



Réduire la charge de réfrigérant d'ammoniac dans un système frigorifique d'aréna

Claude Dumas, Ville de Montréal et ses collaborateurs, Costas Labos, Ville de Montréal, Constantine Petropoulos, PBA₂, Victor Santangelo, PBA

Résumé

Les concepteurs de systèmes de réfrigération pour les patinoires opérées par la Ville de Montréal ont été capables de réduire la charge d'ammoniac dans les systèmes de réfrigération grâce à un design utilisant une colonne de liquide qui monte à la mi-hauteur de l'échangeur à plaques et un réservoir d'équilibre novateur.

La Ville de Montréal possède et opère 47 patinoires réfrigérées et œuvre à remplacer ses systèmes qui utilisent les hydrochlorofluorocarbones (HCFC) pour se conformer au Protocole de Montréal. Ainsi, la Ville s'est tournée vers les systèmes de réfrigération à l'ammoniac qui font l'objet de codes de sécurité et de normes sévères. Les concepteurs affirment que le niveau de sécurité des installations de la Ville excède la plus sévère de

ces normes par l'utilisation d'un laveur d'air dans la salle des machines, d'un réservoir de neutralisation et d'une charge réduite de réfrigérant.

À ce jour, la Ville a complété le travail sur quatorze arénas, dont onze qui sont en phase de conception et quatre en construction. La fin du projet est prévue pour 2020.

Introduction

L'industrie de la réfrigération retourne lentement à l'usage de l'ammoniac pour remplacer les réfrigérants à base d'hydrochlorofluorocarbones comme le R-22. Ces réfrigérants HCFC sont délaissés graduellement par l'industrie à cause de leur impact sur l'environnement et seront bannis sous peu par la réglementation gouvernementale qui adhère aux traités internationaux comme le Protocole de Montréal.

L'ammoniac est classifié comme un réfrigérant de type B2L3, ce qui signifie qu'il est à la fois toxique et légèrement inflammable. Dans le but de réduire le risque d'exposition en cas de bris de composantes, d'accident ou d'erreur humaine, l'installation doit se conformer aux exigences sévères du Code de sécurité et des normes publiées par CSA, IIAR, ASHRAE, la province de Québec et les municipalités.

La Ville de Montréal possède des installations dont le niveau de sécurité dépasse les standards les plus exigeants. En effet, la Ville a pris l'initiative de diminuer à la fois le risque et le niveau d'exposition en incluant une tour de garnissage (laveur d'air) pour capter l'ammoniac de la salle des machines en cas de fuite de réfrigérant, de même qu'un réservoir de neutralisation et une charge réduite de réfrigérant.

Systeme à charge critique⁴

Un système à charge critique est un système frigorifique dont la charge de réfrigérant est limitée de façon à ce qu'il soit impossible que le réfrigérant liquide soit entraîné dans la conduite d'aspiration du compresseur lorsque que toute la charge se trouve dans l'évaporateur.

Le texte qui suit décrit le processus que nous avons appliqué pour réduire la charge totale de réfrigérant et réaliser un design de système frigorifique qui contient seulement 2.25 lb d'ammoniac par tonne de réfrigération (2.25 lb/TR).

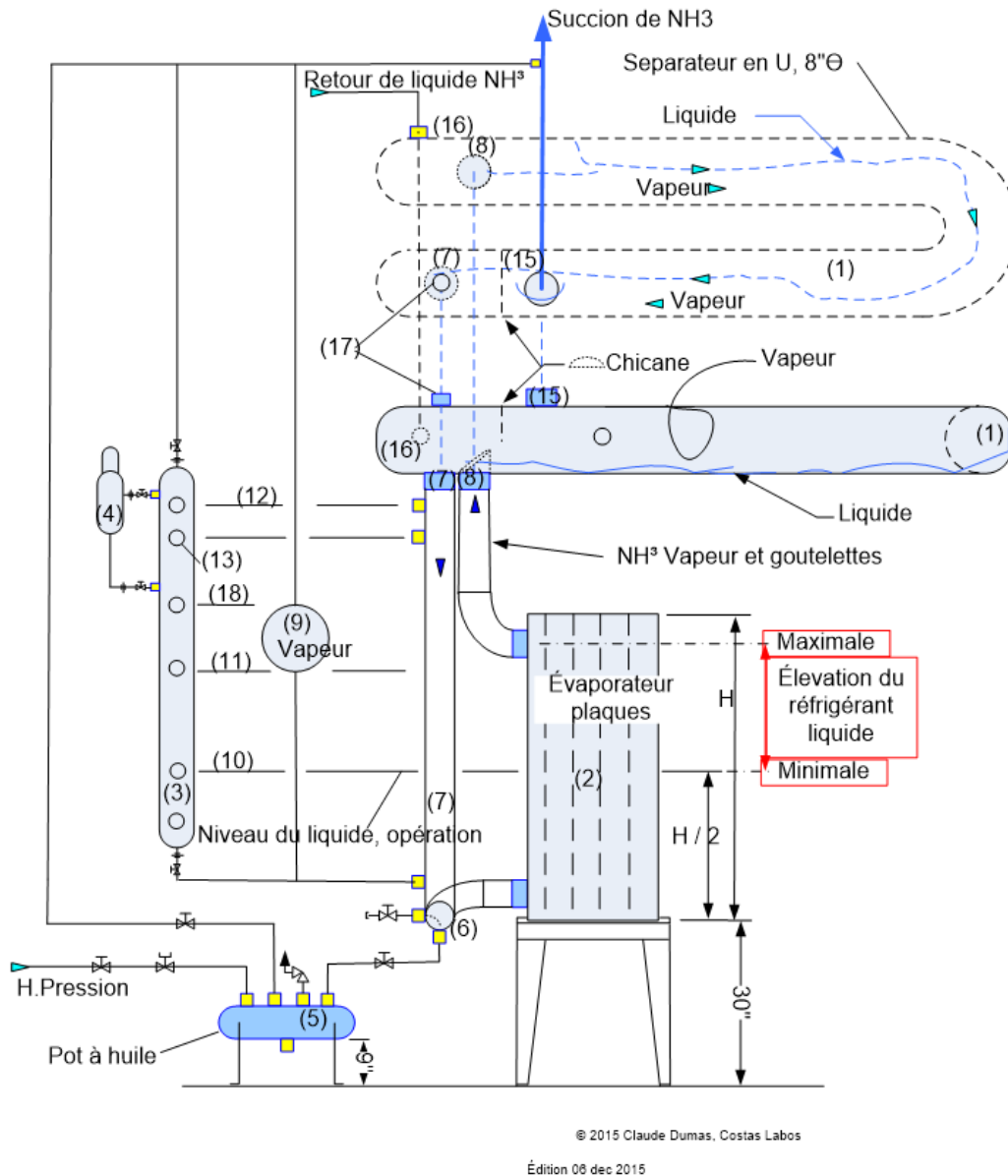


Fig 1 : Séparateur de liquide en « U » avec évaporateur partiellement noyé.

L'ensemble séparateur de liquide en «U» (1) inclut la colonne de liquide (7), la patte de vapeur humide (8) et l'échangeur à plaques (évaporateur) (2), conçu pour travailler avec un réservoir d'équilibre (9), une colonne de niveau (3) et un interrupteur de haut niveau (4). Le séparateur fait usage de changements de direction, de chicane et d'action centrifuge pour séparer la vapeur du liquide. Lorsque l'on compare un design conventionnel avec réservoir tampon à ce design de séparateur en U, ce dernier occupe moins d'espace, est livré pré-assemblé, prêt à installer et ne requiert pas de support structural assemblé sur le chantier.

L'évaporateur à plaques saumure/réfrigérant dans un bâti (2) a été sélectionné pour une performance optimale lorsque le thermosiphon est alimenté par gravité via une charge de réfrigérant liquide à mi-hauteur. Ce design partiellement noyé optimise l'ébullition du réfrigérant et la surchauffe.

Selon l'avis de l'ingénieur concepteur d'un manufacturier d'échangeur à plaques, «l'évaporateur à plaques noyé peut être plus efficace si le niveau de la colonne de liquide s'élève à mi-hauteur de l'échangeur à plaques, maximisant l'usage de la surface d'échange pour produire le changement de phase du réfrigérant». Le débit de saumure a été réduit à 451 USgpm (environ la moitié du débit couramment utilisé dans l'industrie), soit un différentiel de température de 4°F, permettant des coûts d'opération réduits.

L'ensemble composé de la colonne de 4 pouces (3) et des voyants (13) permet de vérifier le niveau du réfrigérant et de calibrer la charge. Greffé sur la colonne, un interrupteur de haut niveau (4) agit comme protection ultime contre l'entraînement de liquide dans la succion et la surcharge de réfrigérant.

Le pot d'huile (5) a été sélectionné pour un volume (V_5) égal au volume de l'accumulateur au bas de la colonne de liquide (6) multiplié par un facteur de 1.1 ($V_6 \times 1.1$, où V_6 représente le volume de l'accumulateur). Le tableau 1 illustre le volume et le contenu d'ammoniac dans un tuyau, pour un pot d'huile typique de différents diamètres.

La colonne de liquide pré-assemblée (7) ainsi que la patte de vapeur humide (8) font 4 pouces de diamètre. Le réservoir d'équilibre (9) a été conçu comme un accumulateur et son rôle est d'éviter que le niveau de liquide excède le niveau maximal d'opération du réfrigérant (12) lorsque le pot d'huile est complètement rempli d'huile. Le volume du réservoir (V_9) est calculé comme suit: $(V_6 + V_5) \times 1.1$.

Le voyant (10) correspond au niveau minimal du liquide (soit $\frac{1}{2} \times H$, où H est la hauteur des plaques de l'échangeur) pour un système correctement chargé et dont le pot d'huile (5) est plein de réfrigérant, tandis qu'un pot d'huile plein d'huile de compresseur aurait un niveau d'ammoniac liquide correspondant au voyant (11). Dans l'éventualité où le niveau du réfrigérant liquide excède le voyant (12), les compresseurs doivent être arrêtés immédiatement sans permission de redémarrer jusqu'à correction de la charge de réfrigérant (ou de l'anomalie). Le réservoir de service n'est pas illustré (14). Ce vaisseau n'est pas dans le parcours du réfrigérant, il contient seulement des vapeurs et est utilisé pour emmagasiner le réfrigérant liquide lorsque qu'il est requis de pomper le système pour faire le service. Le port de succion (15) est localisé sur le dessus du séparateur de liquide en «U», tandis que le port (16) identifie le raccord de retour du liquide. Le port supplémentaire (17) peut accommoder la sonde de niveau d'un contrôleur électronique (non utilisé). Le voyant (18) correspond au dessus (couronne) du réservoir d'équilibre.

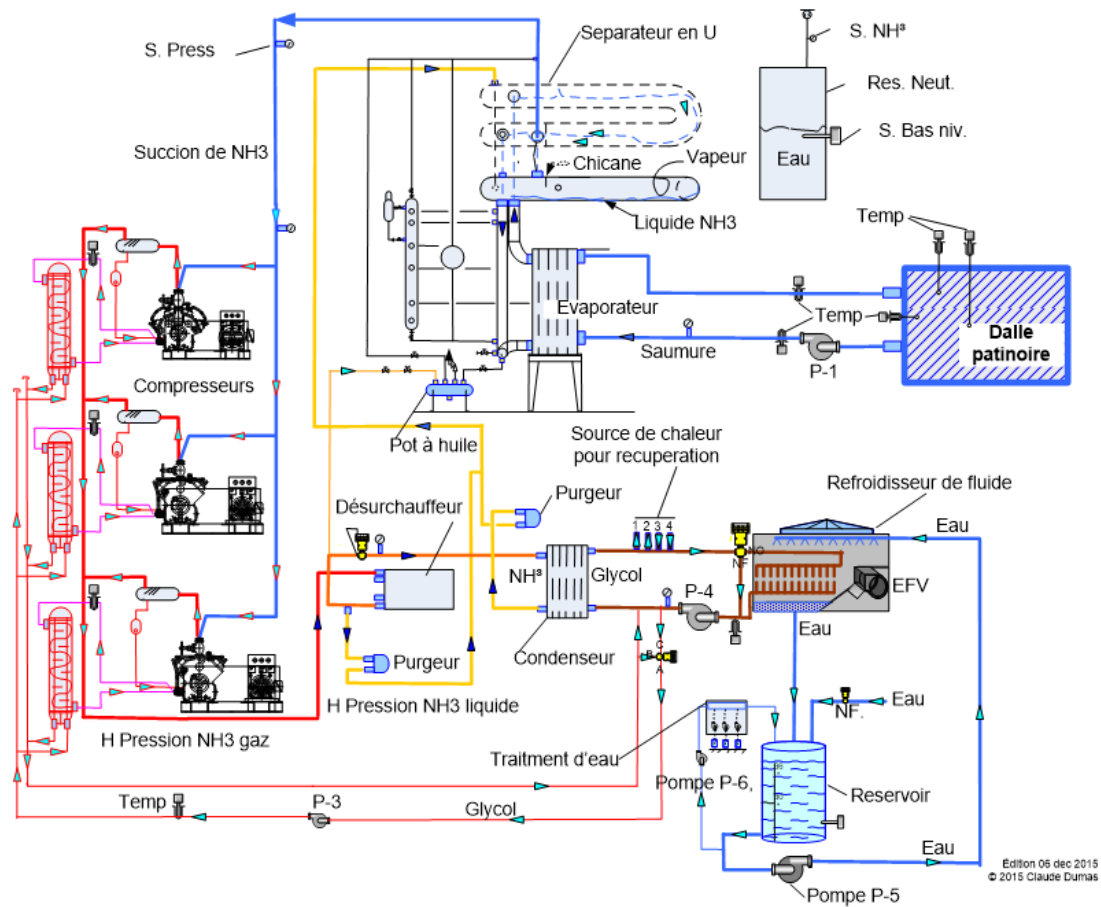


Fig 2 : Diagramme complet du système de réfrigération à charge réduite d'ammoniac.

Le réfrigérant liquide et la saumure entrent dans l'échangeur de chaleur par les ports (6) qui sont à la base et progressent vers le haut dans un écoulement concourant (parallèle). L'écoulement concourant permet un changement de phase du réfrigérant qui est plus significatif à la base de l'échangeur de chaleur. La figure 3 montre aussi l'accumulation d'huile dans le cas où l'huile est non miscible dans le réfrigérant.

Innovation

L'innovation dans ce projet est l'usage d'un réservoir d'équilibre (9) conçu pour simplifier le système frigorifique, minimiser la charge de réfrigérant et minimiser les contrôles en évitant d'installer une colonne de contrôle de niveau et son réservoir de réfrigérant à haute pression.

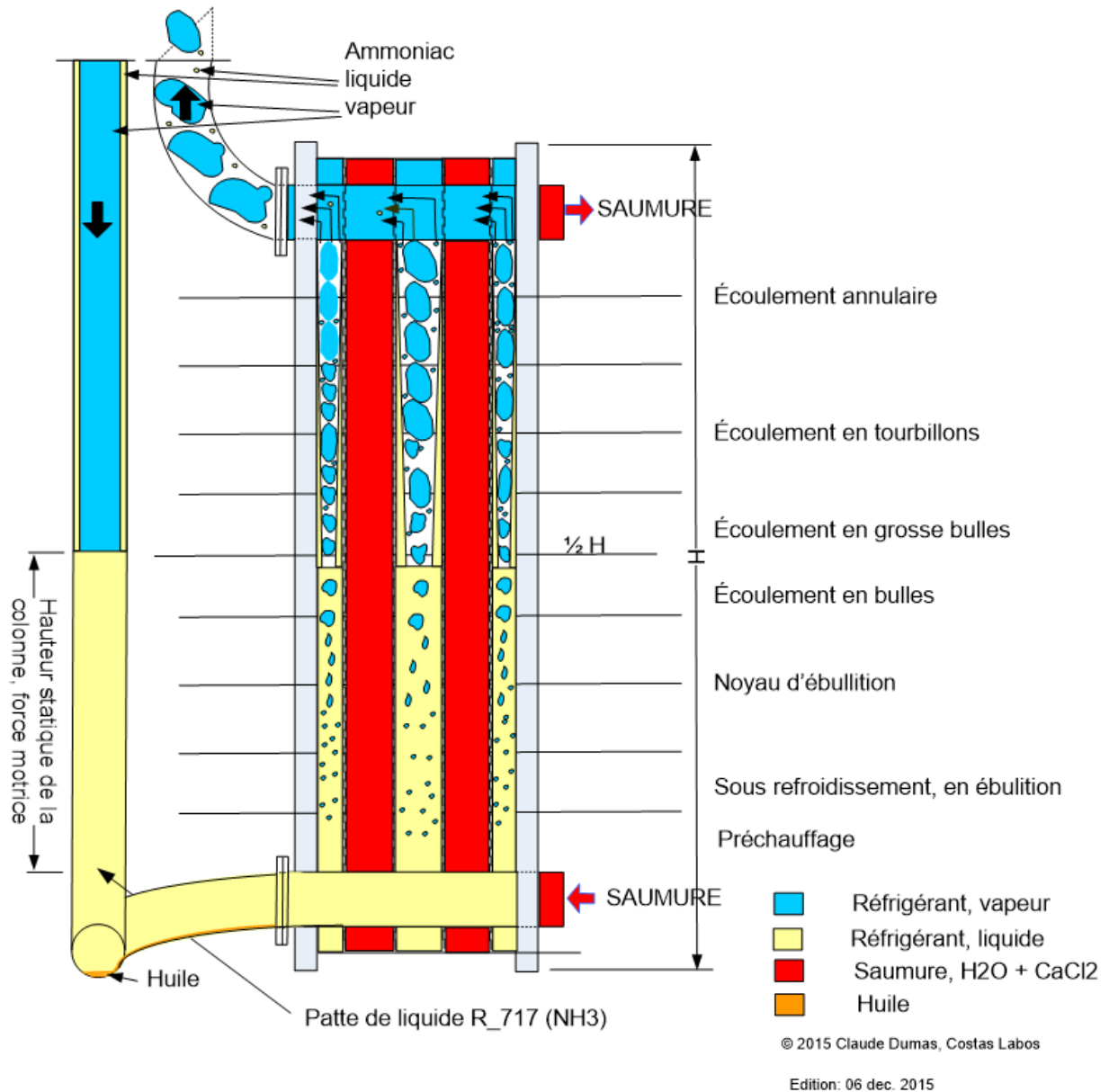


Fig 3 : Échangeur à plaques utilisé comme évaporateur thermosiphon, réfrigérant R-717

Le premier design a été réalisé à l'Aréna Raymond-Bourque quand la Ville de Montréal a débuté ce projet de mise aux normes en utilisant l'ammoniac comme réfrigérant alternatif dans un aréna intérieur. Le système de réfrigération pour deux glaces utilisait deux évaporateurs de type coquille et tubes noyés (un pour chaque glace), un réservoir de réfrigérant haute pression, un condenseur évaporatif et une charge de 1500 lb de réfrigérant (voir le tableau 2, Aréna R-Bourque). Considérant la quantité d'ammoniac introduite dans le système frigorifique de l'aréna ainsi que la nature toxique du réfrigérant, une étude de risque a été commandée.

Le rapport a confirmé le lien direct entre le niveau de risque et la quantité d'ammoniac présente dans le système, recommandant que « la priorité soit mise pour minimiser la charge de réfrigérant, conséquemment de réduire le risque lors d'une fuite accidentelle ». Ayant à l'esprit la réduction d'ammoniac, la mise en action n'a pas tardée à réduire drastiquement la charge de réfrigérant – le système à charge critique a été introduit.

Comme préalable, nous avons listé et identifié les différentes parties du système frigorifique, portant une attention spéciale à celles qui présentent le plus grand volume ou potentiel de stockage d'ammoniac (ex : réservoir tampon [niveau], évaporateur à coquille et tubes, condenseur évaporatif, réservoir haute pression, pot d'huile, tubulure qui transporte le liquide, colonne de liquide, colonne de voyants, etc.).

Dans notre design nous avons :

- A. Remplacé le condenseur évaporatif par un condenseur à plaques ammoniac/glycol combiné avec un refroidisseur de fluide au glycol;
- B. Remplacé le condenseur de type coquille et tubes par un condenseur à plaques compact à cassette soudée;
- C. Sélectionné l'évaporateur à plaques pour une efficacité optimale en mode thermosiphon et partiellement noyé;
- D. Remplacé un réservoir tampon conventionnel ainsi que la structure de support afférente par un séparateur en «U» réduisant ainsi l'empreinte au sol et le temps d'installation;
 - A. Notes:
 - A. Étant donné que le design du système est à charge critique, ni le séparateur en «U» ni le réservoir tampon ne doivent contenir du réfrigérant liquide.
 - B. Le concepteur n'a pas l'obligation d'utiliser un séparateur en «U» pour réaliser un système frigorifique à charge critique aussi performant que les nôtres.
- E. Éliminé deux robinets de service à double usage, pour le service (et calibrer l'écoulement du réfrigérant) entre l'évaporateur et le réservoir tampon. Cela nous a permis d'utiliser un ensemble de colonne de liquide et de vapeurs humide extrêmement compact (réduit de 6 pouces à 4 pouces), permettant ainsi une diminution de la charge de réfrigérant;
- F. Éliminé le contrôle de niveau;
- G. Modifié la tuyauterie et retiré du réservoir de réfrigérant haute pression sa fonction première qui est de balancer la charge de réfrigérant, pour qu'il devienne en condition d'opération normale un réservoir de service ne contenant que des vapeurs;
- H. Introduit le réservoir d'équilibre pour qu'il agisse comme contrôle de niveau lorsque l'huile déplace l'ammoniac liquide dans le pot d'huile;
- I. Spécifié deux systèmes frigorifiques indépendants de 71TR chacun, dans les arénas de deux glaces. Cela permet l'usage d'une charge de réfrigérant réduite (moins de 175 lb/système), un plus petit système de ventilation d'urgence,

- minimisant le risque et l'importance de la fuite si un circuit de réfrigérant se vide complètement;
- J. Diminué le diamètre du pot d'huile, de 8 pouces à 4 pouces, donc son volume potentiel par 75%;
 - K. Réduit le diamètre et la longueur des tuyaux transportant du réfrigérant liquide.

Comme exemple, à 6°F, un pied linéaire de tuyau de 4 pouces peut contenir 3.63 lb d'ammoniac liquide tandis qu'un pied linéaire de tuyau de 8 pouces peut contenir 14.27 lb de liquide. Voir le Tableau 1 pour connaître le contenu de liquide et de vapeur correspondant à différents diamètres de tuyaux.

<i>Poids (Lb) de R-717 dans un pied linéaire de tuyau à 6°F</i>			
<i>Diamètre</i>	<i>Volume Pi³/Pi.</i>	<i>Liquide Lb/Pi.</i>	<i>Vapeur Lb/Pi.</i>
1"*	0.0050	0.21	0.001
2"*	0.0206	0.84	0.003
3"	0.0513	2.11	0.006
4"	0.0884	3.63	0.011
6"	0.2006	8.24	0.025
8"	0.3474	14.27	0.044

Tableau 1

*schédule 80

Tableau 1 : Diamètre de tuyau (typique) et contenu correspondant en phases liquide et vapeur

		<i>R-717--charge vs. TR dans nos patinoires</i>					
	Aréna	Séparateur	AAAA	TR	Lb(R-717)	Lb(R-717)/TR	Dimension de la patinoire
01	R-Luongo *	RT	2015	88	250	2.84	85'x200'xR=28'
02	Chaumont *	U	2015	71	175	2.46	85'x200'xR=28'
03	St-Charles *	U	2015	71	160	2.25	75'x175'xR=25'
04	D-Harvey *	RT	2014	71	200	2.82	85'x200'xR=28'
05	C-Jetté *	RT	2014	71	200	2.82	85'x200'xR=28'
06	M-Brodeur *	U	2014	88	145	1.65	85'x200'xR=28'
07	Ahuntsic *	U	2013	71	168	2.37	85'x200'xR=28'
08	P-Marquette *	RT	2012	71	200	2.81	75'x175'xR=25'
09	P.P.Morin *	RT	2012	94	225	2.39	85'x200'xR=28'
10	M-Normandin *	RT	2011	71	225	3.17	85'x200'xR=28'
11	C-Houde *	RT	2010	71	225	3.17	85'x200'xR=28'
12	H-Morenz *	RT	2010	71	225	3.17	85'x200'xR=28'
13	H-Bourassa *	RT	2010	71	350	4.93	85'x200'xR=28'
14	J-Lemaire *	RT	2010	114	500	4.38	85'x200'xR=28'
Un aréna double, réalisé avant notre projet de mise aux normes.							
15	R-Bourque #A †	RT	2007	152	1500	9.87	85'x200'xR=28'
16	R-Bourque #B †	RT	2007				85'x200'xR=28'

Tableau 2

Tableau 2 : Charge de réfrigérant et ratios réalisés dans nos patinoires

Notes :

- U= Séparateur en «U».
- RT= Séparateur de type, Réservoir Tampon.
- TR= Tonnes de réfrigération
- * Système : Noyé, charge critique, vaporisateur et condenseur à plaques, refroidisseur de fluide. Construit selon un plan et devis normalisé.
- † Système : Noyé, évaporateur et condenseurs de type coquille et tubes, réservoir haute pression, condenseur évaporatif.

Montréal possède et opère 47 patinoires réfrigérées, parmi celles-ci 41 sont construites à l'intérieur tandis que six sont construites à l'extérieur. Présentement, quatorze arénas sont complétées, onze sont en phase de conception et quatre sont en construction. Onze de plus seront ajoutés à la liste et vont progresser dans l'échéancier vers l'élimination complète du HCFC-22 en 2020 (Protocole de Montréal).

Les quatorze systèmes de réfrigération de patinoire qui ont été conçus, construits et mis en service sont listés et exposés dans le Tableau 2, la plupart étant dimensionnés pour une puissance de 71TR et une quantité de réfrigérant variable. Les plus récents sont chargés avec moins de 175 lb d'ammoniac (un ratio de 2.46 lb/TR). De plus, trois réalisations sont remarquables : l'aréna d'Ahuntsic, où nous avons réalisé une charge de 168 lb pour 71TR (un ratio de 2.37 lb/TR); l'aréna M-Brodeur avec une charge de 145 lb pour 88 TR (un ratio 1.65 lb/TR) et l'aréna Saint-Charles où la charge a été calibrée à 160 lb pour 71 TR, (un ratio 2.25 lb/TR. Voir le Tableau 2 pour connaître la charge de réfrigérant et le ratio réalisé dans nos arénas.

Notre but premier au cours des dernières années, en complétant ces quatorze systèmes frigorifiques d'arénas, a constamment été de **réduire le risque par un design prudent et une mise en œuvre qui minimise la charge de réfrigérant ammoniac, surpassant les standards de l'industrie, ce sans compromettre la performance et la sécurité.** Nous avons dû guider à maintes reprises les acteurs de l'industrie, qu'ils soient des fournisseurs ou des entrepreneurs, pour changer la mentalité selon laquelle une plus grande charge de réfrigérant est toujours mieux, ce qui ne s'applique pas à un système frigorifique à charge critique. En maintes occasions, nous avons fait retirer du réfrigérant chargé en trop grande quantité par l'entrepreneur.

Conclusion

L'usage de l'ensemble séparateur en «U» préfabriqué en atelier, avec colonne de liquide et de vapeur humide compacte, livré assemblé sur le dessus du cadre de l'échangeur de chaleur à plaques, facilite la tâche de l'installateur, minimise l'empreinte au sol et réduit le temps d'installation. Voir Fig. 2.

L'usage d'un réservoir d'équilibre (9) est notre innovation, une protection supplémentaire conçue pour loger la masse de réfrigérant déplacé par la migration de l'huile et protéger

le compresseur contre les coups de liquide. Ce design minimise la charge de réfrigérant et évite d'installer une colonne de contrôle de niveau.

Le concepteur n'est pas obligé d'utiliser un séparateur en «U», il peut utiliser un réservoir tampon pour réaliser un système frigorifique à charge critique aussi performant que les nôtres - simplement suivre la recette que nous avons balisée. Un réservoir tampon aurait une plus grande empreinte au sol et requiert l'ajout d'une structure de support, par contre le réservoir d'équilibre ne serait pas requis.

Pour réduire le risque d'exposition à l'ammoniac, nous avons pris l'engagement de minimiser la charge d'ammoniac dans le système de réfrigération; c'est pourquoi en ajustant la colonne de liquide, le niveau de liquide dans l'évaporateur et en introduisant le réservoir d'équilibre, nous avons réduit de façon significative la charge de réfrigérant dans plusieurs de nos systèmes.

L'idée maitresse à retenir est la suivante : un évaporateur à plaques noyé peut être plus efficace si le niveau de la colonne de liquide s'élève à mi-hauteur de l'échangeur à plaques, maximisant l'usage de la surface de la plaques pour produire le changement de phase du réfrigérant. C'est une révélation par l'ingénieur concepteur à l'emploi d'un manufacturier de plaques. Voir Fig.3.

Références

1: Le réfrigérant Ammoniac est identifié par le Standard 34 d'ASHRAE comme le numéro R-717, son poids moléculaire est 17, tandis que sa formule est NH_3 .

2: PBA est la firme de génie conseil Petropoulos, Bomis & Assoc. Inc. experts dans les systèmes de réfrigération à l'ammoniac.

3: ASHRAE Standard 34-2013,

Page.9, TABLE 4-1,. Refrigerant Data and Safety Classifications.

Page16, FIGURE 6.1.4,. Refrigerant Safety Group Classification. A2L and B2L sont des réfrigérants ayant une faible inflammabilité et dont la vitesse de propagation de la flamme est $\leq 3.9 \text{ in./s}$ (10 cm/s).

4: Conforme avec CSA B52-13, P. 18,

5: Pour plus d'information au sujet de nos systèmes frigorifiques, consulter la page web suivante: http://pages.videotron.com/nh3/text/publications_cdumas.html . Le titre de la présentation est : « Mise aux normes du système frigorifique de l'aréna Ahuntsic, Réfrigérant R-717. »

