



Ressources naturelles  
Canada

Natural Resources  
Canada



**ÉTUDE  
COMPARATIVE DE  
SYSTÈMES DE  
RÉFRIGÉRATION  
*POUR LES ARÉNAS***

Varenes, juillet 2013

Canada

CanmetÉNERGIE à Varennes  
1615, boul. Lionel-Boulet, P.O. Box 4800  
Varennes, Québec, J3X 1S6  
Canada

Cat. No. : M154-72/2013F  
ISBN : 978-0-660-21079-7

Une version électronique de ce guide est disponible à l'adresse suivante :  
Site Web : <http://www.rncan.gc.ca>

Cette publication, diffusée à des fins didactiques, ne reflète pas nécessairement le point de vue du gouvernement du Canada. De plus, pour ce qui est de son contenu, le gouvernement du Canada, ses ministres, ses fonctionnaires et ses employés ou agents n'offrent aucune garantie et n'assument aucune responsabilité.

©Sa Majesté la Reine du chef du Canada, 2013

# PRÉAMBULE

Cette étude technico-commerciale a été réalisée par le Centre de recherche CanmetÉNERGIE de Ressources naturelles Canada avec la participation technique et financière des organismes et entreprises suivants :

- Ville de Montréal;
- Ville de Québec;
- Ministère de l'Éducation, du Loisir et du Sport du Québec (MELS);
- Ministère des Finances et de l'Économie du Québec (MFÉ);
- Hydro-Québec;
- Association québécoise des arénas et des installations récréatives et sportives (AQAIRS);
- Fixair inc.;
- Cimco réfrigération;
- Carnot réfrigération;
- Kube Solutions;
- Mayekawa Canada Inc.;
- Smart Ref;
- Trane.

## CanmetÉNERGIE...EN BREF

### Mission

CanmetÉNERGIE de Ressources naturelles Canada constitue un chef de file en matière de développement technologique et de recherche se rapportant à l'énergie propre. Trois centres offrent des compétences expertes sur la recherche énergétique, lesquels sont situés à Devon (Alberta), à Ottawa (Ontario) et à Varennes (Québec).

CanmetÉNERGIE à Varennes, près de Montréal, offre une expertise scientifique et technique dans les domaines suivants :

- Analyse de projets d'énergies propres : RETScreen International;
- Smart Grid : pour faciliter l'intégration des énergies renouvelables;
- Énergie solaire photovoltaïque dans les bâtiments;
- Énergie solaire photovoltaïque;
- Optimisation des procédés industriels;
- **Réfrigération;**
- Pompes à chaleur;
- Recommissioning (RCx);
- Commissioning (Cx);
- Commissioning (Cx) en continu

Environ 110 scientifiques, ingénieurs, technologues, gestionnaires et employés de soutien gèrent des programmes et offrent des services de science et technologie (S&T). Ces ressources travaillent avec les membres du secteur de l'énergie, du monde universitaire et de la protection environnementale en ayant recours à des ententes à frais partagés pour la réalisation de travaux effectués par les experts du Centre. En plus de constituer une fenêtre pour du financement fédéral, le Centre obtient aussi une large part de soutien financier du secteur privé et des autres organismes publics et parapublics.

Plus amples renseignements sur CanmetÉNERGIE-Varennes peuvent être obtenus sur le site Web suivant :

<http://www.rncan.gc.ca/energie/bureaux-labos/canmet/14495>

### Expertise en réfrigération

Le sujet de la réfrigération est traité à la Direction Bâtiments du Centre. Celle-ci compte environ 30 personnes-ressources composées de chercheurs, d'experts technologiques, de chargés et gestionnaires de projets de même que de personnel de soutien. Leurs travaux en réfrigération sont orientés principalement sur les sujets suivants :

- Développer et promouvoir une approche intégrée de la réfrigération pour réduire la consommation d'énergie et les émissions de GES;
- Une aide de la conception à l'implantation;
- Le développement et l'optimisation de technologies émergentes de réfrigération.

Toutes les ressources du Centre ayant participé à la présente étude appartiennent à la Direction Bâtiments.

Des renseignements complémentaires, des rapports et des outils scientifiques peuvent être consultés par le lien suivant :

<http://www.rncan.gc.ca/energie/efficacite/batiments/recherche/refrigeration/3842>

Source : site Web de CanmetÉNERGIE

# TABLE DES MATIÈRES

<b>Sommaire de direction</b> .....	<b>2</b>
<b>Objectifs de l'étude</b> .....	<b>8</b>
<b>1 CONTEXTE</b> .....	<b>10</b>
1.1 Situation actuelle des systèmes frigorifiques.....	10
1.2 Rappel des grandes orientations environnementales .....	12
1.3 Rappel de la réglementation en matière de réfrigération pour les aréna	14
1.4 Efficacité énergétique et récupération de la chaleur.....	16
1.5 Progrès technologiques et inventaire des options actuelles .....	19
<b>2 LES SYSTÈMES DE RÉFRIGÉRATION</b> .....	<b>20</b>
2.1 Introduction .....	20
2.2 Méthodologie de réalisation .....	20
2.2.1 Le bâtiment de référence .....	20
2.2.2 Le choix des systèmes étudiés .....	21
2.2.3 L'évaluation de la performance .....	22
2.2.4 L'évaluation des coûts d'acquisition .....	23
2.2.5 L'évaluation des coûts d'énergie .....	24
2.2.6 L'évaluation des coûts d'entretien et de réparation .....	25
2.2.7 La formation du personnel d'exploitation .....	26
2.2.8 L'évaluation de la valeur résiduelle après 20 ans .....	26
2.2.9 Durée de vie.....	28
2.2.10 L'évaluation des appuis financiers .....	31
2.2.11 L'évaluation de la valeur actuelle globale d'achat et d'exploitation sur 20 ans .....	32
2.2.12 Les coûts non inclus .....	32
2.3 Tableaux résumés des résultats .....	33
2.4 Analyse des risques en fonction du type de réfrigérant .....	50
2.5 Analyse des résultats de l'étude .....	57
2.6 Fournisseurs potentiels .....	59
<b>Conclusions</b> .....	<b>62</b>
<b>Collaborateurs à la réalisation de cette étude</b> .....	<b>66</b>
<b>Annexes</b> .....	<b>68</b>
Annexe 1 : Schémas des 12 systèmes étudiés et description du fonctionnement.....	70
Annexe 2 : Sommaire des garanties des systèmes étudiés .....	96
Annexe 3 : Résultats énergétiques pour un aréna de 12 mois .....	98

Annexe 4 : Rapport synthèse sur les risques associés à l'utilisation de l'ammoniac dans les arénas .....	100
Annexe 5 : Étude technique de réfrigération des arénas au CO <sub>2</sub> .....	116
Annexe 6 : Guide de gestion des risques pour système de réfrigération aux halocarbures pour arénas .....	134

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Les 12 options des systèmes retenus.....	3
Tableau 2 : Sommaire des données techniques et de la performance des système étudiés.....	4
Tableau 3 : Sommaire des données financières sur les systèmes étudiés .....	5
Tableau 4 : Les principaux réfrigérants et leurs impacts sur l'environnement .....	13
Tableau 5 : Lois et règlements s'appliquant aux systèmes frigorifiques des arénas.....	15
Tableau 6 : Principales caractéristiques des 12 systèmes de réfrigération étudiés.....	21
Tableau 7 : Fréquences d'entretien et de remplacement des équipements .....	30
Tableau 8 : Facteurs utilisés dans les calculs financiers.....	32
Tableau 9 : Principales caractéristiques physiques des équipements.....	34
Tableau 10 : Puissance de réfrigération et de chauffage .....	35
Tableau 11 : Puissances électriques installées .....	36
Tableau 12 : Consommation d'énergie des systèmes de réfrigération .....	37
Tableau 13 : Consommation d'énergie des systèmes de chauffage.....	38
Tableau 14 : Bilan d'énergie et appel de puissance.....	39
Tableau 15 : Coefficient de performance (COP) moyen en réfrigération, en chauffage et combiné.....	40
Tableau 16 : Investissements initiaux (sans subvention).....	41
Tableau 17 : Coûts d'énergie par année .....	42
Tableau 18 : Coûts d'entretien annuels .....	43
Tableau 19 : Coûts autres (formation, réfrigérants).....	44
Tableau 20 : Subventions et incitatifs.....	45
Tableau 21 : Bilan des coûts d'achat et d'exploitation sur 20 ans.....	46
Tableau 22 : Valeur actuelle et annuités des coûts d'achat et d'exploitation sur 20 ans.....	47
Tableau 23 : Sommaire des scénarios financiers sur les systèmes étudiés.....	48
Tableau 24 : Sommaire valeurs résiduelles actualisées des scénarios financiers .....	49
Tableau 25 : Principaux fournisseurs de systèmes frigorifiques pour les arénas.....	59
Tableau 26 : Organismes et entreprises offrant des formations en réfrigération .....	60

## LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Aréna traditionnel (les rejets thermiques sont évacués à l'extérieur) .....	16
Figure 2 : Aréna contemporain (les rejets thermiques sont réutilisés et l'excédent est rejeté dans l'atmosphère).....	16



# SOMMAIRE DE DIRECTION

CanmetÉNERGIE à Varennes a réalisé cette étude pour répondre aux interrogations des propriétaires d'aré纳斯 et de plusieurs organismes publics concernés par la vétusté et la désuétude de la majorité des systèmes de réfrigération présentement dans les aré纳斯 du Québec. Les principaux équipementiers qui fabriquent et installent ces systèmes se sont également intéressés à cette étude pour que soient véhiculées, dans le milieu, des évaluations objectives sur les options offertes.

Un grand nombre de critères techniques, financiers, environnementaux et de sécurité sont pris en compte dans ces évaluations. En plus d'avoir été financée en quasi-totalité par le milieu, l'étude a constitué un vaste chantier d'échanges et de mise en commun d'informations dans certains cas confidentielles, et ce, avec un nombre important de participants.

Plus précisément, les critères suivants sont considérés :

1. Les types de systèmes à l'étude, au nombre de 12, correspondent à l'offre actuelle dans le marché.
2. La performance de chaque système a été évaluée en considérant que chacun d'eux répond aux besoins d'utilisation d'un aré纳斯 réel. Il s'agit de l'aré纳斯 Camillien-Houde à Montréal. Ces évaluations ont permis de comparer les consommations et les coûts d'énergie, sur une période de 9 mois, avec précision.
3. Les analyses financières ont été faites sur un horizon de vingt ans en considérant les éléments de coûts suivants :
  - a. L'acquisition d'un système, en tenant compte des subventions et incitatifs disponibles présentement;
  - b. Le coût des travaux connexes tels le démantèlement, la mise aux normes de la salle mécanique, si requise, et dans certains cas, les équipements de sécurité requis par les lois et règlements en cette matière;
  - c. Les coûts d'énergie en tenant compte de la puissance, de la consommation et du tarif d'électricité en vigueur;
  - d. Les coûts de l'entretien préventif et des entretiens réguliers incluant, lorsque requis, la surveillance périodique des systèmes par des mécaniciens de machines fixes;
  - e. Les coûts de remplacement d'équipement, de travaux de réfection ou de remise au point survenant au cours des 20 ans;
  - f. Une formation spécifique initiale et continue en matière de réfrigération à l'intention du personnel de l'aré纳斯, c.-à-d. le gérant, l'ouvrier d'entretien et le mécanicien de machine fixe ou du frigoriste.

Les comparaisons financières sont effectuées à l'aide du calcul de la valeur actuelle (VA) de tous les coûts ainsi que le calcul de l'annuité correspondante. Des facteurs d'indexation, d'actualisation ainsi que des taux d'intérêt ont été pris en compte. Ces facteurs sont précisés dans le corps du rapport. Les résultats d'une analyse de sensibilité sur les facteurs les plus incertains dans le temps tel le taux d'indexation du prix de l'énergie sont également présentés dans l'étude.

Une analyse de gestion des risques fut confiée à un expert, JP Lacoursière inc., pour chacune des trois familles de réfrigérants considérées soit l’ammoniac, le CO<sub>2</sub> et les HFC ou réfrigérants de synthèse. Les recommandations que ces études contiennent sont prises en compte à la fois comme mesure de prévention ou d’atténuation en cas d’accident.

Enfin, les experts de CanmetÉNERGIE ont analysé les résultats et formulé des constats et des commentaires dans le but de mieux assister les propriétaires d’aréna dans les choix qui s’offrent à eux aujourd’hui, en matière de réfrigération.

Voici les tableaux synthèses des résultats. Le **Tableau 1** résume le choix des 12 options retenues, le **Tableau 2** se concentre sur les performances des 12 systèmes alors que le **Tableau 3** affiche les résultats financiers. Les principaux constats et commentaires des experts les accompagnent. Plus de précisions sur les caractéristiques techniques des systèmes de réfrigération peuvent être obtenues dans le corps du rapport.

**Tableau 1: Les 12 options des systèmes retenus**

N°	RÉFRIGÉRANT	FLUIDE DANS LA DALLE	PARTICULARITÉS	EXEMPLE DE RÉALISATION AVEC CE CONCEPT
A1	Ammoniac (R717)	Saumure	Système ouvert monobloc à accumulateur d’énergie stratifié	Aréna St-Ambroise par Cimco (Eco Chill)
A2	Ammoniac (R717)	Saumure	Système ouvert assemblé avec pompe à chaleur, concept ville de Montréal	Aréna Camillien-Houde, Montréal
A3	Ammoniac (R717)	Saumure	Système ouvert assemblé avec pompe à chaleur, concept ville de Québec	Aréna Bardy, Ville de Québec
A4	Ammoniac (R717)	Éthylène glycol	Système ouvert monobloc avec port économiseur sur les compresseurs	Aréna de Louiseville, par Fixair inc.
A5	Ammoniac (R717)	Éthylène glycol	Système ouvert monobloc avec compresseurs à pistons efficaces	Aréna inconnu. Compresseurs Mayekawa.
C1	CO <sub>2</sub> (R744)	CO <sub>2</sub>	Système semi-hermétique bibloc à évaporation dans la dalle	Aréna de St-Gédéon de Beauce par CSC/CIMCO
C2	CO <sub>2</sub> (R744)	Saumure	Système semi-hermétique bibloc avec chauffage de l’air au CO <sub>2</sub>	Centre civique de Dollard-des-Ormeaux par Carnot Réfrigération
H1	HCFC – R22	Saumure	<b>Système ouvert traditionnel assemblé avec chauffage électrique</b>	<b>Aréna Camillien-Houde avant le remplacement par un système à l’ammoniac</b>
H2	HFC – R507A	Saumure	Système semi-hermétique monobloc sur base avec port économiseur sur compresseurs	Aréna Olympia de Longueuil par Fixair Inc.
H3	HFC– R410A	Méthanol	Système hermétique modulaire de pompes à chaleur	Aréna de Val-des-Monts, sans géothermie, par The Kube Solutions
H4	HFC – R507A	Éthylène glycol	Système semi-hermétique modulaire avec accumulateur d’énergie stratifié	Aréna Lunenburg County lifestyle Complex par Cimco
H5	HFC – R134A	Saumure	Système semi-hermétique monobloc avec pompe à chaleur pour le chauffage de l’eau	Aréna Centre Meredith de Chelsea par Trane

Tableau 2 : Sommaire des données techniques et de la performance des systèmes étudiés

N° DE SYSTÈME	IDENTIFICATION	PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES					PERFORMANCE								
	TYPE D'ASSEMBLAGE	RÉFRIGÉRANT	CHARGE (KG)	COMPRESSEUR (TYPE)	ÉVAPORATEUR (TYPE)	REJET DE CHALEUR EXT. (TYPE)	COP			CONSOMMATION D'ÉNERGIE (KWH/ANNÉE)			ÉCART	PUISSANCE MAXIMUM (KW)	ÉMISSIONS GES (KG)
							ANNUEL RÉFRIGÉRATION	ANNUEL CHAUFFAGE	COMBINÉ	RÉFRIGÉRATION	CHAUFFAGE	TOTAL	%		
A1	Monobloc	R717	45	OV	PCT-N	TED	2,4	7,6	3,2	407 000	77 100	484 100	-11 %	180	1 000
A2	Sur place	R717	114	OP	PT-N	TEI	2,5	3,7	2,9	383 400	159 000	542 400	0 %	198	1 100
A3	Sur place	R717	273	OP	PI-N	TEI	2,2	3,2	2,5	453 600	183 600	637 200	17 %	210	1 300
A4	Monobloc	R717	320	OV	PI-N	TED	2,3	7,8	3,2	412 200	75 600	487 800	-10 %	179	1 000
A5	Monobloc	R717	230	OP	PI-N	TED	2,1	21,5	3,3	446 400	27 400	473 800	-13 %	171	900
C1	Bibloc	R744	1591	SHP	TD-N	RG	3,1	6,5	3,9	291 100	90 500	381 600	-30 %	181	800
C2	Bibloc	R744	500	SHP	PC-DD	RG	2,6	19,8	3,8	374 500	29 700	404 200	-25 %	188	800
<b>H1</b>	<b>Sur place</b>	<b>R22</b>	<b>409</b>	<b>OP</b>	<b>TC-DD</b>	<b>CA</b>	<b>1,8</b>	<b>1,3</b>	<b>1,6</b>	<b>550 200</b>	<b>469 300</b>	<b>1 019 500</b>	<b>88 %</b>	<b>381</b>	<b>76 100</b>
H2	Monobloc	R507A	114	SHV	PT-DD	RF	2,0	5,8	2,7	468 400	101 300	569 700	5 %	197	10 300
H3	Modulaire	R410A	45	HV	PI-DD	RF	1,7	5,9	2,3	554 600	100 400	655 000	21 %	225	2 900
H4	Modulaire	R507A	100	SHV	PI-DD	RF	2,0	3,8	2,5	485 500	153 000	638 500	18 %	192	9 300
H5	Monobloc	R134A	166	SHVV	TC-TA	RF	1,8	9,5	2,7	518 600	61 800	580 400	7 %	208	5 900
Base de comparaison															

Types de compresseurs		Types d'évaporateurs et d'évaporations			Types d'équipement de rejet de chaleur		GES	Écart	
OP	Ouvert à piston	PCT-N	Plaques/calandre/titane		Noyé	TED	Tour d'eau directe	Gaz à effet de serre: fuites réfrigérant + 0.002 kg/kWh	Calculé par rapport au système A2
OV	Ouvert à vis	PT-N	Plaque/titane		Noyé	TEI	Tour d'eau indirecte		
SHP	Semi-hermétique à piston	PI-N	Plaque inox		Noyé	RG	Refroidisseur de gaz		
SHV	Semi-hermétique à vis	TD-N	Tuyaux dans la dalle		Noyé recirculé	CA	Condenseur à air		
HV	Hermétique à volute (scroll)	PC-DD	Plaque/calandre		Détente directe	RF	Refroidisseur de fluide		
SHVV	Semi-hermétique à vis à capacité variable	PT-DD	Plaque/titane		Détente directe				
		PI-DD	Plaque/ inox		Détente directe				
		TC-DD	Tube/calandre		Détente directe				
		TC-TA	Tube/calandre		Tuyaux arrosés				

Tableau 3 : Sommaire des données financières sur les systèmes étudiés

No. DE SYSTÈME	IDENTIFICATION		INVESTISSEMENTS			COÛTS D'EXPLOITATION				COÛT GLOBAL			
	TYPE D'ASSEMBLAGE	RÉFRIGÉRANT	COÛTS D'ACHAT <sup>1</sup>	MOINS SUBVENTION <sup>2</sup>	INVESTISSEMENT INITIAL NET	ÉNERGIE	ENTRETIENS ANNUELS	ENTRETIENS + RÉPARATIONS PÉRIODIQUES	FORMATION INITIALE ET CONTINUE	VALEUR ACTUELLE <sup>3</sup>	ERREUR SUR LES TAUX 95 % CERTITUDE <sup>5</sup>	ANNUITÉ	ÉCARTS <sup>4</sup>
			(\$)	(\$)	(\$)	(\$)	(\$)	(\$)	(\$)	(\$)	(\$)	(\$/AN)	%
A1	Monobloc	R717	912 000	596 300	315 700	930 400	307 400	45 800	32 100	1 631 400	±170 000	109 700	-44 %
A2	Sur place	R717	2 347 500	831 600	1 515 900	1 044 200	282 100	54 900	32 100	2 929 600	±184 000	196 900	0 %
A3	Sur place	R717	2 177 000	817 400	1 359 600	1 160 200	267 600	63 500	32 100	2 884 000	±199 000	193 800	-2 %
A4	Monobloc	R717	909 800	594 700	315 100	933 800	265 800	63 200	32 100	1 611 100	±168 000	108 300	-45 %
A5	Monobloc	R717	949 400	616 600	332 800	888 300	278 800	52 600	32 100	1 585 400	±162 000	106 600	-46 %
C1	Bibloc	R744	1 286 000	600 700	685 300	825 600	267 600	35 500	32 100	1 850 500	±149 000	124 400	-37 %
C2	Bibloc	R744	719 500	512 100	207 400	857 600	253 100	41 900	32 100	1 392 800	±152 000	93 600	-52 %
<b>H1</b>	<b>Sur place</b>	<b>R22</b>	<b>82 000</b>	<b>0</b>	<b>82 000</b>	<b>1 843 300</b>	<b>289 300</b>	<b>106 000</b>	<b>18 100</b>	<b>2 373 800</b>	<b>±305 000</b>	<b>159 600</b>	<b>-19 %</b>
H2	Monobloc	R507A	751 900	102 600	649 300	1 054 900	214 600	42 500	18 100	1 980 100	±177 000	133 100	-32 %
H3	Modulaire	R410A	399 300	98 000	301 300	1 205 900	179 000	51 800	18 100	1 756 400	±196 000	118 100	-40 %
H4	Modulaire	R507A	682 000	88 300	593 700	1 119 100	291 100	40 500	18 100	2 063 200	±193 000	138 700	-30 %
H5	Monobloc	R134A	649 000	108 200	540 800	1 111 200	90 400	40 400	18 100	1 801 300	±174 000	121 100	-38 %

Base de comparaison

- 1 Coûts d'achat inclus salle mécanique classe T pour l'ammoniac et, pour 11 systèmes, les honoraires professionnels (No. H1 (R22) n'a pas de travaux majeurs)
- 2 Inclus la somme des contributions du Mels, d'Hydro-Québec et du BEIE (programme OPTER)
- 3 VA: valeur actuelle calculée sur 20 ans, les valeurs résiduelles ne sont pas incluses dans ce tableau
- 4 Écart par rapport au système de référence A2 (R717)
5. Les taux financiers qui ont servis à calculer les valeurs globales sont listés dans le Tableau 8 avec les incertitudes correspondantes. Les variations probables ont été obtenues en faisant varier aléatoirement les valeurs des incertitudes sur les taux. L'échantillon comporte 500 combinaisons aléatoires de ces taux. Chaque valeur montre une erreur qui englobe 95 % des combinaisons.

## Principaux constats des experts en réfrigération de CanmetÉNERGIE

À l'examen des données présentées dans les tableaux 1 à 3, plusieurs types de systèmes présentent des caractéristiques de performance et de coûts similaires. Le système au CO<sub>2</sub> identifié C1 s'avère être le plus performant et le C2 comme le moins coûteux. Les systèmes au CO<sub>2</sub> présentent néanmoins un certain nombre d'inconnus pour les propriétaires d'aréna en raison de leur nouveauté au Québec. Ces systèmes fonctionnent depuis moins de dix ans, ce qui rend difficile l'estimation de l'espérance de vie des équipements au CO<sub>2</sub>. De plus, les charges élevées de CO<sub>2</sub> lorsque la tuyauterie se rend jusqu'à l'enceinte de la patinoire pourraient représenter un risque pour les occupants. Ce dernier aspect suscite d'ailleurs des réflexes de prudence auprès de l'expert en gestion de risques retenu dans cette étude. Pour les qualités intrinsèques que les systèmes CO<sub>2</sub> offrent en matière environnementale et du peu de toxicité du réfrigérant, ils intéressent malgré tout plusieurs propriétaires innovateurs ou acheteurs précoces.

Par ailleurs, les systèmes à l'ammoniac offrent des valeurs sûres en termes de fiabilité et de performance à long terme. Le savoir-faire des équipementiers est reconnu et est source de confiance. L'ammoniac demeure cependant un produit dangereux et pour minimiser les risques d'accident, il faut mettre en place des mesures de sécurité exigeantes et parfois coûteuses. De la surveillance par des mécaniciens de machines fixes et des équipements de dispersion et d'absorption de l'ammoniac en cas de fuite dans la salle mécanique ou d'ouverture de la soupape de sûreté peuvent entraîner des coûts initiaux et récurrents significatifs.

Les HFC sont utilisés dans la grande majorité des nouveaux projets de climatisation résidentielle, commerciale et institutionnelle. Ils sont utilisés dans presque toutes les applications quotidiennes grand public, tels que les automobiles, les réfrigérateurs et les thermopompes. Cependant, les HFC font l'objet de débats sur des projets de proposition visant à réduire la production à moyen terme de ce type de réfrigérant à cause de son impact négatif en matière d'effet de serre. Les fuites de HFC dans l'atmosphère sont responsables d'environ 2 % des gaz à effet de serre, contre 84 % pour le CO<sub>2</sub>, 9 % pour le CH<sub>4</sub> et 5 % pour le N<sub>2</sub>O (*Source : U.S. EPA. 2009. Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990-2007. EPA Report #430-R-09-004, U.S. Environmental Protection Agency*). Aussi, les systèmes de réfrigération pour les aréna comportant des HFC, plus à l'abri du caractère novateur des systèmes au CO<sub>2</sub> et du danger des produits toxiques que présentent les systèmes à l'ammoniac, offrent des solutions moins coûteuses lorsque les capacités d'investissement des propriétaires sont limitées.

Enfin, la seule solution qui n'en est pas une est le statu quo ou la conservation des installations au R22, surtout lorsque celles-ci sont clairement parvenues à la fin de leur vie utile. Les coûts des réparations et du remplacement d'équipements vétustes, les coûts d'énergie ainsi que ceux associés aux réfrigérants de plus en plus rares à compter de 2015 sont des facteurs qui rendent cette option la moins avantageuse, en plus de constituer une source de pollution importante et préoccupante pour un propriétaire d'aréna.

### *En définitive, le choix final pourrait dépendre des facteurs suivants :*

1. La capacité financière du propriétaire;
2. L'importance accordée à réduire les impacts environnementaux;
3. La volonté et la capacité de gérer avec rigueur les risques que peuvent présenter certaines options;
4. L'ouverture à l'innovation technologique et la confiance vis-à-vis certains risques technologiques.

Une fois les grandes orientations choisies, il sera possible de choisir parmi plusieurs options, celles qui permettront d'établir les critères des appels d'offres. Sans égard aux orientations choisies, il persiste aujourd'hui un devoir de prudence qui s'applique dans tous les cas, incluant celui du statu quo : celui d'assurer la santé et la sécurité des occupants par des analyses de risques sérieuses et la mise en place des solutions de prévention et d'atténuation qui minimisent les dangers.

Dans le cas des réfrigérants de synthèse qui demeurent de puissants gaz à effet de serre, l'objectif de minimiser la quantité présente dans les systèmes et de maximiser leur étanchéité par des assemblages fiables est également important.

Finalement, le marché actuel offre suffisamment d'options pour justifier auprès des propriétaires la réalisation d'analyses comparatives similaires à celles présentées dans ce rapport et bien adaptées au contexte et à l'utilisation de l'aréna concerné. Ces analyses comporteront possiblement moins d'options, mais elles feront néanmoins ressortir clairement tous les enjeux d'une réfection performante, efficace, sécuritaire et fournissant des services de qualité pour les 20 à 30 prochaines années.

## OBJECTIFS DE L'ÉTUDE

Cette étude a pour but d'éclairer les propriétaires et gestionnaires d'arénas sur les choix qui se présentent à eux lorsqu'ils planifient la réfection ou le remplacement d'un système frigorifique.

À cette fin, elle compare, sur les plans de la performance des coûts d'achat et d'exploitation, un système de réfrigération conventionnel utilisant le réfrigérant R22 à 11 autres systèmes de réfrigération couramment proposés sur le marché et utilisant l'ammoniac, le CO<sub>2</sub> et des HFC sans SACO (*substances appauvrissant la couche d'ozone*).

Les risques pour la santé et la sécurité associés à chacune de ces trois familles de réfrigérants sont également analysés. Des recommandations spécifiques y sont présentées.

La méthodologie proposée dans cette étude pourra également être utilisée par les professionnels chargés de conseiller leurs clients sur le système frigorifique répondant le mieux à leurs besoins.



# 1 CONTEXTE

---

## 1.1 SITUATION ACTUELLE DES SYSTÈMES FRIGORIFIQUES

Au Québec, on compte environ 425<sup>1</sup> arénas et 75 centres de curling.

Parmi ceux-ci, 71 % ont plus de 30 ans et 62 % utilisent le réfrigérant R22 de type HCFC (hydrochlorofluorocarbure). Celui-ci est une substance appauvrissant la couche d'ozone. L'ammoniac, un réfrigérant naturel, est présent dans 30 % des installations.

Les systèmes de réfrigération dans les arénas connaissent présentement une évolution marquée par un nombre important d'événements contextuels :

- Le réfrigérant R22 est en voie d'être éliminé suite au Protocole de Montréal relatif aux substances qui appauvrissent la couche d'ozone;
- La majorité des systèmes de réfrigération sont à la fin de leur vie utile et nécessitent des rénovations majeures ou un remplacement;
- Les nouveaux systèmes sont beaucoup plus efficaces et incorporent des mesures d'amélioration énergétique qui réduisent d'au moins 40 % la consommation et les coûts d'énergie;
- Des concepts novateurs apparaissent sur le marché et suscitent beaucoup d'intérêt auprès des propriétaires et gestionnaires d'arénas;
- En mars 2012, le ministère de l'Éducation, du Loisir et du Sport du Québec met en œuvre un programme d'aide financière de 160 millions \$ pour améliorer les systèmes de réfrigération des arénas et centres de curling.

L'ensemble de ces événements dynamise le marché tout en soulevant plusieurs interrogations auprès des propriétaires et gestionnaires d'arénas :

- Comment se comparent les divers types de systèmes sur le plan de la performance et des coûts?
- Les systèmes nouveaux sont-ils fiables?
- Qu'en est-il de l'aspect sécurité et des obligations réglementaires?

C'est dans le but d'apporter des réponses les plus précises possibles à ces interrogations que cette étude fut amorcée à l'automne 2012.

---

<sup>1</sup> Inventaire des travaux de rénovation des arénas et centre de curling au Québec (2010-2020), MELS 2010.

## INFORMATIONS COMPLÉMENTAIRES SUR LES ARÉNAS AU CANADA

Au Canada, il y a approximativement 2 500 arénas avec glace artificielle, dont environ 425 au Québec. Les provinces de l'Ontario et du Québec comptent à elles seules près de la moitié des installations. Au Québec, le secteur municipal est le propriétaire le plus important (près de 80 % du parc), le reste étant partagé à parts égales entre le secteur institutionnel et le secteur privé. Au Québec, 75 % des arénas en opération aujourd'hui ont été construits entre 1960 et 1970. Il n'est donc pas étonnant de constater que dans la majorité des cas, les systèmes de réfrigération sont aujourd'hui vétustes et désuets.

Les systèmes de réfrigération dans les arénas canadiens utilisaient traditionnellement le réfrigérant HCFC-R22 ou l'ammoniac (R717). Le R22 était présent surtout dans les Prairies (Manitoba et Saskatchewan) et au Québec. La principale raison de cette prédominance est qu'auparavant, ces systèmes coûtaient moins cher à l'achat tout en offrant une excellente performance opérationnelle. Cependant, le R22 est une substance appauvrissant la couche d'ozone (SACO) et il est désormais réglementé par le protocole de Montréal dont l'objectif est l'élimination des SACO. Une section de ce rapport est notamment dédiée à l'aspect réglementaire de ce réfrigérant. Les fuites de R22 dans les systèmes de réfrigération des arénas sont devenues courantes et importantes à cause de la vétusté des systèmes d'où l'importance de remplacer ce réfrigérant.

L'ammoniac R717 était utilisé principalement, et presque exclusivement, en Ontario. Selon les statistiques de la dernière décennie, c'est la province qui détient, à elle seule, près de 27 % des glaces canadiennes<sup>1</sup>. Dans les années 2005, l'ammoniac était le réfrigérant le plus économique, écologique et performant de tous les réfrigérants connus, utilisés aux conditions d'opération dans les arénas. Par ailleurs, sa toxicité et son inflammabilité demandent une attention particulière; de fait, il est fortement réglementé au Québec. Cet aspect est traité plus en détail dans l'analyse de risques en fonction du type de réfrigérant.

En 1996, l'aréna typique d'une glace comportait un système de réfrigération de 60 à 90 tonnes et opérait de 6 à 8 mois par année. Ce modèle représentait les deux tiers des arénas. La consommation d'énergie du système frigorifique occupait 50 % du bilan énergétique total des arénas. En 2005, c'était toujours le même modèle pour près des 63 % des arénas du Canada.

Les bâtiments de type aréna, bien qu'ayant des architectures et des dimensions différentes, ont néanmoins plusieurs points en commun: des charges importantes de chauffage d'espace et d'eau et des besoins simultanés de réfrigération. Les émissions de gaz à effet de serre (GES) sont aussi élevées en raison de la consommation d'énergie et des fuites de réfrigérant lorsqu'il s'agit de produits de synthèse.

Pour l'ensemble du Canada, la consommation d'énergie d'un aréna d'une seule glace exploitée pendant 9 mois pouvait atteindre 1 780 MWh. Aujourd'hui, l'évolution dans la conception et l'exploitation des arénas a permis de réduire considérablement à la fois la consommation d'énergie et les émissions de GES comme cette étude le démontrera.

<sup>1</sup> Refrigeration Action Plan for Canada's Ice Rinks and Curling Rinks, Marbek Resource consultants Ltd, January 2005.

## 1.2 RAPPEL DES GRANDES ORIENTATIONS ENVIRONNEMENTALES

Plusieurs pays dont le Canada ont fixé des objectifs, établi des règlements et développé des programmes qui visent à réduire les impacts environnementaux occasionnés par les réfrigérants de synthèse lorsque ceux-ci s'échappent dans l'atmosphère. Deux effets négatifs sont particulièrement visés :

- La destruction de la couche d'ozone;
- L'effet de serre.

Les impacts des principaux réfrigérants sont illustrés dans le **Tableau 4**. À noter que suite au Protocole de Montréal, les réfrigérants les plus nocifs pour la couche d'ozone, c.-à-d. CFC-R11 et CFC-R12, ont été éliminés, alors que les HCFC-R22 et R123 sont en voie de l'être. Il s'avère désormais qu'un grand nombre de réfrigérants de synthèse, dont l'effet sur la couche d'ozone est très faible ou nul, contribuent au réchauffement global de façon très significative. De fait, l'indice PRG (potentiel de réchauffement global) qui mesure l'importance de l'effet de serre indique que les réfrigérants de synthèse ont des indices variant de 1 430 à 4 000 par rapport à l'indice 1 du CO<sub>2</sub>. Ceci précise l'importance de l'impact environnemental des réfrigérants de synthèse.

À cet effet, de nouveaux projets d'accords internationaux sont en voie d'être signés dans le but de parvenir à des objectifs précis de réduction à moyen terme de tous les réfrigérants de synthèse, et ce, précisément pour restreindre les émissions de gaz à effet de serre (GES). Ces accords proposent de réduire graduellement la consommation de réfrigérants de synthèse dès 2016 jusqu'en 2033, alors que la production sera plafonnée à 15 % de la moyenne des années 2005 à 2008. Dans la situation actuelle, l'objectif de minimiser les fuites et les quantités de réfrigérant contenues dans les systèmes frigorifiques prend une importance particulière.

**Tableau 4 : Les principaux réfrigérants et leurs impacts sur l'environnement**

RÉFRIGÉRANT	COMPOSANTS	PRG <sup>(1)</sup>	PDO <sup>(2)</sup>
<b>R-717</b>	<b>Ammoniac</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>R-744</b>	<b>Dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>)</b>	<b>1</b>	<b>0</b>
CFC-R11	Pur	3800	1.0
CFC-R12	Pur	8100	1.0
<b>HCFC-R22</b>	<b>Pur</b>	<b>1810</b>	<b>0,055</b>
HCFC-R123	Pur	76	0,012
<b>HFC-R134A</b>	<b>Pur</b>	<b>1430</b>	<b>0</b>
<b>HFC-R404A</b>	<b>R-125 /143A/134A</b>	<b>3900</b>	<b>0</b>
HFC-R407A	R-32/125/134A	2100	0
HFC-R407c	R-32/125/134A	1800	0
HFC-R410A	R-32/125	1725	0
HFC-R417A	R-125/134A/600	2300	0
HFC-R422A	R-125/134A/600A	3100	0
HFC-R422d	R-125/134A/600A	2700	0
HFC-R427A	R-32/125/143A/134A	2100	0
<b>HFC-R507A</b>	<b>R-125 /143A</b>	<b>4000</b>	<b>0</b>

**Légende :**

Caractère gras = fréquents dans les arénas

(1) PRG : Potentiel de réchauffement global

(2) PDO : Potentiel de destruction de l'ozone

Source : ASHRAE Handbook Fundamentals 2009, Refrigerants

Sous l'influence des orientations environnementales actuelles des gouvernements, les concepteurs de systèmes frigorifiques d'arénas se sont engagés dans des processus de transformations importantes des systèmes dont les principales sont :

- Minimiser la quantité de réfrigérant dans les systèmes, ce qui en retour réduit les impacts négatifs en cas de fuite. Traditionnellement, les systèmes comportaient en moyenne 700 kg de réfrigérant soit 9 kg/tonne de réfrigération, alors que les concepts récents ont des charges inférieures à 3 kg/tonne;
- Améliorer les méthodes d'assemblage des systèmes pour réduire les risques de fuite;
- Développer des réfrigérants de synthèse de transition sans effet néfaste sur l'environnement. Les fabricants de réfrigérants de synthèse ont développé les HFO qui offrent un potentiel de réchauffement global de seulement 4. Par contre, ce réfrigérant de synthèse est très controversé : on connaît mal ses effets sur l'environnement et sa disponibilité est limitée. Il n'a pas encore été utilisé dans les arénas;
- Promouvoir l'ammoniac comme solution « verte » et permanente;
- Innover en introduisant une autre solution « verte » et permanente avec les systèmes fonctionnant au CO<sub>2</sub>.

## 1.3 RAPPEL DE LA RÉGLEMENTATION EN MATIÈRE DE RÉFRIGÉRATION POUR LES ARÉNAS

Plusieurs organismes nationaux et internationaux sont intervenus dans le but de minimiser les impacts environnementaux des fuites de réfrigérant. D'autres organismes se sont penchés sur les risques pour la sécurité des personnes que ces fuites pouvaient présenter. Ces interventions sont inscrites dans des codes et règlements. Au Canada, ceux-ci relèvent des divers paliers de gouvernement, fédéral et provincial, ainsi que des administrations municipales. Le **Tableau 5** illustre les principaux règlements s'appliquant aux systèmes frigorifiques des arénas au Québec. Dans la section traitant de la gestion des risques associés aux divers réfrigérants, ces lois et règlements ont été pris en compte dans l'élaboration des recommandations formulées.

**Tableau 5 : Lois et règlements s'appliquant aux systèmes frigorifiques des arénas**

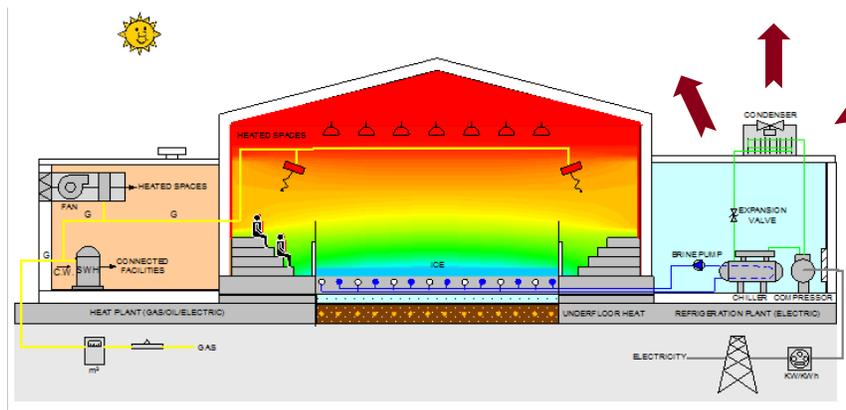
IDENTIFICATION	AUTORITÉ	RÉFRIGÉRANTS VISÉS	OBJET DU RÈGLEMENT	NOTES
Règlement sur les halocarbures	Gouv. du Québec	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tous les réfrigérants de synthèse</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Récupération des réfrigérants lors de travaux sur les équipements</li> <li>Qualification des travailleurs</li> </ul>	Décret 384-2007
B52-05 Code sur la réfrigération mécanique	CSA - ACNOR	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tous les réfrigérants incluant l'ammoniac et le CO<sub>2</sub></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Les exigences minimales requises pour la conception, la construction, l'installation, l'inspection et l'entretien des systèmes de réfrigération mécanique</li> </ul>	Minimise les risques de blessures pour les travailleurs et le grand public. Publié en 2005
Loi canadienne sur la protection de l'environnement, 1999	Gouv. du Canada	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tous les réfrigérants incluant l'ammoniac et le CO<sub>2</sub></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Cadre législatif concernant la prévention de la pollution</li> </ul>	
Règlement sur les urgences environnementales de la Loi canadienne sur la protection de l'environnement, 1999;	Gouv. du Canada	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tous les réfrigérants considérés comme substances dangereuses</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Les exigences concernant la déclaration de la présence des substances dangereuses et la description du plan d'urgence s'y rapportant</li> </ul>	
Règlement sur les substances appauvrissant la couche d'ozone	Gouv. du Canada	<ul style="list-style-type: none"> <li>Toutes les substances appauvrissant la couche d'ozone</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Les exigences touchant la fabrication, la distribution et l'utilisation des SACO en vue de leur élimination graduelle</li> </ul>	Interdiction d'importer et d'utiliser des SACO à compter de 2030
CSST Systèmes de réfrigération fonctionnant à l'ammoniac : mesures de prévention	Gouv. du Québec	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ammoniac</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Guide de prévention concernant la manipulation et à l'entreposage, de même que les mesures de protection et de gestion préventive des risques liés à l'utilisation des installations de réfrigération</li> </ul>	
Loi sur la sécurité civile	Gouv. du Québec	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tous les réfrigérants</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>La protection des personnes et des biens contre les sinistres</li> </ul>	
Règlement sur les appareils sous pression	Gouv. du Québec	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tous les réfrigérants</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>La fabrication, l'installation, la réparation et l'utilisation des systèmes sous pression</li> </ul>	
Règlement sur les mécaniciens de machines fixes	Gouv. du Québec	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tous les réfrigérants</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Détermine le mode de surveillance des systèmes frigorifiques</li> </ul>	
Règlement sur la santé et la sécurité au travail	Gouv. du Québec	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tous les réfrigérants</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mesures de prévention</li> </ul>	

## 1.4 EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE ET RÉCUPÉRATION DE LA CHALEUR

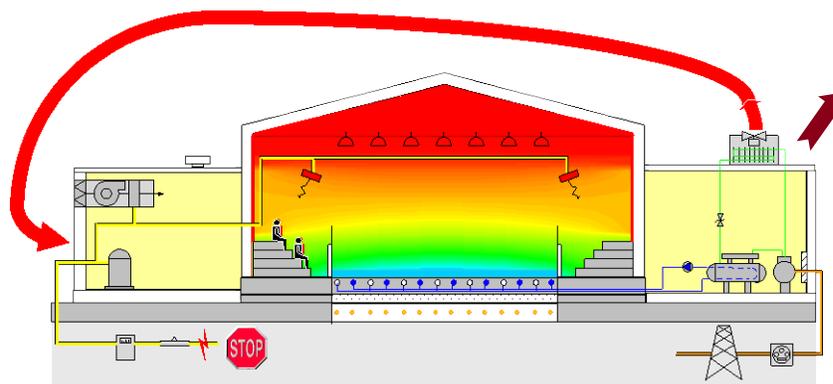
Depuis plusieurs années, les installations de réfrigération dans les aréas ont fait l'objet d'améliorations énergétiques importantes, tant sur le plan de la performance des équipements que sur les façons de récupérer la chaleur que ces installations rejettent anciennement dans l'atmosphère.

La récupération de la chaleur perdue a permis à elle seule de réduire de plus de 40 % la consommation et les coûts d'énergie et de 80 % les émissions de gaz à effet de serre. Ces derniers provenaient de l'utilisation de combustibles pour le chauffage de l'eau et des locaux.

La **Figure 1** illustre un système de réfrigération conventionnel sans récupération de chaleur et la **Figure 2**, un système de conception récent utilisant les rejets thermiques pour combler plusieurs besoins de chauffage dans l'aréa. Seuls les rejets thermiques en excédent des besoins de chauffage sont rejetés dans l'atmosphère.



**Figure 1 : Aréna traditionnel (les rejets thermiques sont évacués à l'extérieur)**



**Figure 2 : Aréna contemporain  
(les rejets thermiques sont réutilisés et l'excédent est rejeté dans l'atmosphère)**

*Les utilisations les plus fréquentes de la chaleur récupérée sont les suivantes :*

- Le chauffage de l'aire des gradins, des chambres de joueurs et des autres locaux de l'aréna;
- Le chauffage de l'eau des douches ainsi que de l'eau utilisée pour le surfacage de la patinoire;
- La fonte de la neige, c.-à-d. de la fine couche de glace retirée lors du surfacage;
- Le chauffage sous la dalle de la patinoire pour éviter le gel du sol.

Certains concepts proposent aussi des accumulateurs de chaleur sous forme de réservoirs d'eau chaude ou de matériaux à changement de phase pour stocker les surplus et les réutiliser comme appoint, lorsque les besoins de chauffage excèdent temporairement la quantité de chaleur fournie par le système frigorifique.

Compte tenu de leur effet sur les coûts d'exploitation et les émissions de GES, l'efficacité énergétique et la récupération de la chaleur sont devenues, au cours des ans, des incontournables dans les installations nouvelles tout comme lors de la rénovation ou du remplacement d'un système existant.

## INFORMATIONS COMPLÉMENTAIRES SUR L'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE

Deux changements majeurs en matière de récupération de chaleur sont survenus au cours de la dernière décennie. Le premier fut l'adoption et l'intégration quasi unanimes de la réutilisation de la chaleur des gaz chauds des compresseurs pour préchauffer l'eau chaude domestique. Le deuxième changement fut l'utilisation de la chaleur de condensation pour combler, à l'aide de boucles secondaires, les autres besoins de chauffage de l'aréna. L'utilisation de boucles secondaires a eu un second impact fort important : confiner le réfrigérant dans les salles mécaniques, et par conséquent, diminuer la charge totale de réfrigérant dans le système de réfrigération et ainsi les impacts environnementaux et les risques associés aux fuites.

En 1995, au Québec, il se construisait toujours des arénas d'une ou deux glaces sans récupération de chaleur. À cette période, les mesures d'économie d'énergie innovatrices étaient l'installation d'un plafond à faible indice d'émissivité, l'utilisation de l'éclairage efficace pour l'enceinte de l'aréna et l'installation d'un contrôleur de puissance pour optimiser la pointe électrique. Il y avait peu de projets qui touchaient le système de réfrigération proprement dit.

*Voici quelques données de consommation énergétique sur les arénas anciens :*

- 1 525 000 kWh-équivalent d'énergie consommée en moyenne par an et par aréna (500 kWh/m<sup>2</sup>/année) soit deux fois plus que la moyenne des bâtiments municipaux qui s'élève à 236 kWh/m<sup>2</sup>/année;
- 50 % de la consommation annuelle d'électricité était pour la réfrigération;
- 30 % était pour le chauffage de l'eau et de l'air;
- 10 % seulement de l'énergie rejetée par le système de réfrigération était récupérée;
- Les émissions de gaz à effet de serre (GES) de l'aréna de référence s'élevaient à plus de 145 tonnes de CO<sub>2</sub> équivalent par année;
- Le système de réfrigération rejetait au condenseur trois fois plus d'énergie que les besoins de chauffage de l'aréna.

## ... SUITE

La portée des projets d'ingénierie a commencé à s'élargir avec le fruit des recherches, la diffusion d'informations et l'arrivée de divers programmes incitatifs, le premier étant le PIRAQ (Programme d'intervention en réfrigération dans les arénas du Québec) géré par l'AAQ (Association des arénas du Québec) maintenant AQAIRS (Association québécoise des arénas et des installations récréatives et sportives) conjointement avec autres partenaires tels que l'Agence de l'efficacité énergétique, maintenant le BEIE (Bureau de l'efficacité et de l'innovation énergétiques), et le LRDEC (Laboratoire de recherche en diversification énergétique du Canada) maintenant CanmetÉNERGIE.

D'autres programmes ont suivi le PIRAQ :

- PARB, Programme d'action en réfrigération pour les bâtiments, CTEC Varennes (aujourd'hui CanmetÉNERGIE, Centre de recherche de Varennes);
- OPTER, Programme d'optimisation en réfrigération-volet arénas et centres de curling, Bureau de l'efficacité et de l'innovation énergétiques (BEIE);
- Appui aux initiatives – Optimisation énergétique des bâtiments d'Hydro-Québec, Marché commercial et institutionnel. Celui-ci porte désormais le nom de Programme Bâtiments;
- Programme de soutien pour le remplacement ou la modification des systèmes de réfrigération fonctionnant aux gaz R-12 ou R-22 dans les arénas et les centres de curling du Québec offert par le Ministère de l'Éducation, des Loisirs et des Sports du Québec (MELS).

Les trois derniers programmes sont toujours offerts à la date de publication de ce rapport.

Globalement ces programmes exerçaient des actions sur plusieurs fronts : le transfert technologique aux ingénieurs-conseils et manufacturiers-assembleurs d'équipements, des projets de démonstration de technologies innovatrices, des formations et des incitatifs financiers.

Depuis 2008, 68 demandes d'aide financière et plus de 60 études de faisabilité ont été déposées au Programme d'optimisation en réfrigération (OPTER) - volet arénas et centres de curling du BEIE. Ces projets représentent la majorité des rénovations majeures qui ont été réalisées. Voici quelques chiffres qui démontrent à quel point le marché des équipements de réfrigération des arénas s'est transformé :

- 75 % de ces nouveaux projets ont choisi l'ammoniac;
- 80 % des arénas ont implanté un système de récupération d'énergie capable de récupérer l'équivalent de la capacité totale du système de réfrigération;
- 35 % des systèmes à l'ammoniac utilisent moins de 1 kg d'ammoniac/tonne de réfrigération;
- 80 % des installations aux réfrigérants de synthèse utilisent moins de 3 kg de réfrigérant/tonne de réfrigération;
- 76 % de toutes les installations utilisent moins de 3 kg de réfrigérant/tonne de réfrigération.

Cette transformation progressive du marché a contribué à rendre les arénas beaucoup moins énergivores et coûteux à exploiter tout en réduisant considérablement leur empreinte environnementale.

## 1.5 PROGRÈS TECHNOLOGIQUES ET INVENTAIRE DES OPTIONS ACTUELLES

En plus des améliorations énergétiques décrites précédemment, les systèmes frigorifiques d'arénas n'échappent pas aux innovations technologiques. Toujours sous l'impulsion des impératifs environnementaux et l'effet de la hausse quasi constante des prix de l'énergie, les équipementiers n'ont jamais cessé d'innover et d'offrir aux propriétaires et gestionnaires d'arénas le fruit de leurs recherches.

*Les innovations les plus marquantes de ces dernières années seraient :*

- L'avènement des systèmes frigorifiques au CO<sub>2</sub> opérant en mode transcritique (réfrigérant gazeux comprimé et refroidi à haute pression c.-à-d. à plus de 7 MPa ( $\pm 1\ 000$  lbs/po<sup>2</sup>));
- Le réfrigérant CO<sub>2</sub> circulant et s'évaporant directement dans le réseau de tuyauterie dans la dalle;
- Les systèmes complets de réfrigération préassemblés fonctionnant à l'ammoniac ou au HFC et prêts à être déposés dans une salle mécanique. Certains comportent même des accumulateurs thermiques;
- L'arrivée prochaine des réfrigérants de type HFO qui minimiseront l'effet de serre. Conçus d'abord pour les climatiseurs d'automobile, ils pourraient être mélangés à des HFC pour fonctionner avec les systèmes frigorifiques comme ceux des arénas. Leur indice PRG serait alors fixé au niveau maximum de 150.

## 2 LES SYSTÈMES DE RÉFRIGÉRATION

---

### 2.1 INTRODUCTION

Un grand nombre de données techniques et financières ont servi à produire les résultats fournis dans ce rapport. Dans le but de faciliter l'examen de ces résultats, ils sont colligés ici dans des tableaux synthèses. Pour approfondir la compréhension de résultats spécifiques ou obtenir de plus amples détails, on se rapportera aux annexes correspondantes indiquées au bas des tableaux.

En plus de faire appel à une équipe chevronnée d'experts œuvrant au sein de CanmetÉNERGIE, un grand nombre d'intervenants du milieu (équipementiers, propriétaires d'aréna, frigoristes et formateurs) ont été consultés tout au long de la réalisation de ce projet dans le but d'en assurer la plus grande objectivité. Des données recueillies sur des bâtiments réels, des calculs faits par des simulations avec des courbes de performance fiables et de fréquentes validations ont contribué à ce résultat.

### 2.2 MÉTHODOLOGIE DE RÉALISATION

La méthodologie utilisée pour obtenir ou déterminer les composantes de l'étude peut se résumer comme suit :

#### 2.2.1 LE BÂTIMENT DE RÉFÉRENCE

Tous les systèmes à l'étude ont été analysés comme s'ils étaient installés et exploités dans le même bâtiment : il s'agit de l'aréna Camillien-Houde, propriété de la ville de Montréal. Cet aréna fut choisi comme bâtiment de référence parce qu'il est suffisamment représentatif du parc d'aréna au Québec. De plus, la proximité du bâtiment avec les habitations voisines en fait un excellent cas pour les analyses de risques.

*Les principales caractéristiques de cet aréna sont les suivantes :*

- Une seule glace;
- Occupation 9 mois par an (incluant la période de mise en route et d'arrêt);
- Superficie totale du bâtiment : 3 733 m<sup>2</sup> (40 171 pi<sup>2</sup>) ;
- Nombre de places dans les gradins : 300 – 500;
- Horaire d'occupation : 6 h à 24 h ;
- Indice d'émissivité du plafond: 0,85;
- Humidité relative au-dessus de la glace : 50 %;
- Puissance d'éclairage : 18 W/m<sup>2</sup>;
- Température de la zone des gradins : 15 °C (60 °F);
- Température de la glace : -6 °C (21 °F);
- Systèmes de réfrigération : R22 – 6 compresseurs de 30 HP;
- Boucle secondaire : saumure avec pompe de circulation de 25 HP et réseau à deux passes;
- Récupération de la chaleur : désurchauffeur pour le chauffage de l'eau de surfaçage et des douches;
- La dalle est en bonne condition.

## 2.2.2 LE CHOIX DES SYSTÈMES ÉTUDIÉS

Ce choix fut fait par les experts de CanmetÉNERGIE en fonction de leurs connaissances du marché et de la vigie qu'ils font, en continu, sur l'évolution des technologies de réfrigération au Canada et au plan international. Chacun des systèmes fut par la suite discuté et validé avec les organismes et entreprises participant à l'étude. Les schémas de systèmes sont à l'image de ce qui est couramment offert par les équipementiers présents sur le marché canadien. Le **Tableau 6** résume le choix des 12 options retenues. À noter que l'option A2 utilisant le réfrigérant à l'ammoniac servira de base de comparaison pour les 11 autres systèmes à l'étude.

**Tableau 6 : Principales caractéristiques des 12 systèmes de réfrigération étudiés**

N°	RÉFRIGÉRANT	FLUIDE DANS LA DALLE	PARTICULARITÉS	EXEMPLE DE RÉALISATION AVEC CE CONCEPT
A1	Ammoniac	Saumure	Système ouvert monobloc à accumulateur d'énergie stratifié	Aréna St-Ambroise par Cimco (Eco Chill)
A2	Ammoniac	Saumure	Système ouvert assemblé avec pompe à chaleur, concept ville de Montréal	Aréna Camillien-Houde, Montréal
A3	Ammoniac	Saumure	Système ouvert assemblé avec pompe à chaleur, concept ville de Québec	Aréna Bardy, Ville de Québec
A4	Ammoniac	Éthylène glycol	Système ouvert monobloc avec port économiseur sur les compresseurs	Aréna de Louiseville par Fixair inc.
A5	Ammoniac	Éthylène glycol	Système ouvert monobloc avec compresseurs à pistons efficaces	Aréna inconnu. Compresseurs Mayekawa.
C1	CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	Système semi-hermétique bibloc à évaporation dans la dalle	Aréna de Saint-Gédéon-de-Beauce par CSC/CIMCO
C2	CO <sub>2</sub>	Saumure	Système semi-hermétique bibloc avec chauffage de l'air au CO <sub>2</sub>	Centre civique de Dollard-des-Ormeaux par Carnot Réfrigération
H1	HCFC – R22	Saumure	<b>Système ouvert traditionnel assemblé avec chauffage électrique</b>	<b>Aréna Camillien-Houde avant le remplacement par un système à l'ammoniac</b>
H2	HFC – R507A	Saumure	Système semi-hermétique monobloc sur base avec port économiseur sur compresseurs	Aréna Olympia de Longueuil par Fixair Inc.
H3	HFC– R410A	Méthanol	Système hermétique modulaire de pompes à chaleur	Aréna de Val-des-Monts par The Kube Solutions
H4	HFC – R507A	Éthylène glycol	Système semi-hermétique modulaire avec accumulateur d'énergie stratifié	Aréna Lunenburg County Lifestyle Complex par Cimco (Eco Chill)
H5	HFC – R134A	Saumure	Système semi-hermétique monobloc avec pompe à chaleur pour le chauffage de l'eau	Aréna Centre Meredith de Chelsea par Trane

**Légende :** A2 = Base de comparaison

## 2.2.3 L'ÉVALUATION DE LA PERFORMANCE

Tous les systèmes à l'étude ont fait l'objet d'une simulation énergétique basée sur la performance réelle des équipements. Cette simulation tenait compte de la puissance des équipements, heure par heure, du temps de fonctionnement, de la température extérieure et des besoins de récupération de chaleur.

À cette fin, des logiciels de calculs reconnus furent utilisés.

Ces caractéristiques techniques furent ensuite inscrites dans un chiffrier Excel VBA pour établir les consommations mensuelles et annuelles d'énergie.

Le COP (coefficient de performance) est également calculé pour chaque type de système.

### Coefficient de performance

Le coefficient de performance (COP) est un indice résultant du rapport de l'énergie utile obtenue (ou le service rendu), divisé par l'énergie consommée. Par exemple, le COP d'un compresseur de réfrigération est défini par la puissance de froid qu'il peut fournir divisé par la puissance électrique requise par le compresseur. Si un compresseur consomme 100 kW d'électricité pour produire 300 kW de froid son COP sera de 300/100 = 3.0. Le COP de réfrigération d'un compresseur est normalement plus grand que 1.

Les systèmes de réfrigération analysés dans cette étude comprennent beaucoup de composantes qui consomment de l'énergie comme des pompes, des tours de refroidissement, des pompes à chaleur, etc. Pour faciliter l'analyse et la comparaison des performances énergétiques des systèmes qui sont étudiés dans ce rapport, nous définissons trois nouveaux COP de système. Dans le paragraphe qui suit, nous définissons un COP de système de réfrigération, un COP de chauffage ainsi qu'un COP combiné.

### COP moyen du système de réfrigération

Le COP moyen du système de réfrigération est défini par l'énergie de froid produite durant la saison d'opération divisée par toutes les dépenses énergétiques requises pour le fonctionnement du système de réfrigération, soit :

- L'énergie consommée par les compresseurs;
- L'énergie consommée par la tour de refroidissement, condenseurs, refroidisseurs de gaz ou de fluide;
- L'énergie consommée par les pompes de fluide secondaire (saumure, glycol et autres);
- L'énergie consommée par le système de réfrigération auxiliaire pour les systèmes au CO<sub>2</sub>.

$$COP_{réfrigération} \equiv \frac{E_{réfrigération}}{E_{compresseurs} + E_{tour\ d'eau / condenseur} + E_{pompes} + E_{réfrig.aux}}$$

Plus cette valeur est élevée, plus le système de réfrigération est économique, c'est-à-dire qu'il peut produire du froid à moindre coût.

## COP moyen de chauffage

Le COP de chauffage est défini comme l'énergie de chauffage produite durant une saison d'opération (chauffage de l'air plus le chauffage de l'eau) divisée par les dépenses énergétiques associées au chauffage :

- Pompes à chaleur pour le chauffage de l'air;
- Pompes à chaleur pour le chauffage de l'eau;
- Pompes de fluide secondaire;
- Chauffage auxiliaire de l'air;
- Chauffage auxiliaire de l'eau.

$$COP_{\text{chauffage}} \equiv \frac{E_{\text{chauf-eau}} + E_{\text{chauf-air}}}{E_{\text{PAC}} + E_{\text{pompes}} + E_{\text{chauff-aux}}}$$

Plus cette valeur est élevée, plus le système de chauffage et de récupération d'énergie est économique. Le COP d'un système de chauffage électrique est égal à un, les COP de chauffage calculés avec la définition proposée sont largement plus grands que un lorsque l'énergie provient de la récupération de chaleur des systèmes de réfrigération. Certains systèmes montrent des COP de chauffage plus grand que 4, ce qui veut dire que ces systèmes consomment quatre fois moins d'énergie qu'un système de chauffage électrique.

## COP combiné

Dans le cas du COP combiné, l'énergie utile est définie par l'énergie de froid produite + l'énergie de chauffage produite. Un système de réfrigération peut avoir un COP de réfrigération très élevé et un COP de chauffage très faible s'il n'y a pas de récupération de chaleur. Dans une optique de système qui doit à la fois fournir de la réfrigération et de la chaleur, il faut considérer les deux services rendus. Le COP combiné est donc défini par :

$$COP_{\text{combiné}} \equiv \frac{E_{\text{réfrigération}} + E_{\text{chauf-eau}} + E_{\text{chauf-air}}}{E_{\text{compresseurs}} + E_{\text{tourd'eau/condenseur}} + E_{\text{pompes}} + E_{\text{réfrig.aux}} + E_{\text{PAC}} + E_{\text{pompes}} + E_{\text{chauff-aux}}}$$

Dans un système de réfrigération avec récupération d'énergie, c'est cette valeur qui doit être maximisée. Ce COP tient compte à la fois de la performance de réfrigération et de chauffage. Le COP combiné représente un moyen simple pour comparer les performances énergétiques de systèmes complexes.

### 2.2.4 L'ÉVALUATION DES COÛTS D'ACQUISITION

Les investissements requis pour remplacer un système de réfrigération ont été obtenus par des équipementiers en fonction des caractéristiques techniques que nous avons déterminées et du schéma de système présenté. Tous les systèmes sont considérés comme étant implantés dans le bâtiment de référence. Les prix soumis ont par la suite été validés avec le concours de gestionnaires d'aréna et avec l'aide des données disponibles dans le programme OPTER. Les éléments de coûts incluent :

- Le système de réfrigération avec toutes ses composantes à l'état neuf;
- Les composantes du système de récupération de la chaleur en considérant le chauffage de l'enceinte et de l'eau chaude domestique pour les douches et le surfaçage;
- Les composantes de sécurité recommandées dans les rapports de gestion des risques réalisés par JP Lacoursière inc.;
- Le démantèlement et l'enlèvement des équipements remplacés;

- Lorsqu'applicable, l'adaptation et/ou l'agrandissement de la salle mécanique lorsque cela est exigé par l'application des codes et règlements et, en particulier, du code B52. Les salles de mécaniques de classe T sont prévues avec les systèmes à l'ammoniac (voir l'encadré sur les principales caractéristiques d'une salle classe T);
- L'installation et mise en service : le système de contrôle, la supervision et coordination en chantier, l'alimentation et les raccordements électriques de puissance des équipements jusqu'au panneau des sectionneurs et contrôles dans le local technique. Le transport, la location d'outils, la structure et supports des équipements, la tuyauterie, les valves et calorifugeage, l'identification, le remplissage de réfrigérant et le balancement hydronique;
- Les honoraires professionnels pour les études, la conception et la surveillance des travaux établis à 10 % du coût d'acquisition avant subvention;
- Le coût des analyses de risques pour les systèmes à l'ammoniac et au CO<sub>2</sub>;
- Les taxes sont exclues.

**Note importante :** Dans le cas du système de référence H1 au HCFC-R22, les travaux de remplacement d'équipements vétustes tels que deux des six compresseurs, les condenseurs à air, le moteur de la pompe circulatrice ainsi que le retubage des évaporateurs ont été considérés comme l'investissement initial de remise en état du système.

## LES PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES D'UNE SALLE MÉCANIQUE CLASSE T

Une salle mécanique comportant un système de réfrigération à l'ammoniac doit être conforme aux exigences classe T, exigée par le code B52 de l'ACNOR (Agence canadienne de normalisation). Ceci comporte :

- Une salle étanche par rapport à l'air intérieur et ventilée en permanence par de l'air extérieur;
- Contrôle de la ventilation hors du local;
- Accès au local contrôlé;
- Une porte donnant accès directement à l'extérieur du bâtiment;
- Un vestibule permettant l'accès à la salle avec porte-coupe-feu;
- Des masques et/ou respirateurs autonomes disponibles en cas de fuites majeures;
- Une procédure d'urgence écrite;
- Des exercices et de la formation pour le personnel;
- Un détecteur d'ammoniac couplé à un système d'alarme et démarrant le système de ventilation d'urgence pour évacuer, à l'extérieur, les vapeurs d'ammoniac qui se seraient accumulées dans la salle mécanique;
- L'alarme prévient le personnel d'entretien puis les pompiers;
- Aucun appareil à combustion dans la salle.

### 2.2.5 L'ÉVALUATION DES COÛTS D'ÉNERGIE

Les coûts d'énergie sont calculés pour les systèmes de réfrigération et de récupération de la chaleur pour le chauffage de l'enceinte et de l'eau chaude pour les douches et le surfaçage. L'éclairage et les autres besoins d'énergie ne sont pas considérés dans cette étude.

Les coûts furent établis en considérant que l'électricité est la seule source d'énergie utilisée pour combler tous les besoins énergétiques de réfrigération et de chauffage (espace et eau) même lorsqu'un chauffage d'appoint est requis pour certains usages comme le chauffage de l'eau de surfaçage.

Le calcul du coût de l'électricité a été effectué avec le tarif M (2013) d'Hydro-Québec. Il tient compte de la puissance mensuelle à 13,71 \$/kW et de la consommation à 0,0449 \$/kWh. La règle établissant la puissance minimale de facturation a été prise en compte. Celle-ci ne peut être inférieure à 65 % de la puissance maximale appelée durant les mois d'hiver (1<sup>er</sup> décembre au 31 mars). Le facteur de puissance est considéré supérieur à 90 % en tout temps.

## 2.2.6 L'ÉVALUATION DES COÛTS D'ENTRETIEN ET DE RÉPARATION

*Les coûts d'entretien et de réparation ont été subdivisés comme suit :*

### La maintenance préventive externe

Celle-ci inclut tous les travaux d'entretien qui doivent être exécutés tous les ans sur le système frigorifique. Il s'agit en général de trois ou quatre visites par an : la mise en route du système au début des opérations, l'inspection périodique des données de fonctionnement incluant les changements d'huile et la mise à l'arrêt du système en fin de saison. Le coût a été établi à l'aide des contrats de service des entreprises spécialisées et confirmé par des municipalités.

### L'entretien régulier et les inspections

Les tournées régulières d'inspection, lorsque requises, le traitement chimique des condenseurs ou des échangeurs évaporatifs ou des tours d'eau, les valves et autres équipements à remplacer tous les ans sont considérés comme des entretiens réguliers dont des coûts ont également été obtenus après consultation des personnes compétentes.

Une dépense annuelle moyenne égale à 2 % du coût d'immobilisation a été prévue à cet effet sauf pour le concept H5 considéré à 0,5%. Cette dépense inclut les salaires du personnel interne et les coûts mineurs variables au fil des années, les interventions du personnel (réglages, révision, contrôles, vérification de l'opération et état des équipements, ajout de réfrigérants, les essais et calibrage des systèmes de détection de réfrigérants, etc.), les remplacements des pièces et les coûts mineurs nécessaires pour maintenir le système en bonne opération. Les appels de service sont également inclus dans ce budget annuel.

### La surveillance périodique

Pour les systèmes à l'ammoniac, lorsqu'exigée par le règlement sur les mécaniciens de machines fixes (MMF), la surveillance périodique est prévue dans les coûts, avec plusieurs options :

- Les salaires habituels versés aux mécaniciens de machines fixes lorsque ceux-ci sont des employés municipaux, et ce, en fonction du temps consacré à cette tâche et du salaire généralement payé, plus les avantages sociaux;
- Lorsque confié en impartition, la valeur moyenne des contrats de service de surveillance offerts par les équipementiers ou les entrepreneurs spécialisés.

Quelques variantes sont envisagées dans cette étude pour tenir compte des pratiques mises en place par les municipalités. Dans certaines municipalités, même si le règlement n'exige qu'une surveillance périodique (visite minimale d'inspection d'une heure par jour), ces visites peuvent prendre jusqu'à plus de 3 heures par jour selon le programme d'inspection que la municipalité a mis en place.

Un coût normalisé de 16 000 \$/an a été arrêté suite à plusieurs consultations. Les impacts financiers de ces coûts, sur la durée de vie de 20 ans, sont présentés aux **Tableaux 23** et **24**.

## L'entretien et les réparations périodiques

Ceux-ci incluent la remise à neuf de compresseurs à des fréquences indiquées dans les tableaux détaillés des coûts d'entretien. Ce mode d'entretien tient compte des modèles utilisés. Le nettoyage des échangeurs et le remplacement des garnitures d'étanchéité lorsqu'applicables y sont également traités. Enfin, le remplacement de moteurs de pompes circulatrices est également inclus. Lorsque des équipements ont des vies utiles inférieures à 20 ans, les coûts de remplacement sont prévus. Une valeur résiduelle est prise en compte s'il y a lieu. Les coûts ont été établis comme précédemment pour l'entretien régulier par consultation auprès des fournisseurs et des gestionnaires d'aréas.

### 2.2.7 LA FORMATION DU PERSONNEL D'EXPLOITATION

Pour être exploités adéquatement et d'une manière sécuritaire, les systèmes à l'ammoniac et au CO<sub>2</sub> requièrent des formations spécialisées. Les systèmes utilisant des HFC sont déjà connus et requièrent peu de formation nouvelle.

Alors que des écoles d'enseignement offrent des formations pour les systèmes à l'ammoniac, aucune école n'offre à ce jour la formation pour les systèmes au CO<sub>2</sub>. Dans ce cas, ce sont les équipementiers qui forment le personnel d'exploitation. Les coûts de formation considérés dans l'étude sont :

#### *Pour l'ammoniac :*

- Formation d'un jour pour le gestionnaire d'aréas, deux jours pour l'ouvrier d'entretien et 5 jours pour un MMF ou un frigoriste;
- Les formations sont considérées *in situ*;
- Les coûts de formation incluent uniquement les frais d'inscription;
- Lorsque les formations ont lieu dans des maisons d'enseignement, il faudra ajouter le salaire de l'apprenant, s'il y a lieu, et un budget de dépenses;
- Une formation continue tous les 2 ans est également prévue (frais d'inscription seulement).

#### *Pour le CO<sub>2</sub> :*

- Même approche à la formation pour les systèmes au CO<sub>2</sub>;
- Le coût de la formation initiale offerte par l'équipementier a été établi au même titre que pour l'ammoniac;
- Une formation continue tous les 2 ans est également prévue.

### 2.2.8 L'ÉVALUATION DE LA VALEUR RÉSIDUELLE APRÈS 20 ANS

L'étude tient compte que certaines composantes devront être remplacées avant 20 ans, alors que d'autres ont une espérance de vie supérieure à 20 ans. Lorsque certains équipements doivent être remplacés à l'intérieur du délai de 20 ans, le coût de remplacement est pris en compte à l'année où il survient. S'il y a lieu, une valeur résiduelle de cet équipement de remplacement est prise en compte à la 20<sup>e</sup> année. Les équipements qui ont une espérance de vie supérieure à 20 ans se voient attribuer une valeur résiduelle à la 20<sup>e</sup> année. Dans tous les cas, la valeur résiduelle est calculée en fonction du coût

d'acquisition et au prorata du nombre d'années de vie restant au-delà de 20 ans. Les valeurs résiduelles sont ensuite actualisées et soustraites du bilan des coûts.

## LA VALEUR RÉSIDUELLE DES ÉQUIPEMENTS

La valeur résiduelle désigne « la valeur de ce qui reste d'un bien acquis à l'issue de la durée économique du projet (ou période d'analyse) » Elle se détermine par rapport au prix d'acquisition du bien et la valeur économique de l'amortissement pratiquée sur ce bien.

Le mode d'amortissement peut être linéaire, croissant ou décroissant, en unité de temps, etc. Toutefois, à défaut de modes mieux adaptés, le mode d'amortissement linéaire est le plus couramment utilisé. C'est le mode retenu dans cette étude. L'amortissement linéaire est calculé comme suit :

$$\text{Amortissement linéaire en } \$/\text{an} = \frac{\text{Valeur monétaire d'acquisition en } \$}{\text{Durée de vie utile de l'acquisition en années}}$$

$$\text{Valeur résiduelle} = \text{Valeur de l'acquisition} - \text{Valeur de l'amortissement en } \$/\text{an} \times \text{nombre d'années de vie restante au-delà de la période d'analyse.}$$

Plus la valeur initiale de l'acquis ou la durée de vie utile est élevée, plus la valeur résiduelle sera élevée à la fin de la période d'analyse économique.

Exemple de calcul : Un nouveau système de réfrigération a une valeur d'acquisition de 600 000 \$ et une espérance de vie de 30 ans. Quelle est la valeur résiduelle de cet investissement à la fin de la période d'analyse économique lorsque celle-ci a une durée de vie de 20 ans.

$$\text{Amortissement linéaire} = 600\,000 \$ / 30 \text{ ans} = 20\,000 \$/\text{an}$$

Après la 20<sup>e</sup> année, il reste 10 ans de vie utile :

$$\text{Valeur résiduelle après la 20<sup>e</sup> année} = 10 \text{ ans} \times 20\,000 \$/\text{an} = 200\,000 \$$$

Note importante : Dans la présente étude, les amortissements sont appliqués à l'ensemble des investissements destinés aux équipements de réfrigération. Ils ne sont toutefois pas appliqués sur les investissements relatifs aux bâtiments comme les salles de mécanique architecturale de classe T. La valeur de ces investissements immobiliers demeure généralement stable ou même augmente dans le temps. Dans cette étude, la valeur de ces investissements a été maintenue constante, c.-à-d. sans amortissement jusqu'à la fin de la période d'analyse.

Ces coûts en dollars constants sont ensuite actualisés, c.-à-d. transformés en dollars d'aujourd'hui (ou en valeur actuelle), en tenant compte de la durée de temps séparant la dépense future du présent. Plus la dépense est éloignée dans le temps, plus la valeur actuelle sera réduite, et ce, en fonction du taux d'actualisation (*discount rate*) choisi.

La valeur résiduelle des équipements de réfrigération est également actualisée. Elle est cependant considérée comme nulle si la durée de vie utile de l'acquis correspond à la durée économique du projet.

Exemple de calcul : En reprenant la valeur résiduelle à la 20<sup>e</sup> année du système de réfrigération calculée précédemment soit 200 000 \$, quelle en serait la valeur actuelle (VA)? Le taux d'actualisation choisi est de 3%/an?

$$\text{VA} = 200\,000 \$ \times 0,5537 \text{ (facteur d'actualisation pour 3\% et 20 ans)} = 110\,740 \$$$

Note : la valeur résiduelle d'une salle mécanique architecturale de classe T est assujettie à un taux d'actualisation nul conformément aux pratiques comptables habituelles.

## 2.2.9 DURÉE DE VIE

Dans cette étude, nous utilisons la même définition de la durée de vie des équipements qu'ASHRAE dans son *Handbook – HVAC Applications 2011, Owning and Operating Costs, Chapter 37*. La durée de vie moyenne d'un équipement correspond à l'âge le plus élevé auquel le taux de survie demeure égal ou supérieur à 50 %. Par exemple, si 50 % ou plus des appareils de réfrigération démarrés il y a 25 ans sont toujours en opération, la durée de vie de ceux-ci est d'au moins 25 ans. Donc, le fait de remplacer un compresseur sur un système de réfrigération ne détermine pas la durée de vie du système, mais du compresseur seulement. Le remplacement complet du système de réfrigération détermine sa durée de vie. Les raisons du remplacement du système sont multiples:

- Équipements défectueux et non opérationnels;
- Pièces de rechange ne sont plus disponibles;
- Technologie désuète;
- Fiabilité inacceptable;
- Coûts de maintenance excessifs;
- Changements importants dans l'application (agrandissement majeur, ajout de patinoire...).

La durée de vie des équipements est un facteur très important pour calculer le coût global. La durée de vie affecte les coûts de maintenance périodique et la valeur résiduelle des équipements après 20 ans d'opération.

Les coûts de maintenance périodique comprennent par exemple :

- L'entretien des compresseurs de type ouvert après quelques milliers d'heures d'opération;
- Le remplacement d'un compresseur de type semi-hermétique après quelques années de fonctionnement;
- Le nettoyage et le remplacement des joints d'étanchéité des échangeurs à plaques;
- Le remplacement des moteurs des pompes circulatrices;
- Le remplacement des moteurs du refroidisseur de fluide;
- Le retubage d'un échangeur à tubes et calandre.

Le calcul du coût global tient compte de la dépréciation des équipements pour la période de 20 ans de l'étude. La dépréciation des équipements est calculée proportionnellement à la durée de vie restante après le cycle de 20 ans. Ainsi, un compresseur ouvert ayant une durée de vie estimée de 30 ans aura une valeur résiduelle de 10/30 de son coût d'achat initial.

Dans cette étude la durée de vie estimée pour les différents cas a été estimée à :

- Systèmes de réfrigération à l'ammoniac, 30 ans ;
- Systèmes de réfrigération au CO<sub>2</sub>, 25 ans ;
- Systèmes de réfrigération au HFC, 20 ans ;

Après 20 ans de service, au moins 50 % des systèmes de réfrigération au HFC sont encore en service, même si ces appareils utilisent des compresseurs semi-hermétiques qui ne peuvent pas être entretenus, mais remplacés, et que la tuyauterie est en cuivre avec des joints brasés. Tous les systèmes de HFC dans cette étude ont été assemblés en usine. Des données statistiques existent et peuvent être consultées sur le site d'ASHRAE.

Les systèmes de réfrigération à l'ammoniac portent souvent le qualificatif « industriel ». L'industrie utilise ce réfrigérant depuis plus d'un siècle. Les compresseurs qui sont de type ouvert peuvent être entretenus pour prolonger leur vie pour plusieurs décennies. Les moteurs hautes efficacités des compresseurs qui sont choisis spécifiquement pour l'application, offrent le meilleur rendement et plus de flexibilité, car ceux-ci peuvent être remplacés en conservant le compresseur. Les composants d'un système à l'ammoniac sont reliés par de la tuyauterie en acier soudé. La durée de vie de 30 ans utilisée dans cette étude est en deçà de ce que la plupart des équipementiers déclarent. Cette limitation est surtout due à la vétusté de la technologie après 30 ans de vie, car une étude de coût global à la fin de cette période démontrera l'intérêt de remplacer l'équipement en place par des nouveaux équipements plus performants, moins chers à entretenir et plus conformes aux exigences qui seront probablement différentes de celles d'aujourd'hui.

Les systèmes de réfrigération au CO<sub>2</sub> sont très utilisés en Europe avec plus d'un millier d'installations en plus de dix ans. Au Québec, depuis quatre ou cinq ans, des équipementiers locaux ont accompli quelques dizaines d'installations dans les supermarchés, les arénas et les entrepôts frigorifiques. Pour le moment, le Québec fait figure de proue pour la réfrigération transcritique au CO<sub>2</sub> en Amérique du Nord.

Les systèmes de réfrigération au CO<sub>2</sub> utilisent :

- Des compresseurs de type semi-hermétique;
- Des échangeurs à plaques brasés;
- Des échangeurs à plaques et calandre soudés;
- Des serpentins à air de récupération de chaleur qui sont fabriqués avec des tuyaux en acier inoxydable;
- De la tuyauterie en acier inoxydable soudé.

Les compresseurs semi-hermétiques ne peuvent pas être entretenus sur place comme les compresseurs de type ouvert et doivent être remplacés lorsqu'ils sont défectueux. Les échangeurs ne comportent pas de joints d'étanchéité à remplacer. La qualité des joints de soudure de la tuyauterie qui relie les composants du système de réfrigération au CO<sub>2</sub> est comparable à celle utilisée pour les systèmes de réfrigération à l'ammoniac. De ce point de vue, les systèmes de réfrigération au CO<sub>2</sub> montrent une qualité d'assemblage comparable au système à l'ammoniac et sont supérieurs aux systèmes au HFC à tuyaux de cuivre et joints brasés. C'est pourquoi nous avons attribué une durée de vie intermédiaire de 25 ans à ce système.

Le **Tableau 7** résume les fréquences d'entretien, de remise en état et/ou d'entretien et de remplacement des équipements qui ont été utilisés pour calculer les coûts d'opération pour les réparations périodiques. Dans ce tableau, les fréquences de remplacement ne peuvent pas dépasser la durée de vie de l'ensemble de l'équipement. Par exemple, l'évaporateur à plaques et calandre en titane de l'item no.13 affiche une fréquence de remplacement de 30 ans, même si la durée de vie de cet équipement pourrait être bien supérieure. Pour cette raison la valeur résiduelle de cet échangeur au bout de 20 ans équivaut à 10/30 de son coût initial.

**Tableau 7 : Fréquences d'entretien et de remplacement des équipements**

N°	ÉQUIPEMENT	TYPE	R	FRÉQUENCE DE REMISE EN ÉTAT ET/OU D'ENTRETIEN	FRÉQUENCE REMPLACEMENT	COMMENTAIRES
1	Compresseurs	Ouvert à vis	717	12 ans	30 ans	Entretien sur tête de compresseurs
2	Compresseurs	Ouvert à piston	717	5 ans	30 ans	Entretien sur tête de compresseurs
3	Compresseurs	Semi-hermétique à piston	744		7 ans	Remplacement d'un compresseur défectueux
4	Compresseurs	Ouvert à piston	22		7 ans	Remplacement d'un compresseur défectueux (si pas d'entretien)
5	Compresseurs	Semi-hermétique à vis	507A		10 ans	Remplacement d'un compresseur défectueux
6	Compresseurs	Hermétique à volute (scroll)	410A		3 ans	Remplacement d'un compresseur défectueux
7	Compresseurs	Semi-hermétique à vis à capacité variable	134A		10 ans	Remplacement d'un compresseur défectueux
8	Condenseur intérieur	Échangeur à plaques	717	5 ans	30 ans	Démontage, nettoyage, vérification, remplacement des joints d'étanchéité, etc.
9	Condenseur extérieur	Tour d'eau directe (ouverte) à écoulement d'air induit et à contre-courant	717	annuel	20 ans	Maintenance et produits chimiques
10	Condenseur extérieur	Tour d'eau indirecte à écoulement d'air forcé et à contre-courant	717	annuel	20 ans	Maintenance et produits chimiques
11	Condenseur extérieur	Refroidisseur de gaz à l'air (similaire à un condenseur sec.)	744	annuel	20 ans	Remplacement des moteurs des ventilateurs défectueux
12	Condenseur extérieur	Refroidisseur de fluide sec	507A, 410A	annuel	20 ans	Remplacement des moteurs des ventilateurs défectueux
13	Évaporateur	À plaques et calandre, noyé, en titane	717		30 ans	Entretien léger côté saumure (inclus dans annuité)
14	Évaporateur	À plaques, noyé, en titane	717	5 ans	30 ans	Démontage, nettoyage, vérification, remplacement des joints d'étanchéité, etc.
15	Évaporateur	À plaques, noyé, en acier inoxydable	717	5 ans	30 ans	Démontage, nettoyage, vérification, remplacement des joints d'étanchéité, etc.
16	Évaporateur	À plaques et calandre, à expansion directe, acier inoxydable	744	non requis	25 ans	Entretien léger côté saumure (inclus dans annuité)
17	Évaporateur	À tubes et calandre, à expansion directe, en acier	22	12 ans	20 ans	Retubage complet
18	Évaporateur	À plaques, à expansion directe, en titane ou en acier inoxydable	507A	5 ans	20 ans	Démontage, nettoyage, vérification, remplacement des joints d'étanchéité, etc.
19	Évaporateur	À tubes et calandre, à tuyaux arrosés, en acier	134A	12 ans	20 ans	Retubage complet
20	Pompe	Pompe circulatrice pour fluide caloporteur froid ou chaud	-		5 ans	Remplacement du moteur et vérification de l'étanchéité mécanique

## 2.2.10 L'ÉVALUATION DES APPUIS FINANCIERS

### Les appuis financiers

Les appuis financiers ont été calculés en considérant les modalités des divers programmes de financement disponibles au printemps 2013.

#### Hydro-Québec

Le programme Bâtiments d'Hydro-Québec offre un appui financier pour la mise en œuvre de mesures d'efficacité énergétique lors de la réalisation de projets dans des bâtiments commerciaux ou institutionnels. Les appuis financiers sont pour des économies d'énergie électrique. L'évaluation de l'appui financier varie selon la complexité du projet soumis. Dans le cas présent, le calcul financier des incitatifs alloués aux différents systèmes de réfrigération a été réalisé en considérant uniquement la différence énergétique entre le système de réfrigération au R22 et ceux proposés comme remplaçant. L'hypothèse de calcul est de 0,15 \$/kWh économisé. Cette valeur a été établie avec la collaboration d'Hydro-Québec. Le programme est en cours de révision et les valeurs obtenues pour les différents systèmes sont à titre indicatif seulement.

#### Appuis financiers du MELS

Le programme gouvernemental du ministère de l'Éducation, du Loisir et du Sport (MELS) du Québec a comme objectif la lutte contre les changements climatiques. Il propose un soutien financier pour le remplacement ou la modification des systèmes de réfrigération fonctionnant spécifiquement aux réfrigérants R-12 ou R-22 pour les arénas et centres de curling. Le soutien financier maximum alloué pour l'acquisition d'un système de réfrigération, dans le cadre du Volet 1, est de 700 000 \$, sans toutefois excéder 50 % des coûts admissibles, et ce, pour une glace. Les types de réfrigérants admissibles sont l'ammoniac et le bioxyde de carbone CO<sub>2</sub>. Aucune allocation n'est offerte pour les halocarbures. Les coûts associés à la construction d'une salle mécanique architecturale Classe T, pour les systèmes à l'ammoniac, sont admissibles dans le Volet 1.

Les coûts de reconstruction d'une dalle ou de construction d'une surdalle ne sont pas admissibles si la dalle de départ est en bon état et ne requiert pas de travaux essentiels à la poursuite des opérations pouvant compromettre la santé et la sécurité des utilisateurs ou l'intégrité du bâtiment.

#### Appuis financiers du BEIE

Le Programme d'optimisation en réfrigération (OPTER), volet arénas et centres de curling, du Bureau de l'efficacité et de l'innovation énergétiques (BEIE) du Québec, offre des appuis financiers aux propriétaires d'arénas qui désirent optimiser leurs installations de réfrigération. Les appuis financiers sont proportionnels à la réduction de gaz à effet de serre évités par les systèmes de réfrigération de remplacement. Ces appuis peuvent atteindre 60 000 \$, sans toutefois excéder 50 % des coûts admissibles, et ce, pour une glace. Le montant de l'appui financier dans cette étude a été calculé en utilisant l'Outil d'estimation de l'aide financière disponible sur le site Internet du BEIE. Le programme est en cours de révision et les valeurs obtenues pour les différents systèmes sont à titre indicatif seulement.

## 2.2.11 L'ÉVALUATION DE LA VALEUR ACTUELLE GLOBALE D'ACHAT ET D'EXPLOITATION SUR 20 ANS

Les coûts initiaux d'investissement pour une nouvelle installation sont considérés comme déboursés à l'an 0. Tous les autres coûts survenant dans les années subséquentes sont actualisés pour constituer un coût global d'achat et d'exploitation sur 20 ans. À cette fin, les facteurs indiqués dans le **Tableau 8** sont utilisés :

**Tableau 8 : Facteurs utilisés dans les calculs financiers**

	Taux	Incertitudes
Taux d'intérêt sur emprunts	3 %/an	± 1
Taux d'actualisation	3 %/an	± 1
Taux d'indexation : équipement de remplacement	1 %/an	± 0.5
Taux d'indexation – Énergie	3 %/an	± 1
Taux d'indexation – Entretien	2 %/an	± 1
Taux d'indexation du prix des réfrigérants (autres que le R22)	2 %/an	± 1
Taux d'indexation du prix des réfrigérants R22	10 %/an	± 5

Tous les coûts globaux obtenus ont été soumis à une analyse statistique suivant la méthode Monte-Carlo, où l'incertitude affectée représente la moyenne de la population où l'erreur est égale à deux fois l'écart-type.

### Calcul de l'annuité équivalente à la valeur actuelle

Le calcul de l'annuité prend en compte la valeur actuelle de tous les coûts d'acquisition et d'exploitation sur 20 ans. Le taux d'intérêt servant au calcul de l'annuité est indiqué dans le **Tableau 8**.

## 2.2.12 LES COÛTS NON INCLUS

Les éléments suivants n'ont pas été pris en compte dans le calcul des coûts d'acquisition des systèmes de réfrigération :

1. Les équipements liés à la sécurité des installations comme recommandé dans les analyses de risques. Ceux-ci varient considérablement en fonction du type de réfrigérant, du genre d'installation et de l'emplacement de l'aréna dans une municipalité. Deux exceptions cependant : les systèmes A2 (Ville de Montréal) et A3 (Ville de Québec) incluent, selon le cas, le coût des équipements suivants : un épurateur de type laveur d'air installé sur le système d'évacuation des vapeurs d'ammoniac de la salle mécanique de même qu'un réservoir d'eau destinés à absorber l'ammoniac pouvant s'échapper de la soupape de sûreté en cas de surpression. Ces coûts peuvent atteindre jusqu'à 150 000 \$.
2. Le coût de la surveillance périodique par un mécanicien de machine fixe, dans le cas des systèmes à l'ammoniac. Ces coûts varient de 13 000 \$ à 21 000 \$/an selon le nombre d'heures de surveillance journalière et la période annuelle d'opération du bâtiment. Le

temps minimum est d'une heure par jour. Les résultats d'une analyse de sensibilité qui inclut les impacts financiers de ces coûts sont présentés aux **Tableaux 23 et 24**.

3. Les coûts pour la formation des pompiers d'une municipalité en matière d'interventions dans un environnement présentant un danger immédiat pour la vie et la santé (DIVS). L'appellation «équipe HAZMAT (*hazardous materials*)» est aussi utilisée pour identifier cette spécialité. Les coûts de formation peuvent atteindre 100 000 \$ initialement et 20 000 \$/an pour les mises à jour et le renouvellement des équipements spécialisés. Des options moins coûteuses consistent à recourir à des ententes de collaboration avec des villes voisines possédant déjà une «équipe HAZMAT». Le recours à des services privés est également possible dans certaines régions.
4. Les coûts associés aux garanties supplémentaires qui varient selon le type de système de réfrigération, le manufacturier et le type d'équipement.

## 2.3 TABLEAUX RÉSUMÉS DES RÉSULTATS

Les tableaux présentés ci-après fournissent, pour les 12 systèmes à l'étude, le résumé des éléments indiqués ci-dessous.

### Liste des tableaux résumés :

- Tableau 9 : Principales caractéristiques physiques des équipements
- Tableau 10 : Puissance de réfrigération et de chauffage
- Tableau 11 : Puissances électriques installées
- Tableau 12 : Consommations d'énergie des systèmes de réfrigération
- Tableau 13 : Consommation d'énergie des systèmes de chauffage
- Tableau 14 : Bilan d'énergie et appel de puissance
- Tableau 15 : Coefficient de performance (COP) moyen en réfrigération, en chauffage, et combiné
- Tableau 16 : Investissements initiaux (sans subvention)
- Tableau 17 : Coûts d'énergie par année
- Tableau 18 : Coûts d'entretien annuels
- Tableau 19 : Coûts autres (formation, réfrigérants)
- Tableau 20 : Subventions et incitatifs
- Tableau 21 : Bilan des coûts d'achat et d'exploitation sur 20 ans
- Tableau 22 : Valeur actuelle et annuités des coûts d'achat et d'exploitation sur 20 ans
- Tableau 23 : Sommaire des scénarios financiers sur les systèmes étudiés
- Tableau 24 : Sommaire valeurs résiduelles actualisées des scénarios financiers

**Tableau 9 : Principales caractéristiques physiques des équipements**

CAS	TYPE D'ASSEMBLAGE	RÉFRIGÉRANT	TYPE DE COMPRESSEUR	NOMBRE	ÉVAPORATION	ÉVAPORATEUR	CONDENSEUR INTÉRIEUR	ÉQUIPEMENT DE REJET THERMIQUE EXTÉRIEUR	FLUIDE DANS LA DALLE DE LA PATINOIRE	DURÉE DE VIE (ANNÉES)
A1	Monobloc	R717	Ouvert à vis	2	Noyé	Plaques et calandre titane	Plaques	Tour d'eau directe	CaCl <sub>2</sub>	30
A2	Sur place	R717	Ouvert à piston	3	Noyé	Plaques titane	Plaques	Tour d'eau indirecte	CaCl <sub>2</sub>	30
A3	Sur place	R717	Ouvert à piston	3	Noyé	Plaques inox 254	Plaques	Tour d'eau indirecte	CaCl <sub>2</sub>	30
A4	Monobloc	R717	Ouvert à vis	2	Noyé	Plaques inox	Plaques	Tour d'eau directe	Éthylène glycol	30
A5	Monobloc	R717	Ouvert à piston	3	Noyé	Plaques inox	Plaques	Tour d'eau directe	Éthylène glycol	30
C1	Bibloc	R744	Semi-hermétique à piston	8	Noyé recirculé	Tuyaux dans la dalle	Aucun	Refroidisseur de gaz	CO <sub>2</sub>	25
C2	Bibloc	R744	Semi-hermétique à piston	6	Détente directe	Plaques et calandre	Aucun	Refroidisseur de gaz	CaCl <sub>2</sub>	25
<b>H1</b>	<b>Sur place</b>	<b>HCFC- R22</b>	<b>Ouvert à piston</b>	<b>6</b>	<b>Détente directe</b>	<b>Tube calandre</b>	<b>Aucun</b>	<b>Condenseur</b>	<b>CaCl<sub>2</sub></b>	<b>20</b>
H2	Monobloc	HFC-R507A	Semi-hermétique à vis	3	Détente directe	Plaques titane	Plaques	Refroidisseur de fluide	CaCl <sub>2</sub>	20
H3	Modulaire	HFC-R410A	Hermétique volute	5	Détente directe	Plaques inox	Plaques	Refroidisseur de fluide	Méthanol	20
H4	Modulaire	HFC-R507A	Semi-hermétique à vis	2	Détente directe	Plaques inox	Plaques	Refroidisseur de fluide	Éthylène glycol	20
H5	Monobloc	HFC-R134A	Semi-hermétique à vis (capacité variable)	2	Tuyaux arrosés	Tube calandre à deux circuits indépendants	Tubes calandre	Refroidisseur de fluide	CaCl <sub>2</sub>	20

- Ce tableau montre les principales caractéristiques physiques des douze cas. Ces données ont été fournies par les équipementiers et les concepteurs de ces systèmes.

**Tableau 10 : Puissance de réfrigération et de chauffage**

CAS	TYPE D'ASSEMBLAGE	RÉFRIGÉRANT	QUANTITÉ TOTALE DE RÉFRIGÉRANT	QUANTITÉ RÉFRIGÉRANT	PUISSANCE RÉFRIGÉRATION	PUISSANCE CHAUFFAGE AUXILIAIRE	DÉSURCHAUFFEUR EAU CHAUDE	RÉCUPÉRATION CHAUFFAGE DE L'AIR	PAC CHAUFFAGE	PAC COP
UNITÉS			kg	kg/TR	kW	kW	kW	kW	kW	kW/kW
A1	Monobloc	R717	45	0,6	262	75	42	200	0	0
A2	Sur place	R717	114	1,6	247	75	42	200	191	4,5
A3	Sur place	R717	273	3,8	254	75	36	200	206	3,01
A4	Monobloc	R717	320	4,1	273	75	88	200	0	0
A5	Monobloc	R717	230	3,3	247	75	88	200	0	0
C1	Bibloc	R744	1 591	20,7	270	110	100	200	0	0
C2	Bibloc	R744	500	6,5	271	75	90	200	0	0
<b>H1</b>	<b>Sur place</b>	<b>HCFC-R22</b>	<b>409</b>	<b>4,6</b>	<b>310</b>	<b>275</b>	<b>42</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
H2	Monobloc	HFC-R507A	114	1,4	287	75	88	200	0	0
H3	Modulaire	HFC-R410A	45	0,6	267	75	0	200	0	0
H4	Modulaire	HFC-R507A	100	1,4	254	75	0	200	0	0
H5	Monobloc	HFC-R134A	166	2,0	289	75	0	200	79	3,69

Ce tableau montre :

- La quantité de réfrigérant utilisée dans les systèmes de réfrigération;
- La puissance de réfrigération en kW;
- La puissance du système de chauffage auxiliaire pour l'air et l'eau. Tous les cas utilisent une chaudière électrique d'appoint de 75 kW pour l'eau chaude domestique et de surfaçage ;
- La puissance nominale de chauffage du désurchauffeur;
- La puissance du serpentín de chauffage de l'enceinte, le système H1 ne récupère pas de chaleur du système de réfrigération;
- La puissance de chauffage des pompes à chaleur pour chauffer l'air de l'enceinte ou l'eau chaude domestique et de surfaçage;
- Le COP en mode chauffage des pompes à chaleur.

**Tableau 11 : Puissances électriques installées**

CAS	TYPE D'ASSEMBLAGE	RÉFRIGÉRANT	PUISSANCE CHAUFFAGE AUXILIAIRE	PUISSANCE MOTRICE COMPRESSEURS	PAC CHAUFFAGE	POMPE DALLE	POMPE REJETS THERMIQUES	VENTILATEUR REJETS THERMIQUES	POMPES RÉCUPÉRATION DE CHALEUR	TOTAL	ÉCART
UNITÉS			kW	kW	kW	kW	kW	kW	kW	kW	%
A1	Monobloc	R717	75	81	0	11,2	9,7	3,7	3,7	184	-29
A2	Sur place	R717	75	81	42,5	11,2	5,6	37,3	6,3	259	0
A3	Sur place	R717	75	113	68,3	18,6	8,6	37,3	7,8	329	27
A4	Monobloc	R717	75	84	0	11,2	16,8	14,9	5,6	208	-20
A5	Monobloc	R717	75	81	0	11,2	16,8	14,9	5,6	205	-21
C1	Bibloc	R744	110	100	0	2,2	0,0	16,0	3,7	232	-10
C2	Bibloc	R744	75	129	0	11,2	0,0	23,5	0,0	239	-8
<b>H1</b>	<b>Sur place</b>	<b>HCFC-R22</b>	<b>275</b>	<b>126</b>	<b>0</b>	<b>18,6</b>	<b>0,0</b>	<b>22,3</b>	<b>0,0</b>	<b>442</b>	<b>71</b>
H2	Monobloc	HFC-R507A	75	128	0	11,2	5,6	11,9	3,7	235	-9
H3	Modulaire	HFC-R410A	75	130	0	11,2	11,2	11,9	2,2	242	-7
H4	Modulaire	HFC-R507A	75	106	0	14,9	7,5	23,9	3,7	231	-11
H5	Monobloc	HFC-R134A	75	100	21,5	11,2	14,9	13,4	0,0	236	-9

- La puissance électrique installée du système de réfrigération et de chauffage représente la majeure partie de la demande électrique de l'aréna. La demande réelle d'électricité facturée doit être inférieure ou égale à cette valeur. La puissance motrice des compresseurs est estimée aux conditions de conception;
- La puissance des systèmes A2 et A3 sont les plus élevés des nouveaux systèmes, principalement à cause des pompes à chaleur de récupération et des ventilateurs des tours de refroidissement indirectes. La puissance des systèmes au CO<sub>2</sub> est 25% plus élevée que le meilleur cas, surtout à cause des compresseurs. C'est le système A1 qui nécessite la plus petite demande.

**Tableau 12 : Consommation d'énergie des systèmes de réfrigération**

CAS	TYPE D'ASSEMBLAGE	RÉFRIGÉRANT	COMPRESSEURS	POMPE DALLE	REJET DE CHALEUR À L'EXTÉRIEUR	TOTAL	ÉCART
UNITÉS			kWh	kWh	kWh	kWh	%
A1	Monobloc	R717	279 200	73 300	54 500	407 000	6
A2	Sur place	R717	245 000	73 300	65 000	383 400	0
A3	Sur place	R717	267 800	122 200	63 600	453 600	18
A4	Monobloc	R717	264 000	73 300	74 900	412 200	8
A5	Monobloc	R717	298 500	73 300	74 600	446 400	16
C1	Bibloc	R744	263 400	14 700	13 000	291 100	-24
C2	Bibloc	R744	281 200	73 300	19 900	374 500	-2
<b>H1</b>	<b>Sur place</b>	<b>HCFC-R22</b>	<b>411 900</b>	<b>122 200</b>	<b>16 100</b>	<b>550 200</b>	<b>44</b>
H2	Monobloc	HFC-R507A	368 800	73 300	26 200	468 400	22
H3	Modulaire	HFC-R410A	465 300	36 200	53 100	554 600	45
H4	Modulaire	HFC-R507A	323 900	97 800	63 900	485 500	27
H5	Monobloc	HFC-R134A	339 300	73 300	106 000	518 600	35

- Le système de réfrigération C1 au CO<sub>2</sub> consomme le moins d'énergie, 24% moins que le cas A2. C'est surtout dû à la recirculation directe du CO<sub>2</sub> dans la dalle de la patinoire. Le cas C2 au CO<sub>2</sub> qui utilise un fluide secondaire dans la dalle de la patinoire, se compare avantageusement aux systèmes à l'ammoniac.

**Tableau 13 : Consommation d'énergie des systèmes de chauffage  
(partie provenant de la récupération de la chaleur et partie par chauffage d'appoint)**

CAS	TYPE D'ASSEMBLAGE	RÉFRIGÉRANT	POMPES À CHALEUR, CHAUFFAGE DE L'AIR	POMPES POUR LA RÉCUPÉRATION DE CHALEUR, CHAUFFAGE DE L'AIR	CHAUFFAGE AUXILIAIRE, CHAUFFAGE DE L'AIR	CHAUFFAGE AUXILIAIRE EAU	TOTAL	ÉCART
UNITÉS			kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	%
A1	Monobloc	R717	0	12 000	0	65 100	77 100	-52
A2	Sur place	R717	93 800	29 300	0	35 800	159 000	0
A3	Sur place	R717	98 800	39 100	0	45 700	183 600	15
A4	Monobloc	R717	0	19 000	0	56 600	75 600	-52
A5	Monobloc	R717	0	19 000	0	8 400	27 400	-83
C1	Bibloc	R744	0	19 000	29 400	42 100	90 500	-43
C2	Bibloc	R744	0	0	0	29 700	29 700	-81
<b>H1</b>	<b>Sur place</b>	<b>HCFC-R22</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>441 900</b>	<b>27 500</b>	<b>469 300</b>	<b>195</b>
H2	Monobloc	HFC-R507A	0	28 500	0	72 900	101 300	-36
H3	Modulaire	HFC-R410A	0	7 600	0	92 800	100 400	-37
H4	Modulaire	HFC-R507A	0	12 000	0	141 000	153 000	-4
H5	Monobloc	HFC-R134A	0	0	0	61 800	61 800	-61

- Dans ce tableau, les cas A5 et C2 se démarquent de tous les autres. Le système A5 à l'ammoniac montre la meilleure performance pour chauffer l'eau. Cela est dû à l'utilisation de compresseurs à piston qui produisent de l'ammoniac surchauffé à plus haute température que ne le ferait un compresseur à vis. Dans le système C2, le CO<sub>2</sub> circule directement dans les récupérateurs de chaleur, ce qui en fait un système simple et ne consommant que très peu d'énergie pour récupérer la chaleur du système de réfrigération.

**Tableau 14 : Bilan d'énergie et appel de puissance**

CAS	TYPE D'ASSEMBLAGE	RÉFRIGÉRANT	RÉFRIGÉRATION	CHAUFFAGE	TOTAL	ÉCART	PUISSANCE TOTALE INSTALLÉE	APPEL DE PUISSANCE	ÉCART
UNITÉS			kWh	kWh	kWh	%	kW	kW	%
A1	Monobloc	R717	407 000	77 100	484 100	-11	184	180	-9
A2	Sur place	R717	383 400	159 000	542 300	0	259	198	0
A3	Sur place	R717	453 600	183 600	637 100	17	329	210	6
A4	Monobloc	R717	412 200	75 600	487 800	-10	208	179	-10
A5	Monobloc	R717	446 400	27 400	473 800	-13	205	171	-14
C1	Bibloc	R744	291 100	90 500	381 600	-30	232	181	-9
C2	Bibloc	R744	374 500	29 700	404 100	-25	239	188	-5
<b>H1</b>	<b>Sur place</b>	<b>HCFC-R22</b>	<b>550 200</b>	<b>469 300</b>	<b>1 019 600</b>	<b>88</b>	<b>442</b>	<b>381</b>	<b>92</b>
H2	Monobloc	HFC-R507A	468 400	10 300	569 700	5	235	197	-1
H3	Modulaire	HFC-R410A	554 600	100 400	655 000	21	242	225	14
H4	Modulaire	HFC-R507A	485 500	153 000	638 500	18	231	192	-3
H5	Monobloc	HFC-R134A	518 600	61 800	580 400	7	236	208	5

- En considérant la totalité de l'énergie consommée pour la réfrigération et le chauffage, les cas C1 et C2 au CO<sub>2</sub> sont respectivement 30 % et 25 % moins énergivores que le cas A2, et l'appel de puissance est tout-à-fait comparable aux meilleurs cas.

**Tableau 15 : Coefficient de performance (COP) moyen en réfrigération, en chauffage, et combiné**

IDENTIFICATION	TYPE D'ASSEMBLAGE	RÉFRIGÉRANT	COP COMPRESSEURS	COP RÉFRIGÉRATION	COP CHAUFFAGE	COP COMBINÉ	ÉCART
UNITÉS			kWh/kWh	kWh/kWh	kWh/kWh	kWh/kWh	%
A1	Monobloc	R717	3,4	2,4	7,6	3,2	10
A2	Sur place	R717	3,9	2,5	3,7	2,9	0
A3	Sur place	R717	3,8	2,2	3,2	2,5	-14
A4	Monobloc	R717	3,6	2,3	7,8	3,2	10
A5	Monobloc	R717	3,2	2,1	21,5	3,3	14
C1	Bibloc	R744	3,4	3,1	6,5	3,9	34
C2	Bibloc	R744	3,4	2,6	19,8	3,8	31
<b>H1</b>	<b>Sur place</b>	<b>HCFC-R22</b>	<b>2,4</b>	<b>1,8</b>	<b>1,3</b>	<b>1,6</b>	<b>-45</b>
H2	Monobloc	HFC-R507A	2,6	2,0	5,8	2,7	-7
H3	Modulaire	HFC-R410A	2,0	1,7	5,9	2,3	-21
H4	Modulaire	HFC-R507A	3,0	2,0	3,8	2,5	-14
H5	Monobloc	HFC-R134A	2,8	1,8	9,5	2,7	-7

- Le cas A5 affiche un COP de chauffage élevé de 21,5. Les compresseurs à piston permettent une plus grande récupération de chaleur pour l'eau chaude;
- Le cas C2 affiche un COP de chauffage élevé de 19,8. Ce cas n'utilise pas de pompes circulatrices pour la récupération de chaleur et la seule dépense est pour le chauffage auxiliaire de l'eau;
- Le tableau des COP confirme les constats des tableaux de consommation d'énergie, les cas C1 et C2 sont nettement en avance avec un COP combiné de 34 % et 31 % supérieur au cas A2.

**Tableau 16 : Investissements initiaux (sans subvention)**

CAS	TYPE D'ASSEMBLAGE	RÉFRIGÉRANT	SYSTÈME DE RÉFRIGÉRATION	AGRANDISSEMENTS SALLE MÉCANIQUE CLASSE T	SURDALLE	INGÉNIERIE ARCHITECTURE	ANALYSE DE RISQUE	TOTAUX	ÉCART
			\$	\$	\$	\$	\$	\$	%
A1	Monobloc	R717	770 000	50 000	0	82 000	10 000	912 000	-61
A2	Sur place	R717	1 525 000	600 000	0	212 500	10 000	2 347 500	0
A3	Sur place	R717	1 370 000	600 000	0	197 000	10 000	2 177 000	-7
A4	Monobloc	R717	768 000	50 000	0	81 800	10 000	909 800	-61
A5	Monobloc	R717	804 000	50 000	0	85 400	10 000	949 400	-60
C1	Bibloc	R744	800 000	0	360 000	116 000	10 000	1 286 000	-45
C2	Bibloc	R744	645 000	0	0	64 500	10 000	719 500	-69
<b>H1</b>	<b>Sur place</b>	<b>HCFC-R22</b>	<b>82 000</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>82 000</b>	<b>-97</b>
H2	Monobloc	HFC-R507A	683 500	0	0	68 400	0	751 900	-68
H3	Modulaire	HFC-R410A	363 000	0	0	36 300	0	399 300	-83
H4	Modulaire	HFC-R507A	620 000	0	0	62 000	0	682 000	-71
H5	Monobloc	HFC-R134A	590 000	0	0	59 000	0	649 000	-72

- Les coûts d'ingénierie et d'architecture sont estimés à 10 % du coût d'acquisition du système de réfrigération;
- Mis à part le cas H1, les coûts d'investissement sont plus bas pour les systèmes aux réfrigérants de synthèse. Les cas A2 et A3, assemblés sur place, sont particulièrement coûteux;
- Le coût de l'étude de risques considère qu'elle est réalisée par un expert-conseil encadré par un expert en analyse de risque. L'étude n'est pas subventionnable par le MELS;
- La réfection d'une dalle est subventionnable par le MELS si elle requiert des travaux essentiels à son opération. Ce coût n'est pas subventionnable dans le présent projet car la dalle est considérée en bonne condition;
- Le coût associé à la surdalle inclut la tuyauterie en cuivre, les chaises, l'armature et le coulage de béton de 2 ou 3 pouces. Le démantèlement et la réinstallation des bandes ont été considérés à 50 000 \$ (prix minimum). Les coûts de 360 000 \$ impliquent que la dalle existante a la capacité portante d'accueillir une autre dalle. Ceci doit être confirmé par une firme d'ingénierie en structure car certaines dalles réfrigérées ne sont pas au sol mais sur pieux.
- Les coûts associés à la salle mécanique classe T, pour les cas A2 et A3, considèrent le respect des règlements d'urbanisme propres à ces municipalités. Les coûts associés aux cas A1, A4 et A5 présentent les investissements financiers pour les locaux techniques pour des municipalités ayant des règlements d'urbanisme plus souples.

Tableau 17 : Coûts d'énergie par année

CAS	TYPE D'ASSEMBLAGE	RÉFRIGÉRANT	SYSTÈME FRIGORIFIQUE	CHAUFFAGE D'ESPACE	CHAUFFAGE DE L'EAU	TOTAL ÉNERGIE	APPEL DE PUISSANCE	COÛT TOTAL - ÉNERGIE	ÉCART
			\$/an	\$/an	\$/an	\$/an	\$/an	\$/an	\$/an
A1	Monobloc	R717	18 300	500	2 900	21 700	24 800	46 500	-11
A2	Sur place	R717	17 200	5 500	1 600	24 300	27 900	52 200	0
A3	Sur place	R717	20 400	6 200	2 100	28 600	29 400	58 000	11
A4	Monobloc	R717	18 500	900	2 500	21 900	24 800	46 700	-11
A5	Monobloc	R717	20 000	900	400	21 300	23 100	44 400	-15
C1	Bibloc	R744	13 100	2 200	1 900	17 100	24 100	41 300	-21
C2	Bibloc	R744	16 800	0	1 300	18 100	24 700	42 900	-18
<b>H1</b>	<b>Sur place</b>	<b>HCFC-R22</b>	<b>24 700</b>	<b>19 800</b>	<b>1 200</b>	<b>45 800</b>	<b>46 400</b>	<b>92 200</b>	<b>77</b>
H2	Monobloc	HFC-R507A	21 000	1 300	3 300	25 600	27 200	52 700	1
H3	Modulaire	HFC-R410A	24 900	300	4 200	29 400	30 900	60 300	16
H4	Modulaire	HFC-R507A	21 800	500	6 300	28 700	27 300	56 000	7
H5	Monobloc	HFC-R134A	23 300	0	2 800	26 100	29 500	55 600	7

- Le coût total de l'énergie électrique, la demande plus l'énergie, des cas C1 et C2 sont les meilleurs. Ils affichent un coût énergétique de 21 % et 18 % respectivement inférieur au cas A2.

**Tableau 18 : Coûts d'entretien annuels**

CAS	TYPE D'ASSEMBLAGE	RÉFRIGÉRANT	ENTRETIEN RÉGULIER DES ÉQUIPEMENTS	ENTRETIEN RÉGULIER TOUR D'EAU	CONTRAT D'ENTRETIEN PRÉVENTIF (MANUFACTURIER)	DÉPENSE TOTALE ENTRETIEN	ÉCART
			\$/an	\$/an	\$/an	\$/an	%
A1	Monobloc	R717	9 000	3 000	5 000	17 000	9
A2	Sur place	R717	12 600	3 000	0	15 600	0
A3	Sur place	R717	11 800	3 000	0	14 800	-5
A4	Monobloc	R717	8 700	3 000	3 000	14 700	-6
A5	Monobloc	R717	9 400	3 000	3 000	15 400	-1
C1	Bibloc	R744	9 800	0	5 000	14 800	-5
C2	Bibloc	R744	9 000	0	5 000	14 000	-10
<b>H1</b>	<b>Sur place</b>	<b>HCFC-R22</b>	<b>16 000</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>16 000</b>	<b>3</b>
H2	Monobloc	HFC-R507A	7 900	0	4 000	11 900	-24
H3	Modulaire	HFC-R410A	4 900	0	5 000	9 900	-37
H4	Modulaire	HFC-R507A	7 100	0	9 000	16 100	3
H5	Monobloc	HFC-R134A	2 000	0	3 000	5 000	-68

- Le cas H5 au HFC-R134A coûte le moins cher en entretien. Ce manufacturier offre une garantie supplémentaire complète sur le refroidisseur, à partir de la date d'achat, pour une durée maximale de 10 ans au coût de 30 000 \$, payable au moment de l'achat du système. La garantie couvre le refroidisseur de tout bris, pièces et main-d'œuvre, pouvant subvenir durant la période de garantie. Le coût de cette garantie n'est pas inclus dans la présente étude et ne fait donc pas partie non plus des coûts considérés pour l'entretien préventif annuel du système ;
- Pour les autres systèmes, les coûts sont très semblables entre 10 000 \$ et 17 000 \$ par an ;
- L'entretien régulier des équipements est calculé en considérant 2 % des coûts d'acquisition des systèmes de réfrigération sauf pour le cas H5. Ces pourcentages peuvent être supérieurs à 2 % selon les municipalités.

**Tableau 19 : Coûts autres (formation, réfrigérants)**

CAS	TYPE D'ASSEMBLAGE	RÉFRIGÉRANT	FORMATION INITIALE	FORMATION SPÉCIALISÉE	COÛT DU RÉFRIGÉRANT	TAUX DE FUITE	FUITES ANNUELLES TOTALES	DÉPENSES RÉFRIGÉRANT
				\$/an	\$/kg	%/an	kg/an	\$/an
A1	Monobloc	R717	3 200	1 600	3,50	2,0	1	3
A2	Sur place	R717	3 200	1 600	3,50	5,0	6	21
A3	Sur place	R717	3 200	1 600	3,50	5,0	14	48
A4	Monobloc	R717	3 200	1 600	3,50	5,0	16	57
A5	Monobloc	R717	3 200	1 600	3,50	5,0	12	39
C1	Bibloc	R744	3 200	1 600	3,00	5,0	80	240
C2	Bibloc	R744	3 200	1 600	3,00	2,0	10	30
<b>H1</b>	<b>Sur place</b>	<b>HCFC-R22</b>	<b>0</b>	<b>1 000</b>	<b>47,50</b>	<b>10,0</b>	<b>41</b>	<b>1 944</b>
H2	Monobloc	HFC-R507A	0	1 000	18,00	2,0	2	42
H3	Modulaire	HFC-R410A	0	1 000	22,00	2,0	1	21
H4	Modulaire	HFC-R507A	0	1 000	18,00	2,0	2	36
H5	Monobloc	HFC-R134A	0	1 000	6,60	2,0	3	21

- Dans les petites municipalités, les options à l'ammoniac demanderont une formation supplémentaire pour les pompiers en plus du personnel de l'aréna. Ces coûts ne sont pas inclus dans le budget indiqué ci-haut.

**Tableau 20 : Subventions et incitatifs**

CAS	TYPE D'ASSEMBLAGE	RÉFRIGÉRANT	HYDRO-QUÉBEC	OPTER	MELS VOLET 1	TOTAL DES SUBVENTIONS
			\$	\$	\$	\$
A1	Monobloc	R717	80 300	60 000	456 000	596 300
A2	Sur place	R717	71 600	60 000	700 000	831 600
A3	Sur place	R717	57 400	60 000	700 000	817 400
A4	Monobloc	R717	79 800	60 000	454 900	594 700
A5	Monobloc	R717	81 900	60 000	474 700	616 600
C1	Bibloc	R744	95 700	60 000	445 000	600 700
C2	Bibloc	R744	92 300	60 000	359 800	512 100
<b>H1</b>	<b>Sur place</b>	<b>HCFC-R22</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
H2	Monobloc	HFC-R507A	67 500	35 100	0	102 600
H3	Modulaire	HFC-R410A	54 700	43 300	0	98 000
H4	Modulaire	HFC-R507A	57 200	31 100	0	88 300
H5	Monobloc	HFC-R134A	65 900	42 300	0	108 200

- Appui potentiel du programme Hydro-Québec de 0,15 \$/kWh économisé;
- La subvention du MELS attribuée au système de réfrigération intègre aussi les coûts associés à la salle mécanique qu'elle soit préfabriquée ou architecturale. La subvention s'élève à 50 % des coûts inhérents au système de réfrigération pour les réfrigérants à l'ammoniac et le CO<sub>2</sub>. Les systèmes au HFC tels que considérés dans cette étude ne sont pas subventionnés par le MELS.

**Tableau 21 : Bilan des coûts d'achat et d'exploitation sur 20 ans**

CAS	TYPE D'ASSEMBLAGE	RÉFRIGÉRANT	COÛT D'ACQUISITION TOTAL	TOTAL DES SUBVENTIONS	ÉNERGIE	ENTRETIEN PÉRIODIQUE	ENTRETIEN RÉGULIER ET PRÉVENTIF	RÉFRIGÉRANT	FORMATION
			\$	\$	\$/20 ans	\$/20 ans	\$/20 ans	\$/20 ans	\$/20 ans
A1	MONOBLOC	R717	912 000	596 300	930 400	45 800	307 400	60	32 100
A2	SUR PLACE	R717	2 347 500	831 600	1 044 200	54 900	282 100	360	32 100
A3	SUR PLACE	R717	2 177 000	817 400	1 160 200	63 500	267 600	860	32 100
A4	MONOBLOC	R717	909 800	594 700	933 800	63 200	265 800	1 010	32 100
A5	MONOBLOC	R717	949 400	616 600	888 300	52 600	278 800	730	32 100
C1	BIBLOC	R744	1 286 000	600 700	825 600	35 500	267 600	4 310	32 100
C2	BIBLOC	R744	719 500	512 100	857 600	41 900	253 100	540	32 100
<b>H1</b>	<b>SUR PLACE</b>	<b>HCFC-R22</b>	<b>82 000</b>	<b>0</b>	<b>1 843 300</b>	<b>106 000</b>	<b>289 300</b>	<b>35 140</b>	<b>18 100</b>
H2	MONOBLOC	HFC-R507A	751 900	102 600	1 054 900	42 500	214 600	740	18 100
H3	MODULAIRE	HFC-R410A	399 300	98 000	1 205 900	51 800	179 000	360	18 100
H4	MODULAIRE	HFC-R507A	682 000	88 300	1 119 100	40 500	291 100	650	18 100
H5	MONOBLOC	HFC-R134A	649 000	108 200	1 111 200	40 400	90 400	400	18 100

- Les dépenses d'entretien périodique qui incluent les remplacements d'équipements oscillent de 45 000 \$ à 63 000 \$.

**Tableau 22 : Valeur actuelle et annuités des coûts d'achat et d'exploitation sur 20 ans**

CAS	TYPE D'ASSEMBLAGE	RÉFRIGÉRANT	VALEUR ACTUELLE	ERREUR SUR LES TAUX "95% CERTITUDE"	ÉCART	ANNUITÉS
			\$	\$	%	\$/20 ans
A1	Monobloc	R717	1 631 000	±170 000	-44	109 700
A2	Sur place	R717	2 930 000	±184 000	0	196 900
A3	Sur place	R717	2 884 000	±199 000	-2	193 800
A4	Monobloc	R717	1 611 000	±168 000	-45	108 300
A5	Monobloc	R717	1 585 000	±162 000	-46	106 600
C1	Bibloc	R744	1 850 000	±149 000	-37	124 400
C2	Bibloc	R744	1 393 000	±152 000	-52	93 600
<b>H1</b>	<b>Sur place</b>	<b>HCFC-R22</b>	<b>2 374 000</b>	±305 000	<b>-19</b>	<b>159 600</b>
H2	Monobloc	HFC-R507A	1 980 000	±177 000	-32	133 100
H3	Modulaire	HFC-R410A	1 756 000	±196 000	-40	118 100
H4	Modulaire	HFC-R507A	2 063 000	±193 000	-30	138 700
H5	Monobloc	HFC-R134A	1 801 000	±174 000	-39	121 100

- Le cas C2 demeure le plus performant pour tous les cas. Aussitôt que le coût de la salle mécanique est inclus, les systèmes à l'ammoniac sont défavorisés et les systèmes aux HFC deviennent plus compétitifs;
- Les annuités calculées dans ce tableau représentent le paiement annuel pour rembourser l'emprunt pendant 20 ans qui couvre tous les coûts d'acquisitions, d'opération, d'entretien et de formation;
- Les cas A2 et A3 incluent les coûts d'une salle mécanique architecturale, les mesures d'atténuation et de sécurité minimales. Les mesures sont modulables selon la situation géographique, le type et la charge de réfrigérant, etc ;
- La colonne présentant l'erreur sur les taux affiche l'évolution de la valeur monétaire future des systèmes, en coût actualisé, si les taux présentés au Tableau 8 venaient à varier de façon positive ou négative.

**Tableau 23 : Sommaire des scénarios financiers sur les systèmes étudiés**

Cas	IDENTIFICATION		COÛT GLOBAL SUR 20 ANS SANS VALEURS RÉSIDUELLES						
	TYPE D'ASSEMBLAGE	RÉFRIGÉRANT	SCÉNARIO 1	SCÉNARIO 2	SCÉNARIO 3	SCÉNARIO 4	SCÉNARIO 5	SCÉNARIO 6	SCÉNARIO 7
			\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$
A1	Monobloc	R717	1 631 000	2 228 000	2 158 000	1 992 000	2 833 000	2 519 000	2 809 000
A2	Sur place	R717	2 930 000	3 761 000	3 456 000	2 930 000	3 761 000	3 456 000	3 746 000
A3	Sur place	R717	2 884 000	3 701 000	3 411 000	2 884 000	3 701 000	3 411 000	3 700 000
A4	Monobloc	R717	1 611 000	2 206 000	2 138 000	1 971 000	2 811 000	2 498 000	2 787 000
A5	Monobloc	R717	1 585 000	2 202 000	2 112 000	1 965 000	2 807 000	2 492 000	2 781 000
C1	Bibloc	R744	1 850 000	2 451 000	2 025 000	1 850 000	2 451 000	2 025 000	2 421 000
C2	Bibloc	R744	1 393 000	1 905 000	1 920 000	1 393 000	1 905 000	1 920 000	1 920 000
<b>H1</b>	<b>Sur place</b>	<b>HCFC-R22</b>	<b>2 374 000</b>	<b>2 374 000</b>	<b>2 901 000</b>	<b>2 374 000</b>	<b>2 374 000</b>	<b>2 901 000</b>	<b>2 901 000</b>
H2	Monobloc	HFC-R507A	1 980 000	2 083 000	2 507 000	1 980 000	2 083 000	2 507 000	2 507 000
H3	Modulaire	HFC-R410A	1 756 000	1 854 000	2 283 000	1 756 000	1 854 000	2 283 000	2 283 000
H4	Modulaire	HFC-R507A	2 063 000	2 151 000	2 590 000	2 063 000	2 151 000	2 590 000	2 590 000
H5	Monobloc	HFC-R134A	1 801 000	1 909 000	2 328 000	1 801 000	1 909 000	2 328 000	2 328 000

Les valeurs résiduelles des équipements et installations ne sont pas incluses dans ce tableau, voir le tableau 24 pour ces coûts.

- Scénario 1, scénario de référence avec subventions;
- Scénario 2, scénario de référence sans subvention;
- Scénario 3, scénario de référence avec réfection de la dalle de la patinoire pour tous les cas;
- Scénario 4, scénario de référence avec salle mécanique architecturale pour tous les systèmes à l'ammoniac;
- Scénario 5, scénario 2 avec salle mécanique architecturale pour tous les systèmes à l'ammoniac;
- Scénario 6, scénario de référence avec salle mécanique architecturale pour tous les systèmes à l'ammoniac et réfection de la dalle de la patinoire pour tous les cas;
- Scénario 7, scénario 6 avec les coûts d'un mécanicien de machines fixes (MMF).

**Tableau 24 : Sommaire valeurs résiduelles actualisées des scénarios financiers**

CAS	IDENTIFICATION		VALEURS RÉSIDUELLES POUR LE COÛT GLOBAL SUR 20 ANS						
	TYPE D'ASSEMBLAGE	RÉFRIGÉRANT	SCÉNARIO 1	SCÉNARIO 2	SCÉNARIO 3	SCÉNARIO 4	SCÉNARIO 5	SCÉNARIO 6	SCÉNARIO 7
			\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$
A1	Monobloc	R717	84 000	84 000	563 000	684 000	684 000	1 163 000	1 163 000
A2	Sur place	R717	718 000	718 000	1 197 000	718 000	718 000	1 197 000	1 197 000
A3	Sur place	R717	710 000	710 000	1 189 000	710 000	710 000	1 189 000	1 189 000
A4	Monobloc	R717	81 000	81 000	560 000	681 000	681 000	1 160 000	1 160 000
A5	Monobloc	R717	87 000	87 000	566 000	687 000	687 000	1 166 000	1 166 000
C1	Bibloc	R744	452 000	452 000	575 000	56 000	56 000	575 000	575 000
C2	Bibloc	R744	51 000	51 000	530 000	51 000	51 000	530 000	530 000
<b>H1</b>	<b>Sur place</b>	<b>HCFC-R22</b>	<b>4 000</b>	<b>4 000</b>	<b>483 000</b>	<b>4 000</b>	<b>4 000</b>	<b>483 000</b>	<b>483 000</b>
H2	Monobloc	HFC-R507A	3 000	3 000	482 000	3 000	3 000	482 000	482 000
H3	Modulaire	HFC-R410A	6 000	6 000	485 000	6 000	6 000	485 000	485 000
H4	Modulaire	HFC-R507A	2 000	2 000	481 000	2 000	2 000	481 000	481 000
H5	Monobloc	HFC-R134A	2 000	2 000	481 000	2 000	2 000	481 000	481 000

- Scénario 1, scénario de référence avec subventions;
- Scénario 2, scénario de référence sans subvention;
- Scénario 3, scénario de référence avec réfection de la dalle de la patinoire pour tous les cas;
- Scénario 4, scénario de référence avec salle mécanique architecturale pour tous les systèmes à l'ammoniac;
- Scénario 5, scénario 2 avec salle mécanique architecturale pour tous les systèmes à l'ammoniac;
- Scénario 6, scénario de référence avec salle mécanique architecturale pour tous les systèmes à l'ammoniac et réfection de la dalle de la patinoire pour tous les cas;
- Scénario 7, scénario 6 avec les coûts d'un mécanicien de machines fixes (MMF).

## 2.4 ANALYSE DES RISQUES EN FONCTION DU TYPE DE RÉFRIGÉRANT

Tous les types de réfrigérants utilisés dans les arénas comportent des risques pour la santé et/ou la sécurité. Qu'il s'agisse de la pression d'opération des systèmes, de la toxicité ou de l'inflammabilité des produits, il est essentiel que des analyses de risques soient réalisées dans tous les cas, pour déterminer les mesures de prévention et d'atténuation en cas d'accidents. Ces mesures sont souvent prévues dans les lois et règlements, mais elles peuvent également être recommandées par des experts en la matière.

C'est à cette fin que la firme experte JP Lacoursière inc. a préparé pour chacune des trois familles de réfrigérants, c.-à-d. l'ammoniac, le CO<sub>2</sub> et les HFC, un rapport d'étude comportant des recommandations concrètes en matière de risques.

Un sommaire des études est présenté dans cette section; les rapports complets de la firme peuvent également être consultés dans les annexes du présent document.

### L'AMMONIAC (R717)

Employé depuis plus de 130 ans comme frigorigène, l'ammoniac a été peu à peu supplanté par les chlorofluorocarbones (CFC), mais il reprend de l'importance depuis l'adoption du Protocole de Montréal et du Protocole de Kyoto qui visent le bannissement complet des HCFC au cours des dix prochaines années. Les systèmes à l'ammoniac reprennent leur place parce qu'ils sont efficaces et représentent une solution à long terme pour le développement durable du secteur des arénas. Des précautions particulières doivent cependant être prises pour en faire une utilisation sécuritaire.

Les installations de réfrigération à l'ammoniac sont sécuritaires lorsqu'elles sont bien conçues et lorsque la sécurité est assurée par un programme de sécurité opérationnelle. Ce dernier doit comporter les éléments appropriés pour ce type d'installation, dont l'information sur les installations, les études de dangers appropriées, l'intégrité mécanique, la gestion des changements, la gestion des sous-traitants, la formation des personnes assurant l'exploitation et l'entretien, les enquêtes suite à des incidents, les registres des accidents et des incidents, les plans d'urgence et les audits de conformité.

Les installations de réfrigération à l'ammoniac pour arénas doivent respecter toutes les clauses pertinentes du code de réfrigération mécanique B52 et les autres lois et règlements pertinents, notamment le Règlement sur la santé et la sécurité du travail (RRST). L'objectif de cette étude a été d'identifier les moyens de concevoir et d'exploiter des installations intrinsèquement plus sécuritaires que ce que le code de réfrigération à l'ammoniac prévoit, considérant que les arénas sont intégrés à leur milieu et qu'ils sont fréquentés par des populations vulnérables, dont des enfants.

Cette étude a identifié les **18** recommandations suivantes :

1	<p>Il est recommandé que le donneur d'ouvrage (c.-à-d. la municipalité) inscrive l'exigence que le concepteur de l'installation de réfrigération exécute une étude des risques du système de réfrigération à l'ammoniac et en fasse rapport au donneur d'ouvrage et aux autorités compétentes.</p>
2	<p>Il est recommandé de faire une modélisation des conséquences de libération d'ammoniac dans les cas suivants :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Charge d'ammoniac <math>\geq</math> à 137 kg (300 lb);</li> <li>▪ Riverains à distance &lt; 300 m ou édifices surplombant le local technique.</li> </ul> <p>La modélisation aura comme objectif d'identifier les mesures de prévention et d'intervention appropriées.</p> <p>Le logiciel de modélisation devra permettre une modélisation en plan vertical, au minimum le logiciel PHAST v 6.7 et ses versions postérieures de Det Norske Veritas (DNV). La méthodologie est décrite dans CRAIM 2007 (Conseil pour la réduction des risques d'accidents industriels majeurs). Les effets de sillage (<i>wake effects</i>) devront être pris en compte dans la modélisation.</p>
3	<p>Il est recommandé d'utiliser un ventilateur mécanique (extracteur) à sortie verticale vers le haut, à dilution interne et à haute vitesse de sortie (26 m/s) comme standard minimal pour la ventilation d'urgence de local technique de classe T.</p> <p>Prendre note que la présence d'édifices en hauteur surplombant le local technique de classe T à courte distance (&lt;300 m) pourrait requérir des mesures supplémentaires d'intervention dont un épurateur.</p>
4	<p>Il est recommandé d'utiliser un épurateur à l'aspiration du ventilateur lorsqu'il y a présence d'édifices en hauteur surplombant le local technique à courte distance (&lt; 300 m). Il est recommandé de confirmer par modélisation du comportement du panache la pertinence d'appliquer la recommandation.</p> <p>La modélisation aura comme objectif d'identifier les mesures de prévention et d'intervention appropriées. Le logiciel de modélisation devra permettre une modélisation en plan vertical, à minima le logiciel PHAST v 6.7 et ses versions postérieures de Det Norske Veritas (DNV). La méthodologie est décrite dans CRAIM 2007. Les effets de sillage (<i>wake effects</i>) devront être pris en compte dans la modélisation.</p>
5	<p>Il est recommandé de localiser le condenseur d'ammoniac à l'intérieur du local technique de classe T lorsqu'il y a présence de riverains (personnes présentes en permanence ou sporadiquement dans des habitations, des édifices, des infrastructures, c.-à-d. écoles, hôpitaux, centres commerciaux, ponts, passerelles, parcs, etc.) situés à une distance de moins de 300 m et d'utiliser un fluide caloporteur pour le refroidissement du condenseur avec refroidisseur de fluide à l'extérieur du local technique.</p> <p>Il est recommandé de confirmer par modélisation du comportement du panache la pertinence d'appliquer la recommandation.</p>

	La modélisation aura comme objectif d'identifier les mesures de prévention et d'intervention appropriées. Le logiciel de modélisation devra permettre une modélisation en plan vertical. Le minimum serait de recourir au logiciel PHAST v 6.7 et ses versions postérieures de Det Norske Veritas (DNV). La méthodologie est décrite dans CRAIM 2007. Les effets de sillage ( <i>wake effects</i> ) devront être pris en compte dans la modélisation.
<b>6</b>	Installer au moins deux détecteurs d'ammoniac par local technique de classe T et les positionner au plafond à proximité des endroits à probabilité élevée de fuite d'ammoniac, c.-à-d. compresseur, refroidisseur à plaques.
<b>7</b>	S'assurer que les contrôles des équipements ne puissent se réarmer automatiquement suite à un arrêt sur détection d'ammoniac à cause d'une programmation informatique inappropriée.
<b>8</b>	Considérer installer en redondance des détecteurs d'ammoniac à cellule chimique et à analyseur par infrarouge pour augmenter la fiabilité du système de détection en cas de concentration élevée d'ammoniac.
<b>9</b>	Il est recommandé d'installer un échangeur à plaques de titane ou d'un alliage capable de résister à la saumure, non soudées ou semi-soudées, pour l'application de refroidisseur de saumure. Les refroidisseurs à plaques semi-soudées sont plus sécuritaires et devraient être préférés.
<b>10</b>	Considérer installer selon le besoin un détecteur d'ammoniac à l'aspiration du système de ventilation de l'aréna afin d'arrêter cette ventilation sur détection d'ammoniac.
<b>11</b>	Considérer installer un circuit fermé pour le drainage de l'huile du circuit de réfrigération à l'ammoniac.
<b>12</b>	Considérer mettre en place les dispositifs pour arrêter les compresseurs et isoler par robinetterie solénoïde le système de réfrigération sur détection de concentrations d'ammoniac en excès de 250 ppm dans le local technique de classe T.
<b>13</b>	Installer un réservoir de neutralisation pour recevoir le refoulement des soupapes de décharge pour prévenir la libération d'ammoniac à partir de cette source.
<b>14</b>	S'assurer que l'aménagement du local technique de classe T est conforme à l'article 6.1.3 du code de réfrigération mécanique et qu'il offre un accès sécuritaire aux équipements et robinetterie aux fins de dépannage et d'intervention d'urgence.
<b>15</b>	S'assurer que la salle de commande et le poste de contrôle des moteurs soient situés dans une pièce hermétique séparée du local technique de classe T pour permettre la manœuvre des équipements à distance sans devoir s'exposer à l'ammoniac.
<b>16</b>	S'assurer que les équipements, robinetteries et contrôles soient identifiés en conformité avec l'article 5.11.3 du code de réfrigération mécanique B52-05, afin de faciliter le dépannage et l'intervention lors d'une urgence. De plus, ces identifications devraient être cohérentes avec les schémas d'écoulement et P&IDs des installations de réfrigération.

17	S'assurer qu'un programme holistique de sécurité opérationnelle soit mis en place, en y incluant les éléments d'information sur le procédé, étude de dangers, gestion des changements, intégrité mécanique, gestion des entrepreneurs, formation du personnel d'exploitation et de maintenance, plans d'urgence, enquête sur les incidents et registres des accidents, et incidents et vérification. Bien que les manufacturiers d'équipements fournissent un plan d'entretien pour la maintenance des composantes du système de réfrigération, leur plan cible surtout la durée de vie des équipements et non la sécurité civile. Ainsi, la réalisation d'une analyse de risques aboutirait à la création d'un plan d'entretien plus complet qui aurait comme conséquence de gérer non seulement la durée de vie de l'équipement, mais aussi d'augmenter la sécurité du système de réfrigération.
18	Développer un programme de formation sur la sécurité des systèmes de réfrigération sanctionné par l'Ordre des ingénieurs du Québec à être diffusé aux concepteurs de systèmes de réfrigération. Ce programme pourrait être élaboré et diffusé par une institution universitaire.

## LE CO<sub>2</sub> (R744)

Ces recommandations sont extraites de notre rapport intitulé « Étude technique de réfrigération des arénas au CO<sub>2</sub> dans le cadre du projet d'étude technico-commerciale de réfrigération au CO<sub>2</sub> dans les arénas ».

Les systèmes de réfrigération au CO<sub>2</sub> sont utilisés surtout dans les supermarchés où ils remplacent les CFCs et les HCFCs. Ils sont maintenant candidats pour les systèmes d'airs conditionnés des voitures. Une extension naturelle de ces applications est la réfrigération des arénas. Certains considèrent que le CO<sub>2</sub> représente une solution à long terme pour la réfrigération des arénas dans un concept de développement durable de ce secteur.

Le CO<sub>2</sub> n'est ni plus ni moins sécuritaire que les autres frigorigènes. Comme pour tous les autres frigorigènes, la clé pour un système sécuritaire est de concevoir, installer et opérer le système en ayant identifié et évalué tous les dangers ainsi que disposé de ceux-ci en utilisant un personnel bien formé pour concevoir et opérer le système de réfrigération.

Le danger principal avec le CO<sub>2</sub> est de générer des concentrations létales à l'intérieur d'espaces confinés.

Des simulations ont été faites de fuites de CO<sub>2</sub> dans l'enceinte de l'aréna suite au bris de tubes alimentant le frigorigène pour réfrigérer la dalle supportant la patinoire ainsi que des conduites alimentant les aérothermes servant au chauffage de l'enceinte.

La rupture d'un tube de 1/2" de CO<sub>2</sub> liquide au niveau du caniveau où sont situés les collecteurs de distribution et retour peut conduire à une accumulation de gaz en excès de 30 000 ppm dans les zones inférieures de l'aréna, dont les bancs des joueurs, la patinoire et les rangées inférieures de bancs de spectateurs. Près du point d'émission, le gaz est très lourd, 2,3 relativement à l'air, pour atteindre 1,5 après s'être réchauffé. Le gaz aura donc tendance à se stratifier dans les zones inférieures avant de se disperser.

La rupture d'une conduite de CO<sub>2</sub> chaud en provenance des compresseurs et alimentant les aérothermes pourraient conduire à une accumulation de CO<sub>2</sub> en excès de 30 000 ppm dans les zones inférieures de l'aréna. Le problème est cependant moins sévère que pour la rupture d'un tube de liquide.

L'ouverture d'une soupape de surpression servant à protéger les équipements produit un jet à très grande vitesse à une température de -76 °C qui pourrait causer des blessures ou des engelures graves aux personnes présentes dans les secteurs.

Les scénarios qui ont été simulés démontrent qu'il y a un potentiel de développer des concentrations de CO<sub>2</sub> potentiellement létales dans l'espace près de la glace (bancs de joueurs, sièges au niveau inférieur). Ce constat justifie que des mesures de prévention et d'intervention devront être mises en place pour assurer une opération sécuritaire d'une telle installation de réfrigération.

Après avoir pris en compte le comportement du CO<sub>2</sub> suite à une fuite de liquide ou de gaz, il peut être conclu que :

- La solution à sécurité intrinsèque consiste à confiner le CO<sub>2</sub> dans le local technique et à utiliser des fluides caloporteurs pour la réfrigération de la dalle de la patinoire et pour le chauffage de l'enceinte et des chambres de joueurs.

À défaut de confiner le CO<sub>2</sub> dans le local technique qui est la solution préférable au point de vue sécurité.

*Cette étude a identifié les **14** recommandations suivantes :*

<b>1</b>	Il est recommandé d'utiliser des tubes d'un diamètre plus petit que 1/2" pour la réfrigération de la dalle de la patinoire afin de limiter l'inventaire et le flux de CO <sub>2</sub> en cas de bris.
<b>2</b>	Il est recommandé d'utiliser un matériau plus robuste et résilient que le cuivre.
<b>3</b>	Il est recommandé de réduire le nombre de joints de tuyauterie.
<b>4</b>	Il est recommandé d'utiliser des procédures de soudage qui assurent une qualité constante.
<b>5</b>	Il est recommandé de prendre en compte les effets potentiels de séisme dans la conception du réseau de réfrigération.
<b>6</b>	Il est recommandé de Confiner les collecteurs de CO <sub>2</sub> liquide dans un caniveau avec couvert robuste et hermétique pouvant résister à la pression qui pourrait s'y développer, équipé de détecteurs de CO <sub>2</sub> avec alarme et d'un ventilateur de capacité adéquate dont la sortie est dirigée vers un endroit sécuritaire.
<b>7</b>	Il est recommandé de prévoir une ventilation de l'enceinte de l'aréna avec buses d'aspiration au niveau de parties inférieures de l'aréna.
<b>8</b>	Il est recommandé de positionner la sortie de la soupape de surpression à un endroit sécuritaire, clôturer l'endroit pour empêcher les personnes de se placer en position dangereuse.
<b>9</b>	Il est recommandé de s'assurer que la soupape de surpression est à distance sécuritaire des sorties de l'aréna et du local technique.

10	Il est recommandé de s'assurer que la tuyauterie est suffisamment ancrée pour résister à la force de réaction résultant de l'éjection CO <sub>2</sub> à très haute vitesse.
11	Il est recommandé de s'assurer que les espaces où du CO <sub>2</sub> est utilisé ou serait potentiellement présent doivent avoir des détecteurs de CO <sub>2</sub> avec alarmes pour déterminer les niveaux de CO <sub>2</sub> et de O <sub>2</sub> de sorte que les personnes présentes puissent être alertées et l'espace ventilé adéquatement.
12	Il est recommandé de faire une étude de risque lors de la conception d'un système de réfrigération au CO <sub>2</sub> pour bien cibler les enjeux et mettre en place un programme de sécurité opérationnelle pour gérer l'exploitation des installations.
14	<p>Mettre en place un programme de gestion de la sécurité opérationnelle qui comprend les éléments suivants :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ <b>Imputabilité.</b> Nommer une personne responsable des programmes de prévention et des plans d'urgence des installations de réfrigération au CO<sub>2</sub>;</li> <li>○ <b>Connaître le procédé :</b> Garder à jour la documentation des installations de réfrigération y incluant les plans et procédures;</li> <li>○ <b>Dangers du procédé :</b> Garder à jour la liste des dangers du procédé qui ont été répertoriés dans l'étude de risques;</li> <li>○ <b>Revue prédémarrage :</b> Faire des revues prédémarrage avant la mise en marche après des arrêts prolongés, des réparations ou des modifications aux installations;</li> <li>○ <b>Gestion des changements :</b> Établir une procédure de gestion des changements aux installations ou aux procédures, s'assurer que les pièces conformes sont utilisées pour la maintenance;</li> <li>○ <b>Gestion des entrepreneurs :</b> Établir une procédure de gestion des entrepreneurs œuvrant dans ces installations;</li> <li>○ <b>Intégrité mécanique :</b> Établir un programme pour conserver l'intégrité mécanique des équipements : maintenance préventive;</li> <li>○ <b>Procédures :</b> Élaborer les procédures critiques d'opération et de maintenance;</li> <li>○ <b>Formation :</b> Prodiguer la formation sur l'opération des équipements, la maintenance, le plan d'urgence;</li> <li>○ <b>Plan d'urgence :</b> Élaborer un plan d'urgence qui couvre les riverains, le personnel d'opération et les clients de l'aréna. Ce plan couvre la communication à fournir aux travailleurs, l'alerte, l'évacuation, le confinement, l'intervention;</li> <li>○ <b>Vérifications :</b> Faire des vérifications de conformité de ce programme selon une fréquence préétablie.</li> </ul>
15	Développer un programme de formation sur la sécurité des systèmes de réfrigération sanctionné par l'Ordre des ingénieurs du Québec à être diffusé aux concepteurs de systèmes de réfrigération. Ce programme pourrait être élaboré et diffusé par une institution universitaire.

## LES HALOCARBURES (HCFC-R22, HFC-R507A, HFC-R410A, HFC-R134A)

Ces recommandations sont extraites de notre rapport intitulé « Guide sur la gestion des risques à l'intention des concepteurs des systèmes frigorifiques d'arénas utilisant les halocarbures comme frigorigènes ».

Les chlorofluorocarbures (CFCs) ont été utilisés comme frigorigènes depuis les années 1930. Les hydrochlorofluorocarbures (HCFCs) et les hydrofluorocarbures (HFC) ont été introduits plus tard comme frigorigène. Les CFCs et HCFCs sont en partie responsables de la destruction de la couche d'ozone. Le Protocole de Montréal vise le bannissement complet des CFCs et des HCFCs dont le R-22 fait partie. Les HFCs, qui ont été développés pour remplacer les CFC et HCFC, ne détruisent pas la couche d'ozone, mais ceux-ci sont reconnus comme de puissants gaz à effet de serre.

Les systèmes de réfrigération au HFCs représentent cependant une alternative pour la réfrigération des arénas lorsque l'ammoniac [NH<sub>3</sub> (R717)] ou le dioxyde de carbone [CO<sub>2</sub> (R744)] présentent des risques inacceptables pour les riverains ou les usagers des arénas et que les coûts des mesures de prévention et d'atténuation sont jugés inacceptables.

Les mêmes principes de sécurité qui s'appliquent aux systèmes de réfrigération qui utilisent les autres réfrigérants s'appliquent au HFCs.

*Cette étude a identifié les **11** recommandations suivantes ;*

<b>1</b>	Il est recommandé d'éviter les chocs hydrauliques.
<b>2</b>	Il est recommandé d'empêcher les liquides d'atteindre le compresseur.
<b>3</b>	Il est recommandé d'inclure des soupapes de sûreté (soupapes de surpression) pour libérer les pressions trop élevées.
<b>4</b>	Il est recommandé de prévenir les vibrations excessives.
<b>5</b>	Il est recommandé de supporter les équipements et tuyauteries indépendamment.
<b>6</b>	Il est recommandé de prendre en compte les températures très basses et les pressions très élevées dans le choix des matériaux de construction.
<b>7</b>	Il est recommandé de dimensionner les conduites (longueur et diamètre) pour assurer le transport de l'huile de lubrification sans perte de pression excessive qui occasionnerait des pertes d'efficacité du système de réfrigération.
<b>8</b>	Il est recommandé de mettre en place un programme de maintenance dont une maintenance préventive pour les équipements critiques.
<b>9</b>	Il est recommandé de mettre en place un plan d'intervention d'urgence avec un personnel formé et le garder fonctionnel.

10	Il est recommandé de faire une étude de risques lors de la conception d'un système de réfrigération aux HFCs pour bien cibler les enjeux et mettre en place un programme de sécurité opérationnelle pour gérer l'exploitation des installations.
11	<p>Mettre en place un programme de gestion de la sécurité opérationnelle qui comprend les éléments suivants :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>Imputabilité</b> : nommer une personne responsable des programmes de prévention et des plans d'urgence des installations de réfrigération;</li> <li>▪ <b>Connaître le procédé</b> : garder à jour la documentation des installations de réfrigération y incluant les plans et procédures;</li> <li>▪ <b>Dangers du procédé</b> : garder à jour la liste des dangers du procédé qui ont été répertoriés dans l'étude de risques;</li> <li>▪ <b>Revue de prédémarrage</b> : faire des revues de prédémarrage avant la mise en marche après des arrêts prolongés, des réparations ou des modifications aux installations;</li> <li>▪ <b>Gestions des changements</b> : établir une procédure de gestion des changements aux installations ou aux procédures, s'assurer que les pièces conformes sont utilisées pour la maintenance;</li> <li>▪ <b>Gestion des entrepreneurs</b> : établir une procédure de gestion des entrepreneurs œuvrant dans ces installations;</li> <li>▪ <b>Intégrité mécanique</b> : établir un programme pour conserver l'intégrité mécanique des équipements : maintenance préventive;</li> <li>▪ <b>Procédures</b> : élaborer les procédures critiques d'opération et de maintenance;</li> <li>▪ <b>Formation</b> : Prodiguer la formation sur l'opération des équipements, la maintenance, le plan d'urgence;</li> <li>▪ <b>Plan d'urgence</b> : élaborer un plan d'urgence qui couvre les riverains, le personnel d'opération et les clients de l'aréna. Ce plan couvre la communication à fournir aux travailleurs, l'alerte, l'évacuation, le confinement, l'intervention;</li> <li>▪ <b>Vérifications</b> : faire des vérifications de conformité de ce programme selon une fréquence préétablie.</li> </ul>

## 2.5 ANALYSE DES RÉSULTATS DE L'ÉTUDE

### CONDITIONS GAGNANTES POUR LA RÉUSSITE D'UNE RÉNOVATION MAJEURE DU SYSTÈME FRIGORIFIQUE

Les recherches et les expertises qui ont présidé à la réalisation de cette étude ont permis de dégager un ensemble de recommandations qui vise à mieux garantir le succès d'une rénovation majeure.

*Ces recommandations ont été structurées en suivant les principales étapes de réalisation :*

## Planification

- Faire réaliser des études complètes et détaillées intégrant réfrigération et récupération de chaleur. Le rapport actuel démontre qu'il existe plusieurs types de systèmes de réfrigération pouvant convenir à un aréna spécifique, alors que la solution la plus avantageuse n'est pas nécessairement évidente au départ. Compte tenu de l'espérance de vie d'un système de réfrigération (20 à 30 ans généralement), une démarche rigoureuse au départ peut apporter des bénéfices pendant de nombreuses années. À cette fin, les termes de références pour ces études doivent comporter une portée des travaux précise et complète. CanmetÉNERGIE a développé de tels documents dans le cadre du programme OPTER (optimisation en réfrigération) du BEIE. Ils peuvent être obtenus auprès de cet organisme.
- Prévoir une étude de gestion de risques réalisée par un expert et adaptée à chaque concept. Elle fera état des coûts d'immobilisation nécessaires pour assurer non seulement la conformité de l'installation aux lois et règlements, mais aussi pour apporter la plus grande assurance de fiabilité par l'implantation des meilleures pratiques en cette matière.

## Étude de faisabilité

- Commander des études financières complètes en adoptant l'approche du coût global d'achat et d'exploitation sur une période d'au moins 15 ans ou encore de 20 ans, comme il fut choisi dans le rapport actuel;
- Utiliser, au besoin, les rubriques développées dans les présentes annexes comme aide-mémoire, pour assurer une évaluation complète des coûts;
- Tenir compte des équipements et travaux requis pour l'implantation des recommandations de l'étude de gestion des risques.

## Conception

- L'étape de conception est déterminante pour assurer la performance, la fiabilité et la sécurité d'un système réfrigération. À cette fin, il est fortement recommandé de recourir à des concepteurs spécialisés et reconnus en réfrigération, de même qu'à des experts en chauffage et en gestion de risques;
- Les solutions intégrées de chauffage et de réfrigération sont devenues incontournables pour garantir des coûts d'énergie moindres à long terme et minimiser les émissions de gaz à effet de serre;
- Les systèmes comportant les plus petites quantités de réfrigérant seront favorisés pour minimiser les dangers en cas de fuite et réduire les impacts environnementaux;
- Les autres mesures préventives destinées à minimiser les risques et celles visant à atténuer les dangers en cas d'accident seront exigées dès la conception en conformité avec les études de gestion de risques réalisées à l'étape de planification.

## Réalisation

- La surveillance des travaux est cruciale pour assurer une installation de qualité, une mise en marche rapide et un fonctionnement efficace à long terme. Les gestionnaires de plusieurs arénas, après avoir investi des sommes d'argent considérables, furent déçus de la performance et de la fiabilité de leurs systèmes de réfrigération causée par supervision insuffisante lors des travaux d'installation.

## Mise en service

- En matière de réfrigération, l'importance des travaux de mise en service et de « commissioning » n'est plus à démontrer. Prévoir confier ce travail à des spécialistes certifiés;
- Assurer la formation du gestionnaire d'aréna et du personnel d'entretien pour mieux garantir une compréhension et une surveillance minimale des installations. Cet aspect de formation revêt une importance particulière lorsque l'ammoniac ou le CO<sub>2</sub> sera choisi comme réfrigérant. Opérations courantes.
- L'importance de mettre en place des programmes d'entretien préventif dès la mise en route des systèmes devient la meilleure garantie contre les pannes et les risques associés à des systèmes sous pression;
- La formation continue du personnel d'exploitation favorise le rafraîchissement périodique des connaissances et des habiletés tout en assurant leur mise à jour en fonction de l'évolution technologique entourant les systèmes de réfrigération.

## 2.6 FOURNISSEURS POTENTIELS

### SYSTÈMES DE RÉFRIGÉRATION

Le **Tableau 25** comporte le nom d'entreprises qui ont participé au financement de cette étude et qui ont été répertoriées avec l'aide de gestionnaires d'aréna.

**Tableau 25 : Principaux fournisseurs de systèmes frigorifiques pour les aréna**

FABRICATION, ASSEMBLAGE, INSTALLATION ET SERVICES		AMMONIAC	CO <sub>2</sub>	HFC
Carnot Réfrigération	Trois-Rivières (QC) <a href="http://www.carnotrefrigeration.com">http://www.carnotrefrigeration.com</a>	◆	◆	
Cimco Réfrigération	18 centres de services au Canada <a href="http://www.cimcorefrigeration.com">http://www.cimcorefrigeration.com</a>	◆	◆	◆
Fixair Inc	Laval (Qc), Darmouth (NE), Québec (QC) <a href="http://www.fixair.qc.ca">http://www.fixair.qc.ca</a>	◆		◆
Kube Solutions	Darmouth (NE) <a href="http://thekubesolutions.com">http://thekubesolutions.com</a>			◆
Mayekawa	Vancouver (C-B), Toronto (ON), Calgary (AB) <a href="http://www.mycomcanada.com">http://www.mycomcanada.com</a>	◆	◆	◆
Trane	Montréal (QC), Québec (QC), Chicoutimi (QC) <a href="http://www.trane.com">http://www.trane.com</a>			◆

## FORMATION EN RÉFRIGÉRATION

Le **Tableau 26** fournit une liste préliminaire des entreprises offrant des sessions de formation destinées à des gestionnaires d'aré纳斯, des ouvriers d'entretien et des mécaniciens de machines fixes ou des frigoristes. Selon les établissements de formation, les cours sont diffusés dans des maisons d'enseignement ou sur les lieux de travail. Le contenu, la durée et les coûts de formations doivent être obtenus directement auprès des entreprises identifiées.

**Tableau 26 : Organismes et entreprises offrant des formations en réfrigération**

ORGANISMES ET ENTREPRISES	SITE WEB	FORMATIONS EN RÉFRIGÉRATION
AQLP Association québécoise du loisir public (diffuse le programme de formation de l'AQAIRS)	<a href="http://www.aqairs.ca">http://www.aqairs.ca</a>	Formation en région
Commission scolaire Marguerite-Bourgeois École Dalbé-Viau	<a href="http://www2.csmb.qc.ca">http://www2.csmb.qc.ca</a>	Formation en milieu scolaire
Comenco Services aux immeubles inc.	<a href="http://www.comenco.ca">www.comenco.ca</a>	Formation in situ
CFPCPC Centre de formation continue des professionnels de la construction	<a href="http://www.cfcpc.ca">www.cfcpc.ca</a>	Formation en salle
André Delisle Expert-conseil en réfrigération	<a href="mailto:andel53@videotron.ca">andel53@videotron.ca</a>	Formation in situ



# CONCLUSIONS

Cette étude présente un nombre important de données et d'informations utiles aux propriétaires d'aréas qui planifient la réfection d'un système de réfrigération. Douze systèmes sont comparés sur le plan de la performance, des coûts d'achat et d'exploitation sur 20 ans. Les risques pour la santé et la sécurité des occupants et du voisinage sont aussi considérés pour les trois familles de réfrigérant étudiées : l'ammoniac, le CO<sub>2</sub> et les réfrigérants de synthèse soit HFC/HCFC.

L'aréa de référence qui sert à évaluer les 12 options se veut le plus représentatif possible du parc des 425 aréas au Québec. Il comporte :

- Une glace unique utilisée 9 mois/an – ouverture quotidienne de 6 à 24 heures;
- Des gradins de 300 à 500 places;
- Un système de réfrigération au R22 avec 6 compresseurs de 30 HP;
- Une boucle secondaire à la saumure avec une pompe de 25 HP;
- Un désurchauffeur pour chauffer l'eau de surfacage et des douches par récupération d'énergie;
- Les consommations dues à la déshumidification et à l'éclairage ne sont pas prises en compte dans l'étude.

Les résultats de l'étude se regroupent en cinq catégories :

1. **Les résultats techniques** : ils concernent la performance des systèmes frigorifiques en matière de COP (coefficient de performance) pour la réfrigération, le chauffage ainsi que le combiné réfrigération et chauffage. De plus, les consommations annuelles d'énergie de chaque système ont été calculées en ayant recours à des logiciels de simulation énergétique;

## PRINCIPALES CONCLUSIONS

---

- a. Les systèmes au CO<sub>2</sub> affichent les meilleurs COP combinés (3,9) suivis des systèmes à l'ammoniac (3,0 en moyenne), des systèmes aux HFC (2,6 en moyenne) et enfin du système au R22 (1,6);
- b. La consommation d'énergie totale la plus faible appartient aux systèmes au CO<sub>2</sub> avec 393 MWh/an en moyenne versus 525 MWh/an (+34 %) en moyenne pour l'ammoniac et 611 MWh/an (+55 %) pour les HFC. Le système au R22 consomme 1 020 MWh/an (+160 %).
- c. L'appel maximum de puissance électrique varie d'environ 10 % entre tous les systèmes (194 kW en moyenne) à l'exception du système au R22 dont l'appel de puissance atteint 381 kW (+96 %).

2. **Les résultats financiers** : ils présentent l'ensemble des coûts d'acquisition et d'exploitation sur 20 ans. Les incitatifs financiers et autres contributions sont pris en compte. Des analyses de sensibilité permettent d'observer les variations dans les résultats occasionnés par des changements dans les critères d'analyse tels le taux d'inflation dans les prix de l'énergie;

#### PRINCIPALES CONCLUSIONS

---

- a. Au plan des investissements, conserver un système au R22 est l'option la moins chère (82 000 \$). Son remplacement par un système à l'ammoniac exigera un investissement net, une fois les subventions déduites, d'environ 325 000 \$. Au CO<sub>2</sub>, l'investissement varie de 207 000 \$ pour une boucle secondaire inchangée à 685 000 \$ avec un circuit de CO<sub>2</sub> sous la glace neuf installé dans une surdalle;
- b. Pour les municipalités de Québec et de Montréal, les coûts d'investissements sont considérablement plus élevés, c.-à-d. supérieurs à 1 million \$. Ceci est attribuable au concept du système de réfrigération assemblé sur place, à la salle mécanique classe T architecturale et aux équipements pour assurer les mesures supplémentaires de sécurité;
- c. Les coûts d'exploitation incluent l'énergie, l'entretien annuel, les entretiens et réparations périodiques de même que la formation. Ils sont cumulés sur 20 ans et rapportés en coûts actualisés. Les systèmes avec les réfrigérants HFC sont ceux qui coûtent moins cher à entretenir avec une dépense moyenne de 194 000 \$. Parmi ceux-ci, le système utilisant le réfrigérant R134a affiche même un coût de 90 000 \$. Les systèmes à l'ammoniac et au CO<sub>2</sub> affichent des coûts légèrement plus élevés, soit 275 000 \$ en moyenne. Le système au CO<sub>2</sub> avec boucle secondaire à la saumure présente le coût le plus bas à 253 000 \$;
- d. Le coût global d'acquisition et d'exploitation sur 20 ans indique pour tous les systèmes, sauf ceux des grandes villes, une moyenne de 1 740 000 \$ avec des écarts inférieurs à 250 000 \$. À l'exception des systèmes à l'ammoniac des grandes villes, conserver le système existant au R22 s'avère l'option la plus coûteuse soit 2 374 000 \$, donc remplacer le système existant au R-22 est en soi une bonne décision;
- e. À l'exception des systèmes des grandes villes, sur la base de l'annuité correspondante à la valeur actuelle, l'ensemble des coûts exigera un déboursé moyen de 117 000 \$/an en moyenne avec des écarts de ±22 000 \$/an selon les options et les types de réfrigérants. Le système au R22 coûtera pour sa part 160 000 \$/an.
3. **Les impacts environnementaux** : les émissions de gaz à effet de serre (GES) sont calculées en fonction des pertes de réfrigérant et des émissions liées à la consommation d'électricité;

#### PRINCIPALES CONCLUSIONS

---

- a. Les réfrigérants de synthèse étant tous de puissants gaz à effet de serre, il n'est pas étonnant qu'ils aient le plus grand impact en cette matière. Les deux principales recommandations en ce qui les concernent sont d'abord de limiter la charge de réfrigérant dans le système et aussi d'avoir les assemblages les mieux contrôlés pour réduire les risques de fuites par la suite. Dans cette perspective, les assemblages monobloc sont favorisés;

- b. Les systèmes à l'ammoniac et au CO<sub>2</sub> ont les plus petites émissions de GES avec en moyenne 1 000 kg sur les 20 ans d'exploitation.
4. **Les risques pour la santé et la sécurité** : les incidents les plus à risque de survenir durant l'exploitation d'un système de réfrigération sont analysés et des mesures de prévention et d'atténuation sont proposées pour assurer la sécurité des occupants de l'aréna de même que du voisinage.

#### PRINCIPALES CONCLUSIONS

---

- a. Les systèmes à l'ammoniac sont ceux qui nécessitent le plus d'attention en raison de la toxicité de la substance. Dans le but de bien cerner ces risques et de connaître les mesures préventives et d'atténuation, une analyse formelle de gestion de risques, conforme aux règles de l'art est recommandée dans tous les cas;
- b. Lorsque des immeubles plus élevés que l'aréna sont à moins de 300 mètres, des équipements d'absorption des émissions d'ammoniac sont recommandés;
- c. Les systèmes au CO<sub>2</sub> comportent également une part importante de risques surtout lorsque le CO<sub>2</sub> est présent dans l'enceinte. Advenant une fuite et en raison de la pression élevée et de la température froide du gaz, celui-ci reste au sol et déplace l'air ambiant. Les occupants risquent donc l'asphyxie. Pour cette raison, une analyse formelle de gestion de risques est également recommandée avec l'usage de ce réfrigérant;
- d. Les réfrigérants de synthèse sont ceux qui présentent les moindres dangers sans pour autant qu'ils ne soient nuls ou sans importance. Même si leur usage est mieux connu au Québec, les mesures préventives et d'atténuation doivent néanmoins être respectées rigoureusement.



# COLLABORATEURS À LA RÉALISATION DE CETTE ÉTUDE

## RÉALISATION

CanmetÉNERGIE-Varenes, Ressources naturelles Canada

- André Chalifour, ing., Gestionnaire de projet;
- Daniel Giguère, ing., Expert en réfrigération et pompes à chaleur;
- Ethel Mayrena Zelaya, ing., Chef de projet;
- Philippe Simard, M.Sc.A., Expert en modélisation;
- Sylvie Lavoie, Secrétariat;
- Josée Ottavi, Graphiste conception Web;
- Joanie Frigon, Mise en page;
- Amy-Lou Lafontaine, Traduction;
- Guillaume Corbeil-Archambault, Correction et balisage;
- Martin Kegel, M.Sc.A., ingénieur de recherche.

## COLLABORATEURS EXTERNES

- Dave Bouchard, ing., Représentant technique - Systèmes CVAC, Trane Québec;
- David Gauvin, ing., Représentant technique - Systèmes CVAC-R, Trane Québec;
- Benoit Rodier, ing., Directeur, Développement des affaires, CIMCO Refrigeration, Québec;
- Sebastien Castonguay, Directeur général – Province du Québec, CIMCO Refrigeration, Québec;
- Serge Dubé, Président, Technologies SMARTREF Inc., Québec;
- Marc-André Lesmerises, ing., Président, Carnot Réfrigération, Québec;
- Jonathan Ayotte, B. ing., Représentant technique, Carnot Réfrigération, Québec;
- Len Puchaz, Responsable des ventes, Mayekawa Canada Inc, Ontario;
- Quinn Vo, ing., Ingénieur corporatif, Mayekawa Canada Inc, Ontario;
- Jason Pillipow, ing., Directeur de l'ingénierie, Kube Solutions, Winnipeg;
- Marc Gosselin, ing., Président, Fixair Inc., Québec;
- Fabrice Springhetti, Gérant de projet, Fixair Inc., Québec;
- Ronald Beaulne, Bitzer Canada Inc., Québec;
- Alain Gadbois, ing., Division de la gestion de projets et de la construction, Ville de Québec;
- Jean Walsh, ing., Chef de division par intérim, Direction des transactions et stratégies immobilières, Ville de Montréal

- Costas Labos, ing., Direction des stratégies et transactions immobilière, Ville de Montréal
- Claude Dumas, ing., Expert – Systèmes de réfrigération dans les arénas, Direction des stratégies et transactions immobilières, Ville de Montréal;
- Bertrand Plante, ing., Chef de section développement et soutien technique, Ville de Montréal;
- Mario Piché, Directeur général, Sportium de Val-des-Monts, Québec;
- Eric Lachance, Maire, Municipalité de St-Gédéon-de-Beauce, Québec;
- Gilles Beaudouin, Chef de division Bâtiments, Ville de Laval, Québec;
- Yvan Grégoire, ing., Chargé de projet, service des bâtiments, Ville de Longueuil, Québec;
- Alain Boutin, Chef de section entretien des bâtiments, Ville de Sherbrooke, Québec;
- Doris-Gilles Lafleur, Conseiller, Bureau de la sécurité civile, Québec;
- Sany Maltais, Conseillère en gestion des risques, Ministère de la Sécurité publique, Québec;
- Stéphanie Lacoursière, ing., Expert en analyse de risque, JP Lacoursière Inc., Québec;
- Jean-Paul Lacoursière, ing., Expert en analyse de risque, JP Lacoursière Inc., Québec;
- Jérémie Couture, Analyste, Ministère de l'éducation et des loisirs, Québec;
- Samira Hélène Sammoun, ing., Hydro-Québec Distribution, Québec;
- Luc Simard, ing., Génivar, Québec;
- Kateri Héon, ing., Les services EXP Inc, Montréal;
- Marie-Ève Lacroix, Conseillère en développement industriel, Ministère des Finances et de l'Économie;
- Gilles Auger, ing., Conseiller, Programmes d'efficacité énergétique, AQAIRS;
- Michel Fournier, ing., Ingénieur de projet, secteurs institutionnels et municipaux, BEIE.

## ANNEXES

Annexe 1 :  
Schémas des 12 systèmes étudiés et description du fonctionnement

Annexe 2 :  
Sommaire des garanties des systèmes étudiés

Annexe 3 :  
Résultats énergétiques pour un aréna de 12 mois

Annexe 4 :  
Rapport synthèse sur les risques associés à l'utilisation de l'ammoniac dans les arénas

Annexe 5 :  
Étude technique de réfrigération des arénas au CO<sub>2</sub> technique de réfrigération des arénas au CO<sub>2</sub>

Annexe 6 :  
Guide de gestion des risques pour système de réfrigération aux halocarbures pour arénas



ANNEXE 1 : SCHÉMAS DES 12 SYSTÈMES ÉTUDIÉS ET  
DESCRIPTION DU FONCTIONNEMENT

# SYSTÈME A1 : SYSTÈME OUVERT MONOBLOC À ACCUMULATEUR D'ÉNERGIE STRATIFIÉ

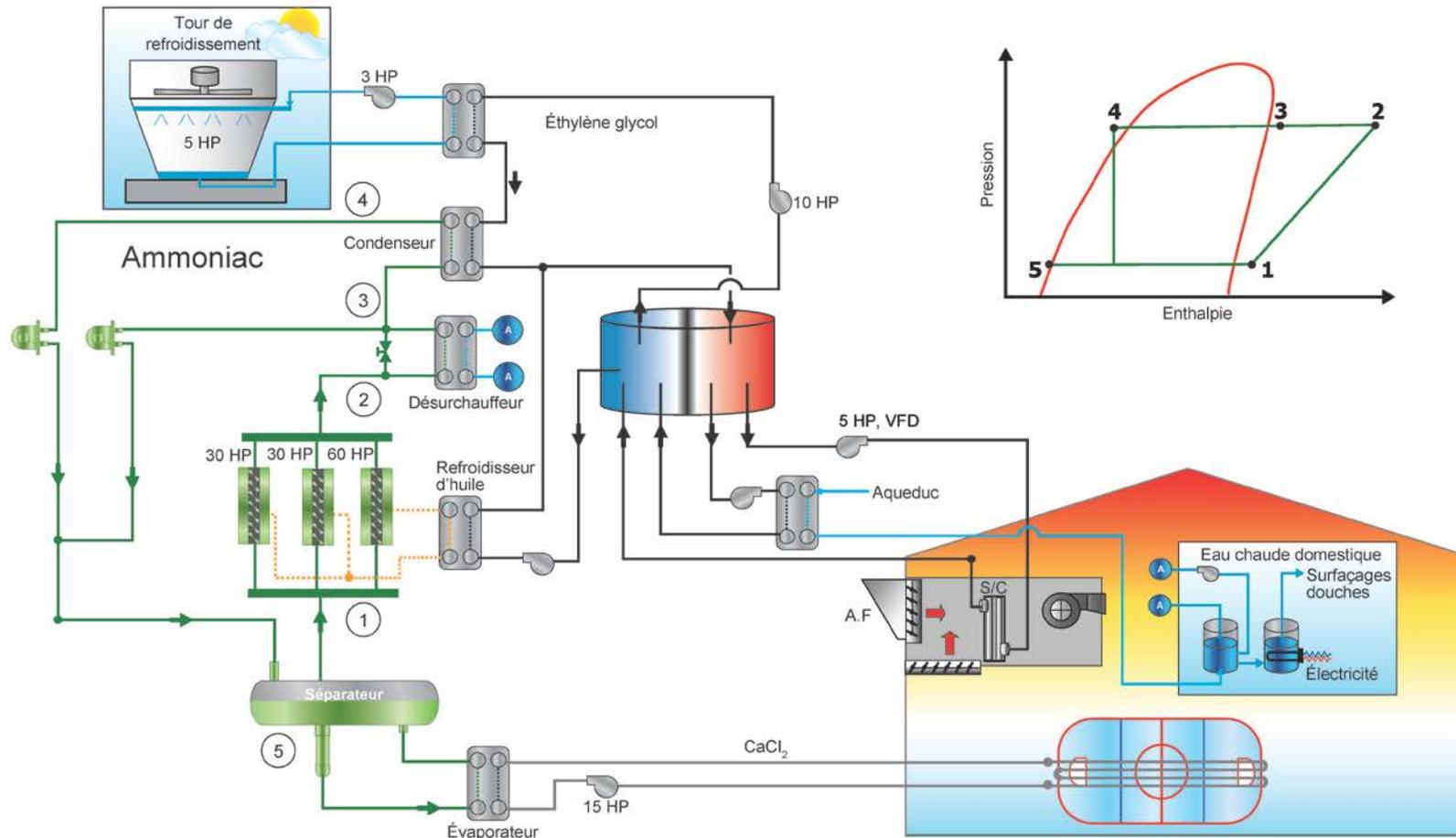
## DESCRIPTION DU SYSTÈME

- Système de réfrigération à l'ammoniac, compresseurs à vis de type ouvert, monobloc, assemblé en usine, sur base d'acier;
- Opération sans réservoir de réfrigérant à la sortie du condenseur (45 kg ou 0,3 kg/tonne de réfrigération), système confiné à la salle mécanique;
- Évaporateur de type plaques et calandre en titane;
- Augmentation de l'efficacité du système de réfrigération grâce à une température de condensation de 13,5 °C lorsque le climat le permet;
- Accumulateur d'énergie stratifié permettant d'optimiser la pression d'opération du système de réfrigération, de stabiliser les demandes d'énergie (chaud et froid) et de prioriser les besoins de chauffage;
- Récupération complète des rejets de chaleur du système : la désurchauffe au refoulement des compresseurs, le refroidissement de l'huile des compresseurs et la chaleur de condensation du système;
- Système de pompage modulé en fonction des besoins de chauffage à combler;
- Récupération et gestion de l'huile du système réalisée de façon automatisée;
- Tour d'eau à écoulement d'air induit direct et à contre-courant qui rejette le surplus de chaleur du système de réfrigération à l'extérieur;
- Salle mécanique classe T préfabriquée est installée en annexe du bâtiment.

Performance		Consommation énergétique annuelle (kWh)		Appel de puissance * (kW)
COP réfrigération	2,36	Réfrigération	407 038	180
COP chauffage	7,63	Chauffage	77 088	
<b>COP combiné</b>	<b>3,20</b>	<b>Total</b>	<b>484 186</b>	

\*Note : Appel de puissance le plus élevé obtenu lors de la modélisation du système sur une période de 9 mois.

## SYSTÈME A1 : SYSTÈME OUVERT MONOBLOC À ACCUMULATEUR D'ÉNERGIE STRATIFIÉ



Ressources naturelles  
Canada

Natural Resources  
Canada

Canada

## SYSTÈME A2 : SYSTÈME OUVERT ASSEMBLÉ AVEC POMPE À CHALEUR, CONCEPT VILLE DE MONTRÉAL

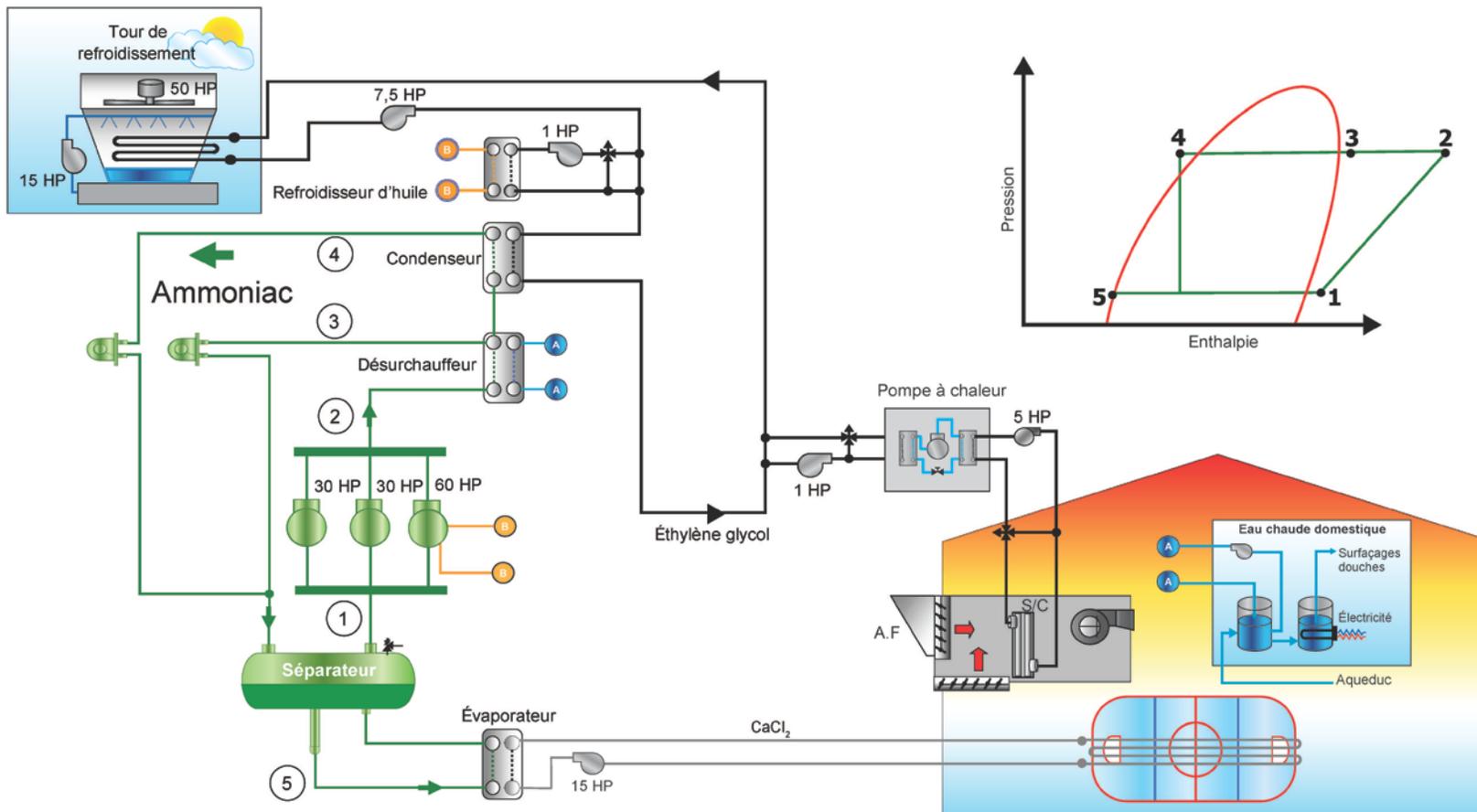
### DESCRIPTION DU SYSTÈME

- Système de réfrigération à l'ammoniac, compresseurs à pistons de type ouvert, assemblé sur site, sur base de béton;
- Opération sans réservoir de réfrigérant (114 kg ou 1,6 kg/tonne de réfrigération), système confiné dans la salle mécanique;
- Évaporateur de type échangeur à plaques en titane;
- Augmentation de l'efficacité du système de réfrigération grâce une température de condensation de 26 °C en période de récupération de chaleur et lorsque le climat le permet;
- Pompe à chaleur qui valorise la chaleur totale rejetée par le système pour combler les besoins de chauffage de l'air;
- Récupération complète des rejets de chaleur du système : la désurchauffe au refoulement des compresseurs, le refroidissement de l'huile des compresseurs et la chaleur de condensation du système;
- Tour d'eau à écoulement d'air induit indirecte et à contre-courant qui rejette le surplus de chaleur du système de réfrigération à l'extérieur;
- Salle de mécanique classe T architecturale intégrée au bâtiment;
- Récupération et gestion de l'huile du système en circuit fermé.

Performance		Consommation énergétique annuelle (kWh)		Appel de puissance * (kW)
COP réfrigération	2,50	Réfrigération	383 354	198
COP chauffage	3,70	Chauffage	158 953	
<b>COP combiné</b>	<b>2,85</b>	<b>Total</b>	<b>542 308</b>	

\*Note : Appel de puissance le plus élevé obtenu lors de la modélisation du système sur une période de 9 mois.

## SYSTÈME A2 : SYSTÈME OUVERT ASSEMBLÉ AVEC POMPE À CHALEUR, CONCEPT VILLE DE MONTRÉAL



## SYSTÈME A3 : SYSTÈME OUVERT ASSEMBLÉ AVEC POMPE À CHALEUR, CONCEPT VILLE DE QUÉBEC

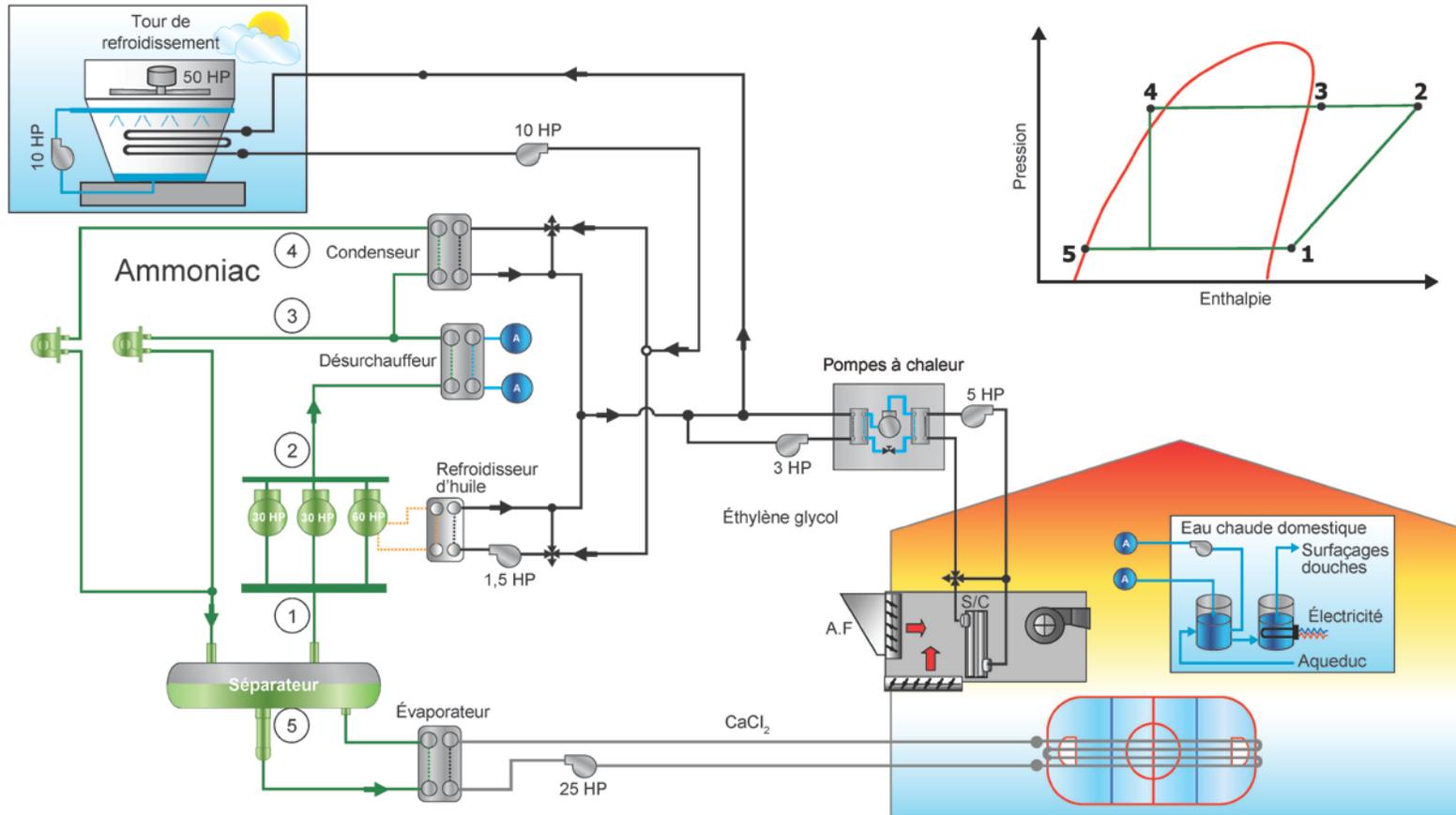
### DESCRIPTION DU SYSTÈME

- Système de réfrigération à l'ammoniac, compresseurs à pistons de type ouvert, assemblé sur site, sur base de béton;
- Opération sans réservoir de réfrigérant (273 kg ou 3,6 kg/tonne de réfrigération), système confiné dans la salle mécanique;
- Évaporateur de type échangeur à plaques en acier inoxydable 254, alliage d'acier inoxydable austénitique résistant à la corrosion par les chlorures (corrosion fissurant sous tension, piqûres et à la corrosion de joints);
- Augmentation de l'efficacité du système de réfrigération grâce à une température de condensation d'environ 29 °C lorsque le climat le permet;
- Pompe à chaleur qui valorise la chaleur rejetée par le système pour combler les besoins de chauffage de l'air;
- Récupération complète des rejets de chaleur du système : la désurchauffe au refoulement des compresseurs, le refroidissement de l'huile des compresseurs et la chaleur de condensation du système;
- Tour d'eau à écoulement d'air induit indirect et à contre-courant qui rejette le surplus de chaleur du système de réfrigération à l'extérieur;
- Salle de mécanique classe T architecturale intégrée au bâtiment.

Performance		Consommation énergétique annuelle (kWh)		Appel de puissance * (kW)
COP réfrigération	2,22	Réfrigération	453 590	210
COP chauffage	3,20	Chauffage	183 555	
<b>COP combiné</b>	<b>2,51</b>	<b>Total</b>	<b>637 145</b>	

\*Note : Appel de puissance le plus élevé obtenu lors de la modélisation du système sur une période de 9 mois.

## SYSTÈME A3 : SYSTÈME OUVERT ASSEMBLÉ AVEC POMPE À CHALEUR, CONCEPT VILLE DE QUÉBEC



Ressources naturelles  
Canada

Natural Resources  
Canada

Canada

## SYSTÈME A4 : SYSTÈME OUVERT MONOBLOC AVEC PORT ÉCONOMISEUR SUR LES COMPRESSEURS

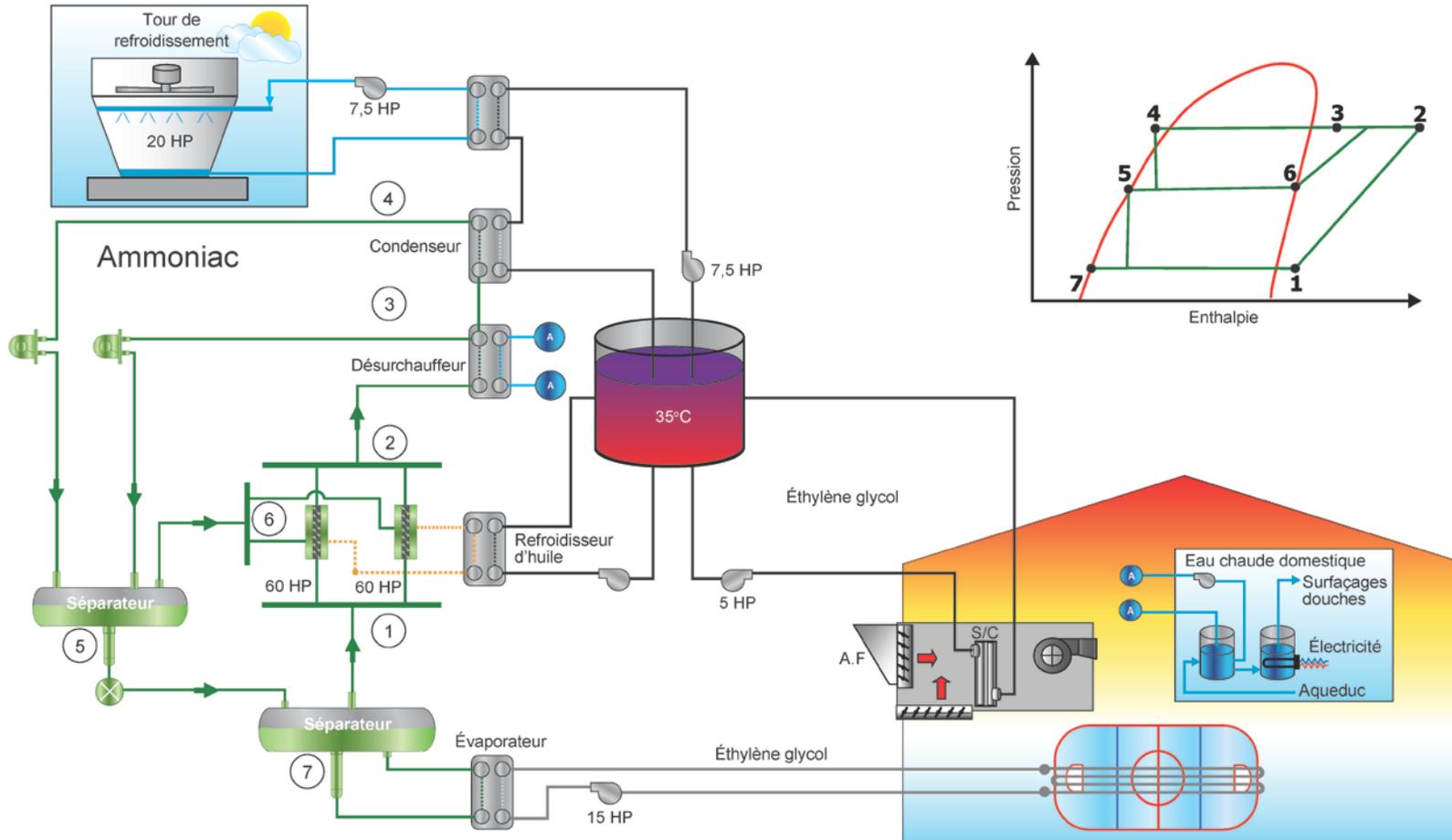
### DESCRIPTION DU SYSTÈME

- Système de réfrigération à l'ammoniac, compresseurs à vis de type ouvert, monobloc, assemblé en usine, sur base d'acier;
- Opération avec une charge de réfrigérant de 320 kg (4 kg/tonne de réfrigération), système confiné dans la salle mécanique;
- Évaporateur de type échangeur à plaques en acier inoxydable;
- Augmentation de l'efficacité du système de réfrigération grâce à une température de condensation de 21°C lorsque le climat le permet;
- Efficacité accrue du système de réfrigération grâce à une opération utilisant le port économiseur des compresseurs à vis;
- Accumulateur d'énergie permettant d'optimiser la pression d'opération du système de réfrigération et prioriser les besoins de chauffage de l'air;
- Récupération complète des rejets de chaleur du système : la désurchauffe au refoulement des compresseurs, le refroidissement de l'huile des compresseurs et la chaleur de condensation du système;
- Fluide caloporteur pour la dalle de la patinoire : solution d'éthylène glycol 35 %;
- Tour d'eau à écoulement d'air induit direct et à contre-courant rejette le surplus de chaleur du système de réfrigération à l'extérieur;
- Salle mécanique classe T préfabriquée et installée en annexe du bâtiment.

Performance		Consommation énergétique annuelle (kWh)		Appel de puissance * (kW)
COP réfrigération	2,33	Réfrigération	412 228	179
COP chauffage	7,78	Chauffage	75 597	
<b>COP combiné</b>	<b>3,17</b>	<b>Total</b>	<b>487 825</b>	

\*Note : Appel de puissance le plus élevé obtenu lors de la modélisation du système sur une période de 9 mois.

## SYSTÈME A4 : SYSTÈME OUVERT MONOBLOC AVEC PORT ÉCONOMISEUR SUR LES COMPRESSEURS



Ressources naturelles  
Canada

Natural Resources  
Canada

Canada

## SYSTÈME A5 : SYSTÈME OUVERT MONOBLOC AVEC COMPRESSEURS À PISTONS EFFICACES

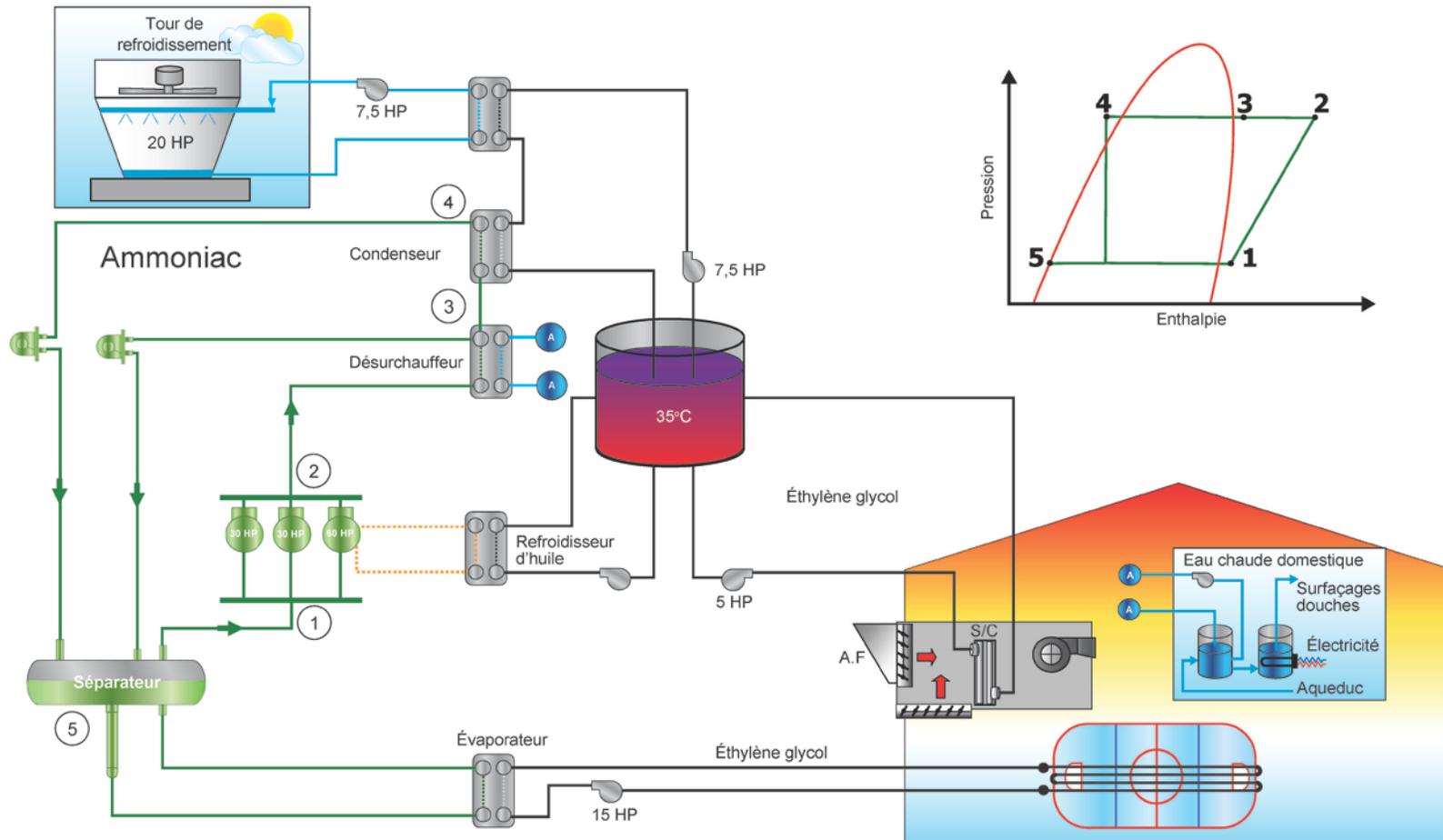
### DESCRIPTION DU SYSTÈME

- Système de réfrigération à l'ammoniac, compresseurs réciprocques à pistons de type ouvert, bibloc, assemblé en usine, sur base d'acier;
- Opération avec une charge de réfrigérant de 230 kg (3 kg/tonne de réfrigération), système confiné dans la salle mécanique;
- Évaporateur de type échangeur à plaques en acier inoxydable;
- Augmentation de l'efficacité du système de réfrigération grâce à une température de condensation de 21°C lorsque le climat le permet;
- Accumulateur d'énergie permettant d'optimiser la pression d'opération du système de réfrigération et prioriser les besoins de chauffage de l'air;
- Récupération complète des rejets de chaleur du système : la désurchauffe au refoulement des compresseurs, le refroidissement de l'huile des compresseurs et la chaleur de condensation du système;
- Fluide caloporteur pour la dalle de la patinoire : solution d'éthylène glycol 35 %;
- Tour d'eau à écoulement d'air induit direct et à contre-courant rejette le surplus de chaleur du système de réfrigération à l'extérieur;
- Salle mécanique classe T préfabriquée et installée en annexe du bâtiment.

Performance		Consommation énergétique annuelle (kWh)		Appel de puissance * (kW)
COP réfrigération	2,15	Réfrigération	446 417	171
COP chauffage	21,49	Chauffage	27 357	
<b>COP combiné</b>	<b>3,27</b>	<b>Total</b>	<b>473 774</b>	

\*Note : Appel de puissance le plus élevé obtenu lors de la modélisation du système sur une période de 9 mois.

## SYSTÈME A5 : SYSTÈME OUVERT MONOBLOC AVEC COMPRESSEURS À PISTONS EFFICACES



Ressources naturelles  
Canada

Natural Resources  
Canada

Canada

## SYSTÈME C1 : SYSTÈME SEMI-HERMÉTIQUE BIBLOC À ÉVAPORATION DANS LA DALLE

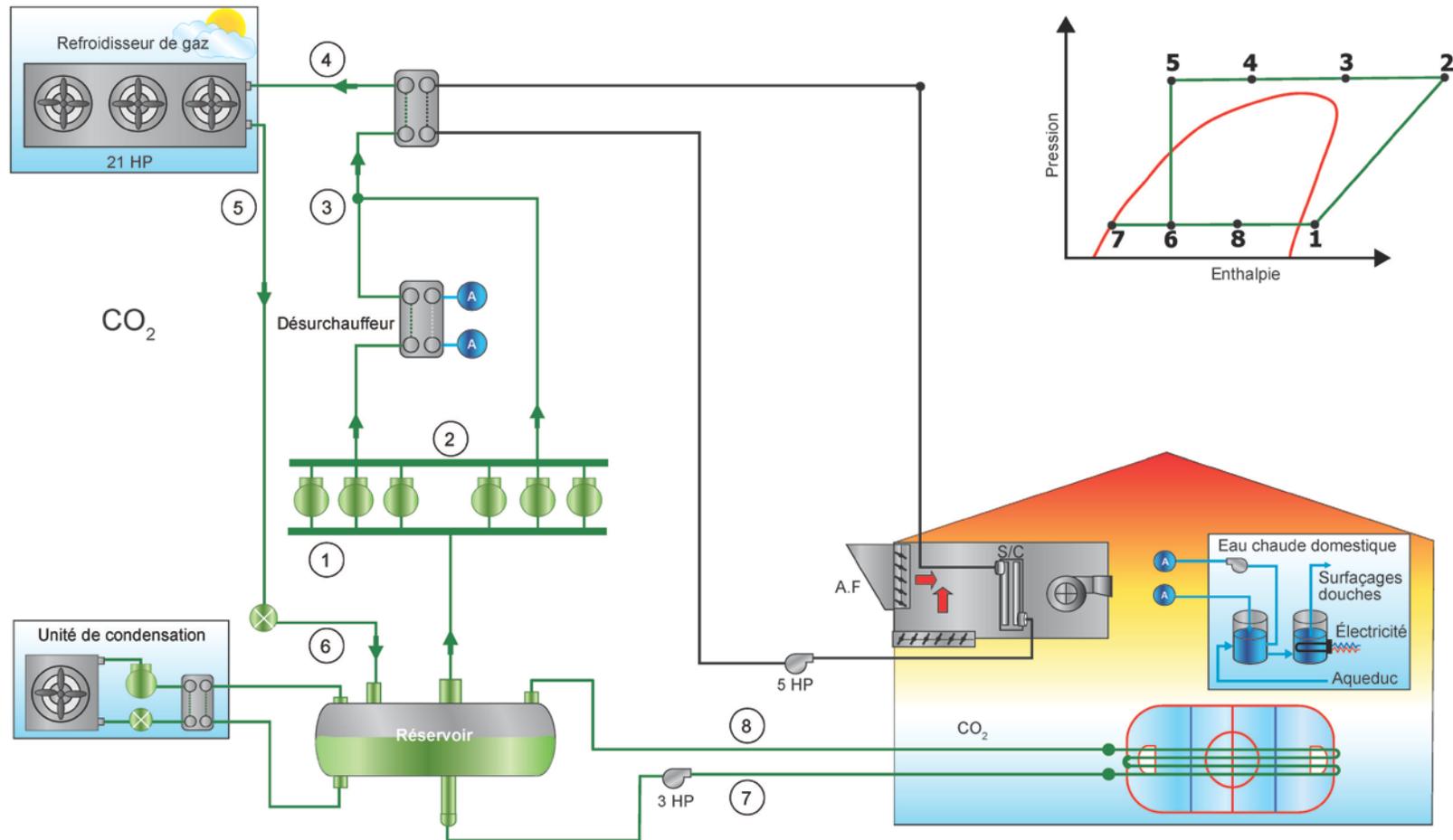
### DESCRIPTION DU SYSTÈME

- Système de réfrigération au R-744 (CO<sub>2</sub>), compresseurs à pistons de type semi-hermétique, bibloc, assemblé en usine, sur base d'acier;
- Opération à haute pression, en cycle transcritique, avec une charge de réfrigérant de 1 591 kg (20 kg / tonne de réfrigération) qui circule directement dans la dalle;
- Le réfrigérant CO<sub>2</sub> circule directement dans la dalle qui fait office d'évaporateur;
- Température de glace uniforme et plus froide due à l'échange thermique direct du CO<sub>2</sub> avec la dalle;
- Puissance de pompage minimale utilisée pour la circulation du CO<sub>2</sub> dans la dalle;
- Pression d'opération habituelle d'environ 75 bars (1 087 lbs/po<sup>2</sup>) contrôlée pour prioriser la récupération d'énergie et combler les besoins de chauffage tout en minimisant la consommation d'énergie des compresseurs;
- Refroidisseur de gaz rejette le surplus de chaleur du système de réfrigération à l'extérieur;
- Ajout d'un système de réfrigération auxiliaire pour maintenir le niveau critique de pression dans le système l'été lorsque l'aréna n'est pas en fonction.

Performance		Consommation énergétique annuelle (kWh)		Appel de puissance * (kW)
COP réfrigération	3,09	Réfrigération	291 083	181
COP chauffage	6,50	Chauffage	90 479	
<b>COP combiné</b>	<b>3,90</b>	<b>Total</b>	<b>381 562</b>	

\*Note : Appel de puissance le plus élevé obtenu lors de la modélisation du système sur une période de 9 mois.

## SYSTÈME C1 : SYSTÈME SEMI-HERMÉTIQUE BIBLOC À ÉVAPORATION DANS LA DALLE



## SYSTÈME C2 : SYSTÈME SEMI-HERMÉTIQUE BIBLOC AVEC CHAUFFAGE DE L'AIR AU CO<sub>2</sub>

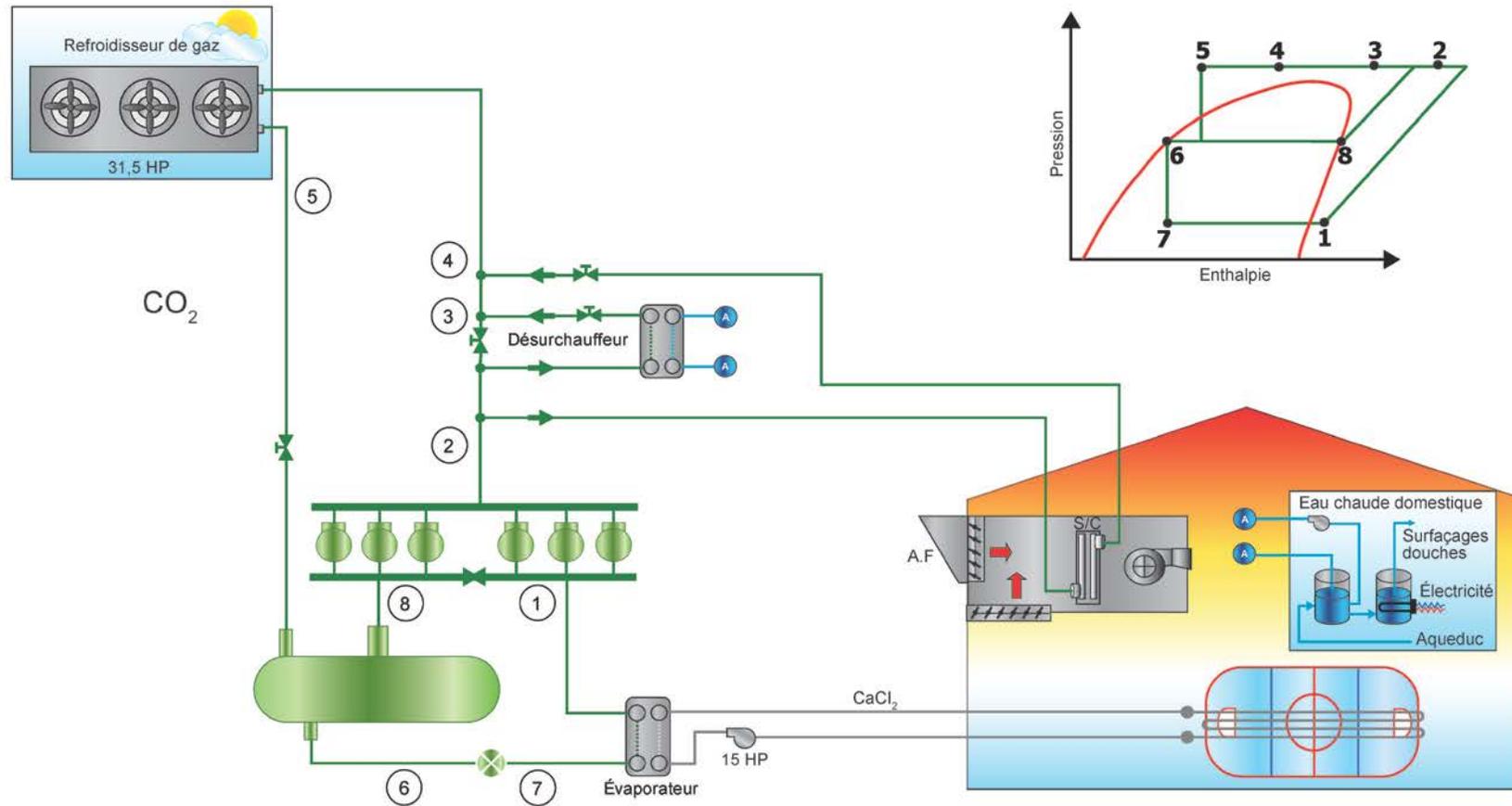
### DESCRIPTION DU SYSTÈME

- Système de réfrigération au R-744 (CO<sub>2</sub>), compresseurs réciproques à pistons de type semi-hermétique, bibloc, assemblé en usine, sur base d'acier;
- Opération à haute pression, en cycle transcritique, avec une charge de réfrigérant de 500 kg ou 6,5 kg/tonne de réfrigération. Le gaz chaud circule directement dans l'aréna pour le chauffage de l'air;
- Évaporateur de type échangeur à plaques et calandre en acier inoxydable;
- Pression d'opération contrôlée en fonction de la température extérieure pour combler les besoins de chauffage et minimiser la consommation d'énergie des compresseurs;
- Chauffage de l'air de l'enceinte réalisé sans système de pompage, par un serpentin échangeur au CO<sub>2</sub> en acier inoxydable installé directement dans l'appareil de ventilation;
- Refroidisseur de gaz rejette le surplus de chaleur du système de réfrigération à l'extérieur;
- Soudures au laser sur site réduisant le risque de fuite du CO<sub>2</sub> dans l'aréna;
- Système peut être mis à l'arrêt à tout moment sans aucun dispositif auxiliaire supplémentaire pour maintenir la pression.

Performance		Consommation énergétique annuelle (kWh)		Appel de puissance * (kW)
COP réfrigération	2,56	Réfrigération	374 455	188
COP chauffage	19,80	Chauffage	29 692	
<b>COP combiné</b>	<b>3,83</b>	<b>Total</b>	<b>404 147</b>	

\*Note : Appel de puissance le plus élevé obtenu lors de la modélisation du système sur une période de 9 mois.

## SYSTÈME C2 : SYSTÈME SEMI-HERMÉTIQUE BIBLOC AVEC CHAUFFAGE DE L'AIR AU CO<sub>2</sub>



Ressources naturelles  
Canada

Natural Resources  
Canada

Canada

## SYSTÈME H1 : SYSTÈME OUVERT TRADITIONNEL ASSEMBLÉ AVEC CHAUFFAGE ÉLECTRIQUE

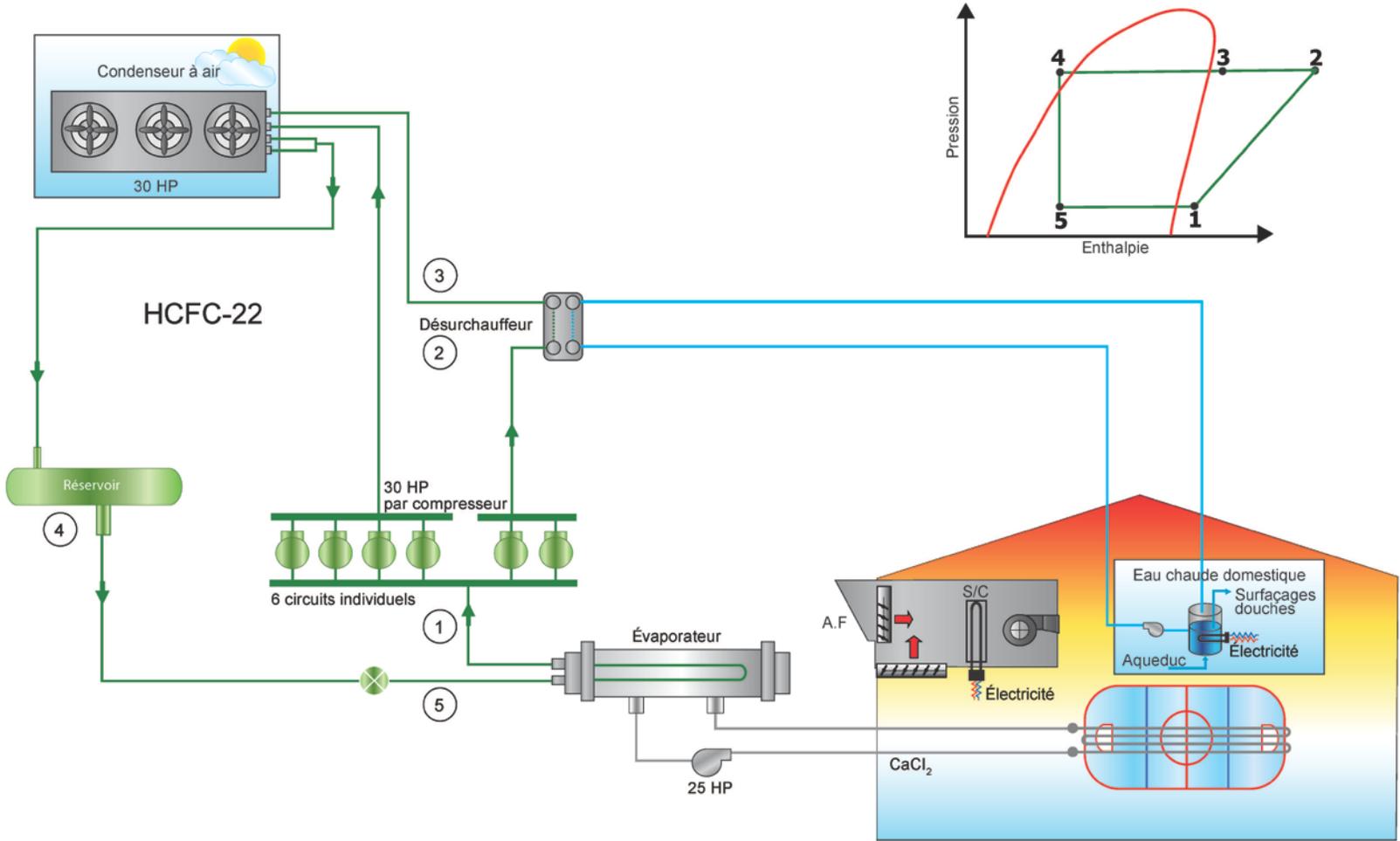
### DESCRIPTION DU SYSTÈME

- Système de réfrigération au HCFC-R22, compresseurs à pistons de type ouvert, assemblé sur site, sur base de ciment;
- Opération du système avec une charge de réfrigérant de 409 kg (5 kg/tonne de réfrigération), circulant dans l'aréna, entre la salle mécanique et le condenseur à air sur le toit;
- Évaporateur de type tube et calandre en acier;
- Absence de récupération d'énergie sur les rejets thermiques de la chaleur de condensation;
- Récupération d'énergie à l'aide d'un désurchauffeur pour le préchauffage de l'eau;
- Réservoir d'accumulation de liquide à la sortie du condenseur.

Performance		Consommation énergétique annuelle (kWh)		Appel de puissance * (kW)
COP réfrigération	1,83	Réfrigération	550 247	381
COP chauffage	1,25	Chauffage	469 330	
<b>COP combiné</b>	<b>1,57</b>	<b>Total</b>	<b>1 019 576</b>	

\***Note** : Appel de puissance le plus élevé obtenu lors de la modélisation du système sur une période de 9 mois.

# SYSTÈME H1 : SYSTÈME OUVERT TRADIONNEL ASSEMBLÉ AVEC CHAUFFAGE ÉLECTRIQUE



Ressources naturelles Canada / Natural Resources Canada



## SYSTÈME H2 : SYSTÈME SEMI-HERMÉTIQUE MONOBLOC AVEC PORT ÉCONOMISEUR SUR COMPRESSEURS

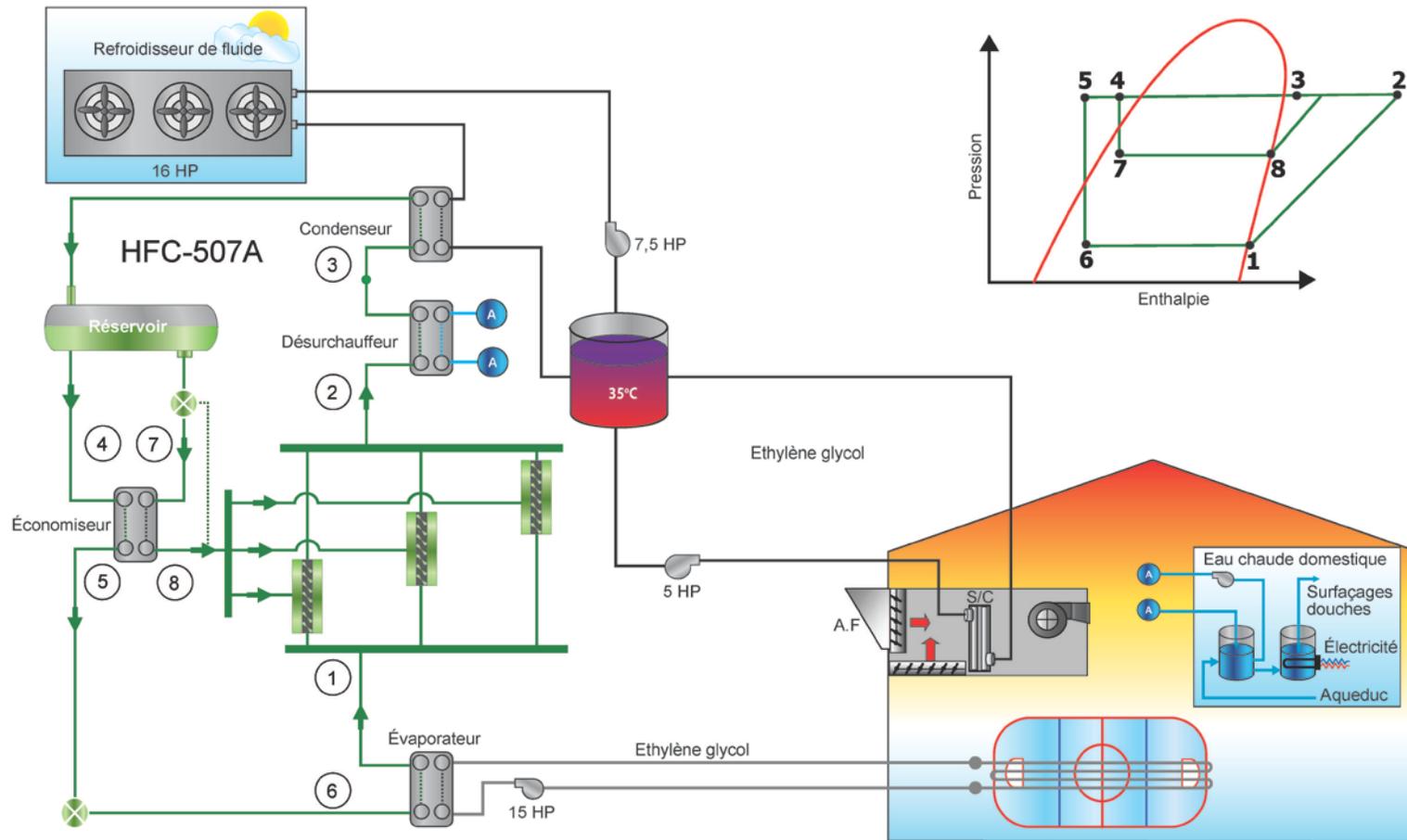
### DESCRIPTION DU SYSTÈME

- Système de réfrigération au HFC-R507A, compresseurs à vis de type semi-hermétique, monobloc, préassemblé en usine, sur base d'acier;
- Opération à charge réduite de réfrigérant (114 kg ou 1,3 kg/tonne de réfrigération), confiné dans la salle mécanique;
- Évaporateur de type échangeur à plaques en titane;
- Efficacité accrue des compresseurs à vis semi-hermétiques grâce à l'utilisation du port économiseur;
- Accumulateur d'énergie permettant d'optimiser la pression d'opération du système de réfrigération et prioriser les besoins de chauffage de l'air;
- Récupération des rejets de chaleur du système : désurchauffe et condensation;
- Refroidisseur de fluide sec qui rejette le surplus de chaleur du système de réfrigération à l'extérieur.

Performance		Consommation énergétique annuelle (kWh)		Appel de puissance * (kW)
COP réfrigération	2,05	Réfrigération	468 361	197
COP chauffage	5,80	Chauffage	101 326	
<b>COP combiné</b>	<b>2,72</b>	<b>Total</b>	<b>569 686</b>	

\*Note : Appel de puissance le plus élevé obtenu lors de la modélisation du système sur une période de 9 mois.

## SYSTÈME H2 : SYSTÈME SEMI-HERMÉTIQUE MONOBLOC AVEC PORT ECONOMISEUR



Ressources naturelles  
Canada

Natural Resources  
Canada

Canada

## SYSTÈME H3 : SYSTÈME HERMÉTIQUE MODULAIRE DE POMPES À CHALEUR

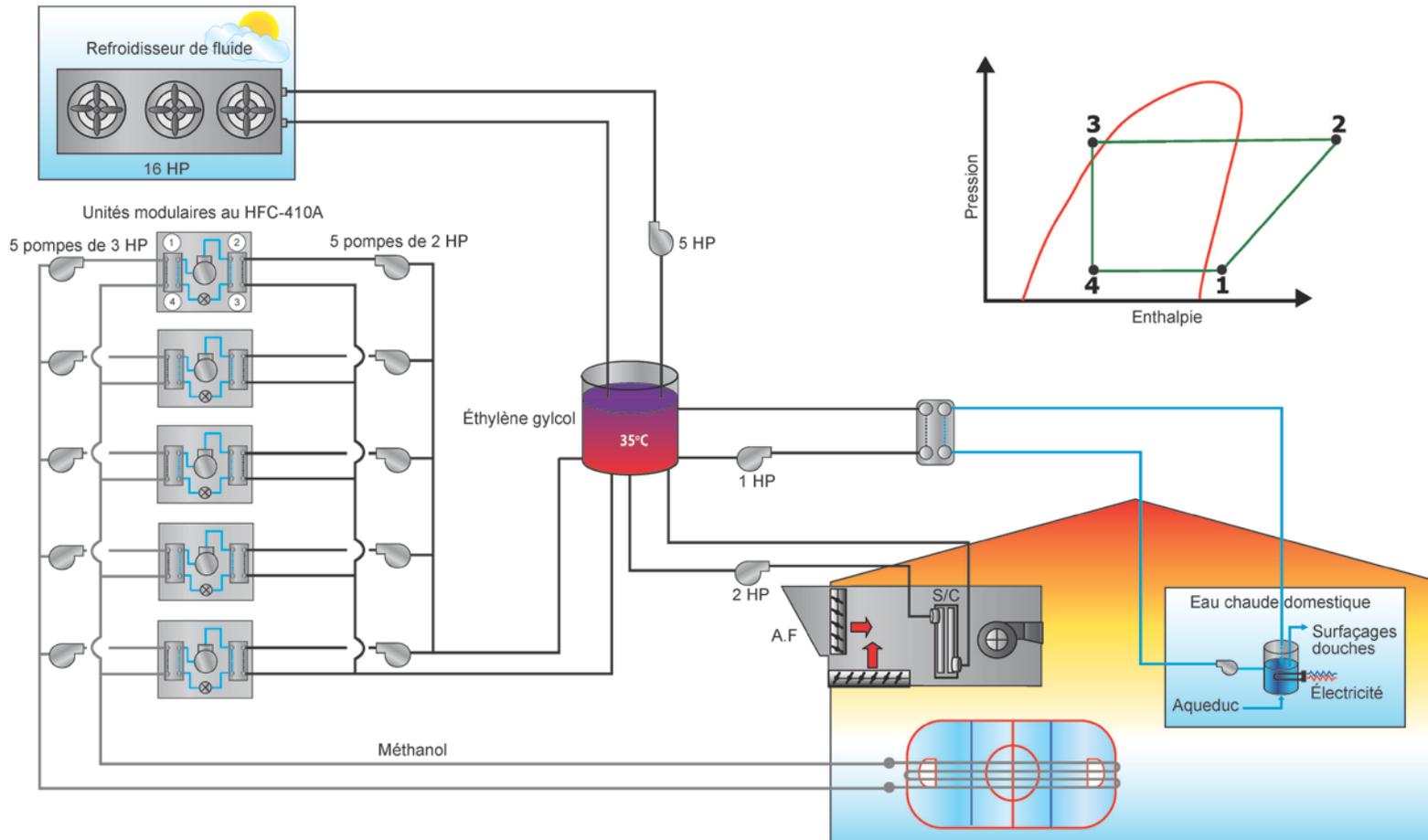
### DESCRIPTION DU SYSTÈME

- Système de réfrigération au HFC-R410A, compresseurs à volute (*scroll*) de type hermétique, monobloc, assemblé en usine, sur base d'acier;
- Refroidisseurs modulaires fabriqués, vérifiés, remplis de réfrigérant et testés en usine;
- Évaporateur de type échangeur à plaques en acier inoxydable intégré dans le refroidisseur;
- Excellente étanchéité aux fuites de réfrigérant et nécessite peu d'entretien;
- Opération avec une charge faible de réfrigérant (45 kg ou 0,6 kg /tonne de réfrigération), confiné dans le système, dans la salle mécanique;
- Récupération des rejets de chaleur du système : désurchauffe et condensation dans le même échangeur;
- Fluide caloporteur froid au méthanol;
- Refroidisseur de fluide sec qui rejette le surplus de chaleur du système de réfrigération à l'extérieur;
- Possibilité de raccordement à un système géothermique;
- Facilité d'opération.

Performance		Consommation énergétique annuelle (kWh)		Appel de puissance * (kW)
COP réfrigération	1,68	Réfrigération	554 608	225
COP chauffage	5,86	Chauffage	100 377	
<b>COP Combiné</b>	<b>2,32</b>	<b>Total</b>	<b>654 985</b>	

\*Note : Appel de puissance le plus élevé obtenu lors de la modélisation du système sur une période de 9 mois.

## SYSTÈME H3 : SYSTÈME HERMÉTIQUE MODULAIRE DE POMPES À CHALEUR



Ressources naturelles  
Canada

Natural Resources  
Canada

Canada

## SYSTÈME H4 : SYSTÈME SEMI-HERMÉTIQUE MODULAIRE AVEC ACCUMULATEUR D'ÉNERGIE STRATIFIÉ

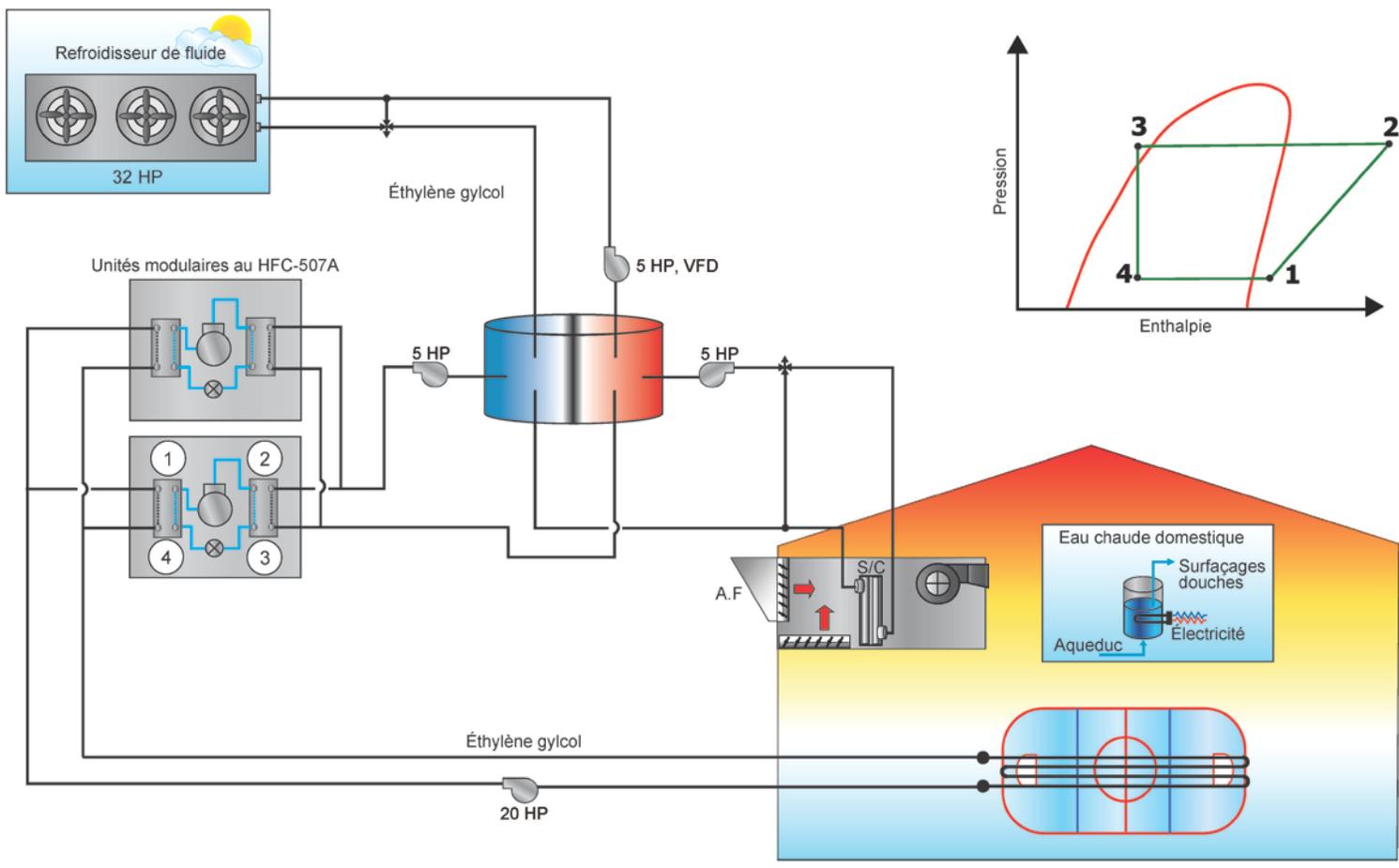
### DESCRIPTION DU SYSTÈME

- Système de réfrigération au HFC-R507A, monobloc, assemblé en usine, sur base d'acier;
- Refroidisseurs monoblocs avec compresseurs à vis de type semi-hermétique;
- Opération avec 100 kg de réfrigérant (1,3 kg / tonne de réfrigération), confiné dans le système dans la salle mécanique;
- Évaporateur de type échangeur à plaques en acier inoxydable intégré dans le refroidisseur
- Accumulateur d'énergie stratifié permettant d'optimiser la pression d'opération du système de réfrigération, de stabiliser les demandes d'énergie (chaud et froid) et de prioriser les besoins de chauffage;
- Système de pompage modulé en fonction des besoins de chauffage à combler;
- Récupération des rejets de chaleur du système : désurchauffe et condensation dans le même échangeur;
- Fluide caloporteur froid à l'éthylène glycol 35 %;
- Refroidisseur de fluide sec efficace qui rejette le surplus de chaleur du système de réfrigération à l'extérieur;
- Facilité d'opération.

Performance		Consommation énergétique annuelle (kWh)		Appel de puissance * (kW)
COP réfrigération	2,03	Réfrigération	485 485	192
COP chauffage	3,84	Chauffage	153 013	
<b>COP combiné</b>	<b>2,46</b>	<b>Total</b>	<b>638 498</b>	

*\*Note :* Appel de puissance le plus élevé obtenu lors de la modélisation du système sur une période de 9 mois.

## SYSTÈME H4 : SYSTÈME SEMI-HERMÉTIQUE MODULAIRE AVEC ACCUMULATEUR D'ÉNERGIE STRATIFIÉ



## SYSTÈME H5 : SYSTÈME SEMI-HERMÉTIQUE MONOBLOC AVEC POMPE À CHALEUR POUR LE CHAUFFAGE DE L'EAU

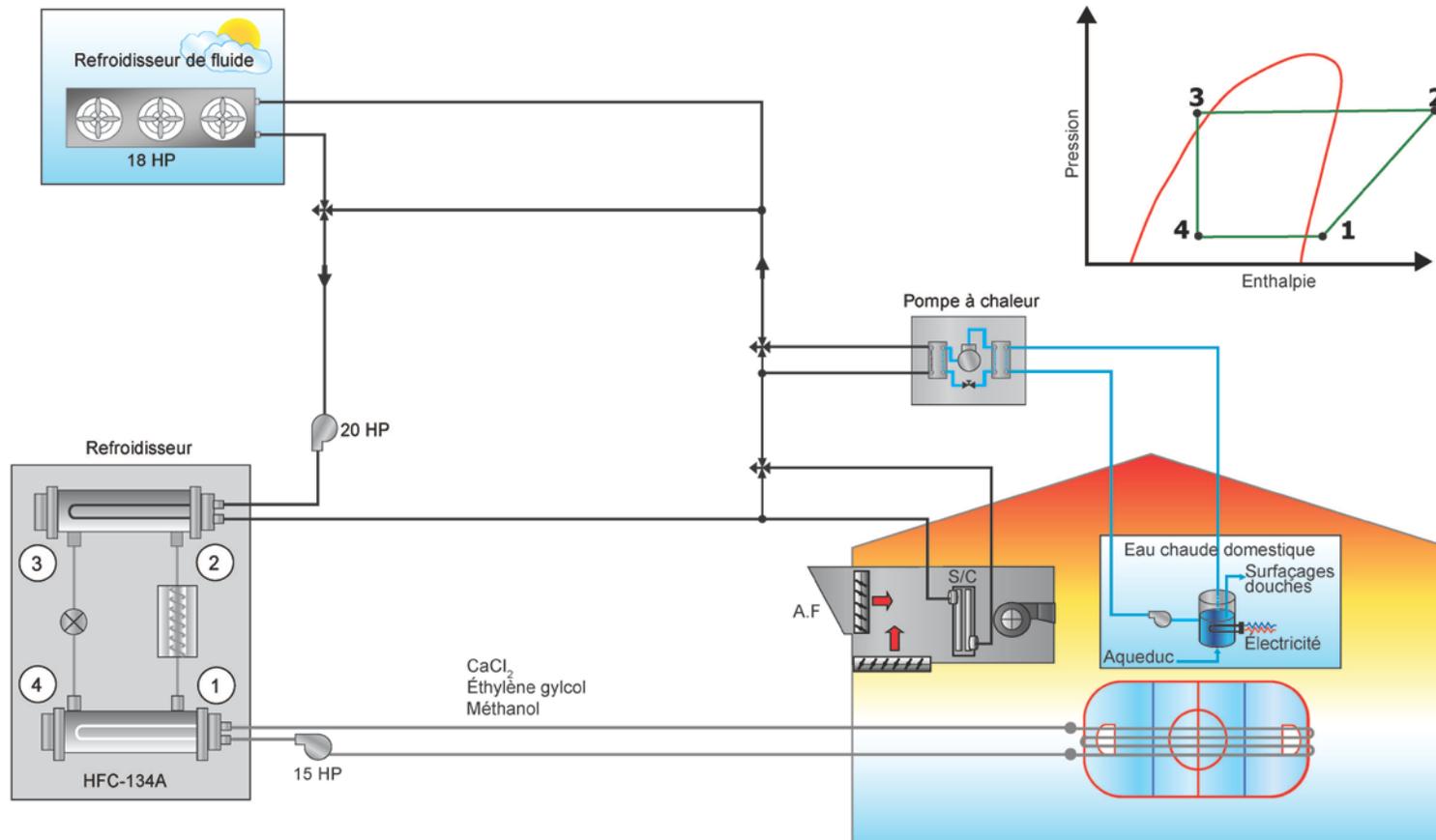
### DESCRIPTION DU SYSTÈME

- Système de réfrigération au HFC-R134A, compresseurs à vis de type semi-hermétique à capacité variable, monobloc, production de masse;
- Fabriqué, assemblé, rempli de réfrigérant et testé en usine;
- Sa forme très compacte limite la quantité de réfrigérant. Il possède une bonne étanchéité aux fuites de réfrigérant;
- Opération avec 166 kg de réfrigérant (21 Kg/tonne de réfrigération), confiné dans le système, dans la salle mécanique;
- Le refroidisseur utilise deux circuits de réfrigérant complètement indépendants, éliminant le risque de perdre plus de la moitié de sa charge en plus d'assurer une redondance;
- Ce type de refroidisseur ne requiert pas de modification de la salle de mécanique. Une porte simple, sinon une porte double suffisent comme passage pour installer le refroidisseur;
- Tous les types de caloporteurs sont permis;
- Pompe à chaleur pour le chauffage de l'eau domestique et de surfaçage;
- Récupération des rejets de chaleur du système : désurchauffe et condensation dans le même échangeur, donc toute la chaleur rejetée par le refroidisseur est récupérable;
- Le refroidisseur peut être utilisé dans une boucle avec des puits géothermiques et/ou des banques de glace;
- Refroidisseur de fluide sec efficace qui rejette le surplus de chaleur du système de réfrigération à l'extérieur;
- Facilité d'opération.

Performance		Consommation énergétique annuelle (kWh)		Appel de puissance * (kW)
COP réfrigération	1,85	Réfrigération	518 610	208
COP chauffage	9,52	Chauffage	61 771	
<b>COP combiné</b>	<b>2,67</b>	<b>Total</b>	<b>580 381</b>	

\*Note : Appel de puissance le plus élevé obtenu lors de la modélisation du système sur une période de 9 mois.

## SYSTÈME H5 : SYSTÈME SEMI-HERMÉTIQUE MONOBLOC AVEC POMPE À CHALEUR POUR LE CHAUFFAGE DE L'EAU



Ressources naturelles  
Canada

Natural Resources  
Canada

Canada



ANNEXE 2 : SOMMAIRE DES GARANTIES DES SYSTÈMES  
ÉTUDIÉS

**Tableau A : Sommaire de garanties des systèmes étudiés**

CAS	IDENTIFICATION		GARANTIES INCLUSES AVEC LES SYSTÈMES PROPOSÉS				GARANTIES PROLONGÉES	
	TYPE D'ASSEMBLAGE	RÉFRIGÉRANT	PIÈCES	MAIN D'ŒUVRE	COMPRESSEURS	RÉFRIGÉRANT	SYSTÈME	COMPRESSEURS
			DURÉE	DURÉE	DURÉE	DURÉE	DURÉE/PRIX	DURÉE/PRIX
A1	Monobloc	R717	1 an	1 an	1 an	1 an	non disponible	non disponible
A2	Sur place	R717	1 an		1 an		non disponible	non disponible
A3	Sur place	R717	1 an		1 an		non disponible	non disponible
A4	Monobloc	R717	1 an	1 an	1 an	1 an	2 ans / 4 000\$	2 ans / 4 000\$
A5	Monobloc	R717	1 an	1 an	1 an	1 an	non disponible	non disponible
C1	Bibloc	CO <sub>2</sub>	1 an	1 an	1 an	1 an	non disponible	non disponible
C2	Bibloc	CO <sub>2</sub>	1 an	1 an	1 an	1 an	1 an / 11 000\$	1 an / 6 000\$
<b>H1</b>	<b>Sur place</b>	<b>HCFC-R22</b>	<b>1 an</b>		<b>1 an</b>		<b>non disponible</b>	<b>non disponible</b>
H2	Monobloc	HFC-R507A	1 an	1 an	1 an	1 an	2 ans / 1 500\$	2 ans / 1 000\$
H3	Modulaire	HFC-R410A	1 an	1 an	1 an	1 an	5 ans / 6 000\$	non disponible
H4	Modulaire	HFC-R507A	1 an	1 an	1 an	1 an	non disponible	non disponible
H5	Monobloc	HFC-R134A	1 an	1 an	1 an	1 an	10 ans / 30 000\$	non disponible

- Les durées des garanties présentées sont à titre indicatif seulement. Elles s'appliquent selon les termes et conditions de garantie du manufacturier.

## ANNEXE 3 : RÉSULTATS ÉNERGÉTIQUES POUR UN ARÉNA DE 12 MOIS

**Tableau B : Résultat énergétiques par un aréna de 12 mois**

CAS	IDENTIFICATION		PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES ÉNERGÉTIQUES						
	RÉFRIGÉRANT	CONSOMMATION D'ÉNERGIE SUR 9 MOIS (kWh/an)			ÉCART	CONSOMMATION D'ÉNERGIE SUR 12 MOIS (kWh/an)			ÉCART
		RÉFRIGÉRANT	CHAUFFAGE	TOTALE	%	RÉFRIGÉRANT	CHAUFFAGE	TOTALE	%
A1	R717	407 000	77 100	484 100	-11%	491 300	103 000	594 300	-14 %
A2	R717	383 400	159 000	542 300	0%	511 200	176 100	687 400	0 %
A3	R717	453 600	183 600	637 100	17%	599 000	203 700	802 700	17 %
A4	R717	412 200	75 600	487 800	-10%	505 600	100 300	605 900	-12 %
A5	R717	446 400	27 400	473 800	-13%	545 700	38 700	584 400	-15 %
C1	R744	291 100	90 500	381 600	-30%	365 200	107 400	472 600	-31 %
C2	R744	374 500	29 700	404 100	-25%	488 200	39 100	527 300	-23 %
<b>H1</b>	<b>HCFC-R22</b>	<b>550 200</b>	<b>469 300</b>	<b>1 019 600</b>	<b>88%</b>	<b>774 800</b>	<b>478 400</b>	<b>1 253 200</b>	<b>82 %</b>
H2	HFC-R507A	468 400	101 300	569 700	5%	583 200	117 100	700 300	2 %
H3	HFC-R410A	554 600	100 400	655 000	21%	656 700	139 000	795 600	16 %
H4	HFC-R507A	485 500	153 000	638 500	18%	616 300	200 700	817 100	19 %
H5	HFC-R134A	518 600	61 800	580 400	7%	650 800	84 900	735 700	7 %

- Le tableau B compare les consommations d'énergie pour des opérations de 9 mois et 12 mois. La consommation d'énergie pour la réfrigération augmentent pour le cas 12 mois sans toutefois changer les rangs du moins énergivore au plus énergivore (sauf pour les cas H3 et H4), donc l'opération 12 mois ne change pas les conclusions de cette étude.

ANNEXE 4 : RAPPORT SYNTHÈSE SUR LES RISQUES  
ASSOCIÉS À L'UTILISATION DE L'AMMONIAC  
DANS LES ARÉNAS



## Rapport synthèse portant sur les mesures préventives et d'atténuation concernant les risques associés à l'utilisation de l'ammoniac dans les arénas

Jean-Paul Lacoursière, ing., Stéphanie Lacoursière, ing. M. Sc. A.  
JP Lacoursière inc.

35, rue Lemoyne, Repentigny, (Québec) Canada J6A 3L4  
T : (450)-581-2315; C : (514) 770-2315; F : (450) 581-4539

Courriel : [jpla@sympatico.ca](mailto:jpla@sympatico.ca)

Rapport No. P00459-1-AB-rev0

Ce rapport abrégé résume le rapport complet portant le même titre publié le 31 mars 2013 à titre de prestation pour Ressources naturelles Canada - Groupe Bâtiments - Centre de la technologie de l'énergie de CANMET - 1615, boul. Lionel-Boulet, C.P. 4800, Varennes QC J3X 1S6 sous le contrat 3000506842.

### RÉSUMÉ

L'ammoniac est un frigorigène sécuritaire pour les systèmes de réfrigération des arénas lorsque les installations sont bien conçues et bien exploitées. L'étude montre que lors d'une fuite dans le local technique les émanations en provenance des ventilateurs de locaux techniques de classe T peuvent affecter les riverains de l'aréna. L'utilisation de ventilateur avec sortie dirigée vers le haut, dilution interne et vitesse de sortie de 25 m/s peut pallier cette problématique. Il est cependant recommandé de faire une étude de dangers de type « What-if? » et dans certaines circonstances une simulation du nuage d'ammoniac pour bien cerner les problématiques et concevoir les installations en conséquence. De plus, un programme de gestion de la sécurité opérationnelle qui prend en compte la maintenance et les plans d'urgence doit être mis en place.

Employé depuis plus de 130 ans comme frigorigène, l'ammoniac a été peu à peu supplanté par les chlorofluorocarbones (CFC), mais il reprend de l'importance depuis l'adoption des protocoles de Montréal et de Kyoto, qui visent le bannissement complet des CFC au cours des 10 prochaines années. Ces systèmes sont efficaces et représentent une solution à long terme pour le développement durable du secteur des arénas. Des précautions particulières doivent cependant être prises pour en faire une utilisation sécuritaire.

Les installations de réfrigérations à l'ammoniac pour arénas doivent respecter à minima toutes les clauses du code de réfrigération mécanique B52-05 et les autres lois et règlements pertinents, notamment le Règlement sur la santé et la sécurité du travail au Québec. L'objectif de cette étude est d'identifier les moyens de concevoir et d'exploiter des installations intrinsèquement plus sécuritaires (sécurité inhérente à la conception) que ce que le code B52-05 prévoit, considérant que les arénas sont intégrés à leur milieu et sont fréquentés par des populations vulnérables, dont des enfants.

La figure 1 illustre un système noyé (vaporiseur rempli d'ammoniac) de réfrigération à l'ammoniac avec un échangeur de chaleur coque et tubes servant à refroidir la saumure circulant sous la dalle, un réservoir haute pression, trois compresseurs et un condenseur évaporatif. Le système illustré contient 568 kg d'ammoniac (1 250 lb). L'inventaire élevé d'ammoniac peut conduire lors d'une fuite à un nuage avec distances importantes de concentrations toxiques et affecter les riverains de l'aréna.

L'industrie de la réfrigération s'est attachée à réduire les inventaires d'ammoniac en utilisant des systèmes de réfrigération à charge critique. Un système de réfrigération à charge critique est caractérisé par une charge de frigorigène limitée de sorte qu'il est impossible pour le frigorigène liquide d'être entraîné dans la conduite d'aspiration du compresseur ou des compresseurs, lorsque toute la charge se trouve dans l'évaporateur.

La figure 2 illustre un système à charge critique. Un échangeur à plaques qui est beaucoup plus compact qu'un échangeur à coque et tubes est utilisé pour refroidir la saumure. Il en résulte dans le cas qui est illustré un inventaire d'ammoniac de 114 kg (250 lb) vs 568 kg (1250 lb) pour un système conventionnel. En cas de perte de confinement, la quantité d'ammoniac libérée et les distances d'impact seront moins grandes

L'ammoniac sous forme liquide ou gazeuse est incolore. Le gaz est toxique, mais a une forte odeur ce qui permet d'en détecter la présence. Bien que le gaz soit normalement plus léger que l'air, les vapeurs en provenance d'une fuite de liquide resteront initialement au sol avant qu'elles se réchauffent. Le contact avec le liquide peut causer des engelures. On considère que le gaz est ininflammable, mais il peut brûler s'il est à l'intérieur d'une certaine plage de concentrations en présence d'une forte source d'ignition. Les dangers d'incendie augmentent en présence d'huile ou d'autres combustibles. L'exposition d'un réservoir d'ammoniac sous pression suite à un incendie peut en causer l'explosion en produisant un BLEVE (explosion du réservoir avec boule de feu, projection de débris, onde de choc et nuage toxique). L'exposition à long terme à de faibles concentrations d'ammoniac ou à court terme à de hautes concentrations d'ammoniac peut avoir des effets sur la santé.

#### VALEURS DE RÉFÉRENCE DE CONCENTRATION DANS L'AIR

Deux valeurs de référence de concentration d'ammoniac dans l'air peuvent être utilisées pour déterminer les conséquences pour les personnes exposées : Les «Acute Exposure Guideline Levels (AEGLs) de la US-EPA et les Emergency Response Planning Guidelines de l'American Industrial Hygiene Association (AIHA). Les AEGL 2 et ERPG2 sont habituellement utilisés pour identifier les endroits devant faire l'objet de planification d'urgence.<sup>1</sup>

#### ACCIDENTS RÉPERTORIÉS

Plusieurs fuites accidentelles d'ammoniac sont survenues à des installations de réfrigération, dont celles utilisées dans les arénas. Les libérations d'ammoniac résultèrent de plusieurs causes dont les dérangements de procédés avec ouverture de soupape de sûreté, fuites sur joints mécaniques de pompes, compresseurs, robinetterie, etc.

#### ÉLÉMENTS POUR LA CONCEPTION D'UN SYSTÈME À SÉCURITÉ INTRINSÈQUE POUR ARÉNAS

Les objectifs à poursuivre pour atteindre une sécurité intrinsèque pour les installations de réfrigération à l'ammoniac, consistent à :

- Identifier et évaluer les dangers (équipements, modes d'opération, etc.) associés à la libération accidentelle d'ammoniac;
- Concevoir des installations sécuritaires pour prévenir ces libérations;
- Opérer les installations et former le personnel pour prévenir les libérations d'ammoniac;
- Atténuer les conséquences des libérations d'ammoniac si celles-ci surviennent.

Pour atteindre ces objectifs, il faut procéder systématiquement en exécutant les trois étapes suivantes :

---

<sup>1</sup> <http://www.dspq.qc.ca/asp/detPublication.asp?id=4845>

1. Faire une étude de dangers;
2. Modéliser les scénarios de fuite au besoin afin d'en identifier les conséquences; et,
3. Appliquer des mesures de réduction de risques.

### ÉTUDE DE DANGERS

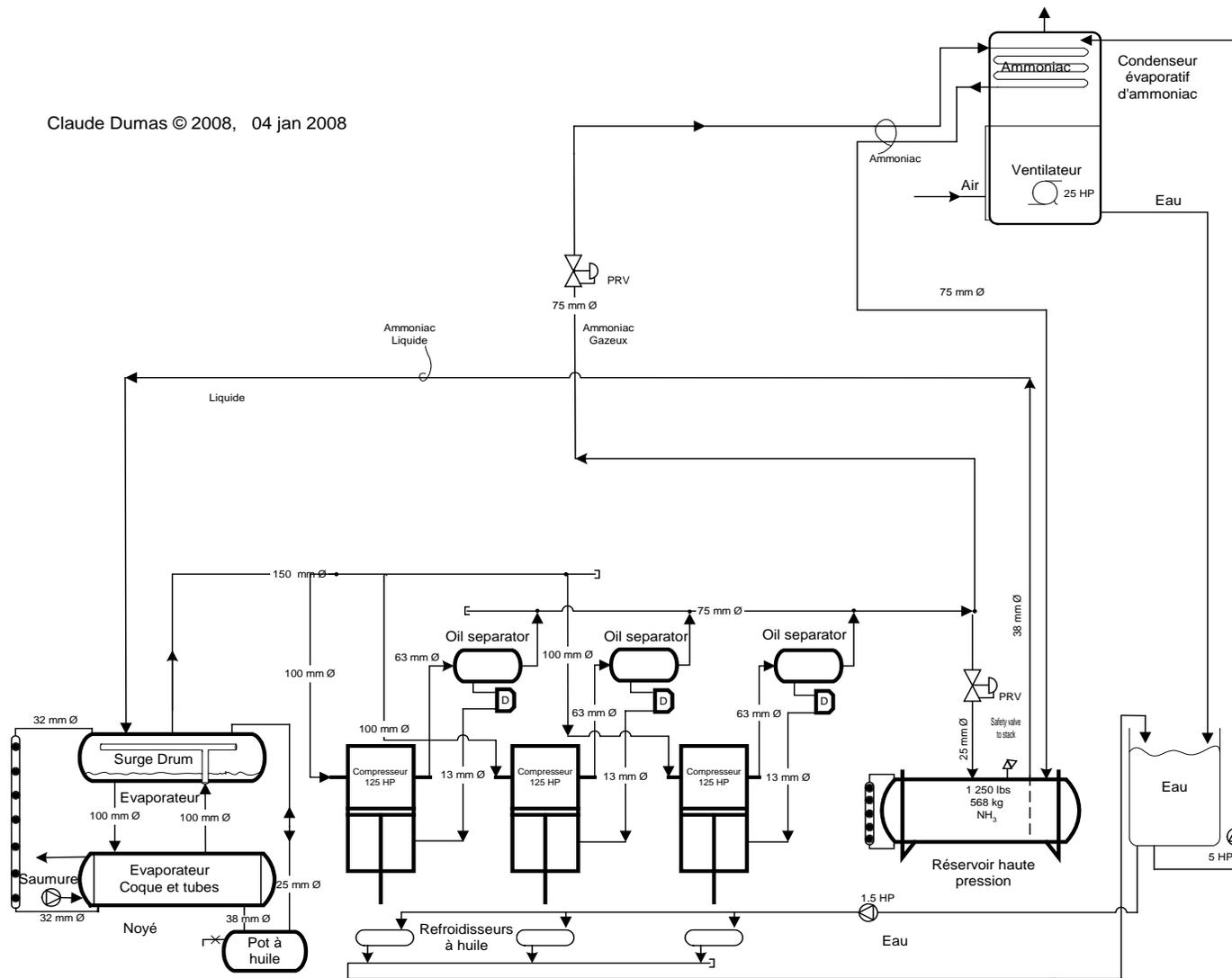
Une étude de danger est une évaluation systématique pour identifier les situations dangereuses associées à un procédé ou une activité afin d'en évaluer l'importance. La technique Et-si? / Check-list (What-if? / Check-list) est appropriée pour identifier les dangers afin qu'ils soient corrigés. L'International Institute for Ammonia Refrigeration (IAR) a développé des check-lists spécifiques pour les études de dangers de l'ammoniac<sup>1</sup>.

La proximité de riverains ou d'édifices en hauteur surplombant le local technique à moins de 300 m pourrait nécessiter le déploiement de mesures de prévention ou d'intervention plus élaborées. La simulation de scénarios de fuites en employant des modèles qui puissent tant prendre en compte les paramètres de fuite, de ventilation de l'édifice et le comportement du nuage d'ammoniac en élévation et en plan fournira l'éclairage à la prise de décision appropriée. Le logiciel *PHAST* de Det Norske Veritas (DNV) permet ce type de simulation alors que le logiciel *ALOHA* de l'Environmental Protection Agency (EPA) des États-Unis ne le permet pas. Le tableau 1 décline un certain nombre de mesures qui peuvent être appliquées pour concevoir une installation intrinsèquement plus sécuritaire. Le choix des mesures à mettre en place devra être dicté par l'étude de dangers.

---

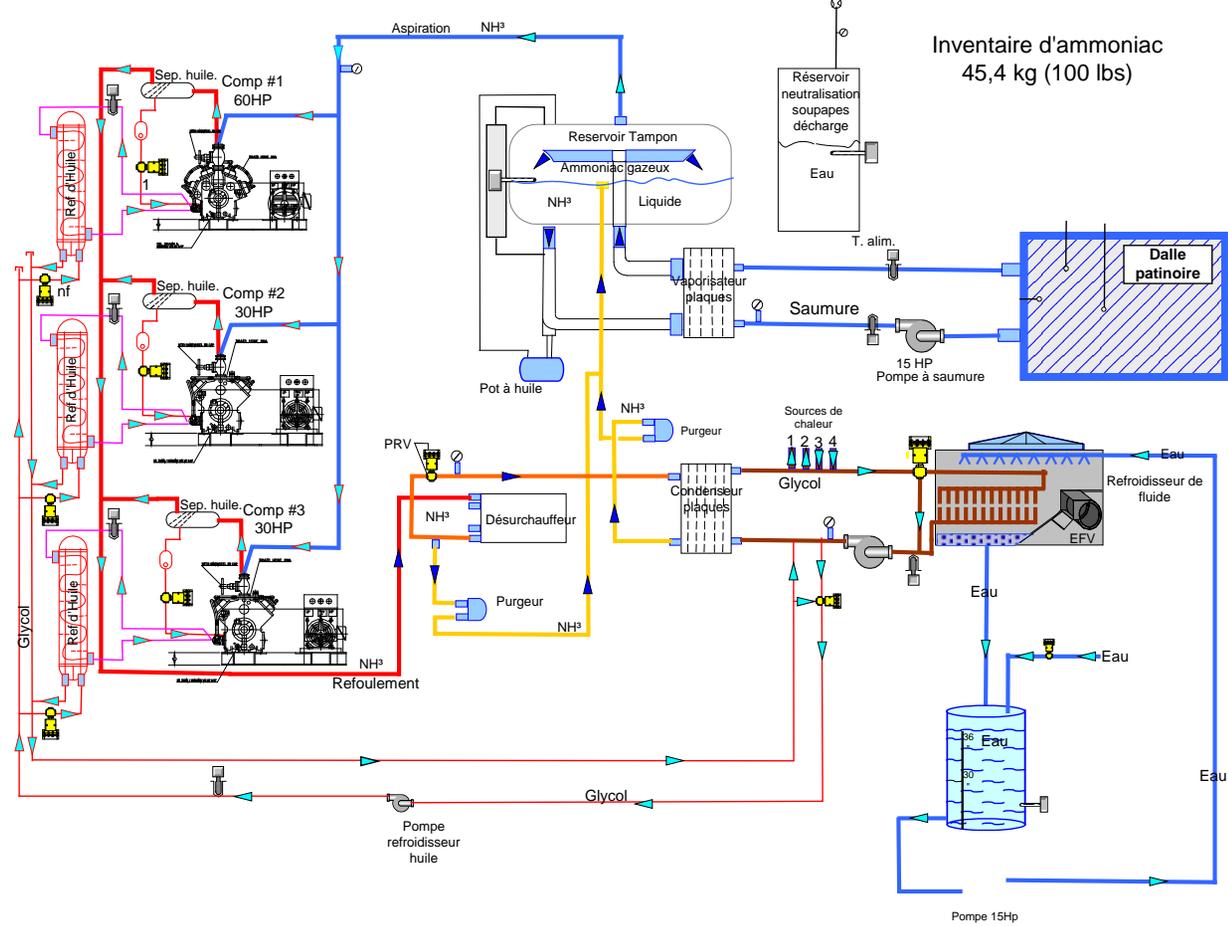
<sup>1</sup> The Ammonia Refrigeration Management Program (ARM), IAR, Washington, D.C. 2005

Claude Dumas © 2008, 04 jan 2008



(Publié avec l'autorisation de Claude Dumas, ville de Montréal)

Figure 1 : Ancien système de réfrigération



Édition 01 nov 2011  
© 2011 Claude Dumas

(Publié avec l'autorisation de Claude Dumas, Ville de Montréal)

Figure 2 : Système de réfrigération à l'ammoniac à charge critique

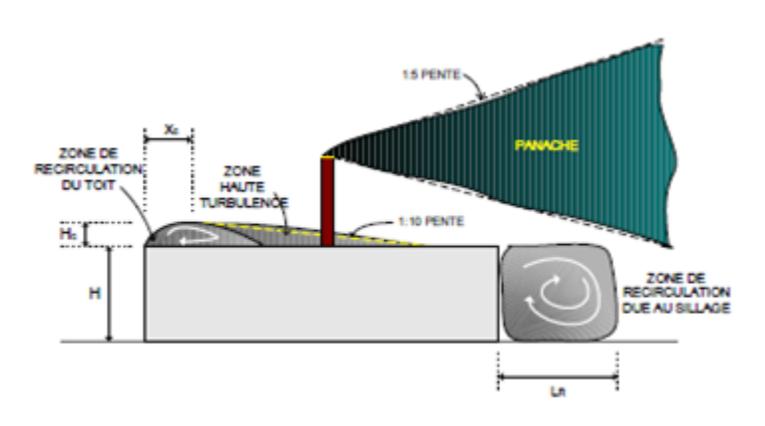
**Tableau 1 : Mesures pour la conception d'une installation intrinsèquement plus sécuritaire**

Performance	Consommation énergétique annuelle (kWh)
1. Réduire l'inventaire d'ammoniac	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Considérer utiliser des systèmes à charge critique d'ammoniac pour la réfrigération des arénas.</li> </ul>
2. Évacuer en sécurité l'ammoniac provenant d'une fuite	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Considérer utiliser un ventilateur mécanique d'urgence à haute vitesse de sortie et dilution interne.</li> <li>▪ S'assurer de la présence et fonctionnalité d'une alarme de non-fonctionnalité du ventilateur d'urgence.</li> <li>▪ S'assurer que les pales du ventilateur d'urgence sont fabriquées d'un matériau qui ne produit pas d'étincelles.</li> <li>▪ S'assurer que les moteurs électriques utilisés pour les ventilateurs sont de type complètement fermé (totally enclosed).</li> </ul>
3. Capturer l'ammoniac provenant d'une fuite	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Considérer utiliser un épurateur à l'aspiration du ventilateur mécanique pour capturer l'ammoniac provenant d'une fuite avant d'évacuer l'air provenant du local technique.</li> </ul>
4. Utiliser un caloporteur secondaire	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Utiliser un antigel comme caloporteur secondaire dont l'éthylène glycol ou le propylène glycol circulant au refroidisseur de fluide pour condenser l'ammoniac dans un échangeur de chaleur situé dans le local technique</li> </ul>
5. Assurer une détection fiable de la présence d'ammoniac	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ S'assurer que deux types de détecteurs sont utilisés pour assurer une redondance et maintenir un niveau de sécurité élevé : <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Détecteurs à cellule électrochimique pour les basses concentrations d'ammoniac (jusqu'à 800 ppm); et,</li> <li>○ Détecteurs à cellule infrarouge pour les hautes concentrations d'ammoniac (i.e. 10% de la limite inférieure d'explosivité (LIE))</li> </ul> </li> <li>▪ Les détections des basses concentrations servent à déclencher divers niveaux d'alerte alors que la détection de hautes concentrations (i.e. &gt; 250 ppm déclencherait la mise à l'arrêt des équipements électriques du local technique à l'exception du ventilateur mécanique d'urgence).</li> </ul>
6. Remplacer les équipements à haut risque	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Considérer remplacer les échangeurs coque et tubes par des échangeurs à plaques.</li> <li>▪ Utiliser des échangeurs à plaques semi-soudées pour le refroidisseur de saumure;</li> <li>▪ Utiliser des échangeurs à plaques complètement soudées pour le condenseur à plaques.</li> </ul>

Performance	Consommation énergétique annuelle (kWh)
7. Prévenir la migration d’ammoniac vers l’aréna	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Considérer ne pas fournir d’accès au local technique de classe T par un corridor reliant directement l’aréna à ce local technique pour prévenir la migration d’ammoniac vers l’aréna en cas de fuite. Considérer offrir exclusivement une voie d’accès par l’extérieur sans lien direct avec l’aréna.</li> <li>▪ S’assurer que le système de ventilation de l’aréna ne capte pas l’ammoniac émis par le système de ventilation d’urgence du local technique ou les équipements sur le toit du local technique, dont le condenseur évaporatif. Ajouter un détecteur d’ammoniac à l’aspiration du système de ventilation de l’aréna.</li> <li>▪ Considérer la position et la direction de l’évacuation d’air du local technique de classe T qui pourraient nuire aux riverains et empêcher l’accès libre de l’immeuble pour les premiers intervenants (pompiers, sécurité civile) ainsi que l’évacuation de l’aréna en cas de fuite d’ammoniac.</li> </ul>
8. Prévenir les expositions du personnel lors du drainage d’huile	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ S’assurer que le drainage d’huile est effectué en circuit fermé pour prévenir l’exposition du personnel à l’ammoniac.</li> <li>▪ À noter que le système de retour d’huile peut être automatisé</li> </ul>
9. Coupler les détecteurs d’ammoniac avec les dispositifs de mise en arrêt	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Considérer coupler les électrovannes avec les détecteurs d’ammoniac de sorte que celles-ci ferment automatiquement si de l’ammoniac est détecté.</li> <li>▪ S’assurer que le système de réfrigération n’est pas réarmé automatiquement suite à une détection d’ammoniac.</li> </ul>
10. Installer un réservoir de neutralisation à l’eau	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Considérer installer un réservoir de neutralisation rempli d’eau pour recevoir l’ammoniac provenant des soupapes de décharge (soupapes de surpression).</li> </ul>
11. Éliminer les sources communes de fuite d’ammoniac	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Considérer enlever et/ou remplacer les verres de regard par des détecteurs de niveau à colonnes métallique et flotteur magnétique.</li> <li>▪ Considérer déconnecter physiquement l’équipement qui n’est plus utilisé</li> </ul>
12. Informer les travailleurs et les pompiers	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ S’assurer que les conduites, les équipements et la robinetterie sont identifiés aux fins d’opération et d’intervention durant une situation d’urgence.</li> <li>▪ S’assurer que les plans sont à jour et disponibles au service d’incendie.</li> </ul>
13. Assurer la gestion de la sécurité opérationnelle	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Mettre en place un programme holistique de gestion de la sécurité opérationnelle y incluant la formation du personnel d’opération de l’aréna et le plan d’intervention d’urgence.</li> </ul>

Un système frigorifique à l'ammoniac situé à l'intérieur d'un bâtiment doit être installé dans un local technique de classe T. L'air du local technique doit être évacué vers l'extérieur pour le contrôle de la température et lors de fuite d'ammoniac sur l'équipement de réfrigération. Le Code B52-05 spécifie les formules mathématiques pour le calcul des flux de ventilation requis pour les salles mécaniques ainsi que d'autres exigences.

Le ventilateur mécanique doit être correctement conçu pour éviter le réentraînement de l'ammoniac vers le sol et même vers l'aréna. La Figure 3 tirée du ASHRAE HANBOOK 1999 illustre les phénomènes associés avec l'utilisation de ventilateur.



**Figure 3 : Effets de sillage**

Le vent induit des phénomènes de recirculation, une première zone dite zone de recirculation du toit et une seconde dite zone de recirculation due au sillage. Ces zones de recirculation auront tendance à amener l'ammoniac au sol.

Il faut donc que le flux d'ammoniac provenant du ventilateur se détache des zones de réentraînement. Ceci peut être accompli en le diluant au préalable et en fournissant suffisamment de vélocité au gaz. Le standard ANSI/IIAR 2-2008 à l'article 13.3.7.1 spécifie « Tous les ventilateurs d'évacuation doivent être dirigés verticalement vers le haut avec une vélocité minimum de 12,7 m/s (2 500 pi/min). » Ce concept n'a malheureusement pas été utilisé dans la majorité des installations de réfrigération que l'auteur a étudiées. Il a été noté que la sortie de cette ventilation était dirigée vers le sol ou carrément au sol ce qui représente un potentiel d'exposition pour les personnes présentes dans le secteur. Les photos qui suivent montrent des installations qui augmentent le potentiel d'exposition en cas de libération d'ammoniac.

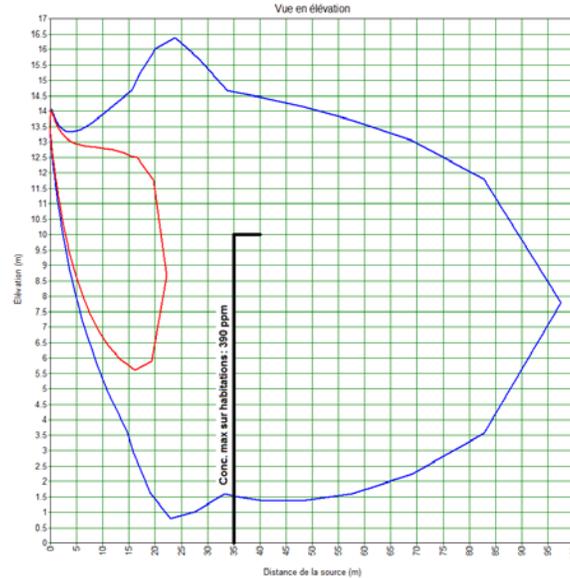
La figure 4 montre un ventilateur dont la sortie dirige le gaz vers le toit. La présence d'un mur à proximité crée une zone de recirculation à cause de l'effet de sillage ce qui accentue le rabattement du gaz vers le sol. Les simulations ont montré que les habitants des duplex illustrés en arrière-plan de la photo seraient potentiellement exposés à des concentrations d'ammoniac qui pourraient affecter leur santé.



Photo : JP Lacoursière inc.

Figure 4 : Sortie de la ventilation d'urgence au sol

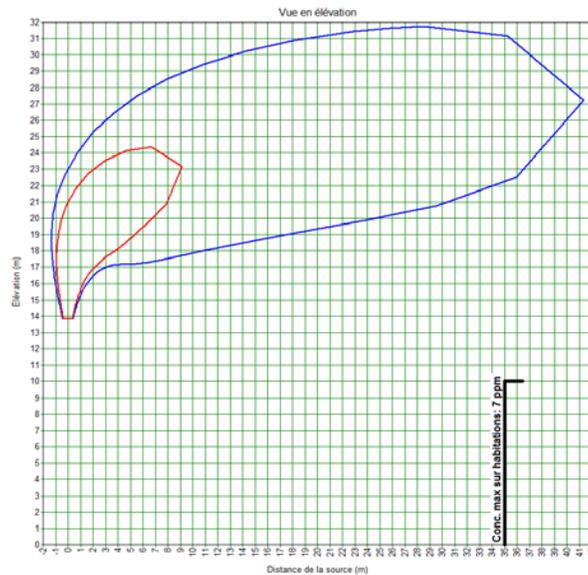
La figure 5 montre une vue en élévation d'une simulation du nuage d'ammoniac avec un ventilateur d'urgence dirigé vers le sol.



— 750 ppm — 150 ppm (Logiciel de simulation PHAST v. 6.7) Simulation JP Lacoursière inc.  
**Figure 5 : Nuage d'ammoniac, ventilateur d'urgence dirigé vers le sol**

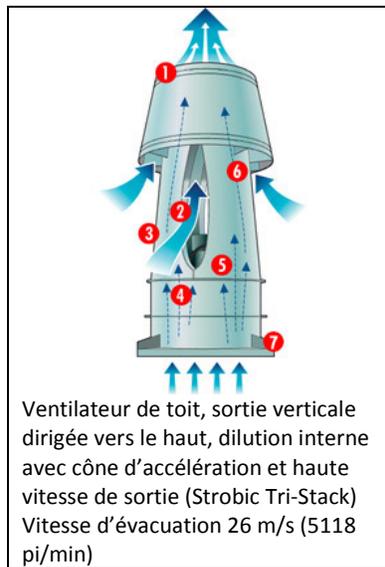
Dans le cas particulier qui est illustré le nuage d'ammoniac touche des riverains situés à proximité de l'aréna. La charge d'ammoniac de ce système de réfrigération est de 114 kg (250 lbs).

La figure 6 présente le même scénario que celui illustré à la 4 sauf que le gaz est dirigé verticalement vers le haut par un ventilateur haute vitesse et dilution interne avec vitesse d'évacuation de 26 m/s.



— 750 ppm — 150 ppm (Logiciel de simulation PHAST v. 6.7) Simulation JP Lacoursière inc.  
**Figure 6 : Nuage d'ammoniac, ventilateur haute vitesse de sortie et dilution interne, vitesse 26 m/s**

Il faut cependant prendre d'autres dispositions s'il y a des édifices en hauteur surplombant le local technique à proximité, dont l'utilisation d'un épurateur (laveur d'air). Il existe sur le marché plusieurs ventilateurs mécaniques avec sortie dirigée verticalement vers le haut.



**Figure 7 : Ventilateurs mécaniques verticaux avec sortie dirigée vers le haut**

Certains ventilateurs comme le Strobic Tri-Stack<sup>1</sup> ou le Cook Modèle QMXVP/QMXHPVP<sup>2</sup> favorisent la dilution de l'ammoniac par aspiration d'air dans le ventilateur et une haute vitesse d'évacuation, ce qui atteint l'objectif du standard ANSI/IIAR 2-2008 et devrait réduire l'impact au sol.

Nous sommes d'avis que ce type de ventilateur devrait être la norme pour les arénas québécois réfrigérés à l'ammoniac. Leur coût incrémental est parfaitement justifiable et permettra plus de flexibilité pour l'utilisation du sol à proximité de l'aréna.

#### GESTION DE LA SÉCURITÉ OPÉRATIONNELLE

La sécurité des installations de réfrigération à l'ammoniac nécessite un programme holistique de gestion. Les éléments de ce programme présentés dans les paragraphes qui suivent sont basés sur les pratiques recommandées par IIAR. Ce programme atteint les objectifs du programme FRIGO de la CSST. Une synthèse de ce programme suit.

1. Imputabilité. Nommer une personne responsable des programmes de prévention et des plans d'urgence des installations de réfrigération à l'ammoniac;
2. Connaître le procédé : garder à jour les plans et procédures;
3. Dangers du procédé : garder à jour la liste des dangers du procédé;
4. Revues de prédémarrage : Faire des revues de prédémarrage avant la mise en marche après des arrêts prolongés, des réparations ou des modifications aux installations;
5. Gestions des changements : Établir une procédure de gestion des changements aux installations ou aux procédures, s'assurer que les pièces conformes sont utilisées pour la maintenance;
6. Gestion des entrepreneurs : Établir une procédure de gestion des entrepreneurs œuvrant dans ces installations;

<sup>1</sup> <http://www.strobicaire.com/products-solutions/fume-exhaust-systems/principles-of-operation>

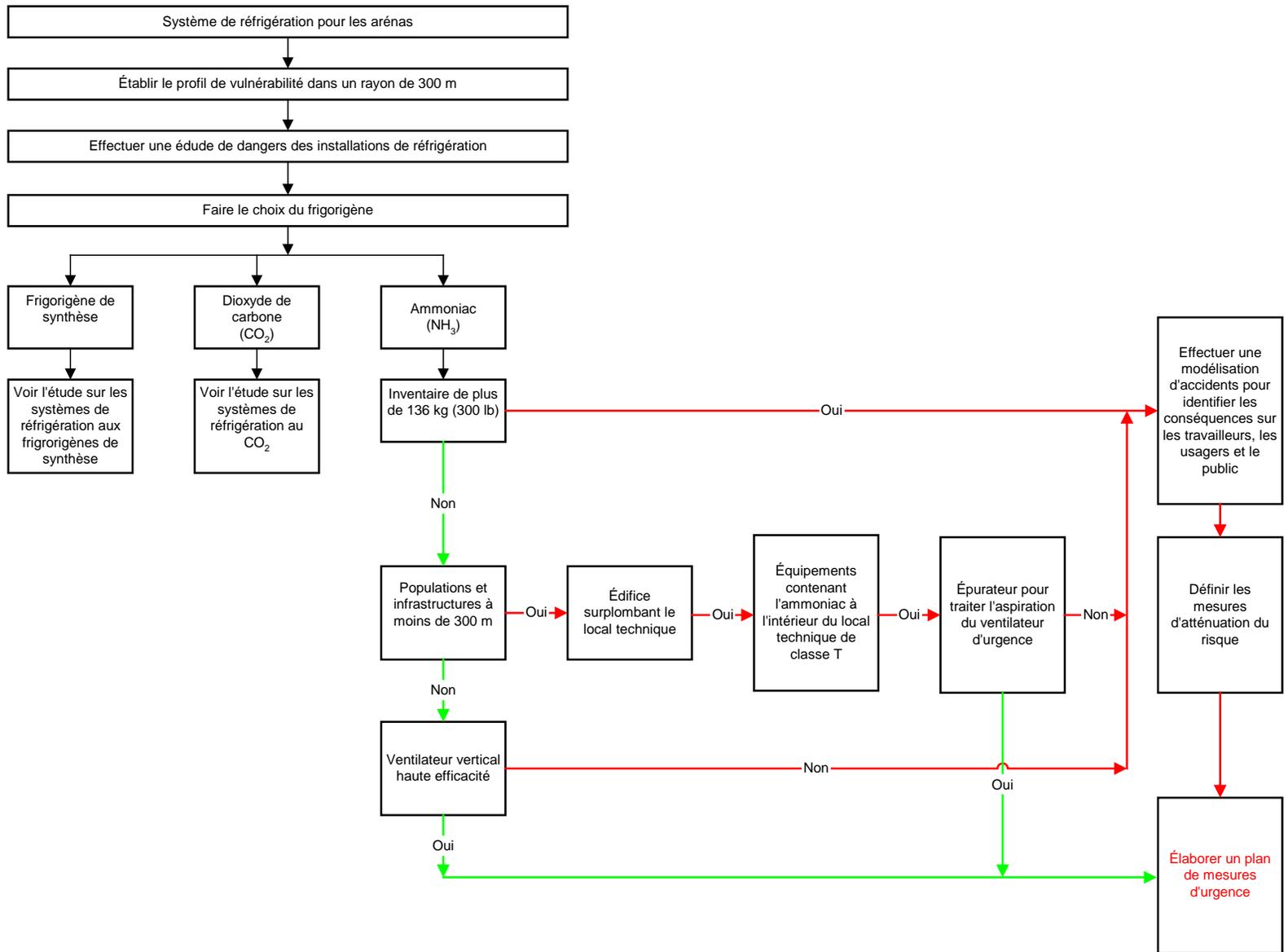
<sup>2</sup> <http://www.lorencook.com/labexhausts.asp>

7. Intégrité mécanique : Établir un programme pour conserver l'intégrité mécanique des équipements : maintenance préventive;
8. Procédures : Élaborer les procédures critiques d'opération et de maintenance;
9. Formation : Prodiguer la formation sur l'opération des équipements, la maintenance, le plan d'urgence;
10. Plan d'urgence : Élaborer un plan d'urgence qui couvre les riverains, le personnel d'opération et les clients de l'aréna. Ce plan couvre la communication à fournir aux riverains, l'alerte, l'évacuation, le confinement, l'intervention;
11. Vérifications : Faire des vérifications de conformité de ce programme selon une fréquence préétablie.

#### PLAN D'URGENCE

1. Mettre en place un plan d'urgence qui traite tant de la sécurité du personnel, des usagers de l'aréna et des riverains.
2. En cas de fuite majeure, l'atmosphère à l'intérieur du local technique pourrait devenir explosive. La présence d'huile en aérosol pourrait réduire la limite inférieure d'explosivité sous la limite inférieure d'explosivité de l'ammoniac. Interrompre toute alimentation électrique à l'intérieur du local technique à l'exception du système de ventilation vers l'extérieur, car l'alimentation électrique peut causer un allumage des gaz explosifs. Ventiler le local avant d'y pénétrer. Il vaut mieux libérer à l'atmosphère l'ammoniac présent dans le local que d'y conserver une atmosphère explosive.
3. Prévoir installer des interrupteurs de ventilateurs indépendants facilement accessibles à l'intérieur et à l'extérieur du local technique. L'objectif ici est de pouvoir garder les ventilateurs en opération lorsque l'alimentation électrique est interrompue aux autres équipements.
4. Ne pas utiliser le local technique pour l'entreposage de matériel, dont les matières combustibles et les produits chimiques.
5. Contrôler l'accès au local technique.
6. Établir une procédure d'intervention en cas de fuite d'ammoniac dans le local technique.
7. S'assurer que les sorties d'urgence sont identifiées.
8. S'assurer qu'une plaque signalétique montrant les informations requises par la norme est en place;
9. Afficher des schémas montrant les routes d'évacuations.
10. Contenir l'eau contaminée à l'ammoniac en cas de fuite, d'arrosage de la fuite à l'eau pour en disposer dans un poste d'eau usée.
11. Afficher une interdiction de fumer, d'utiliser une flamme nue et de souder près des sorties du local.

Les recommandations qui ont été formulées précédemment sont destinées à assurer la sécurité des travailleurs, des usagers d'aréna et du public. Bien qu'elles ne soient pas complexes d'application, il y aurait lieu de développer et diffuser un cours dont l'objectif serait de revoir les technologies pour assurer la sécurité des travailleurs, des usagers d'aréna et du public, qui soit destinée aux concepteurs des systèmes de réfrigération pour aréna et des gestionnaires de ces aréna. Cette formation devrait être sanctionnée par l'Ordre des ingénieurs du Québec. Ce programme pourrait être élaboré et diffusé par une institution universitaire.





## ANNEXE 5 : ÉTUDE TECHNIQUE DE RÉFRIGÉRATION DES ARÉNAS AU CO<sub>2</sub>



## Étude technique de réfrigération des arénas au CO<sub>2</sub> dans le cadre du projet d'étude technico-commerciale de réfrigération au CO<sub>2</sub> dans les arénas

Jean-Paul Lacoursière, ing., Stéphanie Lacoursière, ing. M. Sc. A.  
JP Lacoursière inc.

35, rue Lemoyne, Repentigny, (Québec) Canada J6A 3L4  
T : (450)-581-2315; C : (514) 770-2315; F : (450) 581-4539

Courriel : [jpla@sympatico.ca](mailto:jpla@sympatico.ca)

### Rapport No. P00449-1-AB-rev0

**Ce rapport abrégé résume le rapport complet portant le même titre publié le 17 mai 2013 à titre de prestation pour Ressources naturelles Canada - Groupe Bâtiments - Centre de la technologie de l'énergie de CANMET - 1615, boul. Lionel-Boulet, C.P. 4800, Varennes QC J3X 1S6 sous le contrat 3000505435.**

## RÉSUMÉ

Les systèmes de réfrigération au CO<sub>2</sub> (R744) reprennent leur place parce qu'ils ont un impact neutre sur l'ajout de gaz à effets de serre et que de nouveaux concepts d'ingénierie ont rendu leur opération plus efficace au point de vue énergétique. Une extension naturelle de ces applications est la réfrigération des arénas. Le CO<sub>2</sub> n'est ni plus ni moins sécuritaire que les autres frigorigènes, mais il a des avantages et des inconvénients. Comme pour tous les autres frigorigènes, la clef pour un système sécuritaire est de concevoir, installer et opérer le système en ayant identifié, évalué et disposé de tous les dangers en utilisant un personnel bien formé pour concevoir et opérer le système de réfrigération. Le danger principal avec le CO<sub>2</sub> est la possibilité de générer des concentrations létales à l'intérieur d'espaces confinés.

Des simulations ont été faites de fuite de CO<sub>2</sub> dans l'enceinte d'un aréna suite au bris de tubes alimentant le frigorigène pour réfrigérer la dalle supportant la patinoire ainsi que des conduites alimentant les aérothermes servant au chauffage de l'enceinte. Le gaz est très lourd près du point d'émission, 2,3 relativement à l'air pour atteindre 1,5 après s'être réchauffé. Le gaz a tendance à se stratifier dans les zones inférieures avant de se disperser. La solution à sécurité intrinsèque consiste à confiner le CO<sub>2</sub> dans le local technique et à utiliser des fluides caloporteurs pour la réfrigération de la dalle de la patinoire et pour le chauffage de l'enceinte et des chambres de joueurs. Il est recommandé de faire une étude de risques lors de la conception d'un système de réfrigération au CO<sub>2</sub> pour bien cibler les enjeux et mettre en place un programme de sécurité opérationnelle pour gérer l'exploitation des installations.

Les systèmes de réfrigération au CO<sub>2</sub> (R744) reprennent leur place parce qu'ils ont un impact neutre sur l'ajout de gaz à effets de serre et que de nouveaux concepts d'ingénierie ont rendu leur opération plus efficace au point de vue énergétique. Une extension naturelle de ces applications est la réfrigération des arénas. Certains considèrent que le CO<sub>2</sub> représente une solution à long terme pour la réfrigération des arénas dans un concept de développement durable de ce secteur.

Les propriétés uniques du CO<sub>2</sub> amènent des différences avec l'ammoniac [NH<sub>3</sub> (R717)] pour la sélection des matériaux de construction, des composantes du système, de sa conception, sa mise en service et son exploitation, la sécurité de ces installations pour les travailleurs, les usagers et le public à l'extérieur de l'aréna (riverains).

Le mandat pour cette étude requiert de développer des recommandations sur les systèmes de réfrigération des arénas au dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) avec objectif principal de commenter sur la sécurité de ces installations pour les travailleurs, les riverains.

### LE CO<sub>2</sub> ET SES CARACTÉRISTIQUES

Le CO<sub>2</sub> est non-inflammable et non toxique en comparaison avec les autres frigorigènes naturels – les hydrocarbures (inflammables) et le NH<sub>3</sub> (inflammable et toxique). Il est peu dispendieux, très disponible partout dans le monde et ne fait pas l'objet de restriction pour sa libération à l'atmosphère. Le défi le plus important est de concevoir un système rentable et fiable qui prend en compte les caractéristiques uniques du CO<sub>2</sub>, dont en particulier une pression cinq fois celle d'un système typique au NH<sub>3</sub> et une température critique basse forçant à refroidir un fluide super critique au lieu de condenser un mélange à deux phases.

Bien que le point triple et les points critiques n'aient normalement pas d'influence pour le choix des frigorigènes communs, ceci n'est pas le cas avec le CO<sub>2</sub>. À pression atmosphérique, le CO<sub>2</sub> ne peut exister que sous forme solide ou gazeuse et il ne peut former de liquide; sous -78,4°C c'est un solide « glace sèche »; à température plus élevée, il se sublime directement en gaz. À 5,2 bar (75,1 psi) et -56,6°C, le CO<sub>2</sub> atteint un point triple. À ce point les trois phases, i.e. solide, liquide et vapeur existent simultanément en équilibre. Le CO<sub>2</sub> atteint son point critique à 31,1°C. À cette température la densité du liquide et celle de la vapeur sont égales. En conséquence, aux températures au-dessus du point critique, la distinction entre les deux phases disparaît, et une nouvelle phase, *la phase supercritique* existe.

Les pressions des systèmes de réfrigération au CO<sub>2</sub> sont beaucoup plus élevées que celles habituellement rencontrées, dont l'industrie de la réfrigération. Elles sont quand même à l'intérieur des possibilités des systèmes de réfrigération mécaniques utilisés dans d'autres industries. Le CO<sub>2</sub> est considérablement plus dense que le NH<sub>3</sub>. Cette caractéristique particulière offre plusieurs bénéfices potentiels, dont des équipements (compresseurs et tuyauterie) de dimensions beaucoup plus petites que celles des systèmes de capacité similaire utilisant le NH<sub>3</sub>.

De plus, s'il y a un besoin de libérer le CO<sub>2</sub> en cas de surpression, des dispositions spéciales doivent être prises pour empêcher le CO<sub>2</sub> solide de bloquer les sorties des dispositifs de libération du gaz et de supporter adéquatement les tuyauteries à la sortie de ces dispositifs.

### LIMITE D'EXPOSITION DE LA POPULATION AU CO<sub>2</sub> LORS DE SITUATIONS D'URGENCE

À hautes concentrations, le CO<sub>2</sub> peut affecter la fonction respiratoire avec asphyxie et même la mort. Il a des avantages et inconvénients. Le CO<sub>2</sub> a une valeur moyenne d'exposition pondérée (VEMP) de 5 000 ppm alors que le NH<sub>3</sub> a une VEMP de 25 ppm. Cette concentration représente le niveau le plus élevé auquel un travailleur peut être exposé en sécurité pendant huit heures. Bien que le CO<sub>2</sub> semble plus sécuritaire que l'ammoniac, il peut aussi être léthal. L'avantage de l'ammoniac est son odeur désagréable qui alertera les personnes exposées à la présence de ce gaz. Le CO<sub>2</sub> est inodore et incolore de sorte que les concentrations peuvent être élevées sans que personne n'en soit conscient à moins d'avoir un système de détection.

## EFFETS SUR LES HUMAINS

Le CO<sub>2</sub> est classé comme réfrigérant A1 (la classification de toxicité et d'inflammabilité la plus basse selon le Standard 34 de ASHRAE). Il a une VEMP 5 fois plus élevée qu'un hydrochlorofluorocarbure. Ceci ne veut pas dire qu'il est cinq fois plus sécuritaire. Le CO<sub>2</sub> est généralement considéré comme non toxique mais il ne supportera pas la vie et est très dangereux à des concentrations plus grandes que 10%. Le seuil de danger immédiat pour la vie et la santé (DIVS) du CO<sub>2</sub> est de 40 000 ppm alors que celui de l'ammoniac est de 300 ppm. L'exposition à des concentrations de CO<sub>2</sub> en excès de 30 000 ppm provoque un inconfort qui s'accroît avec le temps, qui comporte des difficultés respiratoires, une augmentation du pouls, des maux de tête, des étourdissements, des sueurs et une désorientation qui pourrait empêcher la personne exposée d'évacuer le site pour se protéger. Le Tableau 1 présente les seuils d'exposition au CO<sub>2</sub> pour les travailleurs et la population qui sont préconisés par la Santé Publique.

**Tableau 1 : Valeur pour CO<sub>2</sub>**

Frigorigène	Nom	Travailleurs Règlementation (ppm)		Population Valeurs seuils (ppm)		Propriétés importantes	
R744	Dioxyde de carbone (CO <sub>2</sub> )	5 000	40 000	5 000	30 000 (TEEL-1)	30 000 (TEEL-2)	Asphyxiant simple

Source : Slavco Sebez, Direction de santé publique de la Capitale-Nationale

ACRONYMES:	
VEMP	Valeur d'exposition moyenne pondérée (8 heures) du RSST <a href="http://www.reptox.csst.qc.ca/Documents/SIMDUT/ListeFra/Htm/ListeFra01.htm">http://www.reptox.csst.qc.ca/Documents/SIMDUT/ListeFra/Htm/ListeFra01.htm</a>
DIVS	Danger immédiat pour la vie ou la santé (Immediately Dangerous to Life or Health - IDLH) <a href="http://www.cdc.gov/niosh/idlh/intridl4.html">http://www.cdc.gov/niosh/idlh/intridl4.html</a>
Pas d'effets	La teneur de produit dans l'air ambiant à laquelle un individu peut être exposé jusqu'à une heure sans constat d'effet nuisible
Effets transitoires	Concentrations > AEGL-1, ERPG-1 ou TEEL-1 (Protective Action Criteria (PAC) <a href="http://www.atintl.com/DOE/teels/teel/teel_pdf.html">http://www.atintl.com/DOE/teels/teel/teel_pdf.html</a> )
Effets irréversibles	Concentrations > AEGL-2, ERPG-2 ou TEEL-2 (Manuel d'urgence <a href="http://www.dspq.qc.ca/publications/Manuelurgenceaout2011.pdf">http://www.dspq.qc.ca/publications/Manuelurgenceaout2011.pdf</a> )
TLV	- Threshold Limit Values (TLVs) - TWA (8 heures) d'ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists) <a href="http://www.acgih.org/tlv/">http://www.acgih.org/tlv/</a>
P	- Valeur plafond du RSST, à ne pas dépasser pour quelque durée que ce soit <a href="http://www.reptox.csst.qc.ca/documents/simdut/guidedfra/htm/GuideFra13.htm">http://www.reptox.csst.qc.ca/documents/simdut/guidedfra/htm/GuideFra13.htm</a>
RSST	- Règlement sur la santé et la sécurité du travail <a href="http://www2.publicationsduquebec.gouv.qc.ca/dynamicSearch/telecharge.php?type=3&amp;file=/S_2_1/S2_1R13.HTM">http://www2.publicationsduquebec.gouv.qc.ca/dynamicSearch/telecharge.php?type=3&amp;file=/S_2_1/S2_1R13.HTM</a>
CFC	- Chloro-Fluoro-Carbone (Potentiel élevé d'appauvrissement de la couche d'ozone; Le Protocole de Montréal a entraîné l'élimination progressive de tous les CFC) <a href="http://ozone.unep.org/new_site/fr/Treaties/treaties_decisions-hb.php?art_id=59,60,61,62,63">http://ozone.unep.org/new_site/fr/Treaties/treaties_decisions-hb.php?art_id=59,60,61,62,63</a>
HCFC	- Hydrogène-Cloro-Fluoro-Carbone (Appauvrissement de la couche d'ozone) <a href="http://www.mddefp.gouv.qc.ca/air/halocarburants/index.htm">http://www.mddefp.gouv.qc.ca/air/halocarburants/index.htm</a>
HFC	- Hydrogène-Fluoro-Carbones (N'appauvrissent pas la couche d'ozone, mais ce sont de puissants gaz à effet de serre)
ppm	- parties par million
LIE	- Limite inférieure d'exposibilité
n.d.	- non disponible

## DANGERS POTENTIELS DES INSTALLATIONS RÉFRIGÉRÉES AU CO<sub>2</sub>

Le CO<sub>2</sub> n'est ni plus ni moins sécuritaire que les autres frigorigènes, mais il comporte des avantages et des inconvénients. Comme pour tous les autres frigorigènes, la clé pour un système sécuritaire est de concevoir, installer et opérer le système en ayant identifié, évalué et disposé de tous les dangers en utilisant un personnel bien formé pour concevoir et opérer le système de réfrigération. Le danger principal avec le CO<sub>2</sub> est la possibilité de générer des concentrations létales à l'intérieur d'espaces confinés. Les espaces où du CO<sub>2</sub> est utilisé ou serait potentiellement présent doivent avoir des capteurs avec alarmes pour déterminer les niveaux de CO<sub>2</sub> et de O<sub>2</sub> de sorte que les personnes présentes puissent être alertées et l'espace ventilé adéquatement. Les systèmes de détection du CO<sub>2</sub> doivent être utilisés en combinaison avec une ventilation adéquate pour protéger les travailleurs et les usagers de l'aréna.

Le CO<sub>2</sub> étant plus lourd que l'air, le meilleur endroit pour les senseurs de CO<sub>2</sub> est approximativement à 1,3 m du plancher ce qui est juste sous le niveau où la plupart des personnes respirent. Lorsque les senseurs détectent un niveau dangereux de CO<sub>2</sub> dans une pièce, une alarme doit être déclenchée et la chambre évacuée. De plus, des précautions spéciales doivent être prises pour éviter les fosses ou les endroits confinés qui pourraient y permettre une accumulation de ce gaz sans que personne ne s'en rende compte. Les deux exemples suivants décrivent des conditions propices à l'accumulation de concentrations létales de CO<sub>2</sub> : une soupape de surpression dont la sortie est confinée par d'autres structures et une pompe de CO<sub>2</sub> située dans un point bas du local technique.

#### PRINCIPES FONDAMENTAUX DE SÉCURITÉ POUR LA CONCEPTION DES SYSTÈMES DE RÉFRIGÉRATION

Les mêmes principes de sécurité qui s'appliquent aux systèmes de réfrigération qui utilisent d'autres frigorigènes s'appliquent au CO<sub>2</sub>:

1. Éviter les chocs hydrauliques;
2. Empêcher les liquides d'atteindre le compresseur;
3. Inclure des soupapes de sûreté (soupapes de surpression) pour libérer les pressions trop élevées;
4. Prévenir les vibrations excessives;
5. Supporter les équipements et tuyauteries indépendamment.
6. Prendre en compte les températures très basses et les pressions très élevées dans le choix des matériaux de construction.

#### PROPRIÉTÉS UNIQUES DU CO<sub>2</sub> QUI INFLUENCENT LA SÉCURITÉ

1. Le CO<sub>2</sub> a des propriétés physiques uniques qui requièrent des précautions spécifiques.
2. Le CO<sub>2</sub> est naturellement plus lourd que l'air (poids moléculaire 44 vs 29 pour l'air vs 17 pour l'ammoniac).
3. Le CO<sub>2</sub> est inodore même à concentrations létales.
4. Le CO<sub>2</sub> présente des effets uniques sur le système respiratoire. Le CO<sub>2</sub> liquide a un coefficient d'expansion très élevé. Il faut s'assurer que le CO<sub>2</sub> n'est pas piégé dans la tuyauterie entre des vannes fermées. Une augmentation de la température du liquide piégé causera une augmentation de la pression qui pourrait excéder facilement la résistance de la tuyauterie. Cette précaution s'applique aussi à la vapeur de CO<sub>2</sub> bien qu'à un niveau moindre. La vapeur piégée n'est pas prise en compte dans l'évaluation de la sécurité des autres frigorigènes alors que pour le CO<sub>2</sub>, il faut en prendre compte.
5. Le soudage ou le chauffage ne doivent pas être permis sur toute tuyauterie d'un système de réfrigération qui contient du CO<sub>2</sub>.
6. Le CO<sub>2</sub> forme un solide lorsque le gaz ou le liquide à haute pression est libéré à l'atmosphère, solide qui peut obstruer les tuyauteries et empêcher les dépressurisations.
7. Comme les systèmes au CO<sub>2</sub> sont toujours en pression positive, ces systèmes sont moins susceptibles d'accumuler de l'eau. Cependant, l'eau est plus soluble dans la phase de CO<sub>2</sub> liquide que dans la vapeur. Il en résulte qu'il peut y avoir formation de glace et colmatage à la vanne de détente.
8. Les pressions élevées des systèmes de réfrigération au CO<sub>2</sub> les distinguent des autres systèmes de réfrigération, par exemple des pressions de 75 à 110 bars peuvent être rencontrées.

9. Les soupapes de sûreté (surpression) protégeant les équipements doivent être installées près du bout de la conduite et ne doivent pas être raccordées ensemble à une cheminée d'évent comme c'est fait pour le NH<sub>3</sub>. La perte de pression rapide qui se fait à travers la soupape de sûreté peut conduire à la production de CO<sub>2</sub> solide, qui pourrait obstruer ou causer une perte de charge inacceptable dans la tuyauterie en aval de la soupape. La vitesse de sortie combinée à la masse de CO<sub>2</sub> éjectée peut exercer une force de réaction importante sur la conduite qui doit être bien ancrée en place.
10. Une bonne ventilation doit être fournie pour les locaux où le CO<sub>2</sub> est utilisé. Éviter d'utiliser le CO<sub>2</sub> lorsque ce gaz peut s'accumuler dans des points bas où des espaces confinés. Quitter les lieux immédiatement en cas de libération importante de CO<sub>2</sub>. Avant de retourner sur les lieux s'assurer que les concentrations de CO<sub>2</sub> sont suffisamment basses. Les concentrations de CO<sub>2</sub> peuvent être mesurées avec des senseurs fixes ou des équipements portatifs.
11. Les personnes qui auraient succombé suite à une exposition au CO<sub>2</sub> doivent être amenées à l'air libre rapidement. La respiration artificielle doit être administrée sur les personnes qui auraient cessé de respirer comme pour les personnes victimes d'une noyade.

**Tableau 2 : Synthèse des dangers associés au CO<sub>2</sub>**

Particularités du CO <sub>2</sub>	Conséquence
Fuite de CO <sub>2</sub> dans un espace confiné dû à des malfaçons, une détérioration des équipements par le vieillissement, des chocs mécaniques, un séisme, des vibrations suite au mauvais alignement de pompes, compresseurs, etc.	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Accumulation de CO<sub>2</sub> à une concentration supérieure à la concentration létale</li> <li>▪ CO<sub>2</sub> non détectable par l'odeur</li> <li>▪ CO<sub>2</sub> plus lourd que l'air ou l'ammoniac à température ambiante (Poids moléculaires CO<sub>2</sub> 44, Air 29 et Ammoniac 17)</li> <li>▪ Faux sentiment de sécurité, car le CO<sub>2</sub> est non détectable par l'odeur</li> <li>▪ Nécessité d'amener rapidement à l'air libre, les personnes qui auraient succombé à une exposition au CO<sub>2</sub> et de pratiquer la respiration artificielle si requise</li> </ul>
Pressions élevées, parfois plus de 100 bars (1 450 psig) avec potentiel de rupture catastrophique	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Les équipements doivent être conçus pour résister à des pressions élevées</li> </ul>
Basses températures parfois moins de -70°C	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Les équipements doivent être conçus pour résister à des basses températures</li> <li>▪ Dangers d'engelures graves si exposition aux vapeurs de CO<sub>2</sub> ou à la glace sèche</li> </ul>
Forte expansion du CO <sub>2</sub> en phase vapeur et liquide lorsque confiné entre des vannes fermées	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Augmentation de la pression dans la tuyauterie et les appareils jusqu'à la rupture explosive de ces équipements</li> </ul>
Formation de CO <sub>2</sub> solide à la sortie des soupapes de surpression	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Blocage dans les conduites en aval des soupapes de surpression empêchant la libération de la pression</li> </ul>
Défis pour drainer le CO <sub>2</sub> hors des équipements aux fins de maintenance	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Blocage dans les conduites en aval des soupapes de surpression empêchant la libération de la pression</li> </ul>

## ACCIDENTOLOGIE

Plusieurs ruptures de tubulures de système de réfrigération au CO<sub>2</sub> pour supermarchés avec évacuation des occupants des lieux ont été rapportées au Royaume-Uni sans conséquences autres que l'évacuation des lieux par les occupants. Aux États-Unis, la rupture explosive d'une conduite où du CO<sub>2</sub> s'était solidifié qu'un technicien de maintenance tentait de faire fondre en chauffant la conduite avec une torche, cause une perte de vie.

## CONFIGURATION TYPIQUE DES ARÉNAS RÉFRIGÉRÉS AU CO<sub>2</sub>

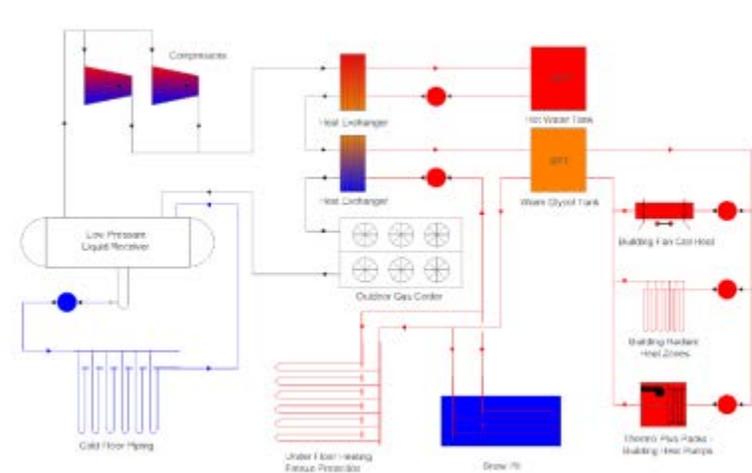
On peut distinguer deux grandes approches pour la conception des systèmes de réfrigération utilisant le CO<sub>2</sub> comme frigorigène :

1. CO<sub>2</sub> présent dans l'enceinte de l'aréna.
2. CO<sub>2</sub> confiné dans le local technique.

## CO<sub>2</sub> PRÉSENT DANS L'ENCEINTE DE L'ARÉNA – RÉFRIGÉRATION DE LA PATINOIRE

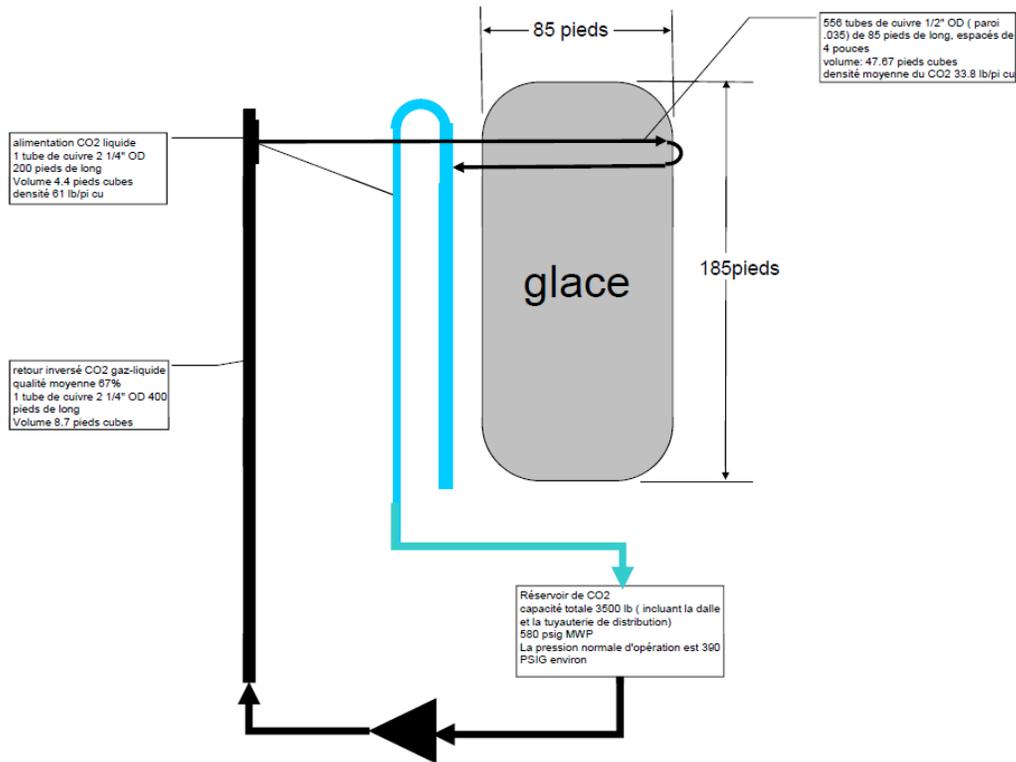
La figure 1 représente un schéma de principe avec circulation de CO<sub>2</sub> liquide dans la dalle de la patinoire. L'installation comporte deux circuits de CO<sub>2</sub>. Du CO<sub>2</sub> liquide est pompé dans des tubes qui sont enfouis dans la dalle de la patinoire. Le débit de CO<sub>2</sub> liquide est suffisant pour permettre un retour de liquide et vapeur vers le réservoir séparateur de vapeur/liquide (*Low Pressure Liquid Receiver*). La pression dans le réservoir séparateur est d'environ 24,1 barg (350 psig). Des compresseurs prennent aspiration sur le réservoir séparateur de vapeur/liquide pour porter la pression à 103,4 barg (1 500 psig) et à une température d'environ 104 °C. Une série d'échangeurs de chaleur permet de réchauffer une solution de glycol pour réchauffer le sol sous la dalle de la patinoire et chauffer l'enceinte et produire de l'eau chaude. Finalement, le gaz est refroidi dans un refroidisseur de gaz situé à l'extérieur (*outdoor gas cooler*).

Le gaz retourne au réservoir séparateur de gaz liquide en transitant par une vanne de détente ce qui conduit à la liquéfaction du gaz. Le réservoir séparateur gaz/liquide, la pompe de circulation de CO<sub>2</sub> liquide dans la dalle, les compresseurs et les échangeurs de chaleur pour réchauffer la solution de glycol et produire de l'eau chaude sont à l'intérieur du local technique. Le refroidisseur de gaz est à l'extérieur du local technique. Les collecteurs d'alimentation et de retour de CO<sub>2</sub> ainsi que les tubes enfouis dans la dalle de la patinoire sont à l'intérieur de l'enceinte de l'aréna. La dalle de béton réfrigérée supportant la glace agit comme l'évaporateur du frigorigène. L'échangeur de chaleur qui est enfoui dans la dalle réfrigérée est composé d'un réseau de tubes de cuivre 1/2" ID (fabrication spéciale, qui résiste à une plus forte pression que les tubes standard) et dont l'extérieur est recouvert d'une mince couche de polyéthylène haute densité pour les protéger de la corrosion causée par le contact avec le béton. Les tubes sont disposés selon l'axe de largeur de la patinoire.



**Figure 1 : Schéma de principe d'un système de réfrigération d'aréna avec CO<sub>2</sub> sous la dalle de la patinoire**

L'espacement des tubes de 1/2 " est de 4 po c/c et configuré en circuits de 2 passes sur 85'. Ces tubes sont enfouis dans la dalle dont l'épaisseur est de 3". La couverture de béton par-dessus les tubes est d'environ 1". (figure 2)



**Figure 2 : Alimentation de CO<sub>2</sub> dans des tubes sous la dalle supportant la glace**

Le caniveau qui contient le collecteur de CO<sub>2</sub> est disposé le long de l’axe de la longueur de la glace. Ce caniveau est situé sous le banc des joueurs. Quatre senseurs de CO<sub>2</sub> et un ventilateur qui est sensé aspiré le CO<sub>2</sub> gazeux provenant d’une fuite pour le rejeter à l’extérieur de l’édifice équipent le caniveau. La tubulure de 1/2" possède plusieurs joints dans le béton pour les « U bend » et les bagues d’assemblage. Ces joints sont assemblés par brasures (figure 3).



**Figure 3 : Caniveau pour collecteurs de CO<sub>2</sub>**

Le frigorigène CO<sub>2</sub> liquide circule dans l’échangeur de chaleur qui est enfoui dans la dalle réfrigérée et s’y vaporise à température et pression constante, du point d’entrée jusqu’au point de sortie de la dalle.

Le collecteur de frigorigène est de type retour renversé en cuivre 2¼". La pression au refoulement de la pompe est de 380 psig et de 350 psig à son aspiration, soit une perte de 30 psig dans le réseau de tuyauterie de la dalle aux conditions de charges maximales.

### MESURES DE SÉCURITÉ

Pendant la saison estivale lorsque la patinoire n'est pas en fonction, le vaporisateur dans la dalle est vidé de son frigorigène CO<sub>2</sub> (liquide) pour que la pression dans l'échangeur de chaleur n'excède pas la pression de design qui est de 580 psig, lorsque la dalle se réchauffe. En cas de panne de courant, aussi longtemps que la glace recouvre la dalle réfrigérée, la pression se maintiendra à 290 psig. Si la pression dans l'échangeur de chaleur devait excéder la pression de design, la soupape de surpression va ouvrir et relâcher la charge de frigorigène CO<sub>2</sub> dans l'environnement. En saison estivale la pression du frigorigène dans le système frigorifique doit être maintenue en deçà de la pression de design des composantes du système frigorifique pour éviter de devoir relâcher la charge de frigorigène dans l'atmosphère. Un petit refroidisseur de réfrigérant de 4 HP, refroidi à l'air du local technique, embarqué sur le monobloc est utilisé pour maintenir la température et la pression dans le réservoir de frigorigène.

### LE SYSTÈME FRIGORIFIQUE À RECIRCULATION DE RÉFRIGÉRANT

Le système frigorifique utilise un seul circuit de réfrigération, 7 compresseurs de 20 HP chacun, qui fonctionnent en cycle transcritique et qui collectivement peuvent développer 70Tr à une pression de refoulement de 1200 psig et 350 psig d'aspiration. Les compresseurs sont de types accessibles semi-hermétiques, ce qui signifie que le moteur du compresseur beigne dans le réfrigérant R-744 qui le refroidit. Le réservoir de réfrigérant est conçu pour une pression de 40 barg (588 psig), l'épaisseur des murs du vaisseau est 7/8" et la soupape de sûreté ouvre à 550 psig. Le réservoir de frigorigène est dimensionné pour contenir la charge de frigorigène dans le système frigorifique. [1306 kg de R-744].

### DANGERS POTENTIELS

Une fuite de CO<sub>2</sub> liquide sur les collecteurs situés dans le caniveau qui les abrite, les tubes enfouis sous la dalle ou à leur point de branchement avec les collecteurs d'alimentation ou de retour, représente un danger potentiel pour les personnes présentes dans l'enceinte de l'aréna.

### CO<sub>2</sub> PRÉSENT DANS L'ENCEINTE DE L'ARÉNA – CHAUFFAGE ENCEINTE

Un système de réfrigération proposé comporte le refroidissement de la saumure dans un échangeur de chaleur au CO<sub>2</sub> situé dans le local technique et le chauffage de l'enceinte par le CO<sub>2</sub> chaud provenant du refoulement des compresseurs. Seule la saumure froide (similaire aux systèmes conventionnels à l'ammoniac) circule sous la dalle de la patinoire. Les compresseurs, réservoirs de CO<sub>2</sub>, séparateur gaz/liquide, échangeur à plaques CO<sub>2</sub>/saumure, échangeurs CO<sub>2</sub> chaud/eau chaude sont situés dans le local technique. Les aérothermes chauffés par le CO<sub>2</sub> chaud à haute pression sont dans l'enceinte de l'aréna (zone occupée) et le refroidisseur à gaz est à l'extérieur. Le CO<sub>2</sub> gazeux haute pression est à environ 82,7 barg (1200 psig).

### DANGERS POTENTIELS

Une fuite sur les tubes de CO<sub>2</sub> chaud alimentant les aérothermes situés dans l'enceinte représente un danger potentiel pour les personnes qui y sont présentes.

### CO<sub>2</sub> CONFINÉ DANS LE LOCAL TECHNIQUE

Cette conception du système de réfrigération au CO<sub>2</sub> pour aréna, implique que tous les équipements contenant du CO<sub>2</sub> à l'exception du refroidisseur de CO<sub>2</sub> chaud et de sa tuyauterie sont à l'intérieur du local technique. Ce système comporte un échangeur à plaques pour refroidir la saumure qui circule sous la glace et des échangeurs pour réchauffer la solution de glycol servant au chauffage de l'enceinte et pour l'eau chaude. Ce système de réfrigération au CO<sub>2</sub> ne comporte aucun équipement contenant du CO<sub>2</sub> dans la zone occupée. Tous les équipements contenant le CO<sub>2</sub> à l'exception du refroidisseur à gaz sont situés dans le local technique de sorte à prévenir l'exposition des personnes qui sont dans l'enceinte de l'aréna.

### DANGERS POTENTIELS

Les dangers potentiels pour les personnes présentes dans l'enceinte seront très faibles s'il y a une séparation hermétique entre le local technique et l'enceinte de l'aréna.

### SIMULATION DE FUITE DE CO<sub>2</sub> À L'INTÉRIEUR DE L'ENCEINTE DE L'ARÉNA

L'objectif des simulations est de déterminer le comportement du CO<sub>2</sub> suite à une fuite. Trois scénarios de fuite de CO<sub>2</sub> ont été étudiés :

1. Fuite de CO<sub>2</sub> liquide sur un tube circulant sous la dalle de la patinoire au niveau du caniveau abritant les collecteurs de CO<sub>2</sub>
2. Fuite de CO<sub>2</sub> gazeux sur un tube alimentant un aérotherme situé près du plafond de l'enceinte
3. Ouverture de soupape de surpression

En ce qui a trait aux scénarios 1 et 2, nous avons posé l'hypothèse d'un bris complet d'un tube afin d'identifier les pires conséquences d'un tel événement. Nous avons aussi posé l'hypothèse aux fins de simplification que le système se drainerait au complet de son contenu de CO<sub>2</sub>. Nous sommes conscients qu'une certaine quantité de CO<sub>2</sub> resterait prisonnière des équipements. Cette simplification ne modifie pas les conclusions générales découlant des simulations.

### MODÈLE POUR LES SIMULATIONS DE FUITES DE CO<sub>2</sub>

La simulation de fuites accidentelles de CO<sub>2</sub> représente un défi à cause de son comportement thermodynamique, dont son diagramme de phase. À pression atmosphérique, le CO<sub>2</sub> est un solide qui se sublime en gaz. Ces comportements doivent être pris en compte dans la simulation. Les simulations ont été faites avec le logiciel PHAST (Process Hazard System Tools) de Det Norske Veritas (DNV) v. 6.7.

### FUITE DE CO<sub>2</sub> LIQUIDE SUR UN TUBE DE LA DALLE SOUS LA PATINOIRE

Le scénario implique la rupture d'un tube de 1/2" au point de raccordement avec un collecteur situé dans le caniveau qui longe la bande de la patinoire.

Diamètre du tube : ½ po	Pression : 400 psig	Température : -7,3oC
Inventaire de CO <sub>2</sub> 3 500 lb	Flux : 6 kg/s	Durée : 4 min
Dimension du caniveau : 67,1 m (longueur) x 304,8 mm (profondeur) x 457,2 mm (largeur)	Ventilateur du caniveau : 1 000 SCFM	Dimension du caniveau : 67,1 m (longueur) x 304,8 mm (profondeur) x 457,2 mm (largeur)
Concentration de CO <sub>2</sub> à simuler : 30 000 ppm	Ventilation aréna : 8 000 SCFM mis en marche instantanément lors de la fuite	

La figure 4 montre la vue en élévation de la concentration 30 000 ppm de CO<sub>2</sub> selon les directions horizontales (bleu), à 45° (vert) et verticales (orange). À noter que le nuage résultant de la fuite de direction horizontale a une hauteur de 1 m sur une longueur de 46 m. Ces distances sont pour les premières secondes, le CO<sub>2</sub> va continuer de s'accumuler derrière la bande de la patinoire et éventuellement déborder sur la patinoire. Les directions à 45 ° et verticales présentent aussi des dangers, car le CO<sub>2</sub> continue de s'accumuler près du sol. Il y a lieu de noter que les concentrations près du sol seraient beaucoup plus importantes et pourraient potentiellement excéder les concentrations létales. De plus, aux fins de simulation nous avons posé l'hypothèse de la mise en marche immédiate du ventilateur de 8 000 SCFM. Il faudrait probablement au moins 2 min avant que ce ventilateur soit fonctionnel et ce ventilateur situé au toit de l'édifice serait inefficace pour aspirer un gaz lourd qui s'est accumulé près du sol.

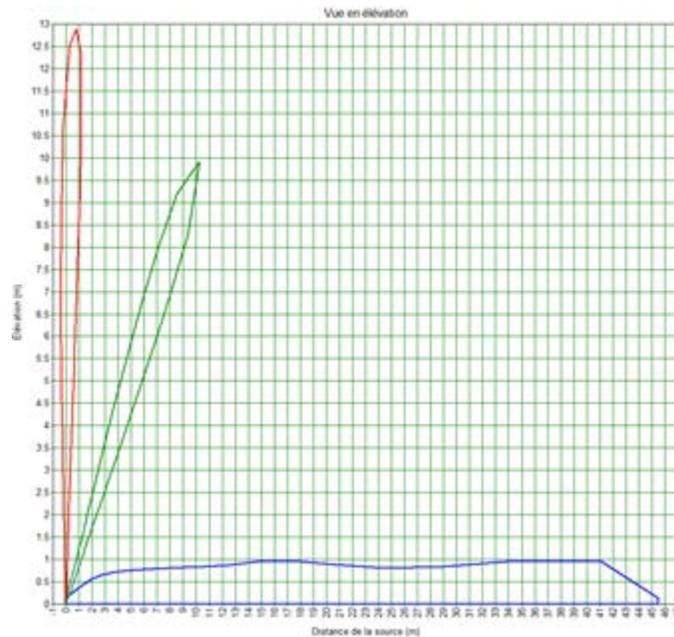


Figure 4 : Vue en élévation de 30 000 ppm suite à une rupture d'un tube de CO<sub>2</sub> de ½ "

SCÉNARIOS	CONSÉQUENCES	MESURES D'ATTÉNUATION POTENTIELLES
<p>L'introduction de CO<sub>2</sub> dans l'enceinte de l'aréna (zone occupée) n'est pas une solution intrinsèquement sécuritaire, c'est-à-dire que le risque va toujours être présent, risque qu'il faudra gérer par des mesures d'atténuation actives. Par contre si le CO<sub>2</sub> est confiné dans le local technique, le risque pour les usagers de l'aréna est éliminé. Les paragraphes qui suivent décrivent les scénarios qui ont été simulés, leurs conséquences et des mesures d'atténuation qui pourraient être utilisées.</p>		
<p>Bris de tubes de CO<sub>2</sub> liquide servant à réfrigérer la dalle de la patinoire suite à une malfaçon, un défaut de matériau, un choc mécanique, un séisme, le vandalisme</p>	<p>Libération potentielle de CO<sub>2</sub> dans l'enceinte de l'aréna, développement de concentrations dangereuses d'un gaz asphyxiant au niveau de la patinoire, des bancs de joueurs et des rangées inférieures de spectateurs et potentiel de pertes de vie</p>	<p>Utiliser des tubes de plus petit diamètre</p> <p>Utiliser un matériau plus robuste et résilient que le cuivre</p> <p>Réduire le nombre de joints soudés</p> <p>Utiliser des procédures de soudages qui assurent une qualité constante</p> <p>Prendre en compte les effets potentiels de séisme dans la conception du réseau de réfrigération</p> <p>Confiner les collecteurs dans un caniveau avec un couvert robuste et hermétique pouvant résister à la pression qui pourrait s'y développer, équipé de senseurs de CO<sub>2</sub> avec alarme et d'un ventilateur de capacité adéquate dont la sortie est dirigée vers un endroit sécuritaire</p> <p>Prévoir une ventilation de l'enceinte avec buses d'aspiration au niveau des parties inférieures de l'aréna</p> <p>Inclure des dispositifs d'arrêt de pompe et de compresseurs sur détection de fuite de CO<sub>2</sub></p> <p>Inclure des vannes solénoïdes permettant d'isoler le circuit sous la dalle du reste du système de réfrigération et de l'éventer à l'atmosphère</p>

SCÉNARIOS	CONSÉQUENCES	MESURES D'ATTÉNUATION POTENTIELLES
Bris de conduite dans l'enceinte de l'aréna de CO <sub>2</sub> gazeux chaud provenant du refoulement des compresseurs suite à une malfaçon, un défaut de matériau, un choc mécanique ou un séisme	Libération potentielle de CO <sub>2</sub> dans l'enceinte de l'aréna, développement de concentrations dangereuses d'un gaz asphyxiant au niveau de la patinoire, des bancs de joueurs et des rangées inférieures de spectateurs et potentiel de pertes de vie	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Réduire le nombre de joints de tuyauterie</li> <li>■ Utiliser des procédures de soudages qui assurent une qualité constante</li> <li>■ Prendre en compte les effets potentiels de séisme dans la conception du réseau de réfrigération</li> <li>■ Inclure des dispositifs d'arrêt de pompe et de compresseurs sur détection de fuite de CO<sub>2</sub></li> </ul>
Ouverture de soupape de surpression	Libération potentielle de CO <sub>2</sub> à l'extérieur de l'aréna avec potentiel de blessures, d'exposition à un gaz asphyxiant et d'engelures et potentiel de pertes de vie	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Positionner la sortie de la soupape de surpression à un endroit sécuritaire, clôturer l'endroit pour empêcher les personnes de se placer en position dangereuse</li> <li>■ S'assurer que la soupape de surpression est à distance sécuritaire des sorties de l'aréna et du local technique</li> <li>■ S'assurer que la tuyauterie est suffisamment ancrée pour résister à la force de réaction résultant de l'éjection de CO<sub>2</sub> à très haute vitesse</li> </ul>

#### ÉTUDE DE RISQUES ET GESTION DE LA SÉCURITÉ OPÉRATIONNELLE

Les installations de réfrigération d'aréna au CO<sub>2</sub> comporte des risques à cause des volumes important de frigorigène, des pressions élevées, des températures basses, du comportement de ce gaz s'il est libéré dans l'enceinte de l'aréna et de la présence de population potentiellement vulnérable (enfants sur patins) qui rendrait difficile l'application rapide d'un plan d'urgence. C'est pourquoi, il est nécessaire lors de la conception de faire une étude de risque pour bien cibler les enjeux et de mettre en place un programme de sécurité opérationnelle pour gérer l'exploitation des installations.

#### ÉTUDE DE RISQUES

L'étude de risques doit identifier les dangers significatifs associés au système de réfrigération au CO<sub>2</sub> et les mesures pour réduire et contrôler les risques pour toutes les personnes qui pourraient être affectées dont les travailleurs, les usagers de l'aréna et les riverains. L'étude de risque doit être enregistrée formellement et partagée avec le donneur d'ouvrage et les autorités compétentes qui ont besoin de connaître ces informations pour gérer les risques et mettre en place le plan d'urgence. L'étude de risques doit être gardée à jour.

## FORMATION EN SANTÉ ET SÉCURITÉ

Les recommandations qui ont été formulées précédemment sont destinées à assurer la sécurité des travailleurs, des usagers d'aré纳斯 et du public. Bien qu'elles ne soient pas complexes d'application, il y aurait lieu de développer et diffuser un cours dont l'objectif serait de revoir les technologies pour assurer la sécurité des travailleurs, des usagers d'aré纳斯 et du public, qui soit destiné aux concepteurs des systèmes de réfrigération pour aré纳斯 et des gestionnaires de ces aré纳斯. Cette formation devrait être sanctionnée par l'Ordre des ingénieurs du Québec. Ce programme pourrait être élaboré et diffusé par une institution universitaire.

## CONCLUSION ET RECOMMANDATION

Le CO<sub>2</sub> est un frigorigène qui offre un potentiel intéressant à cause de ses caractéristiques neutres sur le réchauffement global et son potentiel de récupération énergétique. Le CO<sub>2</sub> n'est ni plus ni moins sécuritaire que les autres frigorigènes, mais il a des avantages et des inconvénients. Comme pour tous les autres frigorigènes, la clef pour un système sécuritaire est de concevoir, installer et opérer le système en ayant identifié, évalué et disposé de tous les dangers en utilisant un personnel bien formé pour concevoir et opérer le système de réfrigération. Le danger principal avec le CO<sub>2</sub> est la possibilité de générer des concentrations létales à l'intérieur d'espaces confinés.

Des simulations ont été faites de fuite de CO<sub>2</sub> dans l'enceinte de l'aré纳斯 suite au bris de tubes alimentant le frigorigène pour réfrigérer la dalle supportant la patinoire ainsi que des conduites alimentant les aérothermes servant au chauffage de l'enceinte. Le logiciel PHAST, v. 6.7 utilisé pour les simulations tant pour déterminer le flux libéré à l'atmosphère et la dispersion du gaz prend en compte les données thermodynamiques du CO<sub>2</sub> et le diagramme de phases. C'est un des meilleurs outils disponibles. La rupture d'un tube de 1/2" de CO<sub>2</sub> liquide au niveau du caniveau où sont situés les collecteurs de distribution et retour peut conduire à une accumulation de gaz en excès de 30 000 ppm dans les zones inférieures de l'aré纳斯, dont les bancs des joueurs, la patinoire et les rangées inférieures de bancs de spectateurs. Le gaz est très lourd près du point d'émission, 2,3 relativement à l'air pour atteindre 1,5 après s'être réchauffé. Le gaz aura donc tendance à se stratifier dans les zones inférieures avant de se disperser. La rupture d'une conduite de CO<sub>2</sub> chaud en provenance des compresseurs et alimentant les aérothermes pourrait conduire à une accumulation de CO<sub>2</sub> en excès de 30 000 ppm dans les zones inférieures de l'aré纳斯. Le problème est cependant moins sévère que pour la rupture d'un tube de liquide.

Après avoir pris en compte le comportement du CO<sub>2</sub> suite à une fuite de liquide ou de gaz on peut conclure que :

- La solution à sécurité intrinsèque consiste à confiner le CO<sub>2</sub> dans le local technique et à utiliser des fluides caloporteurs pour la réfrigération de la dalle de la patinoire et pour le chauffage de l'enceinte et des chambres de joueurs.

À défaut de confiner le CO<sub>2</sub> dans le local technique, il est recommandé de :

- Utiliser des tubes d'un diamètre plus petit que 1/2" pour la réfrigération de la dalle de la patinoire;
- Utiliser un matériau plus robuste et résilient que le cuivre;
- Réduire le nombre de joints de tuyauterie;
- Utiliser des procédures de soudage qui assurent une qualité constante;

- Prendre en compte les effets potentiels de séisme dans la conception du réseau de réfrigération;
- Confiner les collecteurs de CO<sub>2</sub> liquide dans un caniveau avec couvert robuste et hermétique pouvant résister à la pression qui pourrait s’y développer, équipé de détecteurs de CO<sub>2</sub> avec alarme et d’un ventilateur de capacité adéquate dont la sortie est dirigée vers un endroit sécuritaire;
- Prévoir une ventilation de l’enceinte de l’aréna avec buses d’aspiration au niveau des parties inférieures de l’aréna;
- Positionner la sortie de la soupape de surpression à un endroit sécuritaire, clôturer l’endroit pour empêcher les personnes de se placer en position dangereuse;
- S’assurer que la soupape de surpression est à distance sécuritaire des sorties de l’aréna et du local technique;
- S’assurer que la tuyauterie est suffisamment ancrée pour résister à la force de réaction résultant de l’éjection du CO<sub>2</sub> à très haute vitesse;
- S’assurer que les espaces où du CO<sub>2</sub> est utilisé ou serait potentiellement présent ont des détecteurs avec alarmes pour déterminer les niveaux de CO<sub>2</sub> et de O<sub>2</sub> de sorte que les personnes présentes puissent être alertées et l’espace ventilé adéquatement;
- Faire une étude de risques lors de la conception d’un système de réfrigération au CO<sub>2</sub> pour bien cibler les enjeux et mettre en place un programme de sécurité opérationnelle pour gérer l’exploitation des installations;
- Mettre en place un programme de gestion de la sécurité opérationnelle qui comprend les éléments suivants :
  - Imputabilité : nommer une personne responsable des programmes de prévention et des plans d’urgence des installations de réfrigération au CO<sub>2</sub>;
  - Connaître le procédé : garder à jour la documentation des installations de réfrigération y incluant les plans et procédures;
  - Dangers du procédé : garder à jour la liste des dangers du procédé qui ont été répertoriés dans l’étude de risques;
  - Revues prédémarrage : faire des revues prédémarrage avant la mise en marche après des arrêts prolongés, des réparations ou des modifications aux installations;
  - Gestions des changements : établir une procédure de gestion des changements aux installations ou aux procédures, s’assurer que les pièces conformes sont utilisées pour la maintenance;
  - Gestion des entrepreneurs : établir une procédure de gestion des entrepreneurs œuvrant dans ces installations;
  - Intégrité mécanique : établir un programme pour conserver l’intégrité mécanique des équipements : maintenance préventive;
  - Procédures : élaborer les procédures critiques d’opération et de maintenance
  - Formation : prodiguer la formation sur l’opération des équipements, la maintenance, le plan d’urgence;
  - Plan d’urgence : élaborer un plan d’urgence qui couvre les riverains, le personnel d’opération et les clients de l’aréna. Ce plan couvre la communication à fournir aux travailleurs, l’alerte, l’évacuation, le confinement, l’intervention;
  - Vérifications : faire des vérifications de conformité de ce programme selon une fréquence préétablie;

- Développer un programme de formation sur la sécurité des systèmes de réfrigération sanctionné par l'Ordre des ingénieurs du Québec à être diffusé aux concepteurs de systèmes de réfrigération. Ce programme pourrait être élaboré et diffusé par une institution universitaire.

ANNEXE 6 : GUIDE DE GESTION DES RISQUES POUR SYSTÈME DE RÉFRIGÉRATION AUX HALOCARBURES POUR ARÉNAS



## Développement d'un guide sur la gestion des risques à l'intention des concepteurs des systèmes frigorifiques d'arénas utilisant les halocarbures comme frigorigènes

Jean-Paul Lacoursière, ing., Stéphanie Lacoursière, ing. M. Sc. A.  
JP Lacoursière inc.

35, rue Lemoyne, Repentigny, (Québec) Canada J6A 3L4  
T : (450)-581-2315; C : (514) 770-2315; F : (450) 581-4539  
Courriel : [jpla@sympatico.ca](mailto:jpla@sympatico.ca)

### Rapport No. P00460-1-AB-rev0

Ce rapport abrégé résume le rapport complet portant le même titre publié le 31 mars 2013 à titre de prestation pour Ressources naturelles Canada - Groupe Bâtiments - Centre de la technologie de l'énergie de CANMET - 1615, boul. Lionel-Boulet, C.P. 4800, Varennes QC J3X 1S6 sous le contrat 3000505435.

## RÉSUMÉ

Les hydro chlorofluorocarbures (HCFCs) et les hydrofluorocarbures (HFC) ont été introduits plus tard comme frigorigène. Les CFCs et HCFCs sont en parties responsables de la destruction de la couche d'ozone. Le protocole de Montréal vise le bannissement complet des CFCs et des HCFCs dont le R-22 fait parti. Les HFCs, qui ont été développés pour remplacer les CFCs et HCFCs, ne détruisent pas la couche d'ozone mais ceux-ci sont reconnus comme de puissants gaz à effet de serre. Les systèmes de réfrigération aux HFCs représentent une alternative pour la réfrigération des arénas lorsque l'ammoniac [NH<sub>3</sub> (R717)] ou le dioxyde de carbone [CO<sub>2</sub> (R744)] présentent des risques inacceptables pour les riverains ou les usagers des arénas et que les coûts des mesures de prévention et d'atténuation sont jugés inacceptables. L'étude de risques doit identifier les dangers significatifs associés au système de réfrigération aux HFCs et les mesures pour réduire et contrôler les risques pour toutes les personnes qui pourraient être affectées dont les travailleurs, les usagers de l'aréna et les riverains. De plus, un programme de gestion de la sécurité opérationnelle qui prend en compte la maintenance et les plans d'urgence doit être mis en place.

Les chlorofluorocarbures (CFCs) ont été utilisés comme frigorigènes depuis les années 1930. Les hydrochlorofluorocarbures (HCFCs) et les hydrofluorocarbures (HFCs) ont été introduits plus tard comme frigorigène. Les CFCs et HCFCs sont en parties responsables de la destruction de la couche d'ozone. Le protocole de Montréal vise le bannissement complet des CFCs et des HCFCs dont le R-22 fait parti. Les HFCs, qui ont été développés pour remplacer les CFCs et HCFCs, ne détruisent pas la couche d'ozone mais ceux-ci sont reconnus comme de puissants gaz à effet de serre.

Les systèmes de réfrigération au HFCs représentent cependant une alternative pour la réfrigération des arénas lorsque l'ammoniac [NH<sub>3</sub> (R717)] ou le dioxyde de carbone [CO<sub>2</sub> (R744)] présentent des risques inacceptables pour les riverains ou les usagers des arénas et que les coûts des mesures de prévention et d'atténuation sont jugés inacceptables. Des précautions particulières doivent cependant être prises pour l'utilisation sécuritaire des HFCs dans les arénas.

## PROBLÉMATIQUE ET MANDAT

Le mandat consiste à développer une étude technique sur les systèmes de réfrigération des arénas aux hydrofluorocarbures (HFCs) avec objectif principal de commenter sur la sécurité de ces installations pour les travailleurs, les usagers de l'aréna et le public à l'extérieur de l'aréna (riverains).

## LEA HFCS ET LEURS CARACTÉRISTIQUES

Un frigorigène doit satisfaire plusieurs exigences dont certaines ne sont pas reliées à leur habilité à transférer la chaleur. La stabilité aux conditions d'utilisation est une propriété essentielle. L'inflammabilité du frigorigène et sa toxicité sont des propriétés importantes dans le cas de la réfrigération des arénas. De plus les effets sur la couche d'ozone et le potentiel de gaz à effets de serre sont également d'importantes considérations à prendre en compte dans le choix du frigorigène.

Les frigorigènes sont classés en groupes de sécurité selon les critères suivants. La classification de sécurité consiste en deux caractères alphanumériques (i.e., A2 ou B1). (ASHRAE Standard 34 - 2010).

Les frigorigènes sont classés en deux niveaux de toxicité – A ou B selon le niveau d'exposition permis:

- Les frigorigènes de Classe A ont le plus bas niveau de toxicité tel qu'indiqué par la limite d'exposition permise (PEL) de 400 ppm ou plus, si la toxicité a été définie ou une valeur d'exposition moyenne pondérée (VEMP) de 400 ppm ou plus.
- Les frigorigènes de Classe B ont un plus haut niveau de toxicité tel qu'indiqué par la limite d'exposition permise (PEL) de moins de 400 ppm, si la toxicité a été définie ou une valeur d'exposition moyenne pondérée (VEMP) de moins de 400 ppm.

Les frigorigènes sont classés en trois niveaux d'inflammabilité (1, 2, 3) et une sous-classe optionnelle (2L) selon des tests de limites inférieures d'inflammabilité, de chaleur de combustion, et de la mesure optionnelle de la vitesse de combustion;

- Un frigorigène composé d'une seule substance chimique est de Classe 1 lorsqu'il ne présente pas de propagation de flamme lorsque soumis à un essai dans l'air à 60oC et 101,3 kPa. Des paramètres spécifiques s'appliquent pour les frigorigènes composés de plusieurs substances chimiques;
- Un frigorigène composé d'une seule substance chimique est de Classe 2 lorsqu'il remplit les trois conditions suivantes :
  1. Présente une propagation de flamme, lorsque soumise à un essai dans l'air à 60oC et 101,3 kPa;
  2. Présente une limite inférieure d'inflammabilité (LII) >0,10 kg/m<sup>3</sup> à 23oC et 101,3 kPa (d'autres conditions peuvent s'appliquer si le frigorigène n'a pas de LII à ces conditions); et,
  3. Possède une chaleur de combustion <19 000 kJ/kg.
- Un frigorigène composé d'une seule substance chimique est de Classe 2L lorsqu'il a une vitesse maximale de combustion ≤10 cm/s lorsque soumis à un essai dans l'air à 60oC et 101,3 kPa;
- Un frigorigène composé d'une seule substance chimique est de Classe 3 lorsqu'il remplit les deux conditions suivantes :

1. Présente une propagation de flamme, lorsque soumise à un essai dans l'air à 60°C et 101,3 kPa;
2. Présente une limite inférieure d'inflammabilité (LII)  $\leq 0,10$  kg/m<sup>3</sup> à 23°C et 101,3 kPa ou une chaleur de combustion  $\geq 19 000$  kJ/kg (d'autres conditions peuvent s'appliquer si le frigorigène n'a pas de LII à ces conditions).

D'autres paramètres s'appliquent concernant les limites d'exposition dangereuses pour la vie (mortalité, sensibilisation du système cardiaque, effets sur le système nerveux central, autres effets empêchant l'évacuation en sécurité), et la diminution de la concentration d'oxygène. (ASHRAE Standard 34 2010).

Le texte qui suit sur les concentrations dangereuses de CFC, HCFC et HFC est tiré d'un courriel fournissant les propriétés des principaux réfrigérants et les valeurs seuils d'exposition, Slavko Sebez, Direction de la santé publique de la capitale nationale, 2013. (Sebez 2013)

**Tableau 1 : Valeurs seuils des réfrigérants de synthèse**

Réfrigérants	Nom	Travailleurs Réglementation (ppm)		Population Valeurs seuils (ppm)			Propriétés importantes
R12 (CFC)	Dichlorodifluorométhane	1000	15 000	1000	3 000 (TEEL-1)	10 000 (TEEL-2)	Ininflammable
R22 (HCFC)	Chlorodifluorométhane	5 000	n.d.	1000	1 250 (TEEL-1)	7 500 (TEEL-2)	Ininflammable
R32 (HFC)	Difluorométhane	n.d.	n.d.	n.d.	1 300 (TEEL-1)	1 300 (TEEL-2)	Ininflammable, asphyxiant simple
R125 (HFC)	Pentafluoroéthane	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.)	n.d.	Ininflammable, asphyxiant simple
R410A HFC)	Mélange R32 et R125	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.)	n.d.	Ininflammable, asphyxiant simple

Source : Slavko Sebez, Direction de santé publique de la Capitale-Nationale

ACRONYMES:

VEMP	Valeur d'exposition moyenne pondérée (8 heures) du RSST <a href="http://www.reptox.csst.qc.ca/Documents/SIMDUT/ListeFra/Htm/ListeFra01.htm">http://www.reptox.csst.qc.ca/Documents/SIMDUT/ListeFra/Htm/ListeFra01.htm</a>
DIVS	Danger immédiat pour la vie ou la santé (Immediately Dangerous to Life or Health - IDLH) <a href="http://www.cdc.gov/niosh/sdh/intrid4.html">http://www.cdc.gov/niosh/sdh/intrid4.html</a>
Pas d'effets	La teneur de produit dans l'air ambiant à laquelle un individu peut être exposé jusqu'à une heure sans constat d'effet nuisible
Effets transitoires	Concentrations > AEGL-1, ERPG-1 ou TEEL-1 (Protective Action Criteria (PAC) <a href="http://www.atlanti.com/DOE/teels/teel/teel.pdf.html">http://www.atlanti.com/DOE/teels/teel/teel.pdf.html</a> )
Effets irréversibles	Concentrations > AEGL-2, ERPG-2 ou TEEL-2 (Manuel d'urgence <a href="http://www.dspq.qc.ca/publications/Manuelurgenceaout2011.pdf">http://www.dspq.qc.ca/publications/Manuelurgenceaout2011.pdf</a> )
TLV	TLV - Threshold Limit Values (TLVs) - TWA (8 heures) d'ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists) <a href="http://www.acgih.org/TLV/">http://www.acgih.org/TLV/</a>
P	Valeur plafond du RSST, à ne pas dépasser pour quelque durée que ce soit <a href="http://www.reptox.csst.qc.ca/documents/simdut/guidefra/hm/GuideFra13.htm">http://www.reptox.csst.qc.ca/documents/simdut/guidefra/hm/GuideFra13.htm</a>
RSST	Règlement sur la santé et la sécurité du travail <a href="http://www2.publicationsduquebec.gouv.qc.ca/dynamicSearch/telecharge.php?type=3&amp;files/S_2_1/S2_1R13.HTM">http://www2.publicationsduquebec.gouv.qc.ca/dynamicSearch/telecharge.php?type=3&amp;files/S_2_1/S2_1R13.HTM</a>
CFC	Chloro-Fluoro-Carbone (Potentiel élevé d'appauvrissement de la couche d'ozone; Le Protocole de Montréal a entraîné l'élimination progressive de tous les CFC) <a href="http://ozone.unep.org/new_site/fr/Treaties/treaties_decisions-hb.php?art_id=59,60,61,62,63">http://ozone.unep.org/new_site/fr/Treaties/treaties_decisions-hb.php?art_id=59,60,61,62,63</a>
HCFC	Hydrogène-Chloro-Fluoro-Carbone (Appauvrissement de la couche d'ozone) <a href="http://www.mddefp.gouv.qc.ca/air/halocarburants/index.htm">http://www.mddefp.gouv.qc.ca/air/halocarburants/index.htm</a>
HFC	Hydrogène-Fluoro-Carbone (N'appauvrissent pas la couche d'ozone, mais ce sont de puissants gaz à effet de serre)
ppm	parties par million
LIE	Limite inférieure d'explosibilité
n.d.	non disponible

Les dangers des frigorigènes sont reliés à leurs propriétés physiques et chimiques aux pressions et températures associés aux systèmes de réfrigération des arénas et à la localisation des équipements de réfrigération en rapport avec les zones occupées par les usagers de l'aréna. (ASHRAE Standard 15, 2010) Des blessures, pertes de vie et dommages à la propriété peuvent être causés par plusieurs événements dont:

- La rupture d'une composante sous pression ou une explosion avec potentiel de projection de débris ou écroulement de l'édifice;
- La libération de frigorigène suite à un bris de composante (tuyauterie), à une fuite sur un joint mécanique ou à une opération incorrecte;

- La libération de frigorigène suite à la corrosion sous le calorifugeage des tuyauteries;
- Un incendie résultant d'une déflagration ou alimenté par le frigorigène ou l'huile lubrifiante;
- L'accumulation d'huile de lubrification dans les évaporateurs qui peut réduire le transfert de chaleur ou la circulation de frigorigène.

Des blessures ou pertes de vie peuvent survenir suite à la libération de frigorigène dont:

- La suffocation par des frigorigènes plus lourds que l'air libérés dans des espaces qui ne sont pas ventilés de façon adéquate;
- Des effets narcotiques ou de sensibilisation du système cardiaque;
- Des effets toxiques des vapeurs de frigorigènes ou de leurs produits de décomposition suite aux contacts de flammes ou de surfaces chaudes;
- Des attaques corrosives des yeux, de la peau et des autres tissus;
- Le gel des tissus par contact avec le liquide froid.

Les HFCs sont généralement non inflammables et ne présentent pas de dangers d'incendie ou d'explosion sous les conditions normales des systèmes de réfrigération. Dans certaines circonstances inhabituelles, quelques HFCs présentent des caractéristiques d'inflammabilité, i.e., R-134a (Tétrafluoroéthane 1,1,1,2) (FM 2012)

#### PRINCIPES FONDAMENTAUX DE SÉCURITÉ

Les mêmes principes de sécurité qui s'appliquent aux systèmes de réfrigération qui utilisent les autres réfrigérants s'appliquent aux HFCs, à savoir :

1. Éviter les chocs hydrauliques.
2. Empêcher les liquides d'atteindre le compresseur.
3. Inclure des soupapes de sûreté (soupapes de surpression) pour libérer les pressions trop élevées.
4. Prévenir les vibrations excessives.
5. Supporter les équipements et tuyauteries indépendamment.
6. Prendre en compte les températures très basses et les pressions très élevées dans le choix des matériaux de construction.
7. Dimensionner les conduites (longueur et diamètre) pour assurer le transport de l'huile de lubrification sans perte de pression excessive qui occasionnerait des pertes d'efficacité du système de réfrigération.
8. Mettre en place un programme de maintenance dont une maintenance préventive pour les équipements critiques.
9. Mettre en place un plan d'intervention d'urgence avec personnel formé et le garder fonctionnel.

Les HFCs ont certaines propriétés physiques uniques qui requièrent des mesures de précautions spécifiques.

1. Les HFCs sont naturellement plus lourds que l'air. Ils auront tendance à s'accumuler dans les points bas s'ils sont relâchés à l'atmosphère.
2. Les conduites en cuivre de HFCs peuvent être de petits diamètres et fragiles aux impacts.

3. La vibration générée par les compresseurs peut causer la rupture des joints brassés.
4. La présence d'humidité dans le frigorigène peut conduire à la formation de glace à la vanne de détente.
5. Des particules de rouille ou de métal peuvent se déposer sur les sièges des vannes solénoïdes, empêchant ces vannes de fermer hermétiquement.

#### CONFIGURATION TYPIQUE DES ARÉNAS RÉFRIGÉRÉS AU HFCs

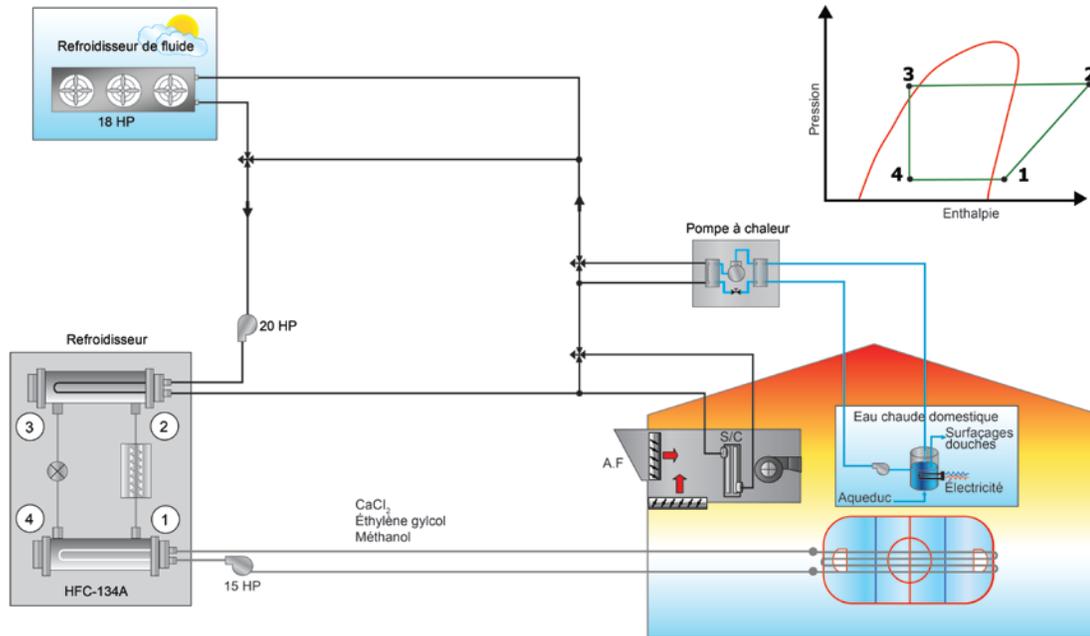
La figure 1 représente un schéma de principe d'un système de réfrigération pour aréna avec circulation de HFCs.

Le système de réfrigération comporte le refroidissement d'une saumure qui circule sous la dalle de la patinoire par un échangeur de chaleur aux HFCs situé dans le local technique et le chauffage de l'enceinte et de l'eau des douches par les HFCs gazeux chauds provenant du refoulement des compresseurs.

Les compresseurs, réservoirs de HFC, séparateur gaz/liquide, échangeur HFC/saumure, le condenseur HFCs /fluide secondaire (éthylène glycol) sont situés dans le local technique. Les aérothermes situés dans l'enceinte de l'aréna (zone occupée) sont alimentés par la boucle de fluide secondaire qui récupère la chaleur du système de réfrigération. Après la récupération de chaleur des aérothermes et/ou des pompes à chaleur, le surplus de chaleur de la boucle de fluide secondaire est rejeté au refroidisseur de fluide situé à l'extérieur de l'aréna.

## DANGERS POTENTIELS

La totalité du réfrigérant est confinée dans le local technique. La zone de danger est donc limitée aux occupants de ce local. Il n'y a pas de dangers qui ont été identifiés pour les riverains.



**Figure 1 : Système H5: système semi-hermétique monobloc avec pompe à chaleur pour le chauffage de l'eau**

## LOCAL TECHNIQUE

Les clauses suivantes tirées du chapitre 6 du Code de réfrigération mécanique (CSA B52-05) sont reproduites aux fins de compréhension des infrastructures où sont abrités les équipements de réfrigération aux HFCs.

Les fondations et les supports des condenseurs, des groupes compresseur-condenseur et des motocompresseurs doivent être solides et incombustibles.

Les organes mécaniques doivent être conformes à tous les règlements relatifs à l'hygiène et à la sécurité au travail.

On doit procéder de l'une des façons suivantes, au moins, pour assurer que les travaux d'inspection et d'entretien des systèmes frigorifiques sont réalisés de façon sécuritaire :

- a. L'équipement de plancher doit être installé de façon que des dégagements suffisants soient assurés autour de l'équipement pour effectuer les travaux d'entretien et de dépannage en toute sécurité.

- b. L'équipement qui n'est pas accessible du plancher doit être installé de façon qu'on puisse l'atteindre de façon sécuritaire :
  - i. au moyen d'échelles ou d'escaliers permanents équipés de plateformes et de rampes conformes aux exigences sur la sécurité au travail de l'autorité compétente pertinente ; ou
  - ii. à l'aide d'un appareil de levage mobile. L'utilisation d'un appareil élévateur, au lieu des dispositifs fixes dont il est question au sous-alinéa b) (i) doit être permise seulement si cet appareil se trouve en tout temps sur les lieux, s'il est acceptable en vertu des exigences de l'autorité compétente sur la sécurité au travail et si la nature du système frigorifique est telle qu'il peut être entretenu de cette façon en toute sécurité.
- c. L'équipement installé sur un toit ou une mezzanine doit être placé à 3 m de tout bord si un risque de chute existe, sous réserve de l'alinéa d). Si les exigences sur la sécurité au travail de l'autorité compétente en cause demandent un retrait plus important, on doit se conformer à ces exigences.
- d. Si l'équipement installé sur un toit ou une mezzanine ne peut être placé en retrait conformément à l'alinéa c), des rampes et des points d'attache pour les dispositifs d'arrêt de chute doivent être fournis conformément aux exigences sur la sécurité au travail de l'autorité compétente en cause.

Chaque local technique doit être muni d'une ou de plusieurs portes qui s'ouvrent vers l'extérieur, à fermeture automatique (et étanche s'il s'agit de portes qui s'ouvrent vers le bâtiment). Le nombre de portes doit être suffisant pour permettre aux personnes de sortir rapidement du local en cas d'urgence. Les portes ne doivent pas ouvrir sur un corridor public ou une salle de réunion. À l'exception des portes et des panneaux d'accès des conduits d'air ou des appareils de traitement de l'air conformes, le local technique ne doit comporter aucune ouverture par laquelle le frigorigène peut s'échapper.

#### DÉTECTEURS DE FUITE DE HFCs

Un détecteur de fuite de HFCs doit être installé dans un endroit où le HFC qui fuit est le plus susceptible de se retrouver, i.e 1,3 m du sol et doit être activé à une valeur non supérieure à la VEMP (TLV/TWA). Une fois activé, le détecteur doit :

- a. déclencher une alarme sonore facile à entendre ; et
- b. actionner la ventilation mécanique.

**Note :** Dans certains cas, plusieurs détecteurs ou points de détection peuvent être requis (p. ex., à cause de la configuration du local technique ou des schémas d'écoulement d'air).

#### VENTILATION

L'air du local technique doit être évacué vers l'extérieur. Une ventilation requise en vertu du code B52-05. Il y a lieu de noter que les HFCs sont plus lourds que l'air. Prévoir l'aspiration des ventilateurs près du sol. La capacité des ventilateurs doit être conforme aux exigences du code B52-05.

## ÉTUDE DE RISQUES ET GESTION DE LA SÉCURITÉ OPÉRATIONNELLE

Les installations de réfrigération d'aréna aux HFCs comportent des risques à cause des volumes importants du frigorigène, des pressions élevées, des températures basses, du comportement de ces gaz s'ils sont libérés dans l'enceinte de l'aréna et de la présence de population potentiellement vulnérable (enfants sur patins) qui rendrait difficile l'application rapide d'un plan d'urgence. C'est pourquoi il est nécessaire lors de la conception de faire une étude de risques pour bien cibler les enjeux et de mettre en place un programme de sécurité opérationnelle pour gérer l'exploitation des installations.

### ÉTUDE DE RISQUES

L'étude de risques doit identifier les dangers significatifs associés au système de réfrigération aux HFCs et les mesures pour réduire et contrôler les risques pour toutes les personnes qui pourraient être affectées dont les travailleurs, les usagers de l'aréna et les riverains. L'étude de risques doit être enregistrée formellement et partagée avec le donneur d'ouvrage et les autorités compétentes qui ont besoin de connaître ces informations pour gérer les risques et mettre en place le plan d'urgence.

L'étude de risques doit être gardée à jour.

### GESTION DE LA SÉCURITÉ OPÉRATIONNELLE

La sécurité des installations de réfrigération utilisant les HFCs nécessite un programme holistique de gestion. Les éléments de ce programme présentés dans les paragraphes qui suivent sont basés sur les pratiques recommandées par IIAR et FM Global.

1. **Imputabilité** : nommer une personne responsable des programmes de prévention et des plans d'urgence des installations de réfrigération;
2. **Connaître le procédé** : garder à jour la documentation des installations de réfrigération y incluant les plans et procédures;
3. **Dangers du procédé** : garder à jour la liste des dangers du procédé qui ont été répertoriés dans l'étude de risques;
4. **Revues de prédémarrage** : faire des revues de prédémarrage avant la mise en marche après des arrêts prolongés, des réparations ou des modifications aux installations;
5. **Gestions des changements** : établir une procédure de gestion des changements aux installations ou aux procédures, s'assurer que les pièces conformes sont utilisées pour la maintenance;
6. **Gestion des entrepreneurs** : établir une procédure de gestion des entrepreneurs œuvrant dans ces installations;
7. **Intégrité mécanique** : établir un programme pour conserver l'intégrité mécanique des équipements : maintenance préventive;
8. **Procédures** : élaborer les procédures critiques d'opération et de maintenance;
9. **Formation** : Prodiguer la formation sur l'opération des équipements, la maintenance, le plan d'urgence;
10. **Plan d'urgence** : élaborer un plan d'urgence qui couvre les riverains, le personnel d'opération et les clients de l'aréna. Ce plan couvre la communication à fournir aux travailleurs, l'alerte, l'évacuation, le confinement, l'intervention;
11. **Vérifications** : faire des vérifications de conformité de ce programme selon une fréquence préétablie.

## PLAN D'INTERVENTION D'URGENCE

La sécurité des installations de réfrigération aux HFCs nécessite la mise en place d'un plan d'intervention d'urgence qui doit inclure à minima les objectifs suivants :

1. S'assurer que le personnel d'opération est bien formé sur les procédures d'opération spécifiques, les divers dangers des frigorigènes utilisés, et des équipements (compresseurs, pompes, échangeurs de chaleur), et des interventions à appliquer en cas de fuite ou autres urgences;
2. Identifier et former le personnel (opération, maintenance et surveillance (préposés à l'aréna, gardiens, etc.) qui auraient à intervenir en cas de fuite ou déversement de frigorigène. S'assurer que ce personnel est bien au fait des dangers du frigorigène utilisé dans l'aréna. S'assurer que l'équipement adéquat est disponible et accessible y incluant les détecteurs de gaz, les appareils respiratoires autonomes (ARA), les vêtements de protection, les ventilateurs. Conduire à fréquence régulière des sessions de formation et exercices.
3. Identifier les personnes à l'extérieur de l'aréna qui doivent être alertées lors d'une urgence. Ceci pourrait inclure les services incendies, urgence santé (ambulances) et les autorités environnementales.
4. S'assurer que les vannes critiques qui contrôlent les flux de frigorigène sont clairement identifiées.

## CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

Les systèmes de réfrigération au HFCs représentent une alternative pour la réfrigération des arénas lorsque l'ammoniac [NH<sub>3</sub> (R717)] ou le dioxyde de carbone [CO<sub>2</sub> (R744)] présentent des risques inacceptables pour les riverains ou les usagers des arénas et que les coûts des mesures de prévention et d'atténuation sont jugés inacceptables.

Il est recommandé de :

- Faire une étude de risques lors de la conception d'un système de réfrigération aux HFCs pour bien cibler les enjeux et mettre en place un programme de sécurité opérationnelle pour gérer l'exploitation des installations;
- Mettre en place un programme de gestion de la sécurité opérationnelle qui comprend les éléments suivants :
  - **Imputabilité** : nommer une personne responsable des programmes de prévention et des plans d'urgence des installations de réfrigération;
  - **Connaître le procédé** : garder à jour la documentation des installations de réfrigération y incluant les plans et procédures;
  - **Dangers du procédé** : garder à jour la liste des dangers du procédé qui ont été répertoriés dans l'étude de risques;
  - **Revue de prédémarrage** : faire des revues de prédémarrage avant la mise en marche après des arrêts prolongés, des réparations ou des modifications aux installations;
  - **Gestions des changements** : établir une procédure de gestion des changements aux installations ou aux procédures, s'assurer que les pièces conformes sont utilisées pour la maintenance;

- **Gestion des entrepreneurs** : établir une procédure de gestion des entrepreneurs œuvrant dans ces installations;
- **Intégrité mécanique** : établir un programme pour conserver l'intégrité mécanique des équipements : maintenance préventive;
- **Procédures** : élaborer les procédures critiques d'opération et de maintenance;
- **Formation** : prodiguer la formation sur l'opération des équipements, la maintenance, le plan d'urgence;
- **Plan d'urgence** : élaborer un plan d'urgence qui couvre les riverains, le personnel d'opération et les clients de l'aréna. Ce plan couvre la communication à fournir aux travailleurs, l'alerte, l'évacuation, le confinement, l'intervention;
- **Vérifications** : faire des vérifications de conformité de ce programme selon une fréquence préétablie.





CanmetÉNERGIE à Varennes

1615, Boulevard Lionel-Boulet, C.P. 4800, Varennes, Québec, J3X 1S6, Canada

Téléphone : (450) 652-4621 | Télécopieur : (450) 652-5177 | Site Web : [www.canmetenergie.rncan.gc.ca](http://www.canmetenergie.rncan.gc.ca)



Ressources naturelles  
Canada

Natural Resources  
Canada

Canada