



Feuille de route d'un projet de réfrigération

Forum réfrigération, 3 décembre 2019

Jean-Philippe Morin, ing., CMVP
Président JPM Consultant inc.
jean-philippe.morin@jpmconsultant.com
438.495.2389

Plan de présentation

1. Applications
2. Étapes du processus de conception
3. Calculs de charges
4. Normes et réglementation
5. Choix de réfrigérant
6. Sélections d'équipements
7. Budget et subvention
8. Étude de cas

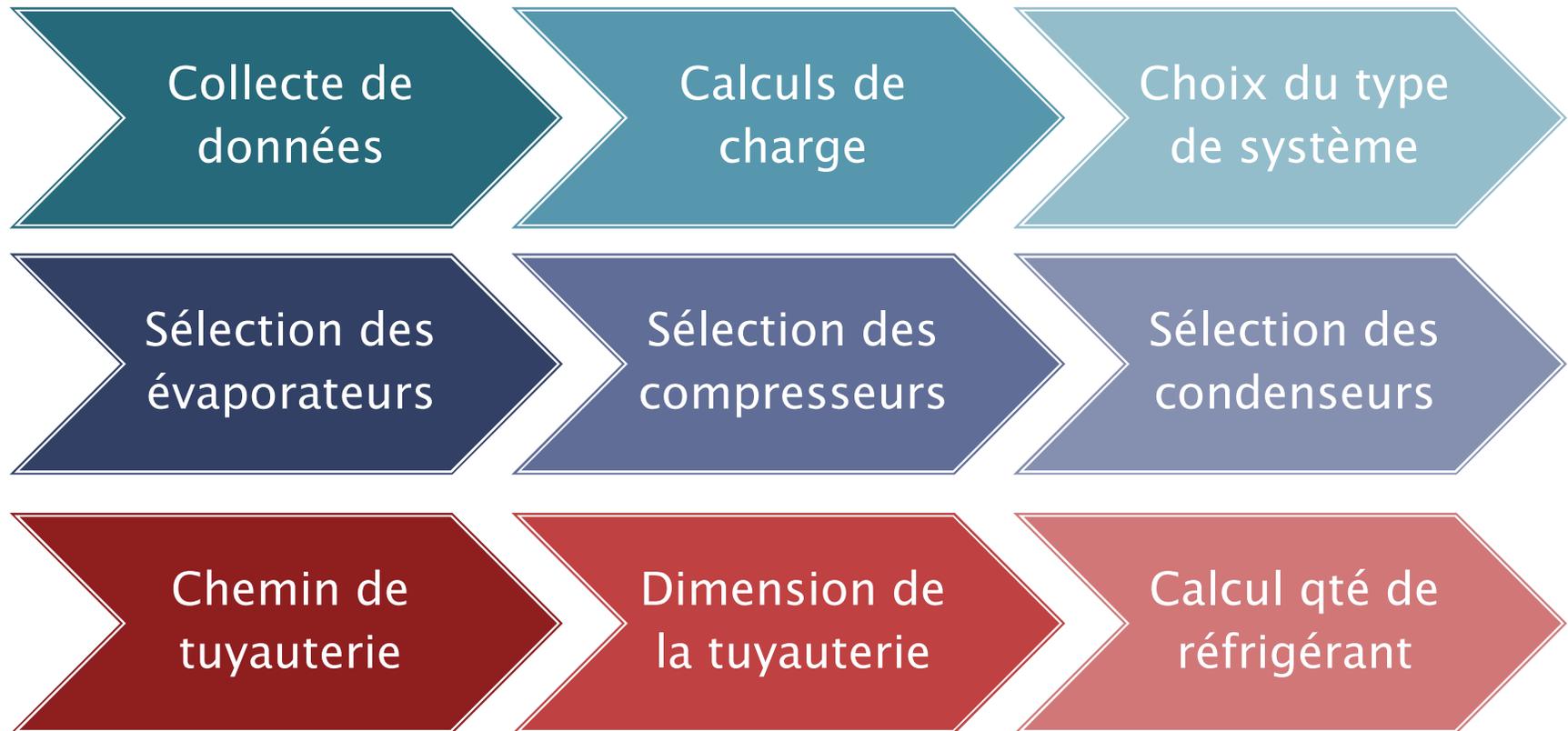
Applications

Types de projet

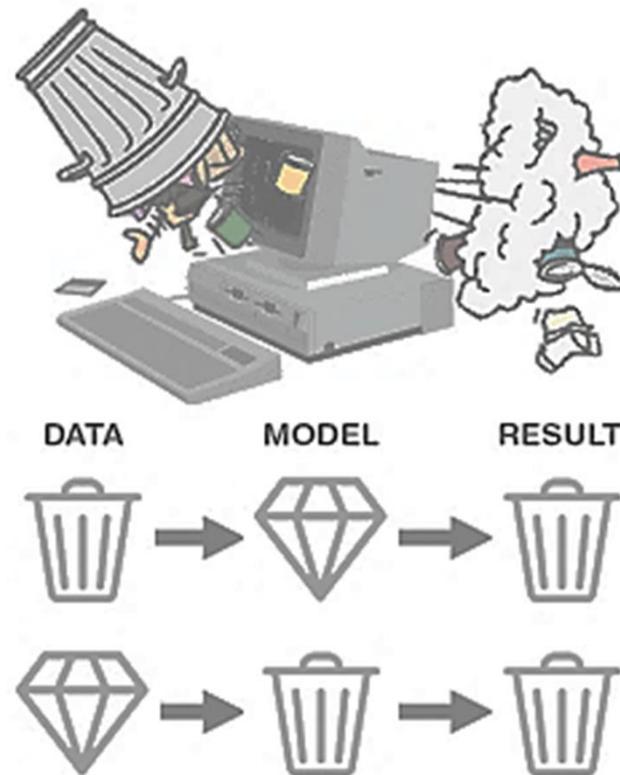
- ▶ Récréatif (aréna)
- ▶ Commercial (épicerie, dépanneur)
- ▶ Entreposage industriel
- ▶ Transformation et production industrielles



Processus de conception



Collecte de données



Collecte de données

Enveloppe

- Superficie et volume
- Valeurs R
- Temp. int. / ext.

Gains internes

- Occupants
- Équipements roulants, machinerie
- Éclairage
- Moteurs d'évaporateurs

Produits & procédés

- Appareils à alimenter (chambres de mûrissement, blast, tunnels, etc.)
- Volumes de produits hebdomadaires
- Temp. d'entrée et abaissement
- Fruits et légumes → Respiration

Ventilation & infiltration

- Requis d'air frais (RSST / Ashrae 62.1)
- # de portes et utilisation
- Temp. & H.R. int. / ext.

Calculs de charges (enveloppe)

T. ext. de conception

Utiliser les données mensuelles 0.4 %

2017 ASHRAE Handbook - Fundamentals (SI)		MONTREAL TRUDEAU INTL, QC, CANADA (WMO: 7162)												
Lat:45.470N	Long:73.74W	Elev:36	StdP: 100.89	Time zone:-5.00	DBAN:99999	WBAN:99999	MCWBAN:99999	MCDBAN:99999	MCWBAN:99999	MCDBAN:99999	MCWBAN:99999	MCDBAN:99999	MCWBAN:99999	MCDBAN:99999
Monthly Climatic Design Conditions														
		Annual	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Monthly Design Dry Bulb and Mean Coincident Wet Bulb Temperatures	0.4%	DB	8.0	6.7	15.7	24.4	28.6	31.5	32.0	31.3	29.8	23.8	16.8	10.3
		MCWB	7.2	4.3	10.0	16.1	18.9	22.9	23.7	22.9	21.6	17.5	13.7	8.9
	2%	DB	4.9	4.5	10.9	20.0	25.9	29.2	29.9	29.1	26.6	20.7	14.2	6.8
		MCWB	3.6	2.7	6.7	12.5	17.0	21.1	22.4	21.5	20.2	16.0	11.7	5.2
	5%	DB	3.0	2.9	8.1	16.9	23.6	27.4	28.4	27.7	24.5	17.9	11.6	4.7
		MCWB	1.8	1.4	4.7	10.6	15.5	19.9	21.4	20.8	18.9	14.1	9.3	3.2
	10%	DB	1.2	1.4	5.9	14.1	21.3	25.7	26.9	26.1	22.6	15.7	9.2	2.9
		MCWB	0.0	0.1	3.2	8.9	14.7	19.0	20.4	20.1	18.0	12.6	7.1	1.6
Monthly	0.4%	WB	7.2	5.2	11.8	17.2	20.5	24.1	24.9	23.9	22.6	18.9	14.5	9.2
		MCDR	7.7	6.5	14.8	22.9	26.4	29.5	30.5	29.8	27.5	22.4	15.9	10.3

Source : <http://ashrae-meteo.info/>

Calculs de charges (enveloppe)

Conduction : $Q = U \times A \times \Delta T$, T_{ext} ajustée selon l'orientation

Table 2 Recommended Insulation R-Values

Type of Facility	Temperature Range, °F	Thermal Resistance R , °F·ft ² ·h/Btu		
		Floors	Walls/Suspended Ceilings	Roofs
Coolers ^a	40 to 50	Perimeter insulation only ^c	25	30 to 35
Chill coolers ^c	25 to 35	20	24 to 32	35 to 40
Holding freezer	-10 to -20	27 to 32	35 to 40	45 to 50
Blast freezers ^b	-40 to -50	30 to 40	45 to 50	50 to 60

Table 3 Allowance for Sun Effect

Typical Surface Types	East Wall, °F	South Wall, °F	West Wall, °F	Flat Roof, °F
<i>Dark-colored surfaces</i>				
Slate roofing	8	5	8	20
Tar roofing				
Black paint				
<i>Medium-colored surfaces</i>				
Unpainted wood	6	4	6	15
Brick				
Red tile				
Dark cement				
Red, gray, or green paint				
<i>Light-colored surfaces</i>				
White stone	4	2	4	9
Light-colored cement				
White paint				

Source : ASHRAE Refrigeration

Calculs de charges (gains internes)

Occupants

Table 7 Heat Equivalent of Occupancy

Refrigerated Space Temperature, °F	Heat Equivalent/Person, Btu/h
50	720
40	840
30	950
20	1050
10	1200
0	1300
-10	1400

Source : ASHRAE Refrigeration

Équipements

Table 6 Heat Gain from Typical Electric Motors

Motor Name-plate or Rated Horse-power	Motor Type	Nominal rpm	Full Load Motor Efficiency, %	Location of Motor and Driven Equipment with Respect to Conditioned Space or Airstream		
				A	B	C
				Motor in, Driven Equipment in, Btu/h	Motor out, Driven Equipment in, Btu/h	Motor in, Driven Equipment out, Btu/h
0.05	Shaded pole	1500	35	360	130	240
0.08				580	200	380
0.125				900	320	590
0.16				1160	400	760
0.25	Split phase	1750	54	1180	640	540
0.33				1500	840	660
0.50				2120	1270	850
0.75				2650	1900	740
	3-Phase	1750	72			

Calculs de charges (procédé)

Produits

▶ $Q = m \times [C_p \times \Delta T + h_f + C_p \times \Delta T] / T(h)$

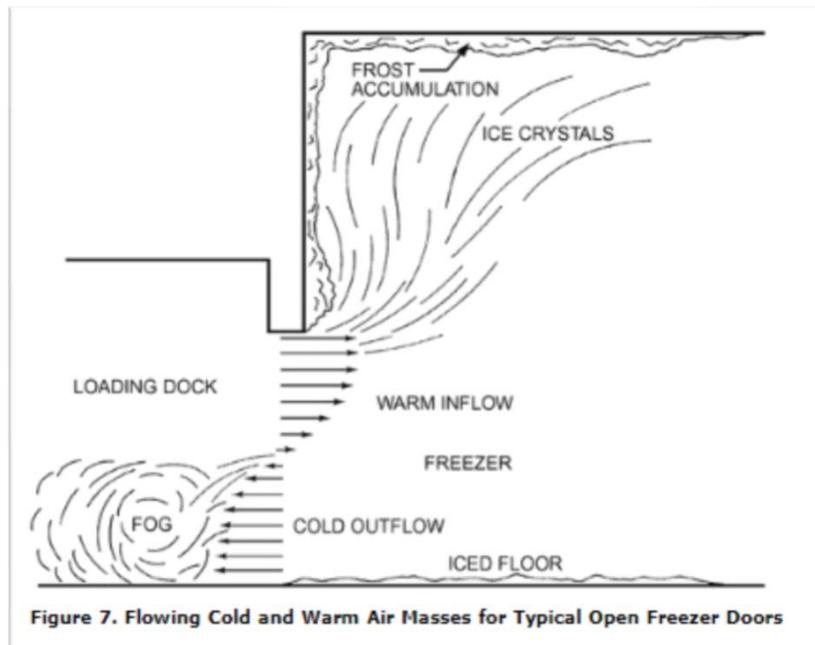
> 0 C

Chaleur de
fusion (latente)

< 0 C

Calculs de charges

Infiltration / ventilation



Paramètres de calculs

- ▶ Densité de l'air
- ▶ Enthalpie
- ▶ Superficie d'ouverture
- ▶ Types de portes et protections
- ▶ Usages et temps d'ouverture de portes

Source : ASHRAE

Calculs de charges

Infiltration / ventilation

► $Q = \text{cfm} \times \Delta h \rightarrow$ air intérieur vs air infiltré

Table 4

Average air changes per 24 hours for storage rooms above 32°F. (0°C.) due to door openings and infiltration.

Volume Cu. Ft.	Air Changes Per 24hrs.	Volume Cu. Ft.	Air Changes Per 24hrs.	Volume Cu. Ft.	Air Changes Per 24hrs.
200	44.0	2,000	12.0	25,000	3.0
250	38.0	3,000	9.5	30,000	2.7
300	34.5	4,000	8.2	40,000	2.3
400	29.5	5,000	7.2	50,000	2.0
500	26.0	6,000	6.5	75,000	1.6
600	23.0	8,000	5.5	100,000	1.4
800	20.0	10,000	4.9	150,000	1.2
1,000	17.5	15,000	3.9	200,000	1.1
1,500	14.0	20,000	3.5	300,000	1.0

Note: For heavy usage multiply the above values by 2.0
For long storage multiply the above values by 0.6

Table 5

Average air changes per 24 hours for storage rooms below 32°F. (0°C.) due to door openings and infiltration.

Volume Cu. Ft.	Air Changes Per 24hrs.	Volume Cu. Ft.	Air Changes Per 24hrs.	Volume Cu. Ft.	Air Changes Per 24hrs.
200	33.5	2,000	9.3	25,000	2.3
250	29.0	3,000	7.4	30,000	2.1
300	26.2	4,000	6.3	40,000	1.8
400	22.5	5,000	5.6	50,000	1.6
500	20.0	6,000	5.0	75,000	1.3
600	18.0	8,000	4.3	100,000	1.1
800	15.3	10,000	3.8	150,000	1.0
1,000	13.5	15,000	3.0	200,000	0.9
1,500	11.0	20,000	2.6	300,000	0.85

Source : Heatcraft

Calculs de charges

Taux de ventilation minimale

Table 6-1 Minimum Ventilation Rates in Breathing Zone (Continued)

Occupancy Category	People Outdoor Air Rate R_p		Area Outdoor Air Rate R_a		Default Values	Air Class	OS (6.2.6.1.4)
	cfm/person	L/s/person	cfm/ft ²	L/s·m ²	Occupant Density		
					#/1000 ft ² or #/100 m ²		
Miscellaneous Spaces							
Banks or bank lobbies	7.5	3.8	0.06	0.3	15	1	✓
Bank vaults/safe deposit	5	2.5	0.06	0.3	5	2	✓
Computer (not printing)	5	2.5	0.06	0.3	4	1	✓
Freezer and refrigerated spaces (<50°F [10°C])	10	5	0	0	0	2	

Source : ASHRAE 62.1-2019

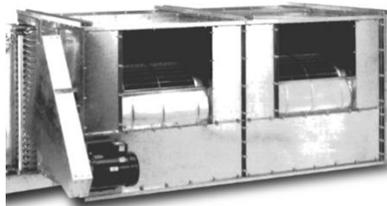
Calculs de charges

Attention aux charges latentes

- ▶ Procédés
- ▶ Sanitation
- ▶ Ventilation
- ▶ Etc.



Choix du type d'évaporateur



Centrifuge



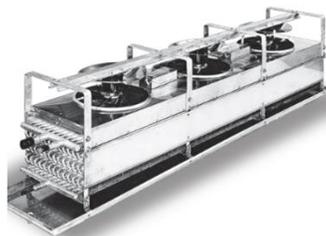
Penthouse



Horizontal



Basse vitesse



Vertical



Conduits flex.

Critères de sélection

- ▶ Application
- ▶ Capacité
- ▶ Portée
- ▶ Pression statique
- ▶ Sécurité
- ▶ Niveau de bruit
- ▶ Vitesse
- ▶ Entretien & accessibilité
- ▶ Résistance chimique (sanitation)

Choix du type d'évaporateur

TD (air | réfrigérant)

- ▶ Selon la cible d'H.R.
 - H.R. > 90 % : 8–10 °F
 - H.R. ± 80 % : 10–12 °F
 - H.R. ± 70 % : 12–16 °F

Peut être aussi bas que de 25–30 pour des requis (emballage, entreposage sec, etc.)

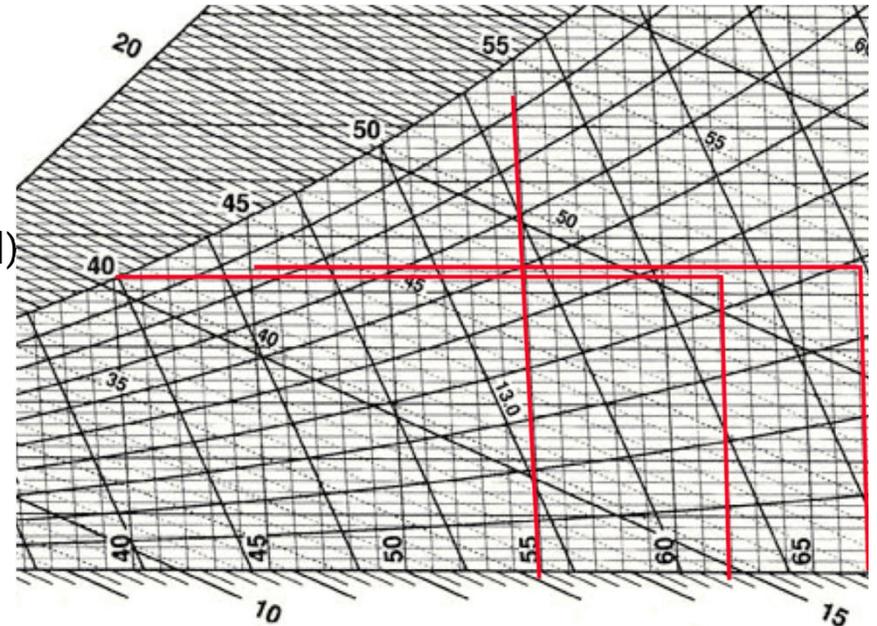
Dégivrage

- ▶ Requis pour SST < 32°F
- ▶ Types
 - Air
 - Électrique
 - Gaz chauds
 - Glycol
 - Eau (sanitation)
- ▶ Considérer la perte de capacité en dégivrage

Étude de cas : chocolaterie

Requis : 62°F @ 40% H.R.

- ▶ Concept initial : SST 25°F
 - Réchauffe terminale
 - Dégivrage
- ▶ Validation des charges
 - Peu de charges latentes (occupant seul)
 - Air neuf préclimatisé
 - SST choisie selon le point de rosée requis (40°F)
- ▶ Option finale : SST 35°F
 - Élimination de la réchauffe terminale
 - Élimination du dégivrage



Choix du type de compresseur



Vis



Hélicoïdaux
(scroll)



Réciproque

Critères de sélection

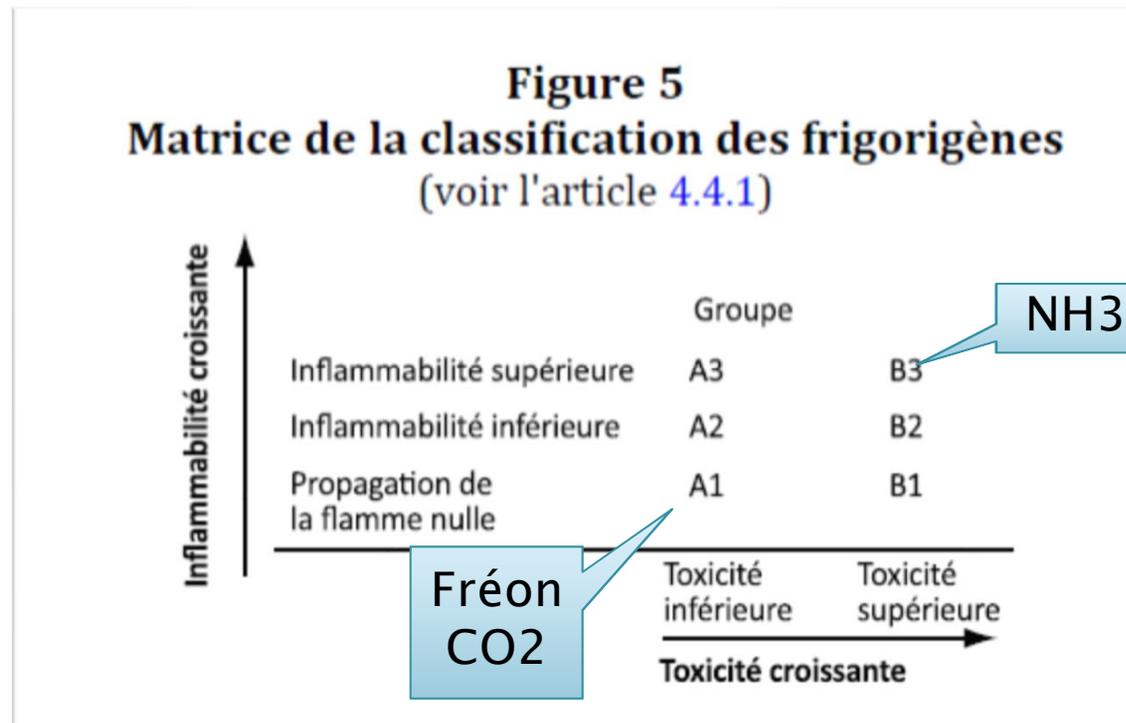
- ▶ Capacité
- ▶ Pression d'opération
- ▶ Puissance (MMF)

Choix de réfrigérant

Réfrigérant	Application	Capacité (TR)	\$/TR
Synthétique (HFC, HFO)	<ul style="list-style-type: none"> ” Petit commercial, industriel, loisir ” Moyenne et haute température 	< 100	± 7 000 \$
CO2	<ul style="list-style-type: none"> ” Moyen commercial, industriel, loisir ” Basse et moyenne température ” Récupération de chaleur ++ 	100 – 500	+ 15 %
NH3	<ul style="list-style-type: none"> ” Industriel lourd, loisir ” Basse et moyenne température ” Récupération de chaleur 	500 +	+ 25 %

Code sur la réfrigération mécanique (CSA B-52)

Charges maximales selon le type de réfrigérant



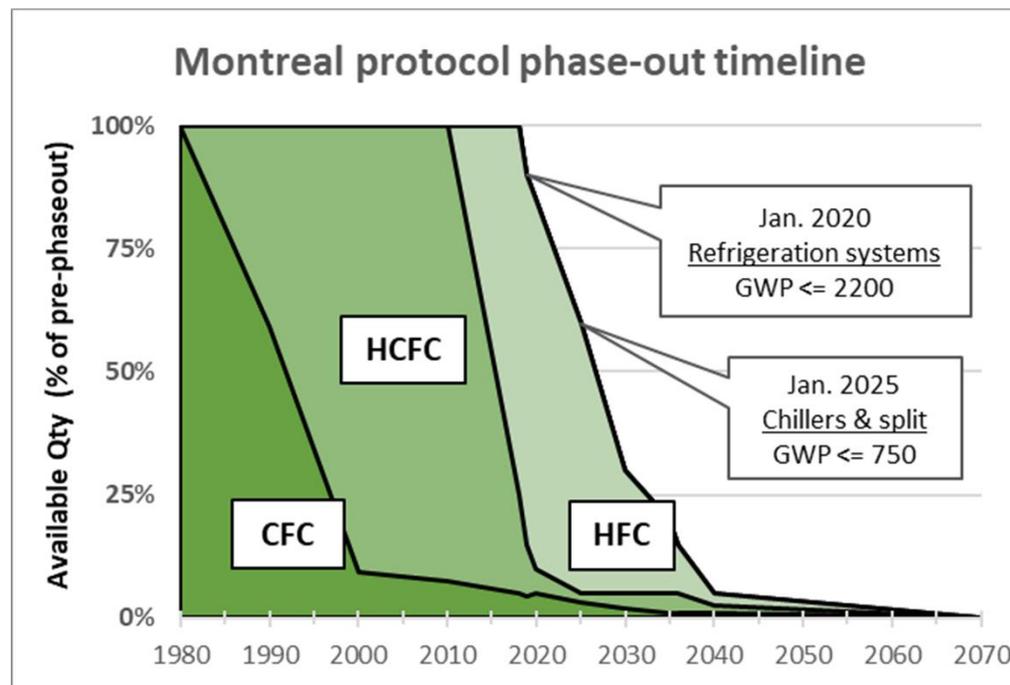
Règlementation MMF (Québec)

Puissance maximale selon le type d'installation

Machines fixes		Puissance maximale des installations en kW			
Types d'installation	Surveillance conditionnelle	Surveillance périodique	Surveillance interrompue	Surveillance continue	
NH3 Appareil frigorifique haute pression Gr. A2, A3, B2 ou B3	50	300	600	plus de	600
Fréon CO2 Appareil frigorifique haute pression utilisant un compresseur du type volumétrique, Gr. A1 ou B1	300	600	1 200	plus de	1 200

Protocole de Montréal (1987)

Limite du GWP selon l'application

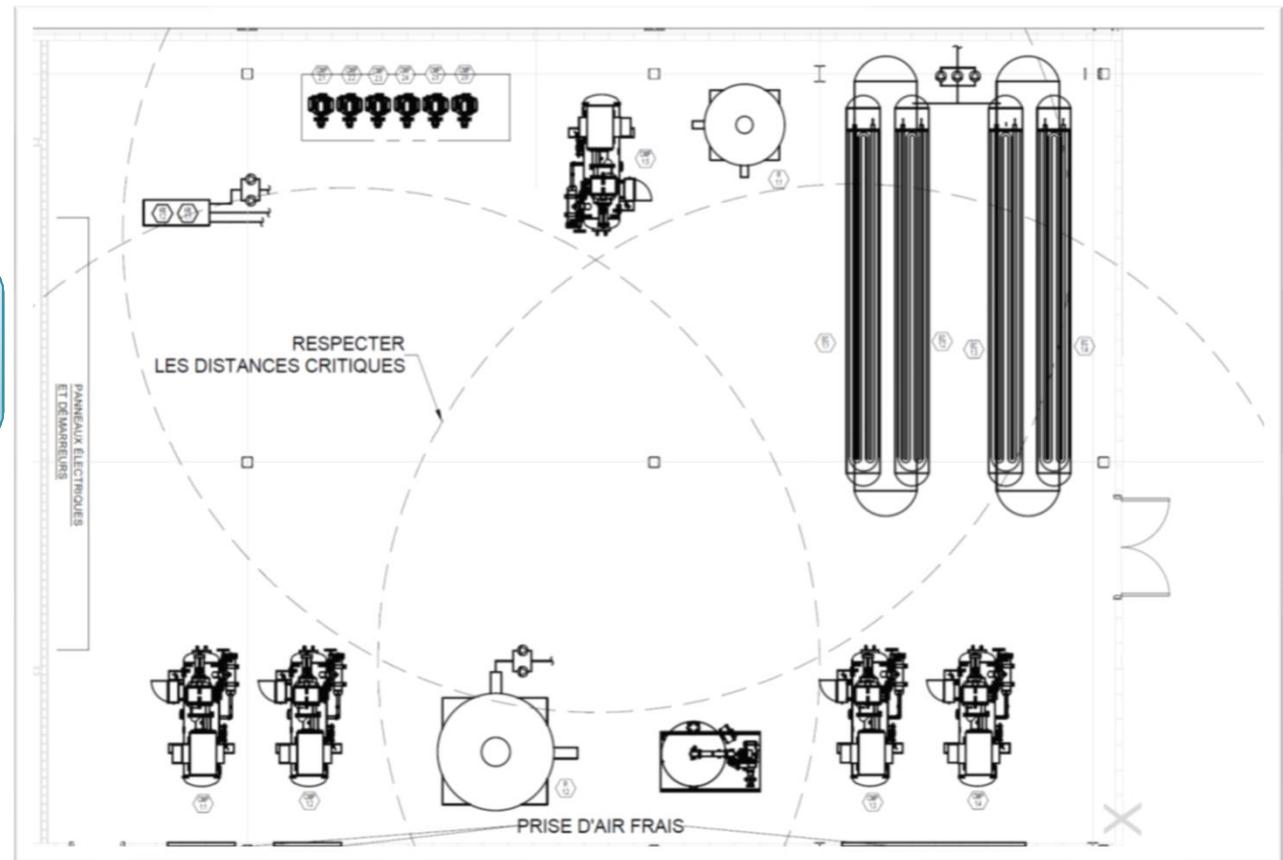


En développement : **Règlement modifiant le Règlement sur les halocarbures**

Étude de cas : entrepôt frigorifique

Objectif : limiter la surveillance à 1 visite/jour

Distance critique :
 $150 \text{ kW} \times .002 + 6 = 9 \text{ m}$
(30 pieds)



Étude de cas : entrepôt frigorifique

Cible : 200 TR @ 17 SST, max 150 kW unit.

- ▶ Option 1 : 95 SCT
 - > 206 TR, 233.8 BHP (1.135 HP/TR)
174, kW > 150 kW
- ▶ Option 2 : 90 SCT
 - > 208 TR, 220.6 BHP (1.052 HP/TR)
164 kW > 150 kW
- ▶ Option 3 : 90 SCT + économiseur
 - > 236 TR, 236 BHP (1.001 HP/TR)
176 kW > 150 kW
- ▶ Choix : 90 SCT + économiseur (plus petit)
 - > 192 TR, 198 BHP (1.032 HP/TR)
147 kW > 150 kW

MODEL NAME : VSMC-601

Percent Capacity	_100
Compressor Capacity (Tons)	206.0
Required Power (BHP)	233.8
Condenser Heat Rejection (MBH)	2,834.0

MODEL NAME : VSMC-601

Percent Capacity	_100
Compressor Capacity (Tons)	209.7
Required Power (BHP)	220.6
Condenser Heat Rejection (MBH)	2,875.6

MODEL NAME : VSMC-601E

Percent Capacity	_100
Compressor Capacity (Tons)	236.2
Required Power (BHP)	236.5
Condenser Heat Rejection (MBH)	3,234.8

MODEL NAME : VSMC-501E

Percent Capacity	_100
Compressor Capacity (Tons)	191.8
Required Power (BHP)	197.9
Condenser Heat Rejection (MBH)	2,615.2

Choix du type de condenseur



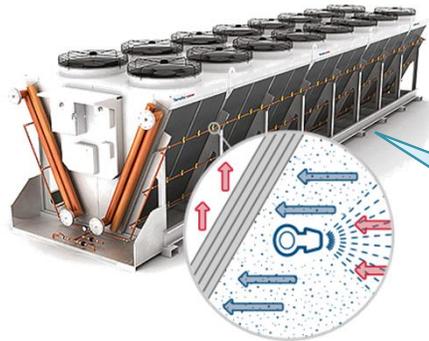
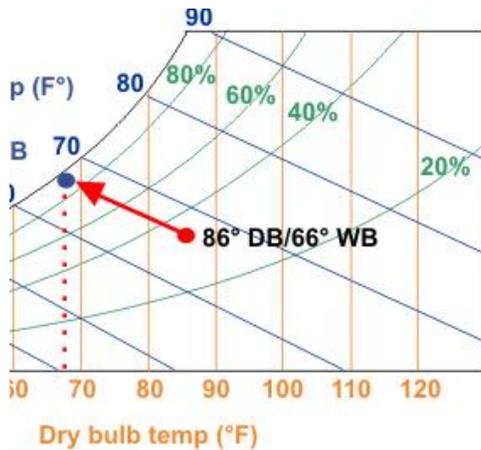
Évaporatif



Air

Critères de sélection

- ▶ Application
- ▶ Capacité
- ▶ Température de condensation
- ▶ Empreinte au sol
- ▶ Charge de réfrigérant
- ▶ Entretien
- ▶ Performance



Adiabatique

Avec adiabatique, SCT réduite pour les systèmes refroidis à l'air, donc meilleur HP/TR

Facteurs de succès

- ▶ Collecte de donnée complète
- ▶ Bons calculs de charges (incluant latentes)
- ▶ Optimisation de la performance énergétique
- ▶ Réduction de la charge de réfrigérant
- ▶ Établissement des critères de sélection avec le client

Quel est le besoin du client?

Criteria	Weight (%)	Baseline R-407	Option 1 Pumped NH ₃	Option 2 DX CO ₂	Option 3 NH ₃ /CO ₂ Cascade
Env. & Health and safety	29	2	1	1	2
Construction cost	29	1	3	2	2
Maintenance	17	1	1	3	2
Energy cost	25	3	1	3	2
Innovation	5	3	3	1	1
Total	100%	2.13	2.26	2.0	2.0



Feuille de route d'un projet de réfrigération

Forum réfrigération, 3 décembre 2019

Jean-Philippe Morin, ing., CMVP
Président JPM Consultant inc.
jean-philippe.morin@jpmconsultant.com
438.495.2389