATION.....	6
Déshumidification par condensation.....	6
Déshumidification par adsorption	7
Influence de la déshumidification sur l'efficacité énergétique d'un aréna.....	8
Performance des déshumidificateurs	8
TECHNOLOGIES DE DÉSHUMIDIFICATION.....	9
Systèmes à compression mécanique	9
Systèmes de déshumidification à serpentin	10
Systèmes à dessiccant régénéré à l'air chauffé au gaz.....	11
Systèmes à dessiccant régénéré à l'air chauffé par une thermopompe.....	12
ÉTUDE COMPARATIVE DES COÛTS DE LA DÉSHUMIDIFICATION POUR DIFFÉRENTES TECHNOLOGIES	14
Bilan énergétique d'un aréna type.....	14
Performance publiée des équipements à la conception	15
Performance des équipements sur la période de neuf mois.....	16
CONCLUSION	18
RÉFÉRENCES	18

CONTEXTE

Selon l'American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE), le taux d'humidité relative dans un aréna devrait se situer à 60 % pour assurer le confort des occupants. Un taux d'humidité relative plus élevé peut produire des effets négatifs : corrosion de la structure du bâtiment attribuable à la condensation de vapeur d'eau, développement de moisissures, mauvaise qualité de glace et formation de brouillard au-dessus de la glace. Finalement, la condensation de vapeur d'eau sur la glace de la patinoire augmente la charge de réfrigération.

Alors que la plupart des arénas construits dans les années 70 ne fonctionnaient que l'hiver, beaucoup d'entre eux sont maintenant en opération douze mois et, dans la grande majorité, neuf mois par année (septembre à mai). La source principale d'humidité dans un aréna est l'apport d'air frais, mais l'hiver, l'air extérieur contient beaucoup moins d'humidité qu'en mai ou en septembre. En effet, l'hiver, les problèmes d'humidité sont presque inexistants dans les arénas comportant peu de spectateurs (moins de 500 sièges), mais ils deviennent importants au début et à la fin des saisons.

Pour contrer les effets de l'humidité, à défaut d'utiliser un déshumidificateur, certains gestionnaires d'arénas choisissent de surchauffer l'enceinte. Cette pratique courante a des effets importants sur la charge de refroidissement, car avec l'ajout d'un kilowatt (kW) de chaleur, la charge sur le système de réfrigération augmente d'autant.

La déshumidification est devenue, dans les arénas contemporains, un service quasi essentiel à la qualité des services offerts aux usagers. De par son aspect qualitatif, elle est considérée beaucoup plus comme un besoin de confort qu'une mesure d'efficacité énergétique.

En plus, de fournir au lecteur un portrait de la situation sur la déshumidification et un aperçu des technologies à considérer pour rendre ce service, la présente fiche traitera des répercussions sur la consommation d'énergie et sur les émissions de gaz à effet de serre (GES) pour un aréna type.

PRINCIPES DE BASE DE LA DÉSHUMIDIFICATION

Humidité : définitions et principes

L'humidité est la quantité de vapeur d'eau contenue dans l'air. On peut l'exprimer de deux façons : l'humidité absolue et l'humidité relative. L'humidité absolue est le rapport massique de la vapeur d'eau sur l'air sec d'un mélange air-vapeur (kg vapeur/kg air sec). L'humidité relative est le rapport la fraction molaire de la vapeur contenue dans le mélange air-vapeur à la fraction molaire de vapeur d'un mélange saturé en vapeur à la même température et à la même pression (%).

L'air complètement sec a une humidité relative de 0 %. En contrepartie, l'air qui est saturé en vapeur d'eau a une humidité relative de 100 %.

L'humidité absolue de l'air ne dépend pas de la température. Par contre, pour une humidité absolue donnée, l'humidité relative varie en fonction de la température. Par exemple, de l'air à 20 °C et à 60 % d'humidité relative a une humidité absolue de 0,0087 kg vapeur/kg air sec. Si on chauffe cet air à 30 °C, l'humidité absolue demeure constante puisqu'on n'a ni ajouté, ni soustrait de vapeur au mélange. En chauffant l'air, on augmente sa capacité à contenir de la vapeur d'eau. Puisque la même quantité de vapeur d'eau est contenue dans un mélange qui pourrait en contenir plus, l'humidité relative du mélange diminue. Dans ce cas-ci, à 30 °C, l'humidité relative du mélange diminue à 33 %.

Le point de rosée est la température à laquelle un mélange d'air humide atteint son point de saturation (100 % d'humidité relative). Par exemple, l'air à 20 °C et à 60 % d'humidité relative a un point de rosée de 12 °C. Toute surface à une température inférieure à 12 °C provoquera la condensation de vapeur d'eau provenant de l'air humide.

L'enthalpie est définie comme la quantité d'énergie contenue dans une substance. L'enthalpie de l'air humide ne dépend que de sa température et de son humidité en assumant que la pression demeure constante. La part de l'enthalpie d'un mélange air-vapeur d'eau qui ne dépend que de la température s'appelle enthalpie sensible. La part qui ne dépend que de l'humidité de l'air se nomme enthalpie latente. La somme de ces deux enthalpies est égale à l'enthalpie totale du mélange.

Les termes *chaleur sensible* et *chaleur latente* font référence à l'enthalpie sensible et latente. La chaleur sensible est la quantité d'énergie échangée avec l'air humide pour faire varier sa température seulement. La chaleur latente est la chaleur échangée avec l'air humide pour faire varier son humidité.

Ces notions sont généralement représentées dans un diagramme psychrométrique, comme à la **Figure 1**. Ce diagramme montre la température de l'air, son humidité absolue, son humidité relative, et son enthalpie à une condition de pression donnée, généralement à la pression atmosphérique normale au niveau de la mer. La température est représentée en abscisse, et l'humidité absolue en ordonnée. L'humidité relative et l'enthalpie sont représentées par une succession de lignes dans le graphique. La courbe de saturation est le point où l'air est saturé en vapeur d'eau, c'est-à-dire où l'humidité relative est de 100 %.

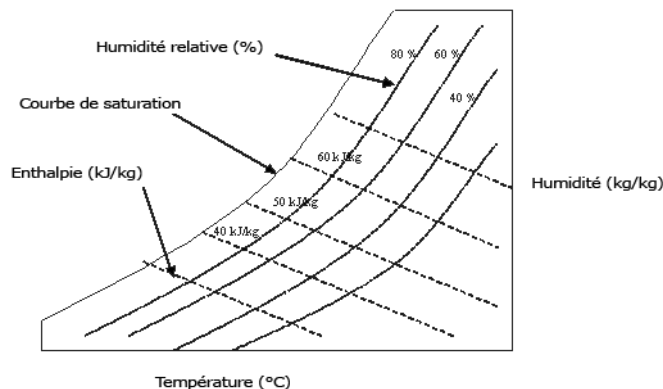


Fig. 1 - Diagramme psychrométrique
Source : ASHRAE Handbook - Fundamentals

PRINCIPES DE DÉSHUMIDIFICATION

La performance des équipements de déshumidification dépend fortement de l'humidité relative de l'air à assécher. Plus l'air est près de son point de saturation (humidité relative élevée), plus les équipements sont performants en déshumidification.

Il existe deux technologies couramment utilisées pour déshumidifier l'air dans les aréas : la condensation de la vapeur d'eau sur une surface plus froide que le point de rosée de l'air, par le refroidissement de l'air, et l'adsorption de la vapeur d'eau par un solide appelé dessiccant. Le dessiccant est une substance solide hygroscopique qui permet de maintenir ou d'induire un assèchement dans sa proximité par adsorption de vapeur d'eau.

Déshumidification par condensation

La déshumidification par condensation de vapeur d'eau est illustrée sur le diagramme psychrométrique à la **Figure 2**. L'air chaud humide est refroidi jusqu'à ce que sa température atteigne le point de rosée qui est situé sur la courbe de saturation et que l'air se sature en vapeur d'eau. Cette évolution se fait à humidité absolue constante. Une fois que l'air a atteint son point de rosée, la chaleur extraite de l'air produit une diminution de l'humidité absolue de l'air (chaleur latente) et une diminution de la température (chaleur sensible).

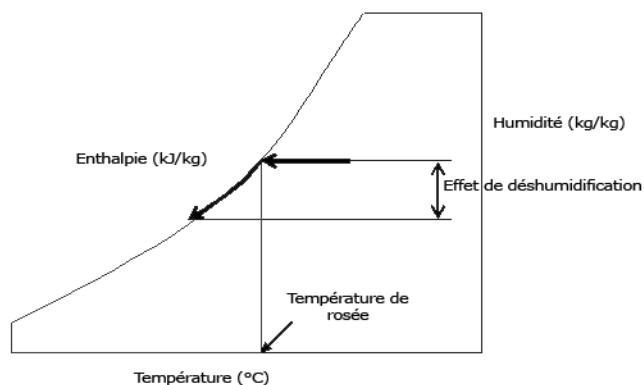


Fig. 2 - Diagramme psychrométrique schématisant la déshumidification par refroidissement

Déshumidification par adsorption

L'adsorption est un phénomène physicochimique par lequel un solide (par exemple gel de silice, zéolithe ou chlorure de lithium) retient un élément à sa surface. La désorption est le phénomène inverse. Dans la déshumidification, ce phénomène dépend des pressions partielles de vapeur d'eau contenues dans l'air et dans le dessiccant. Pour adsorber la vapeur d'eau, la pression partielle de vapeur d'eau du dessiccant doit être inférieure à celle de l'air. En revanche, pour désorber la vapeur d'eau, la pression partielle de vapeur d'eau dans le dessiccant doit être supérieure à celle de l'air. Ce fonctionnement est illustré dans le diagramme d'équilibre solide-vapeur à la **Figure 3**.

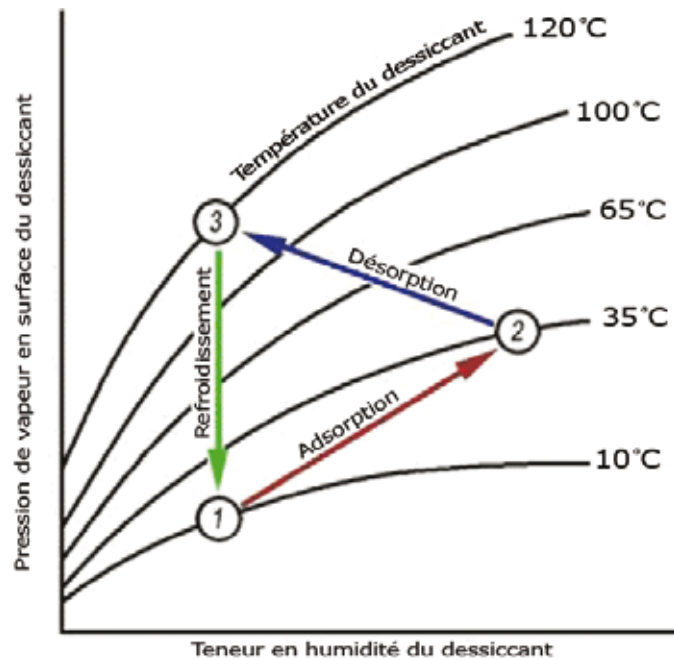


Fig. 3 - Diagramme d'équilibre d'un mélange dessiccant-vapeur d'eau
Source : *The Dehumidification Handbook*

Au point 1, le dessiccant est sec et la pression partielle de vapeur d'eau est inférieure à celle de l'air. Le dessiccant adsorbe de la vapeur d'eau et sa teneur en humidité augmente jusqu'à ce que sa pression partielle de vapeur d'eau soit égale à celle de l'air à déshumidifier (point 2), dans cet exemple, à 35 °C. À ce moment, la pression de vapeur du dessiccant est en équilibre avec celle de l'air à déshumidifier, donc il ne peut plus adsorber de vapeur d'eau.

Afin de pouvoir réutiliser le dessiccant, on le chauffe pour augmenter sa pression de vapeur en le soumettant à un flux d'air chaud provenant d'une autre source (point 3). Cette étape se nomme régénération. En augmentant la pression partielle du dessiccant à une valeur plus élevée que celle de l'air de régénération, le dessiccant peut céder la vapeur d'eau qu'il a adsorbée précédemment. Finalement, le dessiccant est refroidi jusqu'à ce que sa pression de vapeur soit inférieure à celle de l'air à déshumidifier (point 1), et le cycle recommence.

L'adsorption est un processus exothermique, donc qui dégage de la chaleur (réciproquement, la désorption est endothermique), ce qui cause une augmentation de la température de l'air déshydraté. Ce phénomène n'est pas causé par le chauffage du dessiccant à l'étape de régénération, mais par le fait que l'air déshumidifié subit un processus adiabatique. L'examen plus spécifique des technologies de déshumidification illustrera ce principe de manière plus détaillée dans les sections subséquentes.

Influence de la déshumidification sur l'efficacité énergétique d'un aréna

La majorité des systèmes de déshumidification des petits arénas sont des unités préassemblées suspendues au plafond de la zone patinoire, appelée l'enceinte. L'air de l'enceinte circule dans le système de déshumidification, la vapeur d'eau en est extraite et l'air asséché est retourné vers l'enceinte. La plupart des technologies de déshumidification ajoutent de la chaleur sensible à l'espace déshumidifié. Les **Figures 4 et 5** illustrent ce principe.

À la **Figure 4**, l'humidité de l'air se condense directement sur la glace en y cédant sa chaleur. Un travail supplémentaire est alors demandé au système de réfrigération

À la **Figure 5**, l'air humide circule dans un déshumidificateur pour être asséché. Or il faut aussi savoir que le processus de déshumidification produit de la chaleur sensible dans l'air déshumidifié. Cette chaleur est rejetée dans l'enceinte et doit ensuite être éliminée par le système de réfrigération pour maintenir la glace à la température désirée. Dans le bilan thermique, la charge imposée au système de réfrigération est supérieure lorsqu'un déshumidificateur opère dans un aréna. C'est le prix à payer pour offrir un meilleur service aux usagers de l'aréna, soit une glace de meilleure qualité et un environnement moins humide.

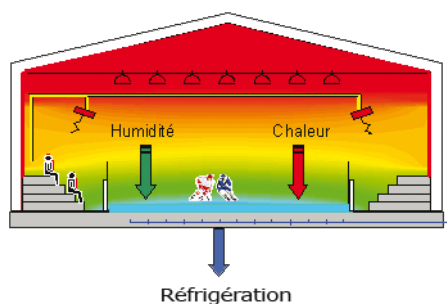


Fig. 4 - Charges sans déshumidificateur
Source : CanmetÉNERGIE

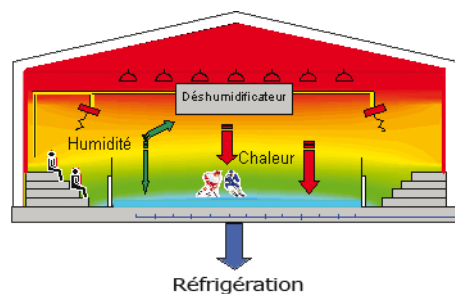


Fig. 5 - Charges avec déshumidificateur
Source : CanmetÉNERGIE

Performance des déshumidificateurs

La performance des déshumidificateurs est jugée selon deux critères : l'énergie qu'il faut fournir pour retirer un kilogramme d'eau de l'air et la quantité de chaleur sensible ajoutée dans l'enceinte pour chaque kilogramme d'eau extrait. Ces données sont généralement disponibles pour des équipements de déshumidification standard.

Il faut noter que chaque kilogramme de vapeur d'eau extrait de l'air par un déshumidificateur réduit la charge de réfrigération de 2 833 kJ (chaleur de condensation de la vapeur d'eau) en empêchant cette vapeur d'eau de se condenser et de se solidifier sur la glace. Si le déshumidificateur rejette dans l'aréna 2 833 kJ de chaleur par kilogramme d'eau extrait, le bilan énergétique sur la charge de réfrigération est nul. Ainsi, le déshumidificateur ajoute autant de chaleur dans l'enceinte qu'il n'en retire en déshumidifiant. À titre d'exemple, les bilans réels de divers types de déshumidificateurs disponibles commercialement sont fournis ci-après.

À noter qu'étant donné que l'on chauffe peu les enceintes dans les demi-saisons, les effets croisés sont quasi nuls, c'est-à-dire qu'il n'y a pas d'économies de chauffage du fait que le déshumidificateur rejette de la chaleur dans l'aréna.

TECHNOLOGIES DE DÉSHUMIDIFICATION

Quatre méthodes de déshumidification offertes aux arénas sont expliquées et comparées :

1. les systèmes à compression mécanique ;
2. les systèmes de déshumidification à serpentins ;
3. les systèmes à dessiccant régénéré à l'air chauffé au gaz ;
4. les systèmes à dessiccant régénéré à l'air chauffé par une thermopompe.

Systèmes à compression mécanique

Ce sont les systèmes de déshumidification les plus utilisés dans les arénas québécois. Ils sont composés principalement d'un ventilateur, d'un compresseur de réfrigération, d'un évaporateur à air et d'un condenseur à air, le tout regroupé dans un appareil monobloc. Ces appareils sont suspendus au plafond de l'enceinte et raccordés au drain du bâtiment pour évacuer l'eau condensée.

Le fonctionnement est illustré à la **Figure 6**. Le ventilateur fait circuler l'air humide (point 1) à travers l'évaporateur, puis à travers le condenseur. L'évaporateur refroidit l'air à une température inférieure à son point rosée pour permettre la condensation de la vapeur d'eau (point 2), et le condenseur réchauffe l'air avant qu'il ne soit diffusé dans l'enceinte de l'aréna (point 3).

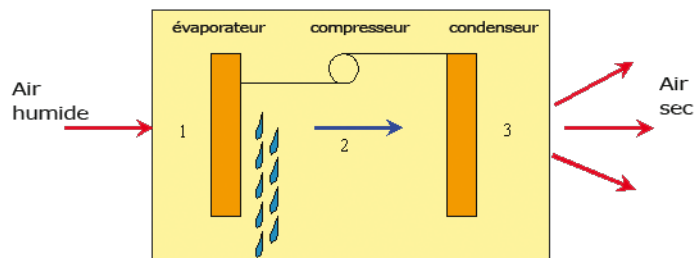


Fig. 6 - Schéma de fonctionnement d'un déshumidificateur à compression mécanique
Source : CanmetÉNERGIE

Le principe de déshumidificateur par compression mécanique est schématisé sur le diagramme psychrométrique à la **Figure 7**. L'air humide (point 1) passe au travers de l'évaporateur de l'appareil. L'évaporateur extrait de la chaleur de l'air jusqu'à ce que la température de celui-ci atteigne le point de rosée, alors que l'air est saturé en vapeur d'eau. L'évaporateur continue à extraire de la chaleur de l'air, ce qui provoque la condensation de la vapeur d'eau et permet donc de diminuer la teneur en humidité (chaleur latente) et d'abaisser la température (chaleur sensible). L'eau condensée sur la surface de l'évaporateur est évacuée de l'appareil. L'air sort de l'évaporateur asséché et refroidi (point 2). L'air passe ensuite dans le condenseur où il est réchauffé à humidité absolue constante. L'air ressort de l'appareil (point 3) à une température plus élevée qu'à l'entrée (point 1).

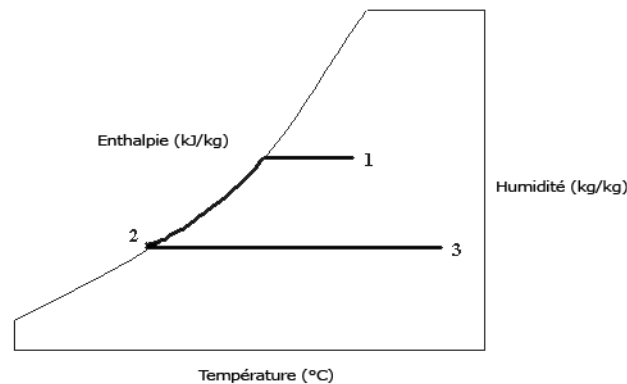


Fig. 7 - Diagramme psychrométrique schématisant le fonctionnement d'un déshumidificateur par compression mécanique sur un diagramme psychrométrique
Source : CanmetÉNERGIE

Les systèmes à compression mécanique requièrent un cycle de dégivrage pour demeurer performants, ce qui augmente leur consommation énergétique. Leur capacité diminue rapidement lorsque le taux d'humidité relative de l'air à déshumidifier diminue.

Systèmes de déshumidification à serpentin

Le plus ancien et le plus simple des systèmes de déshumidification consiste à utiliser un serpentin contenant le fluide secondaire destiné à refroidir la glace pour refroidir l'air de l'enceinte jusqu'à son point de rosée. Toutefois, ces systèmes sont peu utilisés pour les applications dans les aréas, car ils ne sont pas disponibles directement dans un catalogue de fabricants et doivent être conçus pour chaque application. Une fois le point de rosée atteint, la vapeur d'eau condense à la surface du serpentin puis est évacuée. Le fonctionnement est schématisé sur le diagramme psychrométrique à la **Figure 2**. Les systèmes à serpentin consomment très peu d'énergie puisqu'ils utilisent le fluide secondaire refroidi par le système de réfrigération principal. Seule une petite pompe de circulation est requise. Le serpentin ne crée donc pas de charge de réfrigération additionnelle significative; c'est essentiellement une charge similaire à celle lorsque l'humidité se condense sur la glace. De plus, le serpentin n'ajoute pas de chaleur dans l'enceinte, mais contribue à son refroidissement.

Contrairement aux autres systèmes de déshumidification présentés, les systèmes de déshumidification à serpentin n'existent pas en unités préassemblées pour les aréas. Ils doivent être intégrés au système de ventilation de l'enceinte et être dimensionnés selon les règles de l'art pour obtenir de bonnes performances. Ces systèmes perdent rapidement en performance si le taux d'humidité est très bas en raison de la formation de givre sur le serpentin. En raison de ce phénomène, ils doivent subir un cycle de dégivrage qui les rend inopérants pendant cette phase.

Systèmes à dessiccant régénéré à l'air chauffé au gaz

Les systèmes à dessiccant utilisent un solide, le dessiccant, qui adsorbe la vapeur d'eau contenue dans l'air à traiter. Il adsorbe jusqu'à ce que sa pression de vapeur atteigne celle de la vapeur d'eau dans l'air à traiter. Le dessiccant est alors régénéré en le soumettant à un flux d'air chaud (généralement à 120 °C). L'air de régénération provenant de l'extérieur est chauffé par combustion directe au gaz naturel et retourne à l'extérieur de l'enceinte. Une fois le dessiccant asséché, le cycle de déshumidification recommence. Ce fonctionnement est illustré à la **Figure 8**. Le dessiccant est assemblé dans une roue rotative, roue dessiccante, qui permet de mettre en contact l'air à traiter avec le dessiccant sec, et l'air de régénération avec le dessiccant chargé d'humidité.

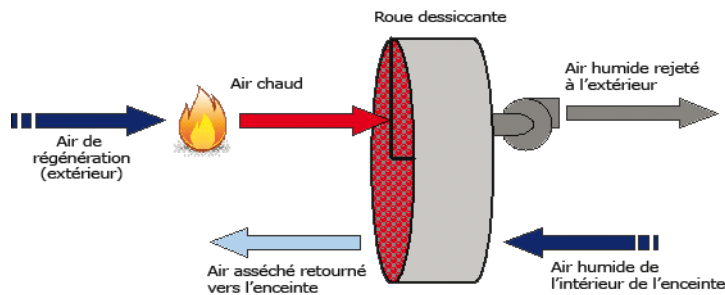


Fig. 8 - Systèmes à dessiccant régénéré à l'air chauffé au gaz

L'air à traiter circule à travers une roue dessiccante pour échanger de la vapeur d'eau avec le dessiccant. Cette roue est configurée pour maximiser la surface d'échange entre l'air à traiter et le dessiccant, tout en minimisant la perte de pression des écoulements d'air. La roue, qui a généralement un diamètre de 200 à 400 mm, tourne à basse vitesse ce qui permet qu'une partie de la roue soit en phase d'adsorption, alors que l'autre partie est en phase de régénération.

La déshumidification de l'air par adsorption est un phénomène quasi adiabatique, c'est-à-dire à enthalpie quasi constante. Un faible gain de chaleur entre l'air à déshumidifier et l'air de régénération crée une faible augmentation d'enthalpie. Ce phénomène est illustré à la **Figure 9**. Puisque le phénomène est adiabatique, la température de l'air augmente à mesure qu'il est asséché du point 1 au point 2 (son enthalpie latente diminue, alors que son enthalpie sensible augmente pour une enthalpie totale quasi constante).

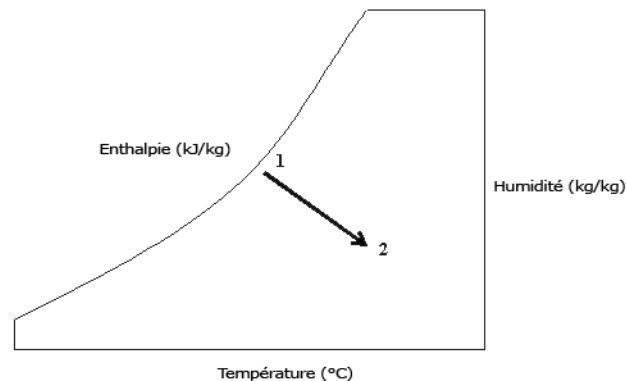


Fig. 9 - Diagramme psychrométrique schématisant la déshumidification de l'air par un système à dessiccant régénéré à l'air chauffé au gaz
Source : CanmetÉNERGIE

Ainsi, l'air entre à une certaine température et ressort à une température supérieure, ce qui ajoute de l'air chaud dans l'enceinte de l'aréna.

Ces systèmes maintiennent leur performance et une capacité acceptable pour des faibles taux d'humidité.

Systèmes à dessiccant régénéré à l'air chauffé par une thermopompe

Ces systèmes fonctionnent comme les systèmes à dessiccant régénéré à l'air chauffé au gaz, sauf qu'ils utilisent une source de chaleur produite par une thermopompe électrique pour chauffer l'air qui sert à régénérer le dessiccant. La température de l'air de régénération ne dépasse généralement pas 50 °C. Le fonctionnement est illustré à la **Figure 10**.

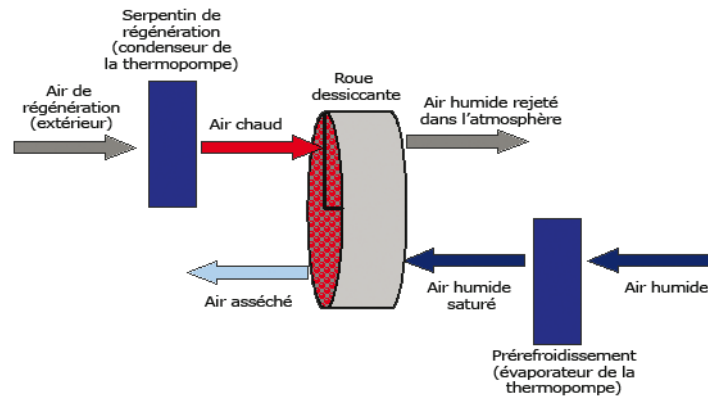


Fig. 10 - Schéma de fonctionnement d'un système à dessiccant régénéré à l'air chauffé par une thermopompe
Source : CanmetÉNERGIE

L'air humide est d'abord prérefroidi en passant dans l'évaporateur de la thermopompe. Ce refroidissement à humidité absolue constante a pour effet d'augmenter la saturation de la vapeur d'eau dans l'air (ou son humidité relative), ce qui augmente la performance de la roue dessiccante. L'air ainsi prérefroidi passe dans la roue dessiccante et cède sa vapeur d'eau au dessiccant de manière quasi adiabatique.

L'air de régénération, de son côté, est chauffé par le condenseur de la thermopompe avant de régénérer le dessiccant dans la roue dessiccante.

Ce système est illustré dans le diagramme psychrométrique à la **Figure 11**. L'air humide au point 1 est prérefroidi et amené à son point de saturation (point 2). À ce moment, l'air humide passe dans la roue dessiccante et est asséché dans un processus quasi adiabatique (point 3) (enthalpie quasi constante).

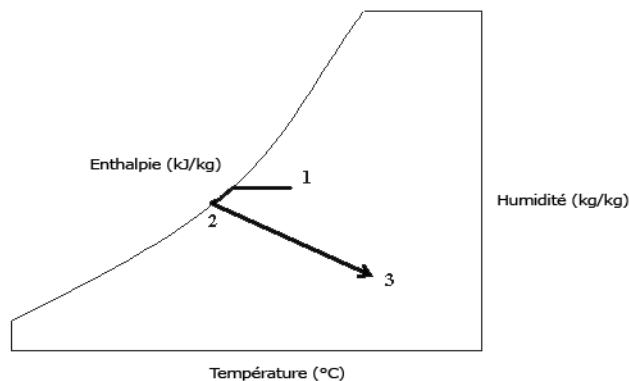


Fig. 11 - Diagramme psychrométrique schématisant la déshumidification de l'air dans un système à dessiccant régénéré à l'air chauffé par une thermopompe

Source : CanmetÉNERGIE

Ainsi, l'air entre à une certaine température et ressort à une température supérieure, ce qui ajoute de l'air chaud dans l'enceinte de l'aréna.

Comme les systèmes à dessiccant régénéré à l'air chauffé au gaz, ces systèmes maintiennent leur performance pour des faibles taux d'humidité.

De manière générale, les systèmes à dessiccant permettent d'atteindre des taux d'humidité (absolue et relative) inférieurs à ceux obtenus avec des systèmes à compression mécanique ou à serpentin opérant aux mêmes conditions de température et d'humidité. Cela représente un avantage pour certains procédés de production, ou pour les gros arénas. Tout comme les autres systèmes, ils augmentent la température de l'air à la sortie de l'appareil.

ÉTUDE COMPARATIVE DES COÛTS DE LA DÉSHUMIDIFICATION POUR DIFFÉRENTES TECHNOLOGIES

Bilan énergétique d'un aréna type

La répartition de la consommation d'énergie d'un aréna d'une glace, pour une période d'opération de neuf mois, de septembre à mai, est présentée à la **Figure 12**. On peut constater que la consommation d'énergie des équipements de déshumidification de la zone patinoire ne représente qu'un pourcent (1 %) de la consommation annuelle totale de l'aréna. Cette charge est principalement présente en septembre et en mai pour un petit aréna.

Consommation annuelle : 1 351 000 kWh

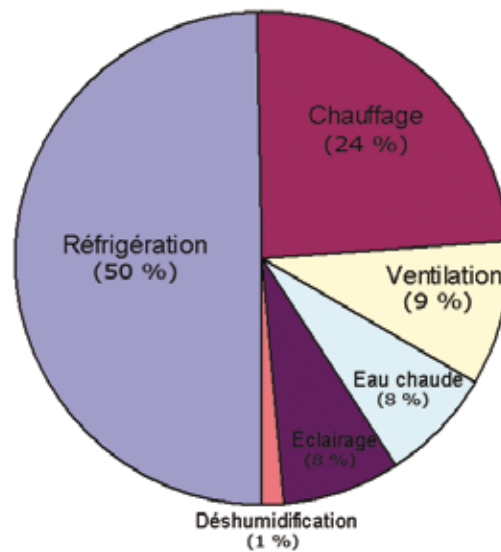


Fig. 12 - Répartition de la consommation énergétique d'un aréna opérant neuf mois à Montréal, de septembre à mai
Source : CanmetÉNERGIE

Performance publiée des équipements à la conception

Les résultats d'une analyse comparative réalisée pour chacun des systèmes de déshumidification à une condition spécifique (10 °C et 60 % d'humidité relative) sont présentés au **Tableau 1**. Les valeurs de performance énergétique servant aux calculs proviennent de fiches techniques d'équipements existants publiées par les fabricants.

Le présent paragraphe présente des définitions utiles à la bonne compréhension des comparaisons faites entre les différentes technologies.

La *consommation spécifique* est définie comme l'énergie qu'il faut fournir au déshumidificateur pour retirer un kilogramme d'eau de l'air. Plus cette valeur est élevée, plus le déshumidificateur consomme de l'énergie. La *chaleur spécifique ajoutée* est l'énergie sensible ajoutée à l'air par le déshumidificateur pour chaque kilogramme d'eau retiré. Chaque joule de chaleur ajouté dans l'enceinte par le déshumidificateur crée une charge supplémentaire sur le système de réfrigération. La *chaleur spécifique nette ajoutée* est la chaleur spécifique ajoutée moins l'énergie de déshumidification épargnée au système de réfrigération (chaleur spécifique nette = chaleur ajoutée – 2 833 kJ/kg eau). Les *frais d'opération nets* sont les frais d'opération de l'équipement moins les frais d'opération épargnés par le système de réfrigération à la suite de la déshumidification.

Il faut noter que les systèmes présentés dans cette étude n'ont pas tous précisément la même capacité de déshumidification. Cela provient du fait que les équipements ont été choisis dans des catalogues de fabricants différents en tentant néanmoins d'obtenir des capacités de déshumidification comparables. La sélection des équipements a été réalisée selon l'usage observé dans les arénas et selon les recommandations de différents fabricants.

Tableau 1 - Performances énergétiques publiées des équipements à 10 °C et 60 % d'humidité relative

PROCÉDÉ DE DÉSHUMIDIFICATION	COMPRESSION MÉCANIQUE ¹	SERPENTIN ²	DESSICCANT À GAZ ³	DESSICCANT À THERMOPOMPE ⁴
Capacité (kg eau/h)	15,9	15,8	21,9	17,3
Consommation spécifique (kJ/kg eau)	2 569	0	5 196	1 204
Chaleur spécifique ajoutée (kJ/kg eau)	5 095	-13 063	3 246	2 525
Chaleur spécifique nette ajoutée (kJ/kg eau)	2 259	-15 898	411	-310
Frais d'opération nets (\$/kg eau)	0,071	0	0,063	0,024
Coût d'achat ⁵	32 500 \$	10 000 \$	45 000 \$	65 000 \$

NOTES :

- Source : données de fabricants, 2010
- Coût de l'énergie, AQME, février 2010 : électricité : 21,5 \$/GJ, gaz à 97 % d'efficacité : 11,55 \$/GJ
- COP système de réfrigération : 3

¹: 2 unités de 26,5 kW (7,5 TR)

²: Surface frontale de 2,2 m², 6 rangées, 12 ailettes au pouce et débit d'air de 4,72 m³/s

³: Roue de 750 x 400 mm

⁴: 2 compresseurs de 17,6 kW (5 TR)

• Ne comprend pas les coûts de conception. Des honoraires importants sont à considérer.

⁵: Le coût d'achat ne comprend pas les coûts d'installation.

L'analyse de la performance énergétique permet d'affirmer les points suivants :

- Les systèmes à compression mécanique sont ceux qui ajoutent le plus de chaleur spécifique nette dans l'enceinte et qui ont les frais d'opération nets les plus élevés par kilogramme d'eau extrait. Leur coût d'achat est inférieur aux systèmes à dessiccant.
- Les systèmes à dessiccant régénéré à l'air chauffé au gaz ont un bilan de chaleur spécifique nette ajoutée très faible. Ils ont un coût d'achat intermédiaire.
- Les systèmes à dessiccant régénéré à l'air chauffé par une thermopompe ont la consommation spécifique la plus faible et les frais d'opération nets les moins élevés. Ils retirent plus de chaleur qu'ils n'en ajoutent dans l'enceinte. Ils ont toutefois le coût d'achat le plus élevé.
- Les systèmes de déshumidification à serpentin ont un bilan de chaleur spécifique nette ajoutée largement négatif : ils refroidissent le milieu en plus de réduire la charge de réfrigération attribuable à l'humidité. Leurs frais d'opération sont nuls. Ils offrent aussi le coût d'achat le plus faible. Toutefois, ce coût ne comprend pas les coûts de conception et d'intégration au système de ventilation en place.

Outre le cas du serpentin, les systèmes à compression mécanique imposent un coût d'opération supérieur aux autres technologies, mais ils coûtent moins cher à l'achat. En contrepartie, les systèmes à dessiccant offrent un coût d'opération inférieur à celui des systèmes à compression mécanique, mais ils sont plus dispendieux à l'achat. Enfin, les systèmes de déshumidification à serpentin offrent à la fois le coût d'opération et le coût d'achat le plus faible. Toutefois, ils n'existent pas en unités préassemblées, et des frais d'ingénierie et d'installation s'ajoutent à son coût d'achat.

Performance des équipements sur la période de neuf mois

Le modèle d'un aréna type en opération neuf mois par année, de septembre à mai, dans la région de Montréal, a été utilisé pour simuler la consommation d'énergie des équipements de déshumidification. La **Figure 13** illustre donc la consommation d'énergie annuelle du système de réfrigération et du système de déshumidification. Le graphique démontre bien que la déshumidification entraîne une augmentation de la consommation d'énergie dans l'aréna, sauf dans le cas du serpentin. Cette analyse comparative ne fait pas ressortir les économies ou les coûts énergétiques qui pourraient être attribuables à des coûts au kWh différents entre le gaz naturel et l'électricité.

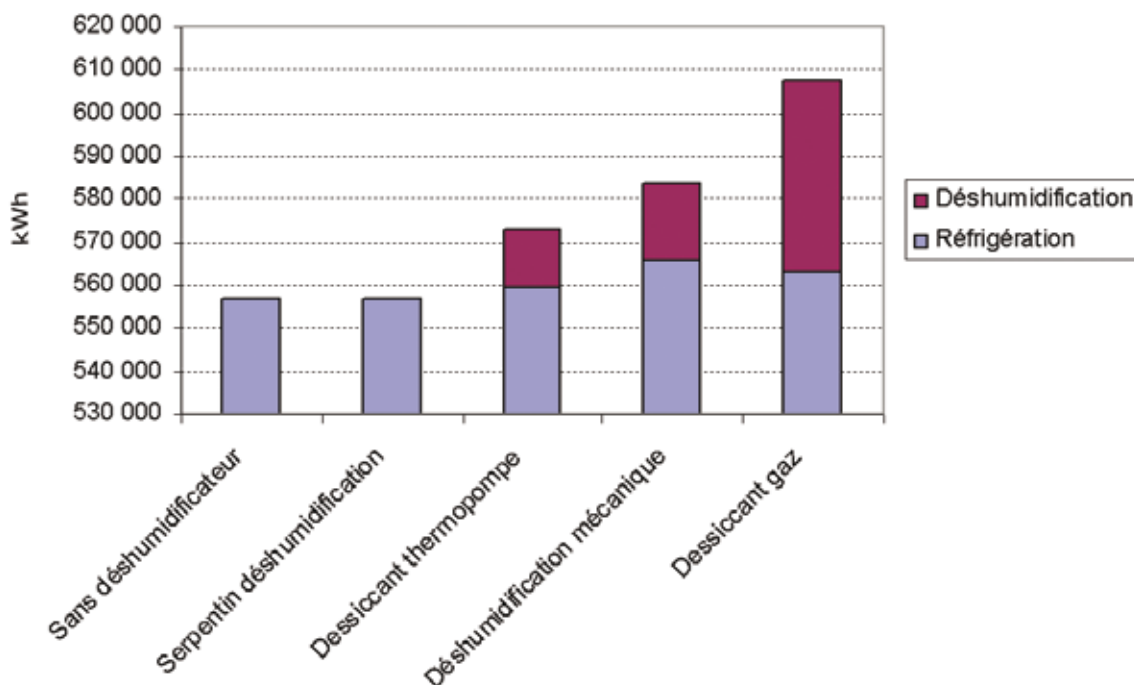


Fig. 13 - Graphique de la consommation d'énergie annuelle de réfrigération et de déshumidification
Source : CanmetÉNERGIE

Le **Tableau 2** montre la performance annuelle des équipements. L'énergie consommée par le système de déshumidification est exprimée en kWh équivalent et en valeur financière. Le nombre d'heures de fonctionnement du déshumidificateur et le nombre d'heures pendant lesquelles l'humidité relative est supérieure à 80 % dans l'enceinte sont aussi présentés et on peut y voir que les équipements ont bien performé. Ce seuil a été choisi pour déterminer si le déshumidificateur avait été bien sélectionné. On s'attend à ce que ce nombre d'heures soit faible dans l'année. La consommation énergétique spécifique moyenne est d'abord calculée, suivie des frais d'opération nets.

Tableau 2 - Performance des équipements pour neuf mois d'opération

SYSTÈME	ÉNERGIE CONSOMMÉE		HEURES DE FONCTIONNEMENT	HEURES > 80 % H.R.	CONSOMMATION SPÉCIFIQUE	FRAIS D'OPÉRATION NETS	
	kWh	\$	h	h	kJ/kg	\$	\$/kg
Compression mécanique	17 800	1 380	1 400	110	2 290	1 720	0,061
Serpentin	0	0	1 160	90	0	0	0
Dessiccant à gaz	44 300	1 840	1 280	100	4 830	1 880	0,057
Dessiccant thermopompe	13 500	1 040	1 370	110	1 640	850	0,029

NOTES :

- Coût de l'énergie, AQME, février 2010 : électricité : 21,5 \$/GJ, gaz à 97 % d'efficacité : 11,55 \$/GJ
- Le point de consigne dans la zone patinoire de l'aréna est de 12,8 °C et 50 % d'humidité relative à deux mètres au-dessus de la glace.

Le **Tableau 2** révèle que dans tous les cas, les coûts d'énergie sont inférieurs à 2 000 \$ par année, ce qui a aussi été vérifié dans plusieurs arénas. Ces systèmes fonctionnent tous environ 1 200 heures par année puisqu'ils ont des capacités de déshumidification similaires. Finalement, les résultats de l'étude comparative indiquent que l'humidité relative atteint le seuil critique de 80 % environ 100 heures par année, peu importe l'équipement choisi, ceci en considérant que tous les systèmes opèrent avec des stratégies de contrôle optimales, ce qui n'est pas toujours le cas dans la réalité.

CONCLUSION

La gestion de l'humidité dans les arénas du Québec est essentielle pour assurer une bonne qualité d'air et de glace. L'utilisation d'équipements de déshumidification est nécessaire pour éviter les problèmes d'inconfort des occupants, de corrosion de la structure du bâtiment, de moisissures et de présence de brouillard au-dessus de la glace.

Différentes technologies ont été présentées et comparées sur une base commune : consommation spécifique et chaleur ajoutée dans l'enceinte. L'étude comparative appuyée par des relevés d'arénas existants démontre que, peu importe la technologie de déshumidification, les frais d'opération sont inférieurs à 2 000 \$ par année, soit environ un pourcent du total, pour un aréna comportant peu de spectateurs et opérant neuf mois par année. Si l'aréna change sa période d'opération pour douze mois, un ajustement du point de vue de la puissance des équipements de déshumidification sera requis. Les frais attribuables à la déshumidification représentent une faible fraction des frais de la consommation énergétique totale du bâtiment même pour les arénas opérant annuellement. À noter qu'une augmentation de la consommation d'énergie, même marginale, augmentera d'autant les émissions de GES.

Enfin, il faut noter que peu importe la période d'opération du bâtiment, la déshumidification est surtout un besoin qui peut être mis en œuvre de façon efficace énergétiquement en utilisant une bonne stratégie de contrôle du déshumidificateur.

RÉFÉRENCES

VAN WYLEN, G. J., R.E.SONNTAG et P.DESROCHERS. *Thermodynamique appliquée*, ERPI, Montréal, 1992.

The Dehumidification Handbook, 2nd Ed., Munters Cargocaire, Amesbury, MA, 1990.

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

ASHRAE Handbook - Systems and Equipments, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers Inc., Atlanta, GA, 2004.

