



Chapitre de
la Ville de Québec

***LA RÉFRIGÉRATION CO2 DANS LES ARÉNAS
“PERFORMANCE ET RÉCUPÉRATION”***

PAR

MARC GOSSELIN, ing., P.eng.

FORMATEUR

Président de Fixair inc.

AGENDA :

- **LA RÈGLEMENTATION :**
- **ÉTATS PHYSIQUES DU DIAGRAMME P/H ;**
- ***L'EFFICACITÉ DE RÉFRIGÉRATION - LE CO₂ ;***
 - ***LES DALLES ET SYSTÈMES***
 - **Transcritique – été – sans sous-refroidissement du gaz**
 - **Transcritique – été – avec sous-refroidissement du gaz**
 - **Transcritique – hiver – sous-refroidissement gratuit**
 - **Sous-Critique – hiver**
- ***L'EFFICACITÉ DE RÉFRIGÉRATION - LE CO₂ vs AMMONIAC***
- ***LA RÉCUPÉRATION DE CHALEUR***
- ***QUESTIONS ? COMMENTAIRES ?***

LA RÉGLEMENTATION

LA RÉGLEMENTATION :

- *Protocole de Montréal ;*
- *Protocole de Kyoto ;*
- *Code de réfrigération CSA B52-2005 ;*
- *Loi et règlement sur les appareils sous-pression ;*
- *Loi et règlement sur les mécaniciens de machines fixes ;*
- *Loi et règlement sur les halocarbures ;*
- *Codes ASME/ASTM (B31.5 - Réfrigération Piping and Heat Transfer Components) ;*
- *Autres normes CSA ;*
- *CSST ;*
- *etc .*

LOI/RÈGLEMENT MÉCANICIEN DE MACHINE FIXE :

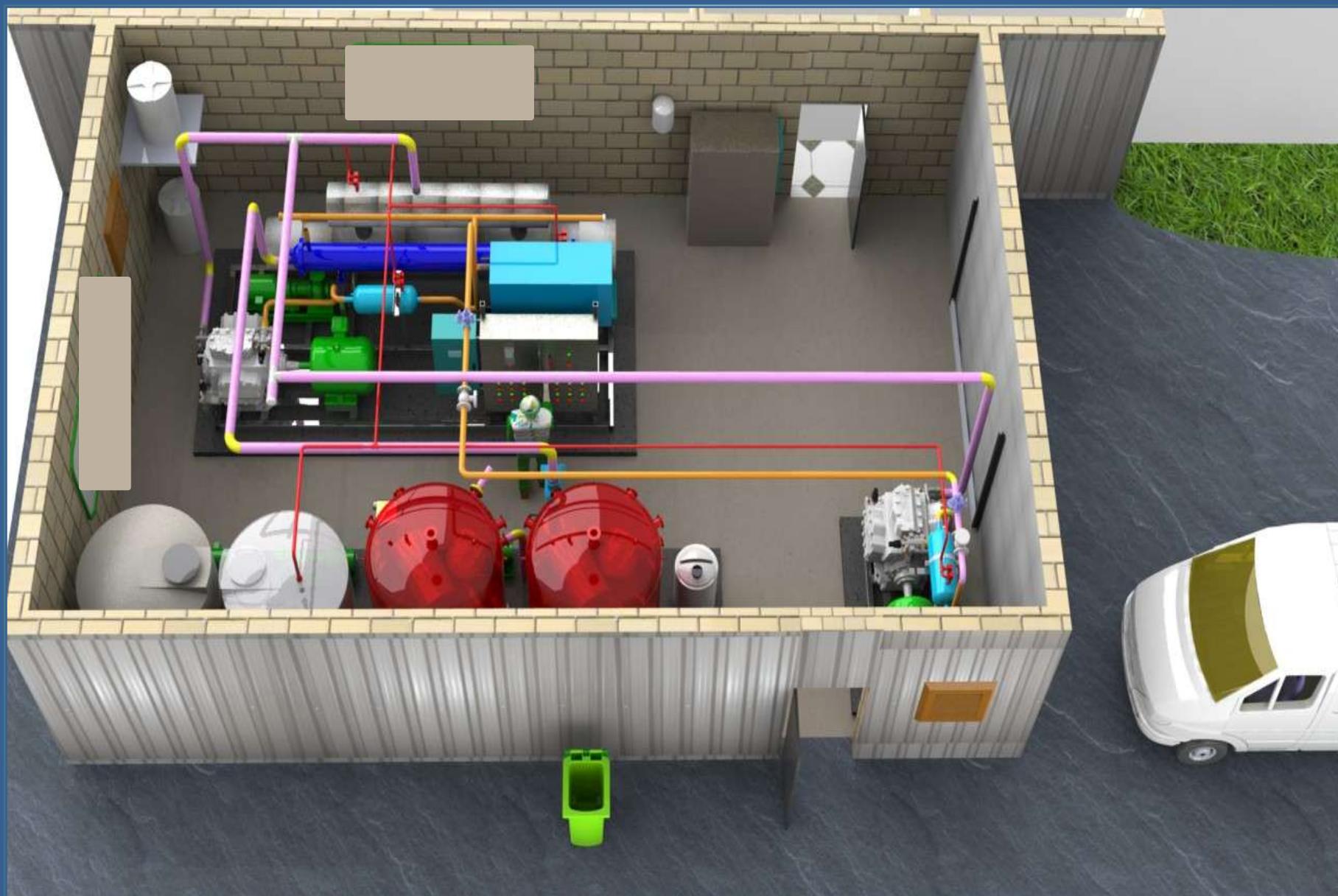
2 glaces au CO2 > 300 kW

		Limitation de surveillance (kW)	
Réfrigérants	Classification	Conditionnelle	Périodique
R-134a, R-404a, R-507A, R-744	A1	Moins de 300 kW	Moins de 600 kW
R-717 (Ammoniac)	B2	Moins de 50 kW	Moins de 300 kW



	Obligation
Surveillance périodique	Effectuée quotidiennement par un <i>mécanicien de machine fixe</i>
Surveillance conditionnelle	Surveillance non obligatoire

LOI/RÈGLEMENT MÉCANICIEN DE MACHINE FIXE :



LOI/RÈGLEMENT MÉCANICIEN DE MACHINE FIXE :

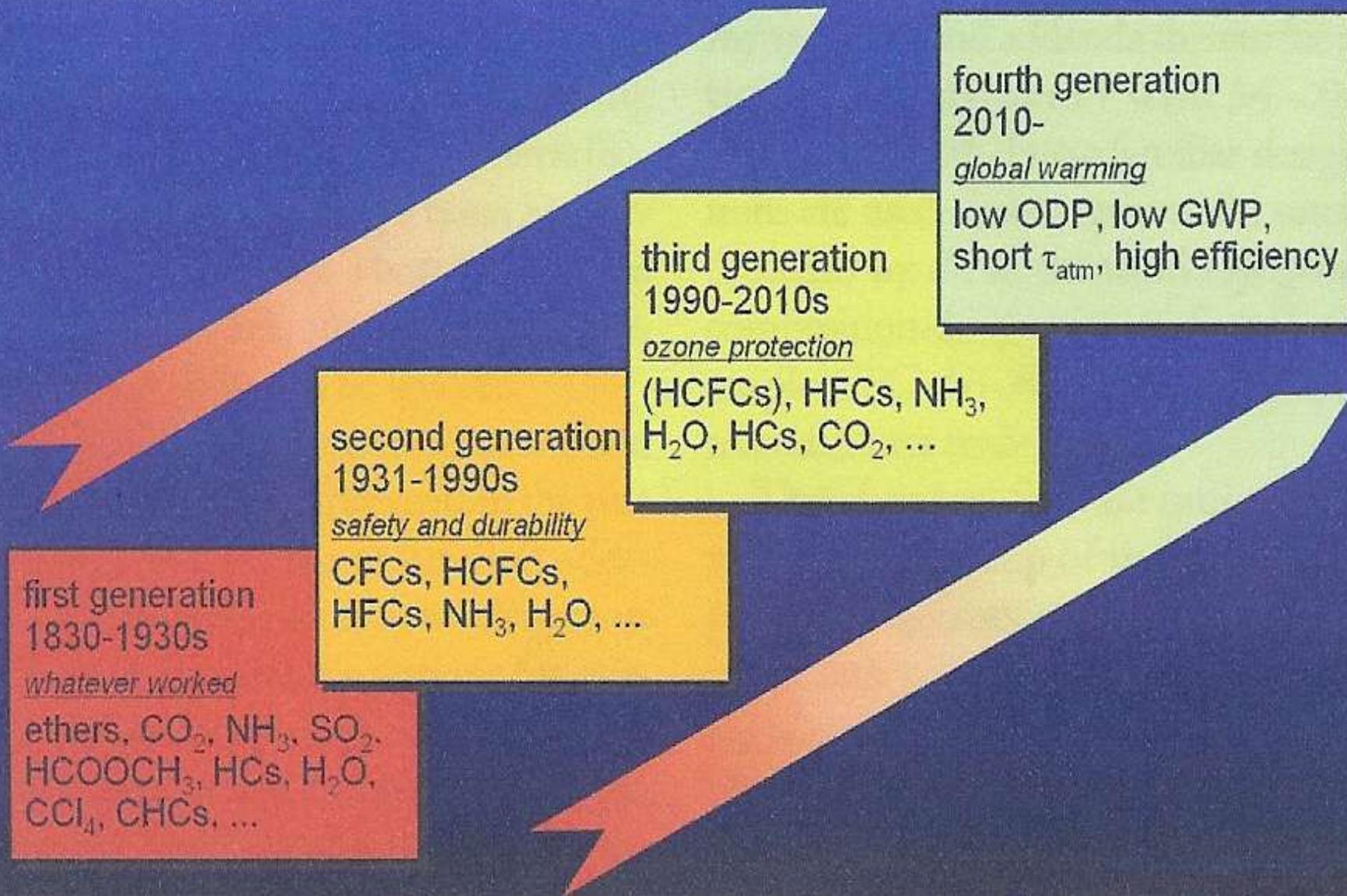


LA RÉGLEMENTATION – PROTOCOLE DE KYOTO (GAZ À EFFET DE SERRE) :

IMPACT ÉQUIVALENT EN kg DE CO₂ REJETÉ DANS L'ATMOSPHÈRE :

- R-12 = 8,500 kg CO₂/kg R-12 – CFC ;
 - R-502 = 5,260 kg CO₂/kg R-12 – CFC ;
 - R-22 = 1,700 kg CO₂/kg R-22 – HCFC ;
 - R-134a = 1,300 kg CO₂/kg R-134a – HFC ;
 - R-404A = 3,260 kg CO₂/kg R-404A – HFC ;
 - R-507A = 3,300 kg CO₂/kg R-507A – HFC ;
 - HFO1234YF = 4 kg CO₂/kg HFO1234YF – HFO (propriétés similaires au R-134a) ;
 - R-744 = 1 kg CO₂/kg R-744 – Naturel ;
 - R-717 = 0 kg CO₂/kg R-717 – Naturel ;
- Impact également couche d'ozone

IMPACT DU PROTOCOLE DE MONTRÉAL & KYOTO :



AVENIR HFC ? PHASE OUT
ou PHASE DOWN ?

**A Global HFC Phase-out:
Essential Action for the
Montreal Protocol**

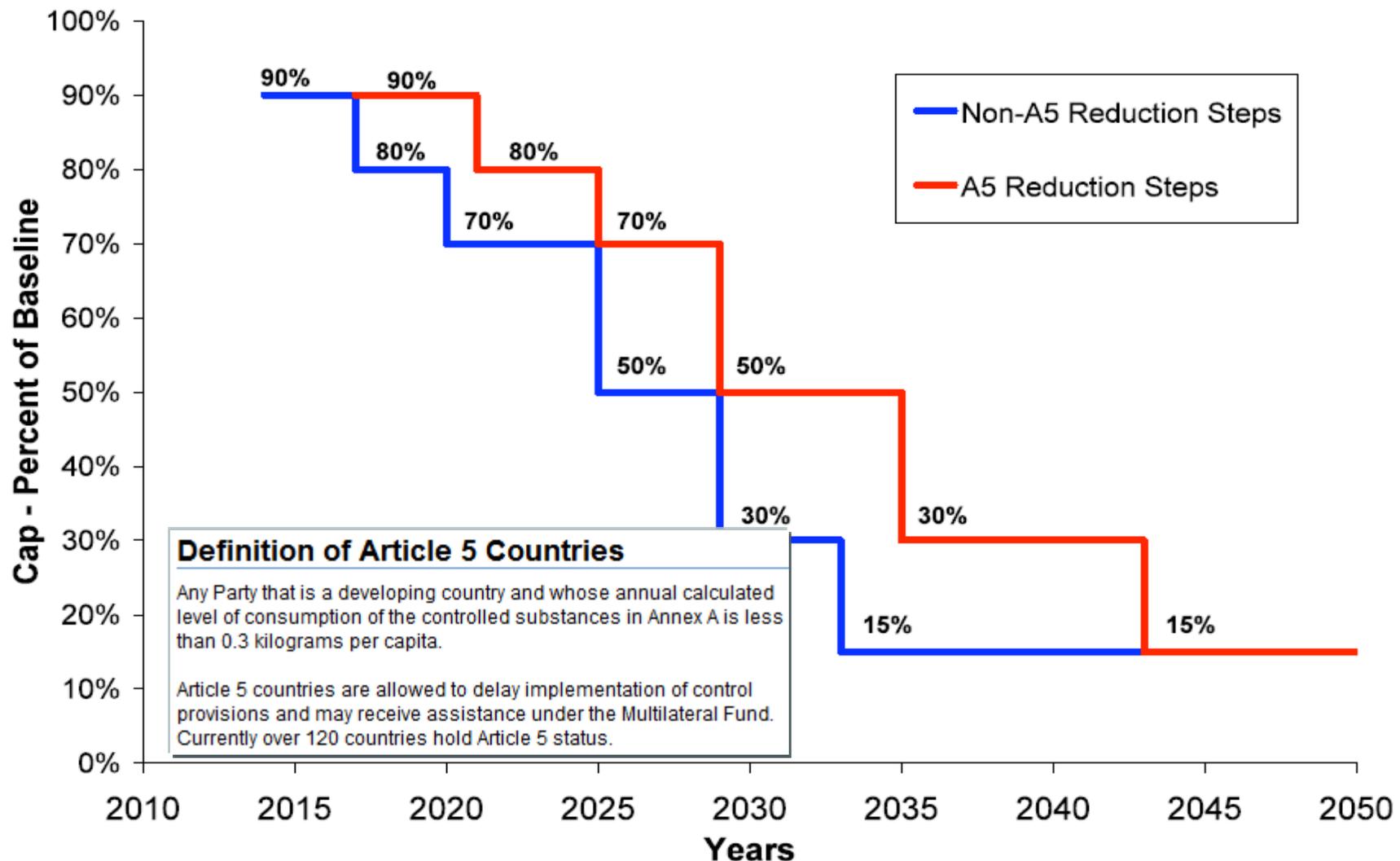
What Substitutes will be Available?

Sector examples:

- MVACs: very low GWP HFC-1234yf, CO₂, HFC-152a
- Refrigeration:
 - domestic refrigeration - HCs
 - Retail refrigeration: secondary loop, CO₂, ammonia
- Foams: HCs, water, very low GWP HFCs
- Stationary AC: micro-channel heat exchangers, Moderate GWP blends
- Non-Medical Aerosols: very low GWP HFC-1234ze
- Fire Suppression: very low GWP fluorinated ketones & Solvents: low GWP HFEs

IMPACT DU PROTOCOLE DE MONTRÉAL & KYOTO :

Trilateral Proposal Phasedown Schedule



LES RÉFRIGÉRANTS DE REMPLACEMENT R-22 : Arénas

Les réfrigérants utilisés présentement :

- **R-22 (HCFC) ;**
- **R-717 (ammoniac) ;**

Les réfrigérants qui seront utilisés :

- **R-717 (ammoniac) ;**
- **R-404a (HFC) ;**
- **R-507 (HFC) ;**
- **R-134A (HFC) ;**
- **CO2 ;**

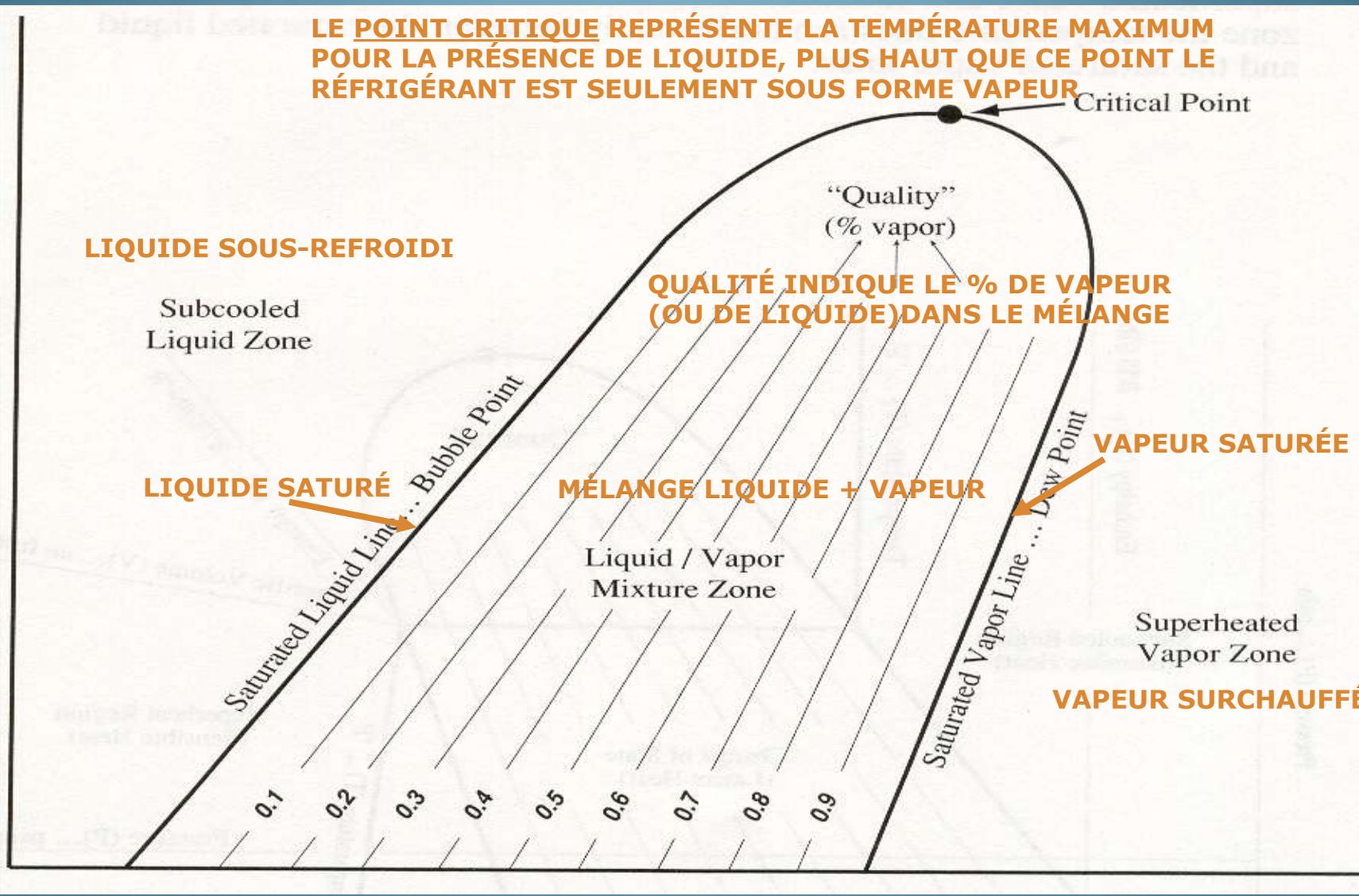
Les réfrigérants de service HFC qui pourront être utilisés:

- **R-407c, R-407f, R-417a, R-422a, R-422b, R-422c, R-422d, R-424a, R-427a, R-428a, R-434a, R-438a, etc.**

ÉTATS PHYSIQUES DU DIAGRAMME P/H

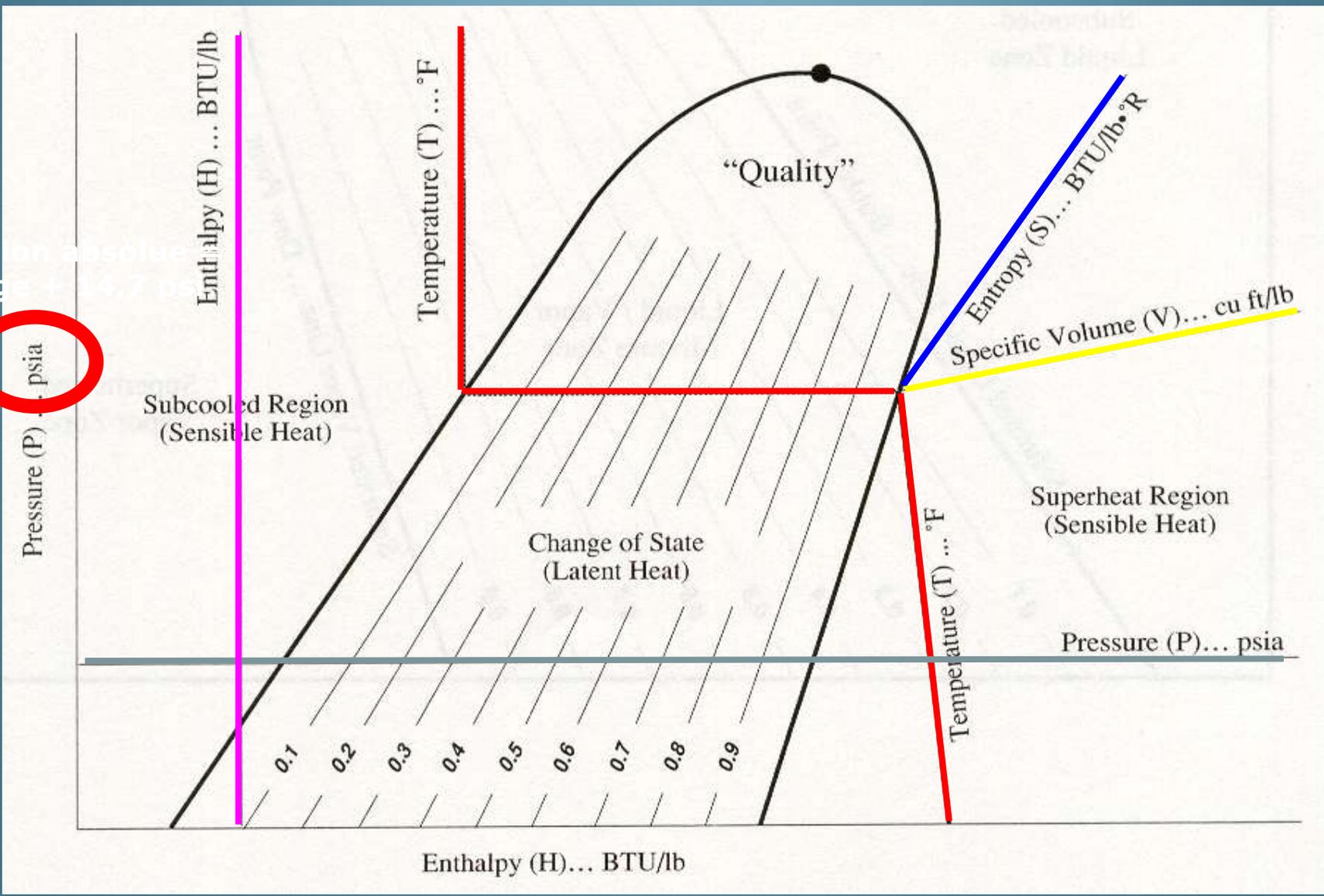
LE DIAGRAMME P/H :

LE POINT CRITIQUE REPRÉSENTE LA TEMPÉRATURE MAXIMUM POUR LA PRÉSENCE DE LIQUIDE, PLUS HAUT QUE CE POINT LE RÉFRIGÉRANT EST SEULEMENT SOUS FORME VAPEUR

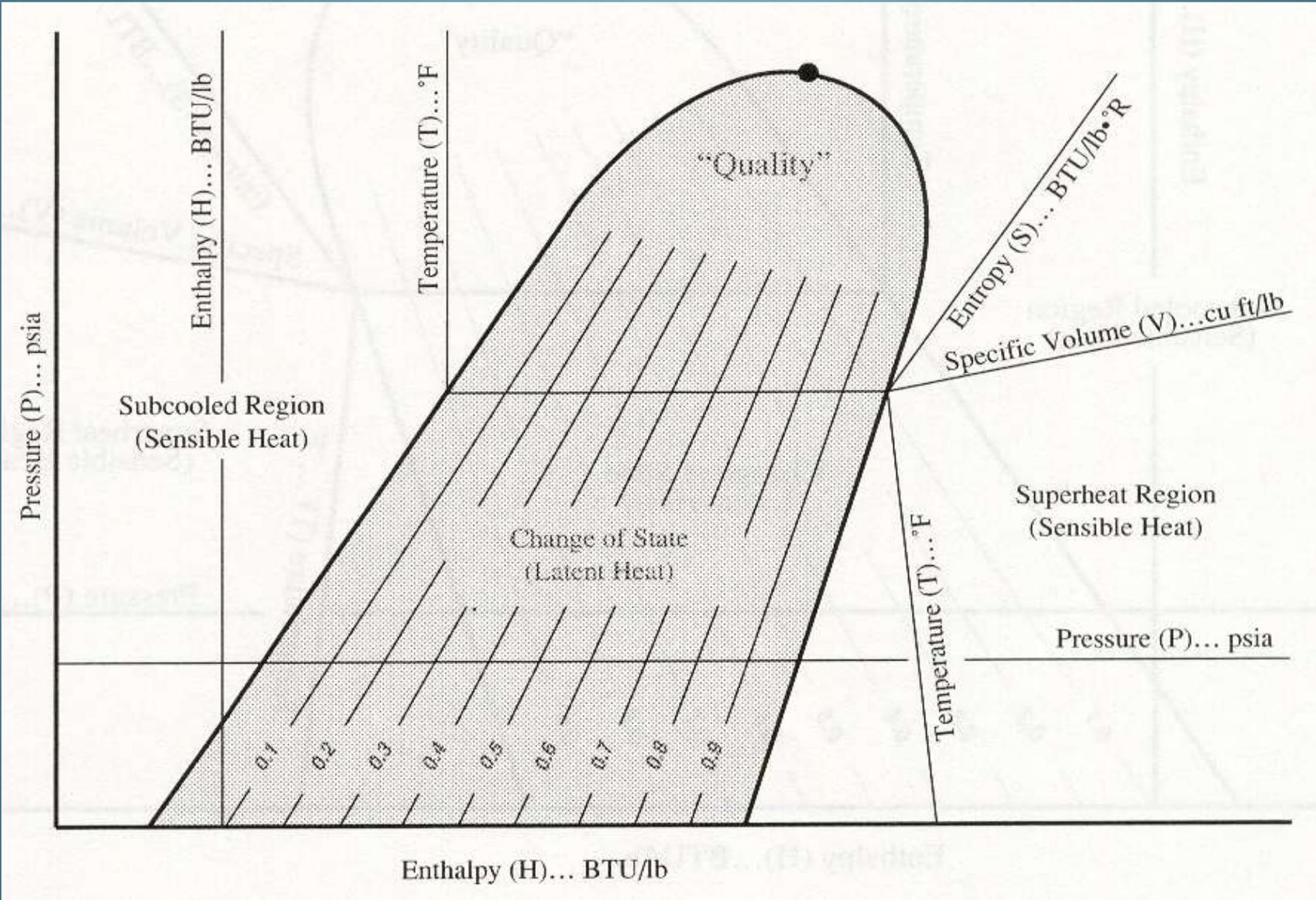


LE DIAGRAMME P/H :

Pression absolue
Pgage + 14,7 psia



LE DIAGRAMME P/H :



LE DIAGRAMME P/H :

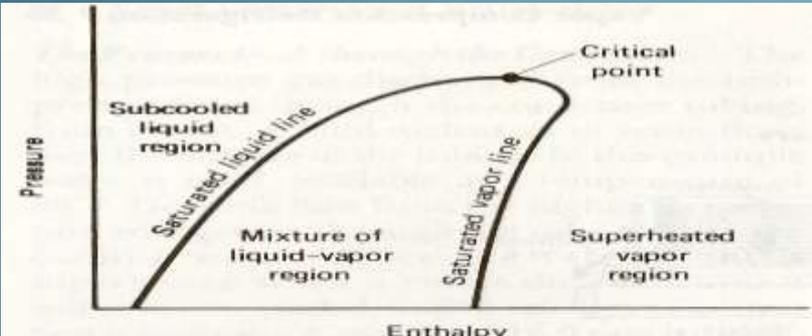


FIGURE 3.4 Form of a pressure–enthalpy ($p-h$) diagram, indicating liquid and vapor regions.

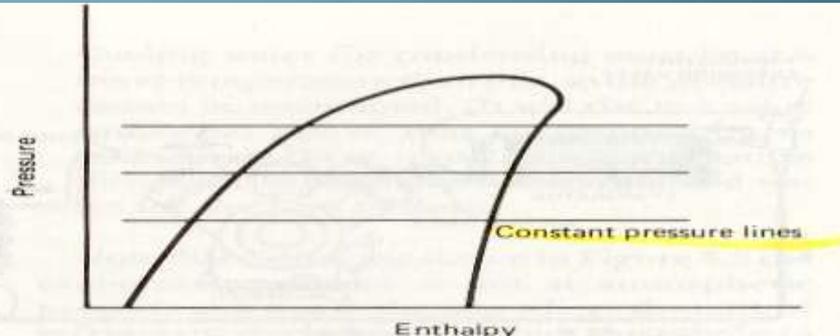


FIGURE 3.5 Lines of constant pressure on $p-h$ diagram.

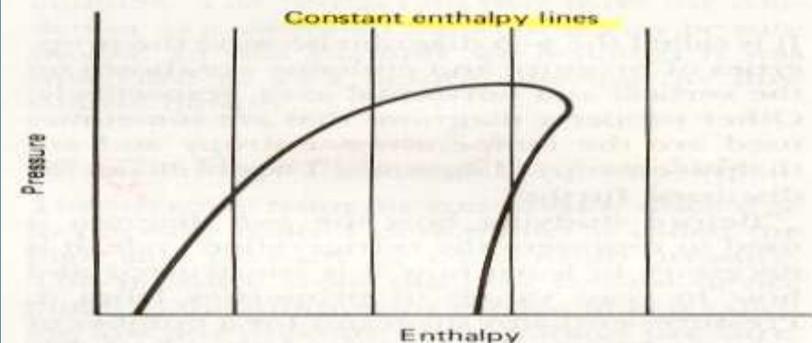


FIGURE 3.6 Lines of constant enthalpy on $p-h$ diagram.

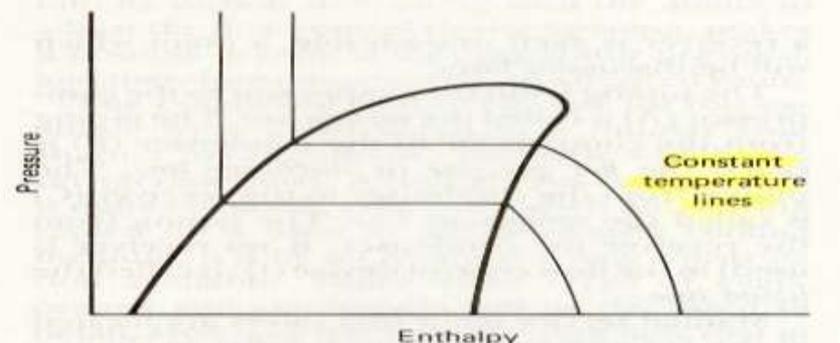
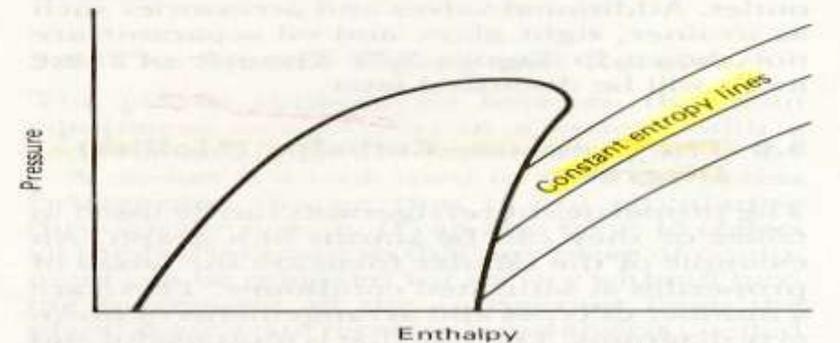
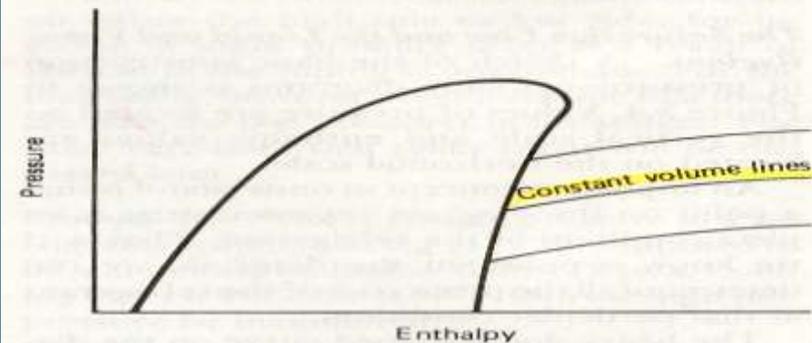
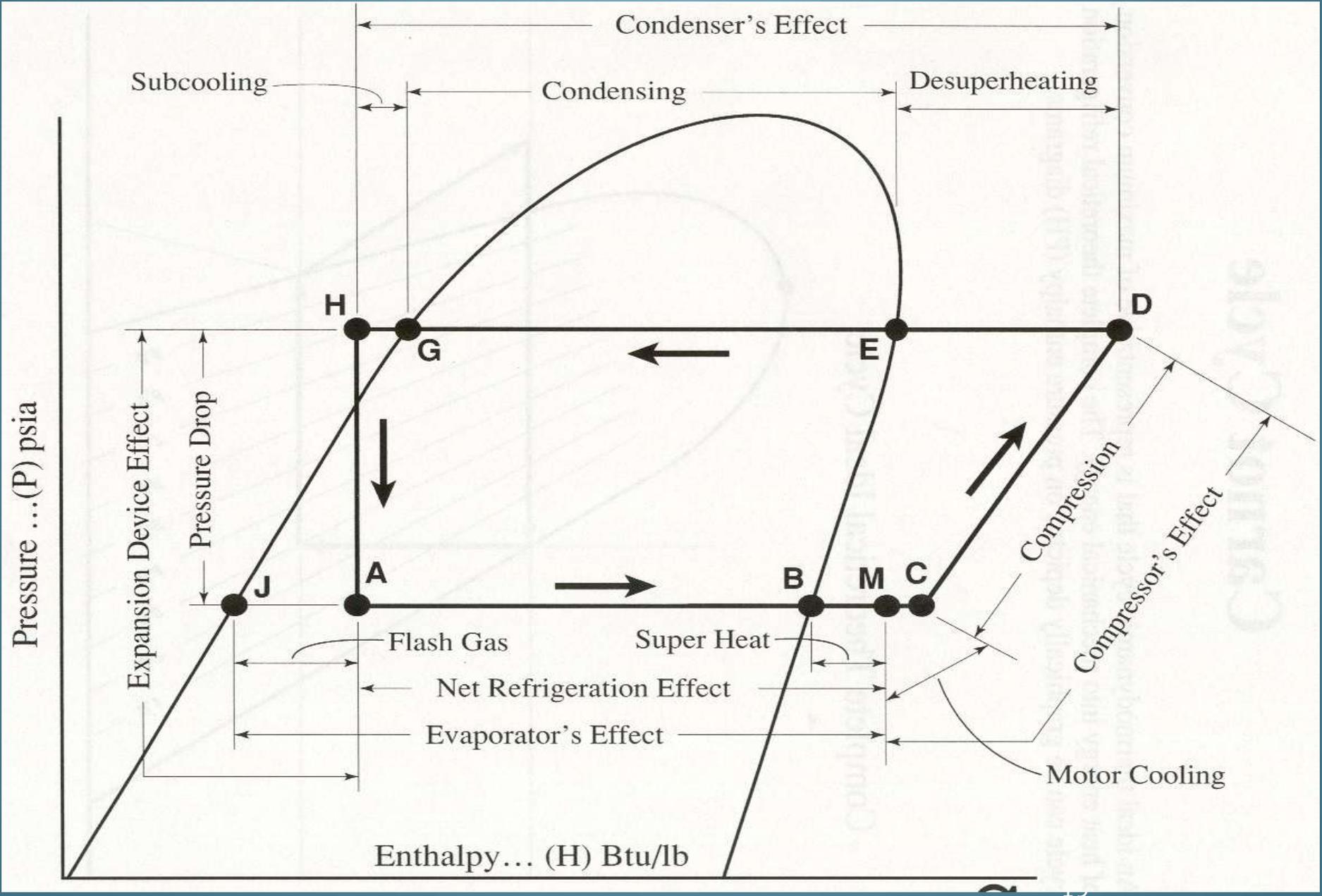


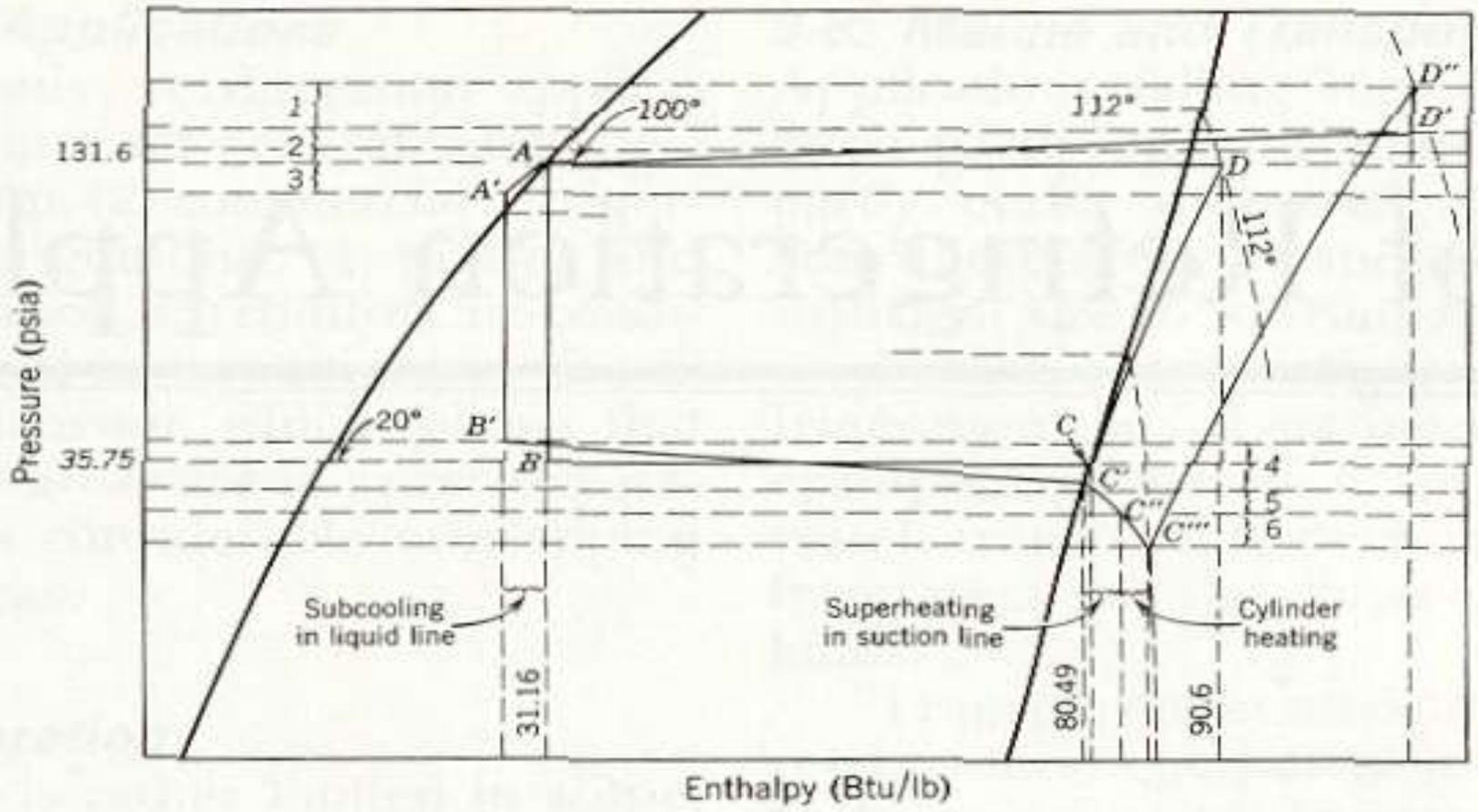
FIGURE 3.7 Lines of constant temperature on $p-h$ diagram (note changes in direction).



LE DIAGRAMME P/H :



LE DIAGRAMME P/H :



Pressure drop

- | | |
|---------------------------------|------------------------------|
| 1. Compressor discharge valves | 4. Evaporator |
| 2. Discharge line and condenser | 5. Suction line |
| 3. Liquid line | 6. Compressor suction valves |

LE DIAGRAMME P/H :

RAPPORT DE COMPRESSION

$$\text{RAPPORT DE COMPRESSION} = \frac{\text{PRESSION DE REFOULEMENT EN psia}}{\text{PRESSION D'ASPIRATION EN psia}}$$

N.B. : 8 @ 9 maximum.

EER

$$\text{ENERGY EFFICIENCY RATIO} = \frac{\text{CAP. REFROIDISSEMENT EN BTU/H}}{\text{PUISSANCE APPELÉE EN WATTS}}$$

N.B. : même rapport que le COP mais les unités sont différentes donc l'ordre de grandeur est différente. COP BTU/H sur BTU/H

EFFICACITÉ ADIABATIQUE

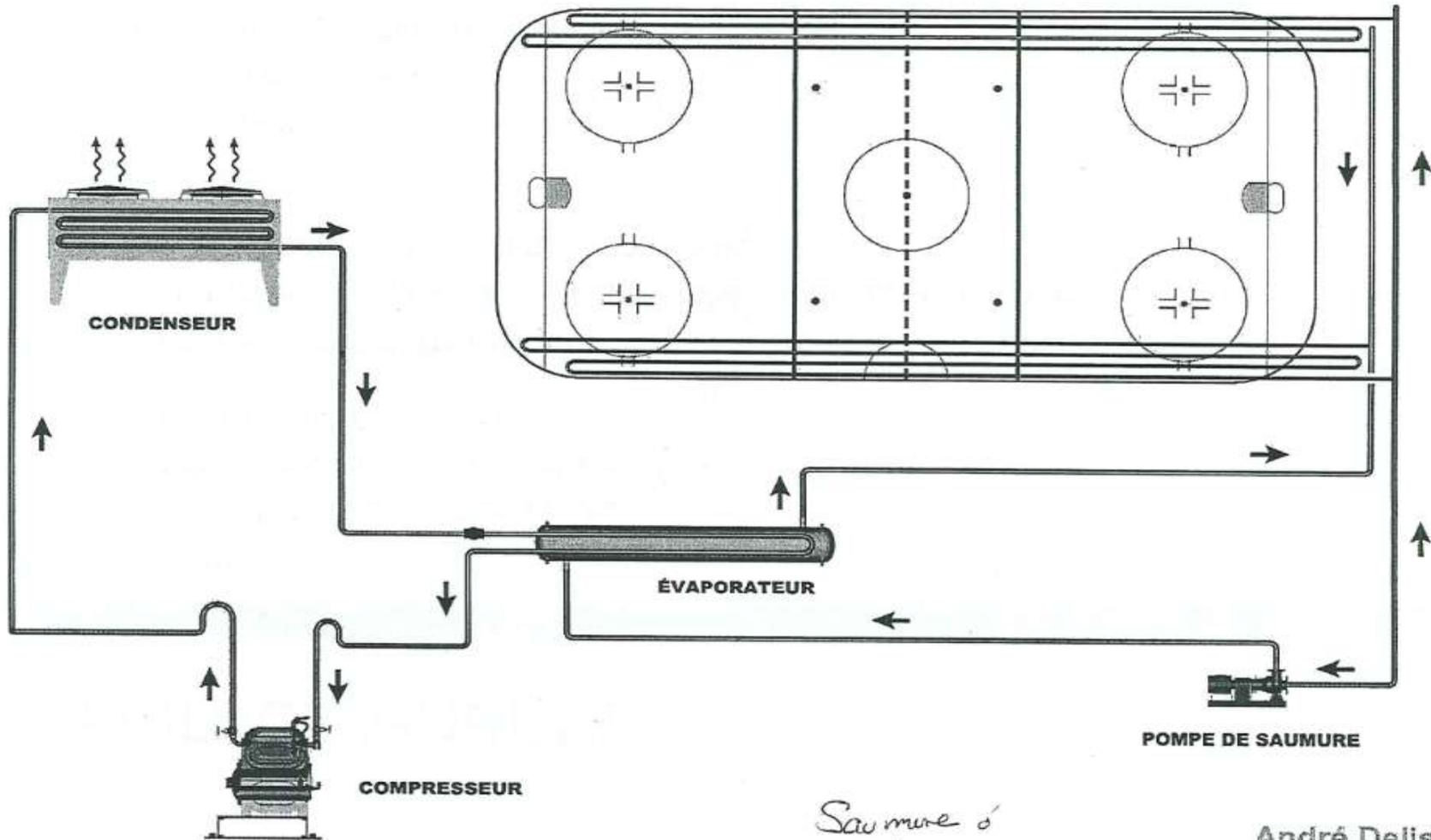
$$\text{EFFICACITÉ ADIABATIQUE} = \frac{\text{TRAVAIL ISENTROPIQUE DE COMPRESSION EN BTU/lb}}{\text{TRAVAIL ACTUEL DU COMPRESSEUR EN BTU/lb}}$$

N.B. : causé par la friction des composantes mécaniques, la perte de pression et la surchauffe du réfrigérant.

SYSTÈME CONVENTIONNEL D'ARÉNAS :

Exemple Système indirect

M-1 page 7



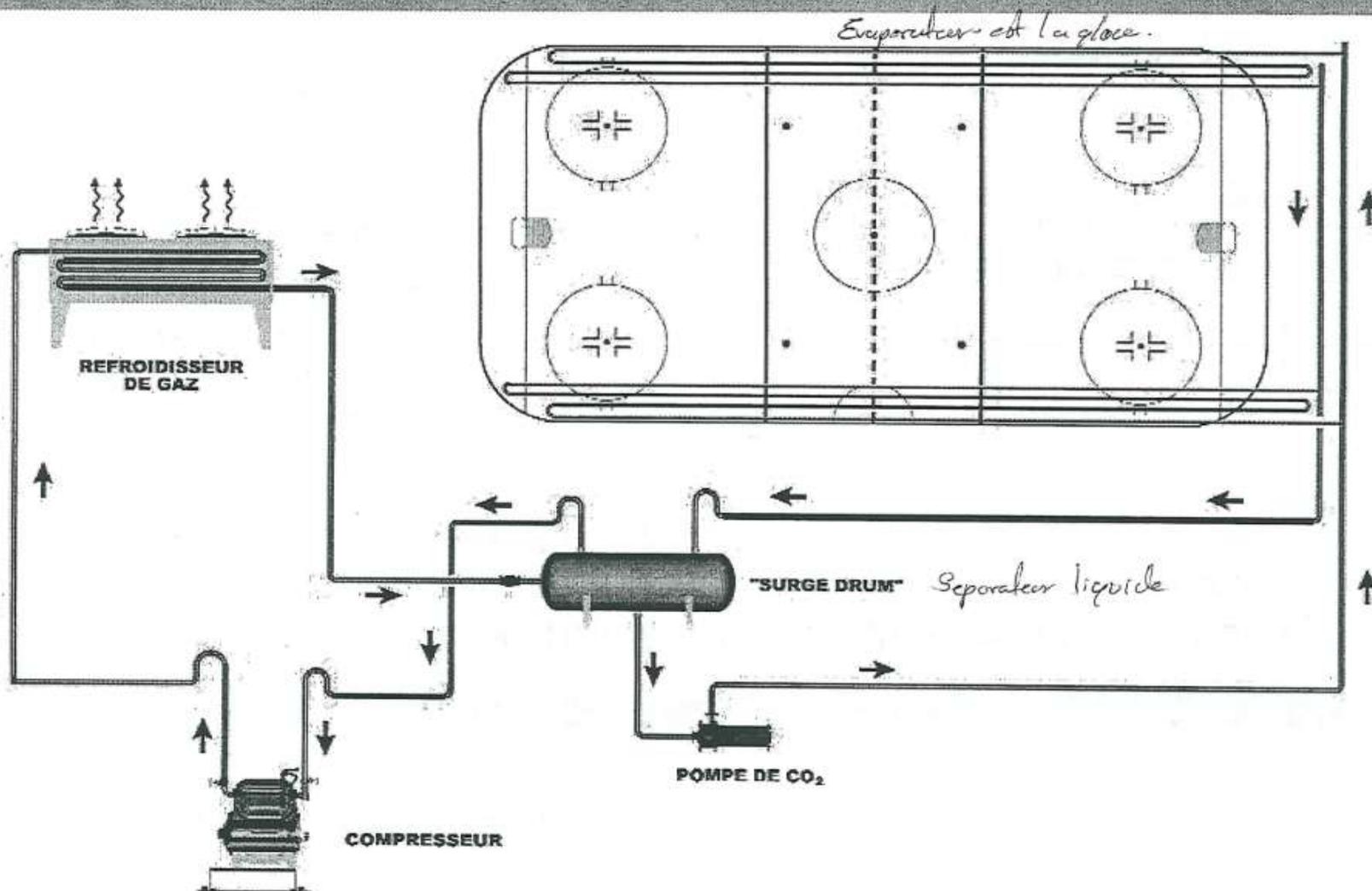
Sauvure à glycol

André Delisle ing.

SYSTÈME CO2 D'ARÉNAS :

Exemple Système direct *Arena CO2*

M-1 page 5

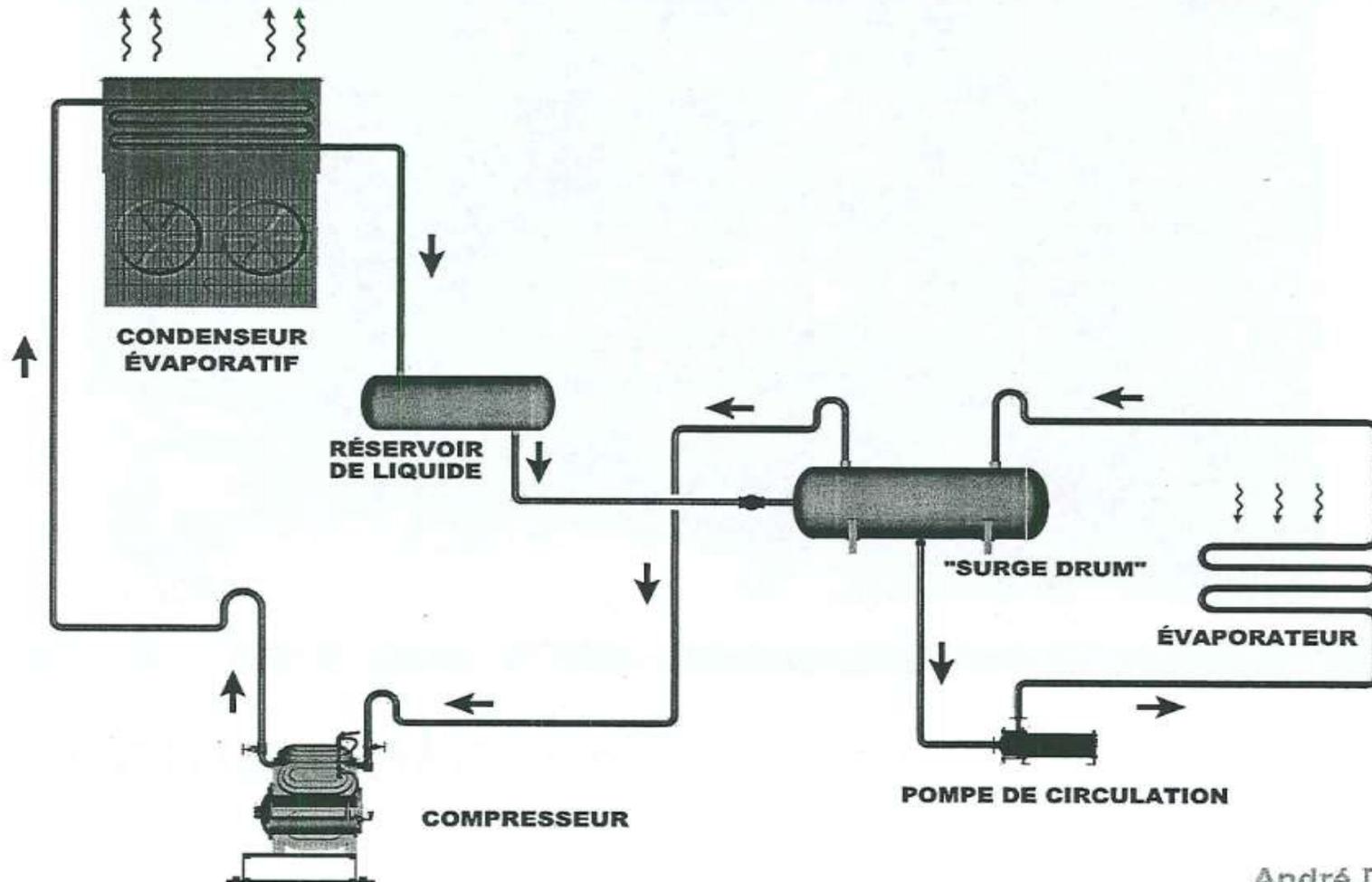


SYSTÈME INDUSTRIEL À L'AMMONIAC :

Types de systèmes

Systeme à liquide recirculé

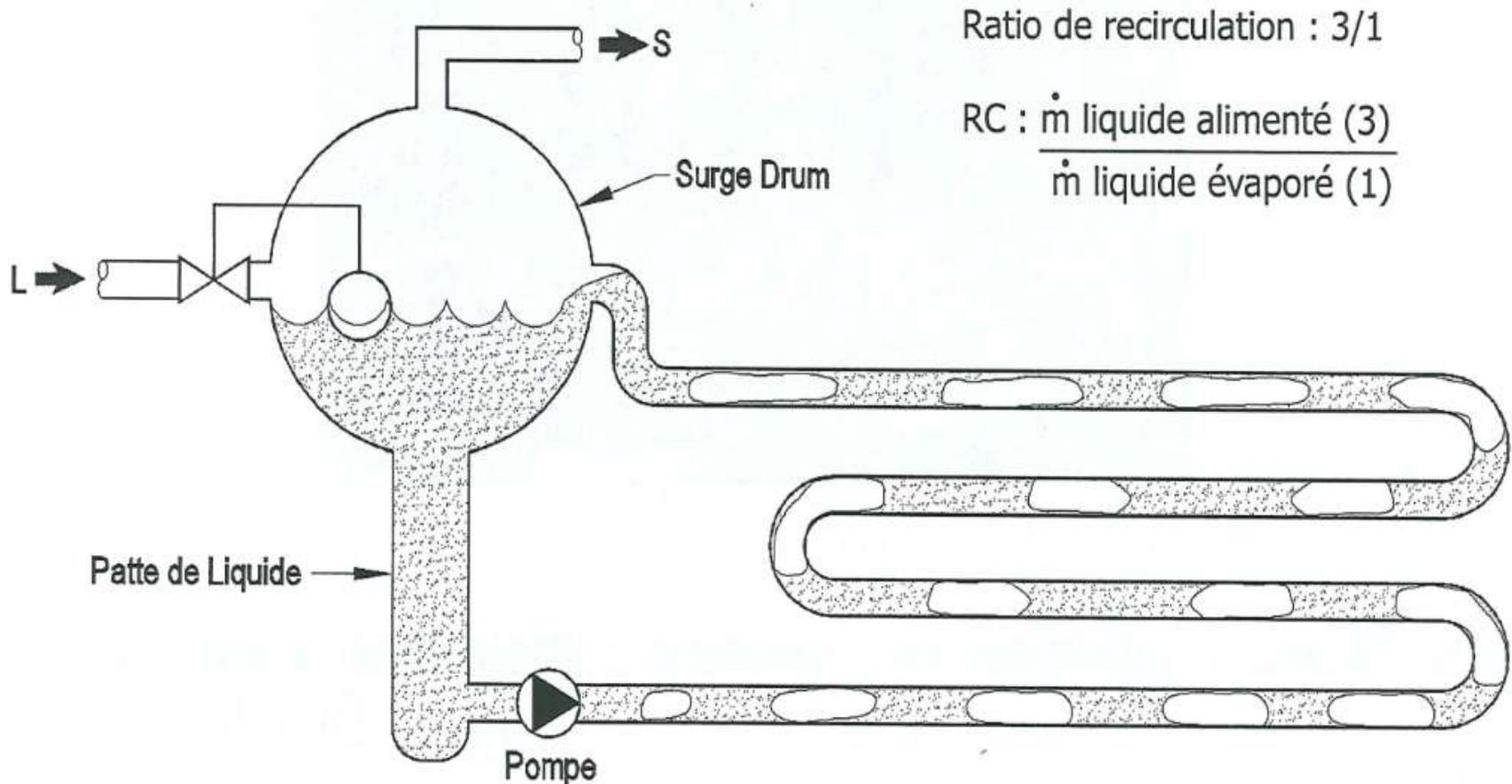
M-1 page 20



André Delisle ing.

Systeme à liquide recirculé

M-1 page 21



Résumé des efficacités

Sélection du réfrigérant optimum

M-2 page 7

- Système de réfrigération pour glace artificielle capacité de 75 tonnes

1.000 p.

TSS : 5°F

TCS : 95°F

R404 , Ammoniac

PARAMÈTRE	R22 (HCFC)	R134A (HFC)	R507A (HFC)	R717 NAT.
ODP	0.055	0	0	0
GWP	1810	1430	3900	0
Classification	A1	A1	A1	B2
Chaleur latente d'évaporation (BTU/lbm)	92.8	89.3	75.4	564.0
Débit massique (lbm/min)	226.5	247.9	340.1	32.4
Débit volumétrique (pi.cu./min)	281.2	494.1	278.1	264.0
COP	3.13	2.11	2.53	3.25
Efficacité de réfrigération (Kw/tonne)	1.12	1.67	1.39	1.08
Puissance de compression (BHP)	113.1	167.8	140.0	108.9

André Delisle ing.

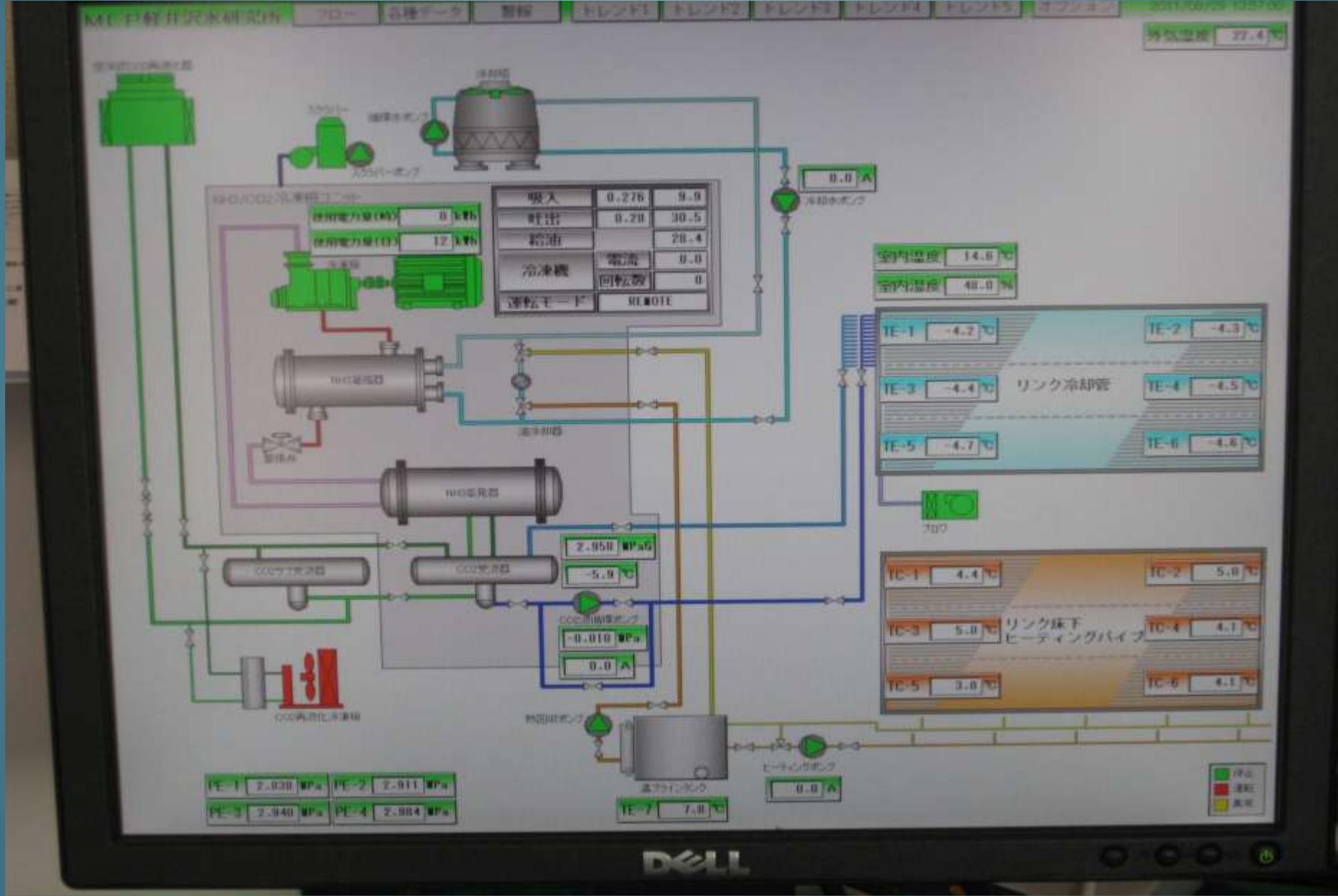
L'EFFICACITÉ DE RÉFRIGÉRATION - LE CO₂

CO2 - PROCÉDÉ HAZARDEUX ! :

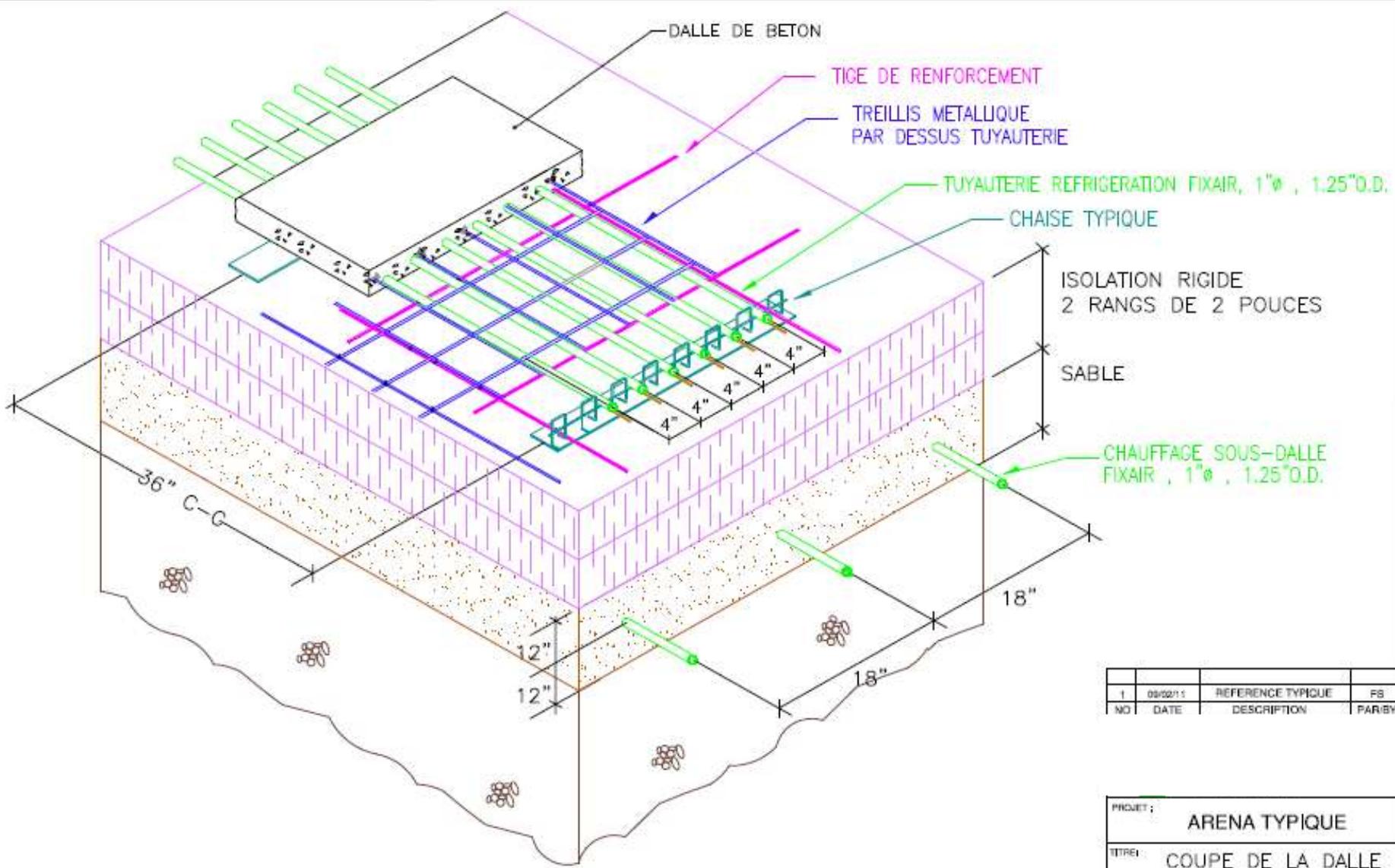


LES DALLES ET SYSTÈMES

LE CO₂ – SOUS-CRITIQUE :



LES DALLES : Conventionnel

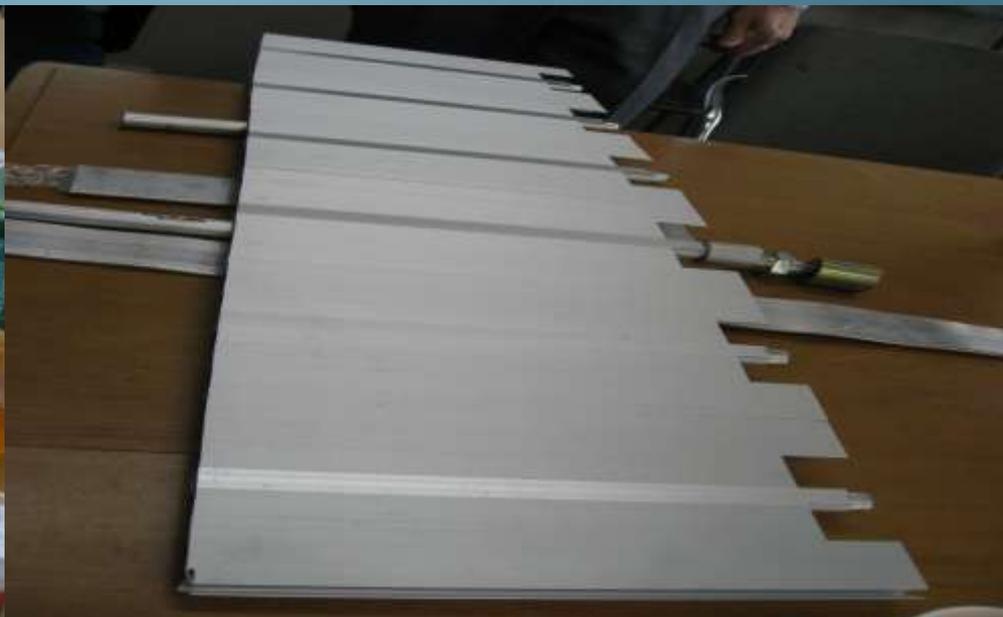


CE DÉTAIL REPRÉSENTE UN ARRANGEMENT GÉNÉRAL SEULEMENT.

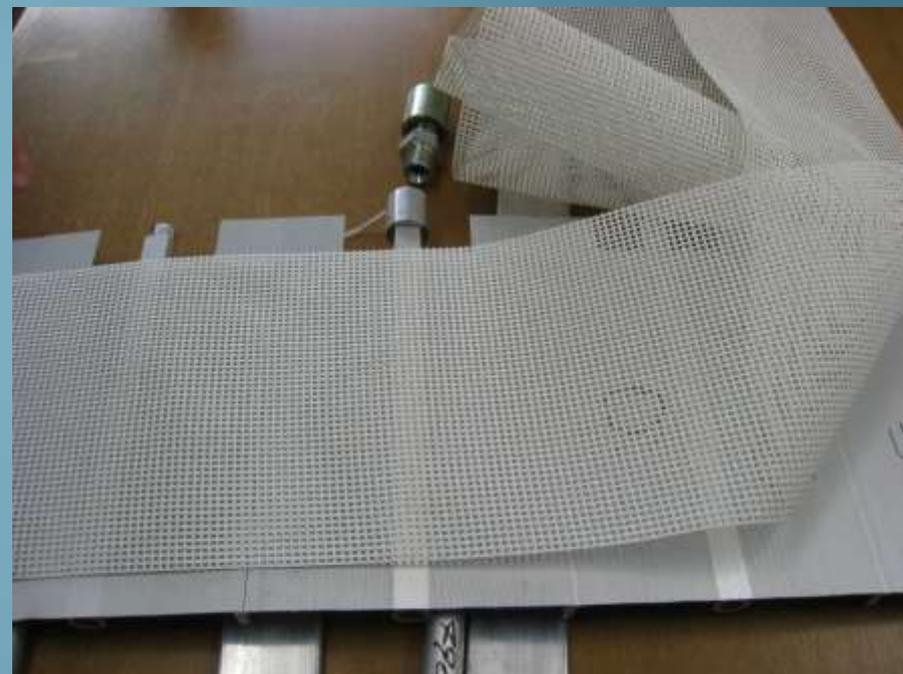
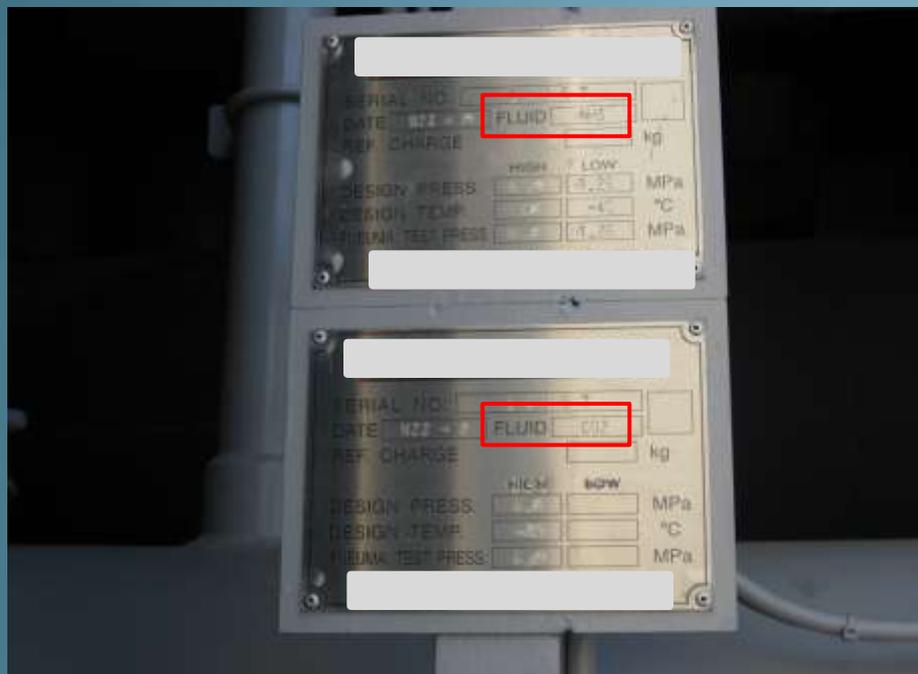
1	09/02/11	REFERENCE TYPIQUE	FS
NO	DATE	DESCRIPTION	PAR/BY

PROJET :			ARENA TYPIQUE
TITRE :			COUPE DE LA DALLE TYPIQUE
DESIGNÉ PAR :	VERIFIÉ PAR :	PLAN :	
F.S.	M.B.		
SCHELLE :	CONF. NO. :	FX7	
AUCUNE	TYPIQUE		

LES DALLES : CO₂ – SOUS-CRITIQUE COMME FLUIDE CALOPORTEUR



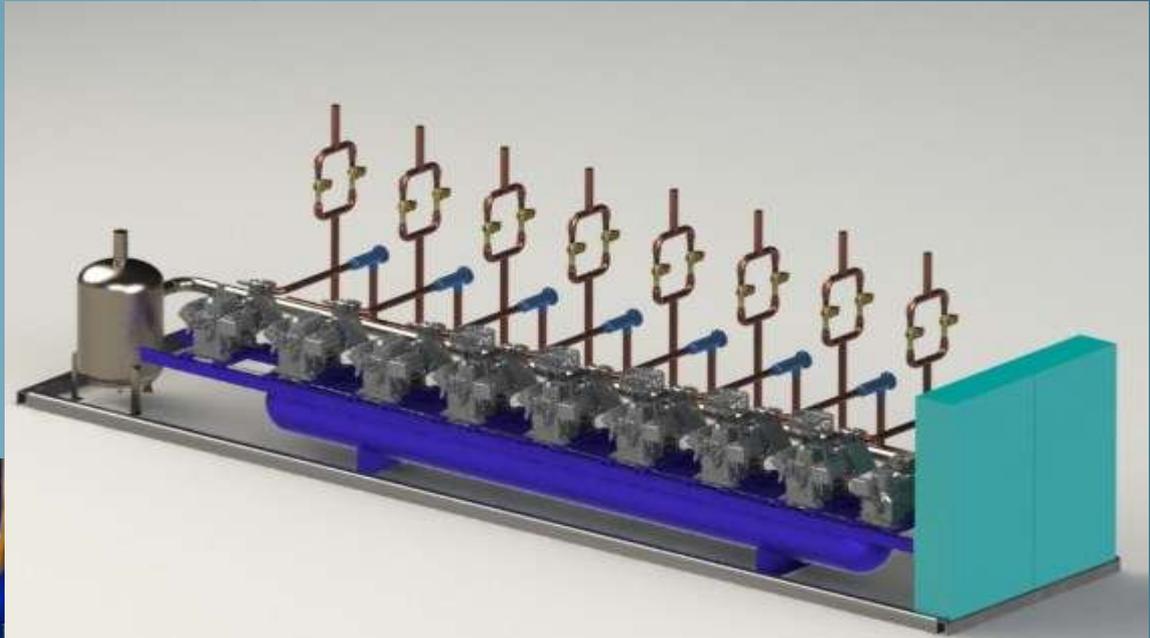
LES DALLES : CO₂ – SOUS-CRITIQUE COMME FLUIDE CALOPORTEUR



ATTENTION AU VOL DE CUIVRE :



COMPRESSEURS TYPIQUES CO₂ – ARÉNAS/SUPERMARCHÉS :

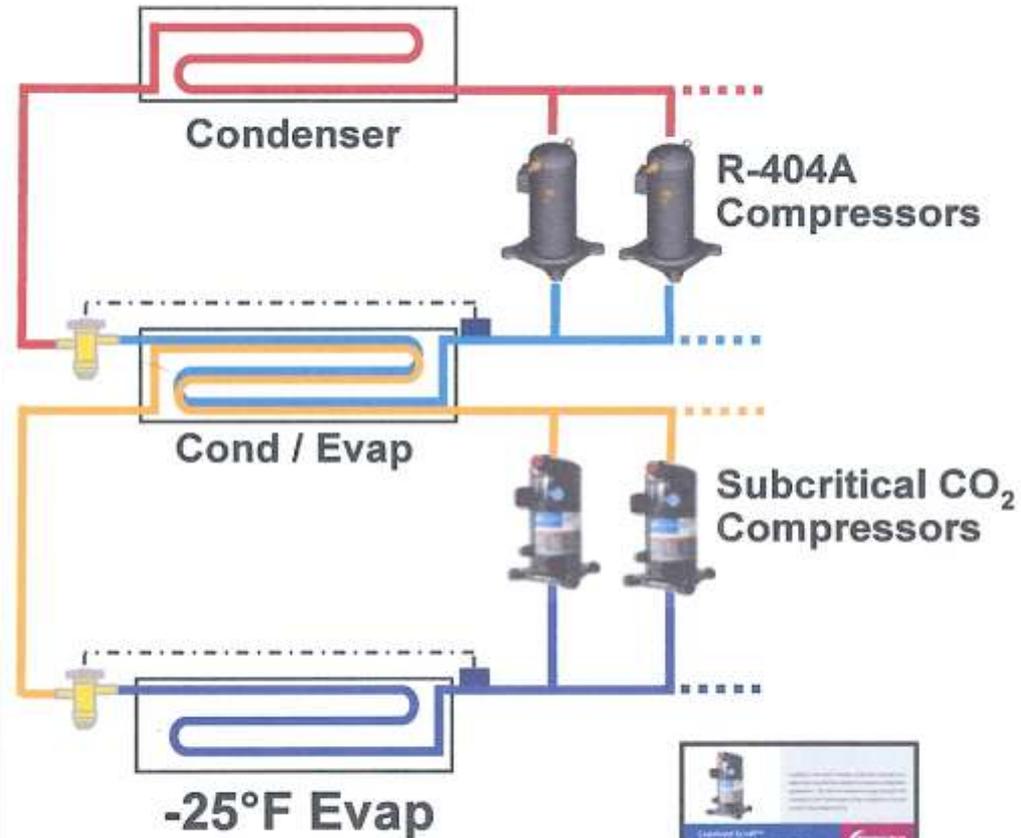


COMPRESSORS:	MODEL	RLA	LRA	HEATERS	MODEL	W
#1	CD1400M	27.0	136.0	#1	2EG1520	200
#2	CD1400M	27.0	136.0	#2	2EG1520	200
#3	CD1400M	27.0	136.0	#3	2EG1520	200
#4	CD1400M	27.0	136.0	#4	2EG1520	200
#5	CD1400M	27.0	136.0	#5	2EG1520	200
#6	CD1400M	27.0	136.0	#6	2EG1520	200
#7	CD1400M	27.0	136.0	#7	2EG1520	200
#8	CD1400M	27.0	136.0	#8	2EG1520	200
#9	CD1400M	27.0	136.0	#9	2EG1520	200
#10	CD1400M	27.0	136.0	#10	2EG1520	200
#11	CD1400M	27.0	136.0	#11	2EG1520	200
#12	CD1400M	27.0	136.0	#12	2EG1520	200

MODELLO MODEL	CILINDRI CYLINDERS	VOLUME SPOSTATO DISPLACEMENT [m ³ /h] @ 50 Hz	HP
CD 1400M	2	11,62	15

**Aréna
180 HP,
135 kW**

Cascade System (High Stage: R404A / Low Stage: Subcritical CO₂)

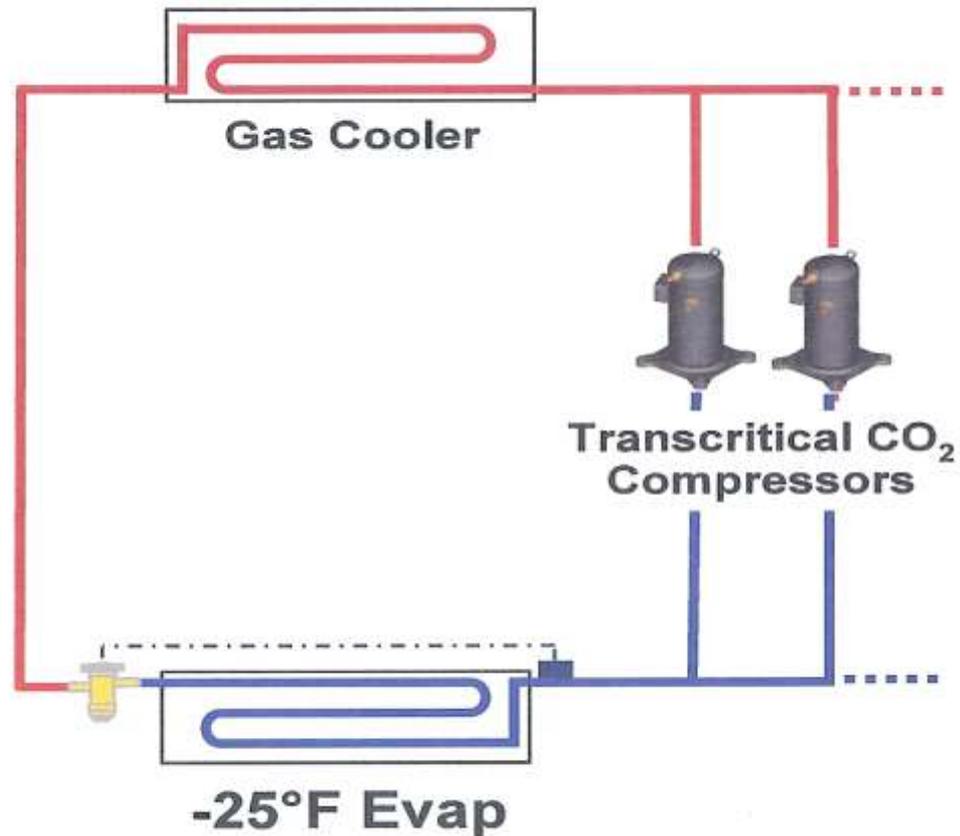


- Installations In Europe
 - Scroll
 - Recip



CO₂ – TRANSCRITIQUE :

Single Stage System (Transcritical CO₂)



- **Currently Being Researched**
- **Results Pending**

Diagramme P/H du CO2 : Transcritique

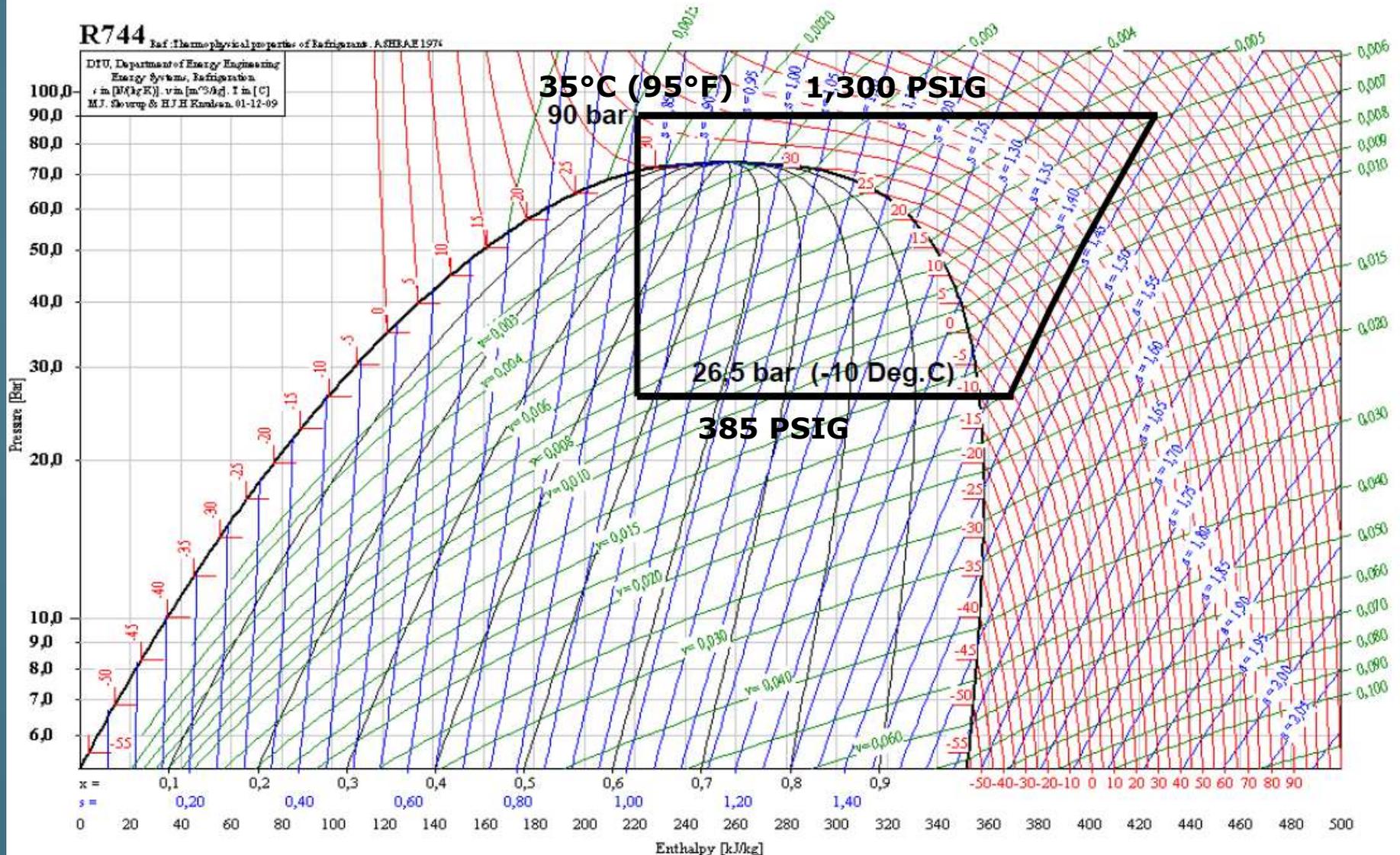
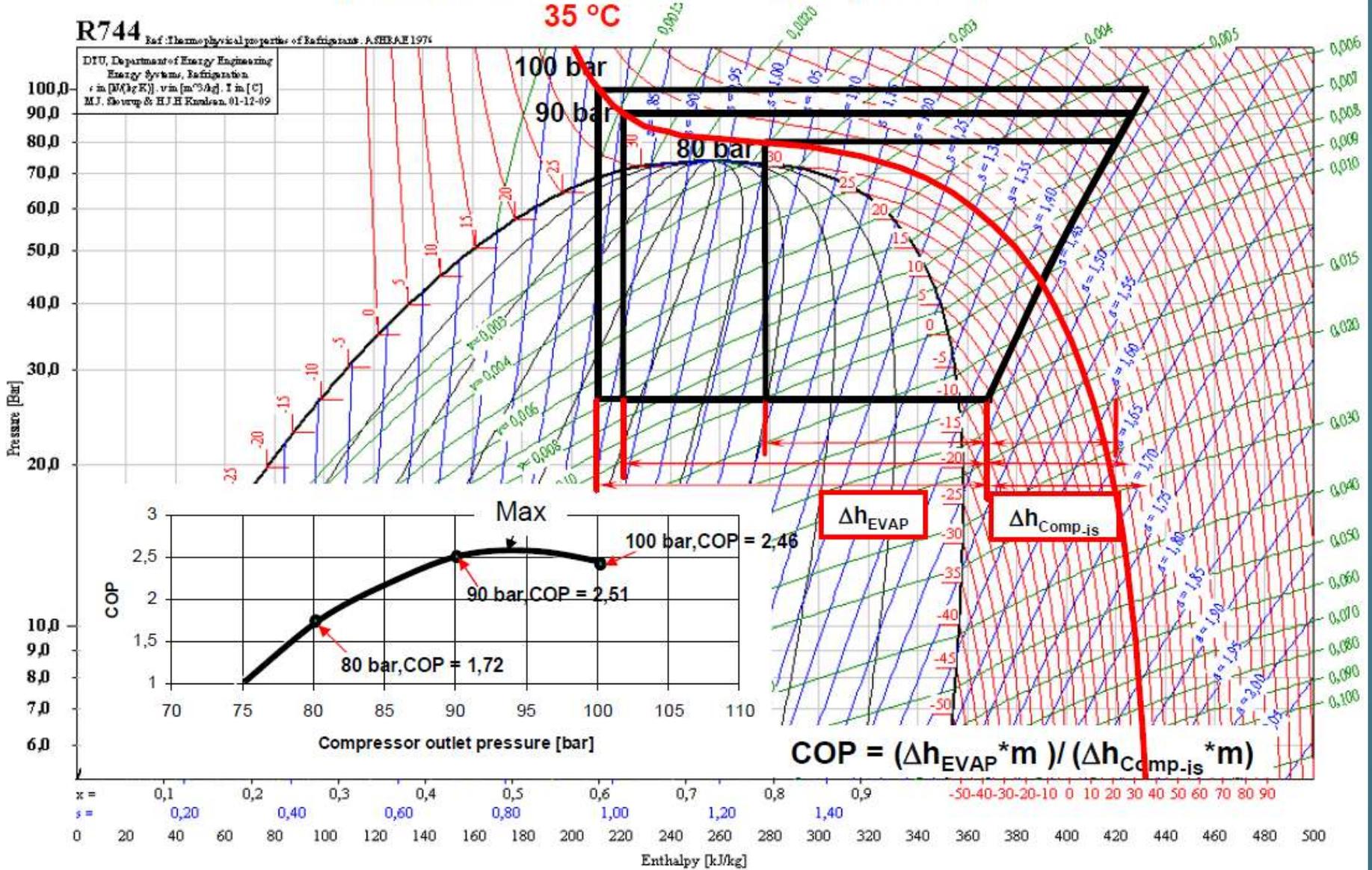


Diagramme P/H du CO2 : transcritique

Procédé de réfrigération transcritique : Influence de la pression de refoulement du compresseur sur l'efficacité de réfrigération



R-744 – Transcritique – été – sans sous-refroidissement du gaz :

- **Compresseur type : réciproque SEMI-HERMÉTIQUE # XXX ;**
- **Qté : 5 ;**
- **Réfrigérant : R-744 ;**
- **Conditions : 12' F d'évaporation, 95'F sortie refroidisseur de gaz @ 1266 psig,
T' liquide = s/o**
- **Capacité : 211 MBH/compresseur = 1,055 MBH total
17.6 T./compresseur = 88.0 T. total**
- **Énergie : 36.84 kW/compresseur = 184.2 kW total**
- **T' de refoulement = 247' F**
- **Rejet de chaleur total : 1,055 MBH + (184.2 kW *3.413 MBH/kW) = 1,684 MBH**
- **COP refroidissement : 1,055 MBH / (184.2 kW *3.413 MBH/kW) = 1.68**
- **COP chauffage : 1,684 MBH / (184.2 kW *3.413 MBH/kW) = 2.68**
- **EER refroidissement : 1,055 MBH / 184.2 kW = 5.73**
- **EER chauffage : 1,684 MBH / 184.2 kW = 9.14**

R-744 – Transcritique – été – sans sous-refroidissement du gaz :

Project name **SKATIN RINK** 01/10/2012 / All data subject to change
WITHOUT SUBCOOLING-5 COMPRESSORS REQUIRED

System **Medium temp. / Heat pump** Net supply **60 Hz / 460 V**

Medium temperature		
Refrigerant	R744	
Evaporator capacity	960 kBTU/h	
Number of compressors	5	

Evaporating temperature	12.0 °F	372.1 psi
Evaporator superheat	14.4 °F	
Suction line superheat	7.2 °F	
Int. heat exch. superh.	0.0 °F	evap. <-> gas cool.
Tot. superh./suct. g. temp.	21.6 °F	/ 33.6 °F

	Transcritical	Single stage
High pressure (max. COP)	1266.0 psi	
Gas cooler outlet temp.	95 °F	

Int. heat exch. subc.	0.0 °F	
External subcooling	0.0 °F	
Tot. subc. / fluid temp.	0.0 °F	/ 95.0 °F

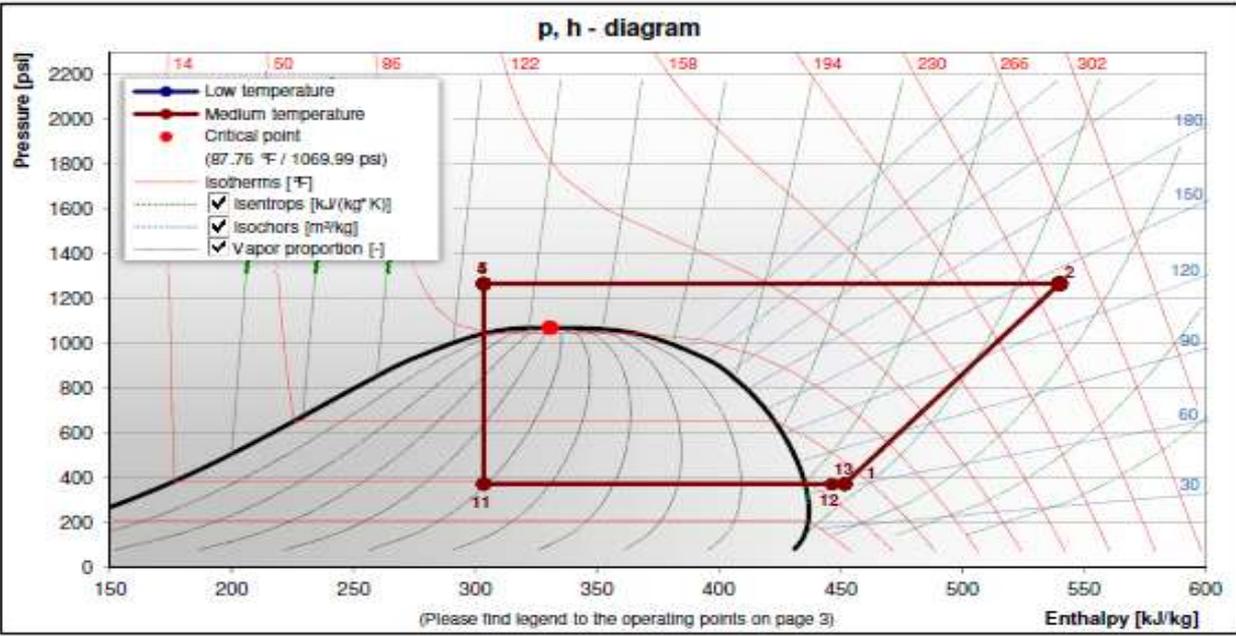
Medium temperature

Compressors	4CTC-30K	4CTC-30K	4CTC-30K	4CTC-30K	4CTC-30K	Total
Variable speed drive	No	No	No	No	No	
Motor version	Motor 2					
Cooling cap. compressor	211 kBTU/h	1,055 kBTU/h				
Evaporator capacity	204 kBTU/h	1,018 kBTU/h				
Power input	36.84 kW	184.18 kW				
Current (460 V)	49.86 A	249.29 A				
Max. current*	62.60 A	313.00 A				
Gas cooler capacity	337 kBTU/h	1,684 kBTU/h				
COP/EER compressor	5.73	5.73	5.73	5.73	5.73	5.73
Mass flow compressor	3,311 lb/h	16,554 lb/h				
Mass flow evaporator	3,311 lb/h	16,554 lb/h				
Discharge gas temp.	247 °F					
Ratio to system capacity	20 %	20 %	20 %	20 %	20 %	100 %
Ratio to design capacity	21 %	21 %	21 %	21 %	21 %	106 %

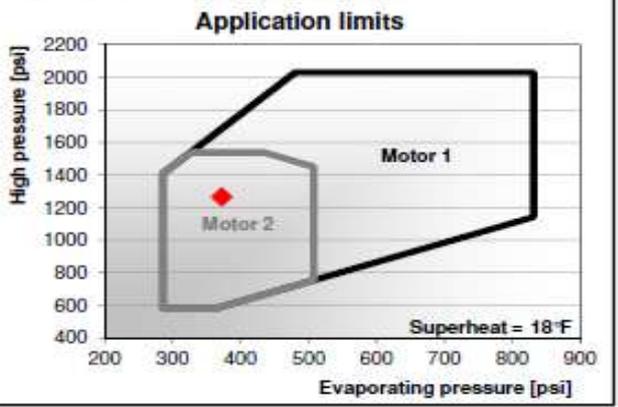
* Valid for the standard motor

R-744 – Transcritique – été – sans sous-refroidissement du gaz :

Project name: SKATIN RINK: WITHOUT SUBCOOLING-5 COMPRESSORS REQUIRED

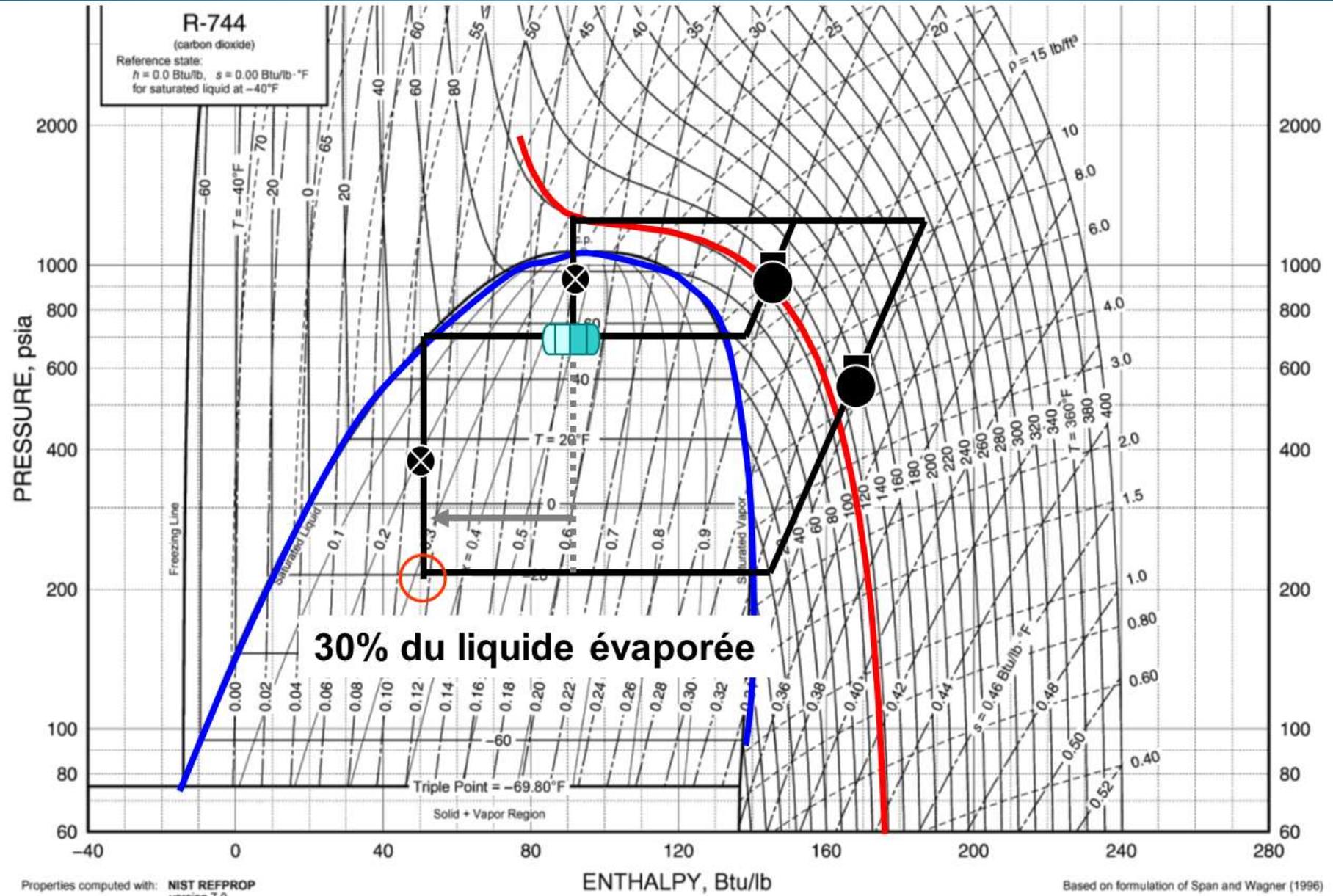


Medium temperature



Mass flow compressor	16,554 lb/h
Mass flow evaporator	16,554 lb/h
Int. heat exch. ΔT_{log} / cap.	0.0 °F
External subcooling cap.	0 kBTU/h
COP/EER evap.	5.53

Diagramme P/H du CO2 : transcritique été avec sous-refroidissement du gaz



Properties computed with: NIST REFPROP version 7.0

Based on formulation of Span and Wagner (1996)

R-744 – Transcritique – été – avec sous-refroidissement du gaz:

- **Compresseur type** : réciproque SEMI-HERMÉTIQUE # XXX ;
- **Qté** : 3 ;
- **Réfrigérant** : R-744 ;
- **Conditions** : 12' F d'évaporation, 55'F sortie refroidisseur de gaz, @ 1266 psig
T' liquide = s/o
- **Capacité** : 321 MBH/compresseur = **963 MBH total**
- 26.8 T./compresseur = **80.4 T. total**
- **Énergie** : 36.84 kW/compresseur = 135.61 kW total (dont 1 x 25.1 kW compresseur refroidissement du gaz)
- **T' de refoulement** = 247' F
- **Rejet de chaleur total** : 963 MBH + (135.61 kW * 3.413 MBH/kW) = **1,425 MBH**
- **COP refroidissement** : 963 MBH / (135.61 kW * 3.413 MBH/kW) = **2.08**
- **COP chauffage** : 1,425 MBH / (135.61 kW * 3.413 MBH/kW) = **3.08**
- **EER refroidissement** : 963 MBH / 135.61 kW = **7.10**
- **EER chauffage** : 1,425 MBH / 135.61 kW = **10.51**

R-744 – Transcritique – été – avec sous-refroidissement du gaz :

Project name **SKATING RINK WITH SUBCOOLING 3 COMPRESSORS REQUIRED** 01/10/2012 / All data subject to change

System **Medium temp. / Heat pump** Net supply **60 Hz / 460 V**

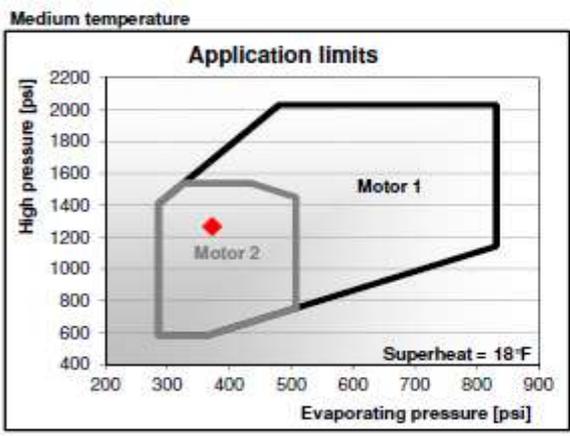
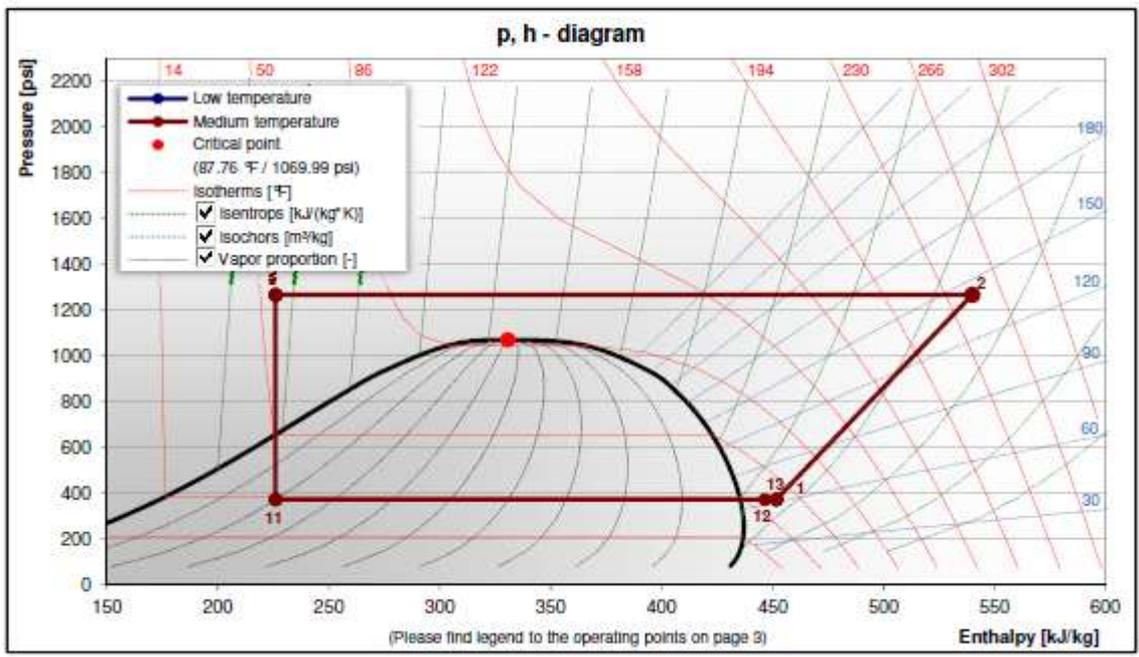
Medium temperature		
Refrigerant	R744	
Evaporator capacity	960 kBTU/h	
Number of compressors	5	
Evaporating temperature	12.0 °F	372.1 psi
Evaporator superheat	14.4 °F	
Suction line superheat	7.2 °F	
Int. heat exch. superh.	0.0 °F	evap. <-> gas cool.
Tot. superh./suct. g. temp.	21.6 °F / 33.6 °F	
	Transcritical	Single stage
High pressure (manuel)	1266.0 psi	
Gas cooler outlet temp.	55 °F	
Int. heat exch. subc.	0.0 °F	
External subcooling	0.0 °F	
Tot. subc. / fluid temp.	0.0 °F / 55.0 °F	

Medium temperature						
Compressors	4CTC-30K	4CTC-30K	4CTC-30K	4CTC-30K	4CTC-30K	Total
Variable speed drive	No	No	No	No	No	
Motor version	Motor 2					
Cooling cap. compressor	321 kBTU/h	1,606 kBTU/h				
Evaporator capacity	314 kBTU/h	1,569 kBTU/h				
Power input	36.84 kW	184.18 kW				
Current (460 V)	49.86 A	249.29 A				
Max. current*	62.60 A	313.00 A				
Gas cooler capacity	447 kBTU/h	2,234 kBTU/h				
COP/EER compressor	8.72	8.72	8.72	8.72	8.72	8.72
Mass flow compressor	3,311 lb/h	16,554 lb/h				
Mass flow evaporator	3,311 lb/h	16,554 lb/h				
Discharge gas temp.	247 °F					
Ratio to system capacity	20 %	20 %	20 %	20 %	20 %	100 %
Ratio to design capacity	33 %	33 %	33 %	33 %	33 %	163 %

* Valid for the standard motor

R-744 – Transcritique – été – avec sous-refroidissement du gaz :

Project name: SKATING RINK: WITH SUBCOOLING 3 COMPRESSORS REQUIRED



Mass flow compressor	16,554 lb/h
Mass flow evaporator	16,554 lb/h
Int. heat exch. $\Delta T_{log} / \text{cap.}$	0.0 °F 0 kBTU/h
External subcooling cap.	0 kBTU/h
COP/EER evap.	8.52

Transcritique – été – avec sous-refroidissement du gaz : Compresseur dédié au sous-refroidissement

Project name **SKATING RINK
SUBCOOLING COMPRESSOR** 01/10/2012 / All data subject to change

System **Medium temp. / Heat pump** Net supply **60 Hz / 460 V**

Medium temperature

Refrigerant	R744	
Evaporator capacity	330 kBTU/h	
Number of compressors	1	
Evaporating temperature	40.0 °F	567.6 psi
Evaporator superheat	14.4 °F	
Suction line superheat	7.2 °F	
Int. heat exch. superh.		No int. heat exch.
Tot. superh./suct. g. temp.	21.1 °F /	61.1 °F
	Transcritical	Flash gas bypass
High pressure (manuel)	1266.0 psi	
Gas cooler outlet temp.	55 °F	
Interstage pressure (ip)	635.0 psi /	48.0 °F
Int. heat exch. subc. (ip)	0.0 °F	
External subcooling (ip)	0.0 °F	
Tot. subc. / liquid temp. (ip)	0.0 °F /	48.0 °F

Medium temperature

	4FTC-30K	Total
Compressors	4FTC-30K	
Variable speed drive	No	
Motor version	Motor 1	
Cooling cap. compressor	381 kBTU/h	381 kBTU/h
Evaporator capacity	370 kBTU/h	370 kBTU/h
Power input	25.09 kW	25.09 kW
Current (460 V)	35.66 A	35.66 A
Max. current*	58.70 A	58.70 A
Gas cooler capacity	467 kBTU/h	467 kBTU/h
COP/EER compressor	15.18	15.18
Mass flow compressor	3,981 lb/h	3,981 lb/h
Mass flow evaporator	3,914 lb/h	3,914 lb/h
Discharge gas temp.	193 °F	193 °F
Ratio to system capacity	100 %	100 %
Ratio to design capacity	112 %	112 %

* Valid for the standard motor

NE PAS OUBLIER L'ENTRETIEN :



R-744 – Transcritique – hiver – sous-refroidissement gratuit:

- **Compresseur type** : réciproque SEMI-HERMÉTIQUE # XXX ;
- **Qté** : 3 ;
- **Réfrigérant** : R-744 ;
- **Conditions** : 13' F d'évaporation, 62'F sortie refroidisseur de gaz @ 1150 psig,
T' liquide = s/o
- **Capacité** : 321 MBH/compresseur = **963 MBH total**
26.8 T./compresseur = **80.3 T. total**
- **Énergie** : 34.24 kW/compresseur = 102.72 kW total
- **T' de refoulement** = 225' F
- **Rejet de chaleur total** : 963 MBH + (102.72 kW * 3.413 MBH/kW) = **1,313 MBH**
- **COP refroidissement** : 963 MBH / (102.72 kW * 3.413 MBH/kW) = **2.75**
- **COP chauffage** : 1,313 MBH / (102.72 kW * 3.413 MBH/kW) = **3.75**
- **EER refroidissement** : 963 MBH / 102.72 kW = **9.39**
- **EER chauffage** : 1,313 MBH / 102.72 kW = **12.80**

R-744 –Transcritique – hiver – sous-refroidissement gratuit :

Project name **ICE RINK** 19/10/2012 / All data subject to change

System **Medium temp. / Heat pump** Net supply **60 Hz / 460 V**

Medium temperature

Refrigerant	R744	
Evaporator capacity	960000 kBTU/h	
Number of compressors	3	
Evaporating temperature	13.0 °F	378.1 psi
Evaporator superheat	14.4 °F	
Suction line superheat	7.2 °F	
Int. heat exch. superh.	0.0 °F	evap. <-> gas cool.
Tot. superh./suct. g. temp.	21.6 °F	/ 34.6 °F
	Transcritical	Single stage
High pressure (manuel)	1150.0 psi	
Gas cooler outlet temp.	62 °F	
Int. heat exch. subc.	0.0 °F	
External subcooling	0.0 °F	
Tot. subc. / fluid temp.	0.0 °F / 62.0 °F	

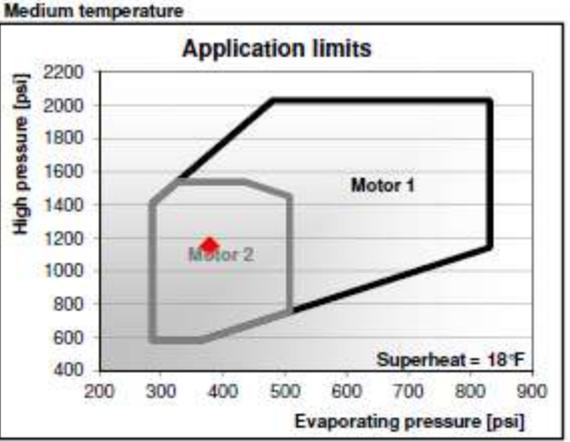
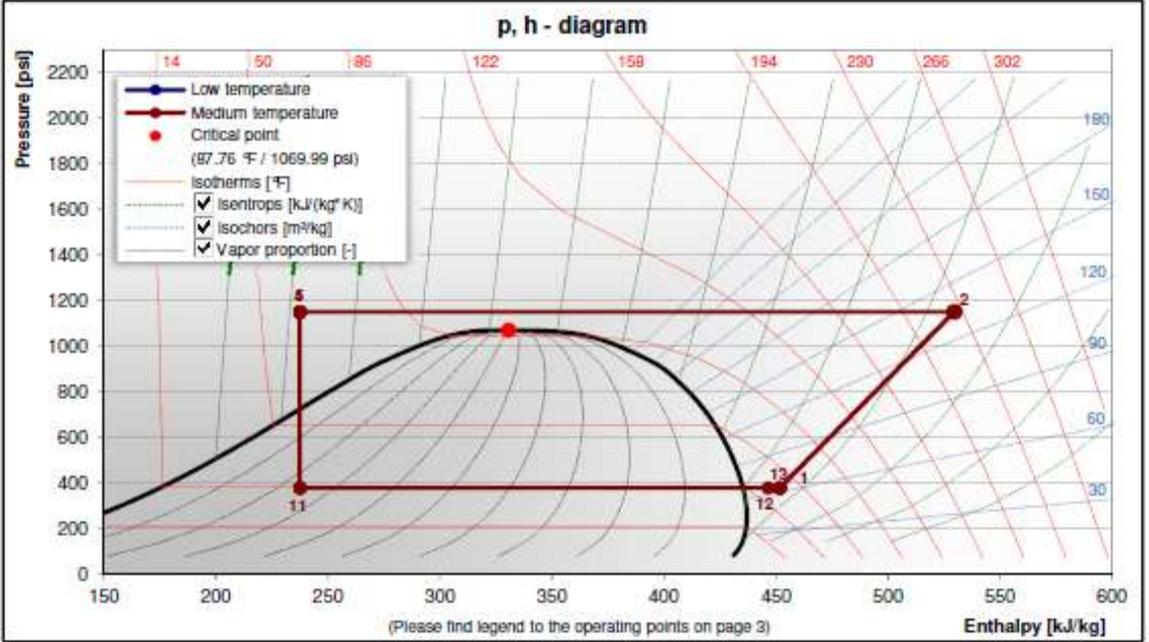
Medium temperature

Compressors	4CTC-30K	4CTC-30K	4CTC-30K	Total
Variable speed drive	No	No	No	
Motor version	Motor 2	Motor 2	Motor 2	
Cooling cap. compressor	321 kBTU/h	321 kBTU/h	321 kBTU/h	963 kBTU/h
Evaporator capacity	313 kBTU/h	313 kBTU/h	313 kBTU/h	939 kBTU/h
Power input	34.24 kW	34.24 kW	34.24 kW	102.73 kW
Current (460 V)	46.62 A	46.62 A	46.62 A	139.87 A
Max. current*	62.60 A	62.60 A	62.60 A	187.80 A
Gas cooler capacity	438 kBTU/h	438 kBTU/h	438 kBTU/h	1,313 kBTU/h
COP/EER compressor	9.37	9.37	9.37	9.37
Mass flow compressor	3,485 lb/h	3,485 lb/h	3,485 lb/h	10,454 lb/h
Mass flow evaporator	3,485 lb/h	3,485 lb/h	3,485 lb/h	10,454 lb/h
Discharge gas temp.	225 °F	225 °F	225 °F	225 °F
Ratio to system capacity	33 %	33 %	33 %	100 %
Ratio to design capacity	0 %	0 %	0 %	0 %

* Valid for the standard motor

R-744 –Transcritique – hiver – sous-refroidissement gratuit :

Project name: ICE RINK



Mass flow compressor	10,454 lb/h
Mass flow evaporator	10,454 lb/h
Int. heat exch. $\Delta T_{log} / \text{cap.}$	0.0 °F 0 kBTU/h
External subcooling cap.	0 kBTU/h
COP/EER evap.	9.14

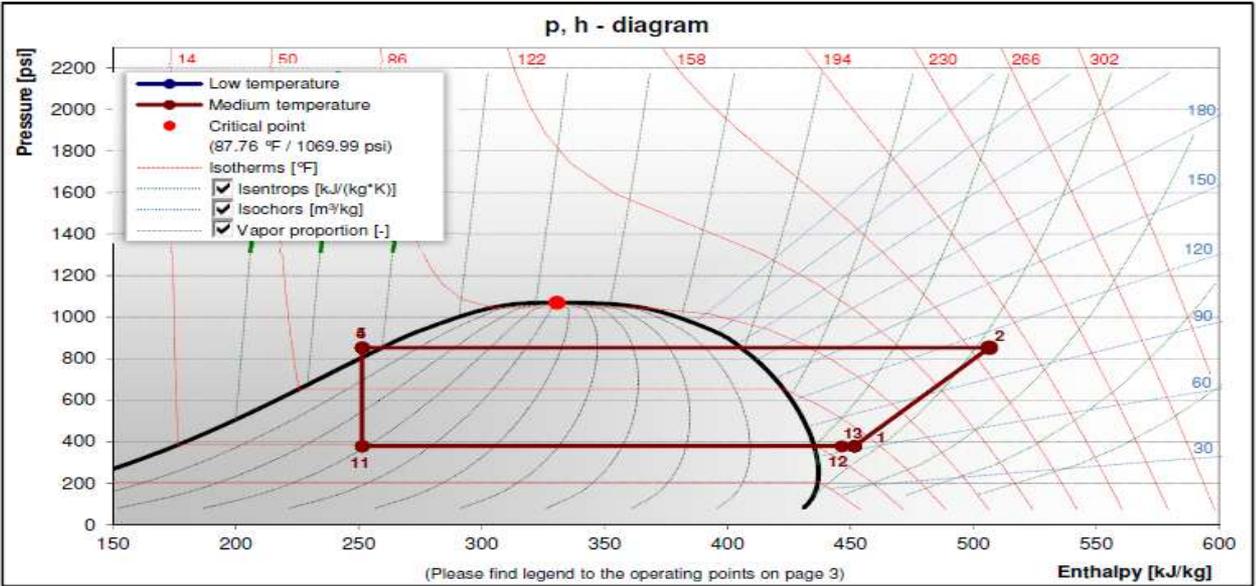
R-744 – Sous-Critique – hiver:

- **Compresseur type** : réciproque SEMI-HERMÉTIQUE # XXX ;
- **Qté** : 3 ;
- **Réfrigérant** : R-744 ;
- **Conditions** : 13' F d'évaporation, 70'F de condensation, T' liquide = 66.4' F
- **Capacité** : 325 MBH/compresseur = **975 MBH total**
- 27.1 T./compresseur = **81.3 T. total**
- **Énergie** : 26.1 kW/compresseur = 78.3 kW total
- **T' de refoulement** = 169' F
- **Rejet de chaleur total** : 975 MBH + (78.3 kW *3.413 MBH/kW) = **1,242 MBH**
- **COP refroidissement** : 975 MBH / (78.3 kW *3.413 MBH/kW) = **3.65**
- **COP chauffage** : 1,242 MBH / (78.3 kW *3.413 MBH/kW) = **4.65**
- **EER refroidissement** : 975 MBH / 78.3 kW = 12.45
- **EER chauffage** : 1,242 MBH / 78.3 kW = 15.86

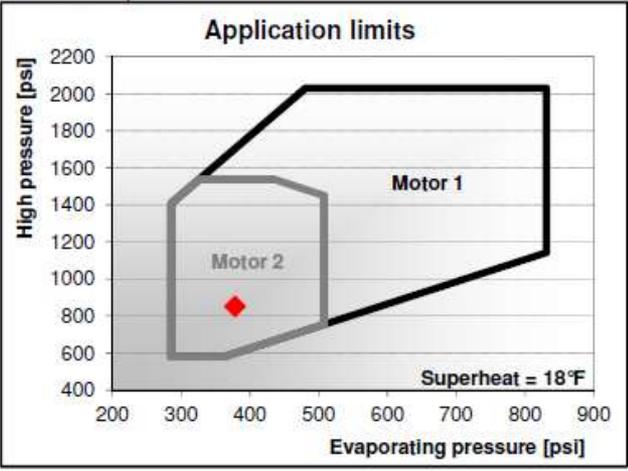
R-744 – Sous-Critique – hiver :

System	Medium temp. / Heat pump			Net supply	60 Hz / 460 V	
Medium temperature						
Refrigerant	R744					
Evaporator capacity	960000 kBTU/h					
Number of compressors	3					
Evaporating temperature	13.0 °F	378.1 psi				
Evaporator superheat	14.4 °F					
Suction line superheat	7.2 °F					
Int. heat exch. superh.	0.0 °F	evap. <-> gas cool.				
Tot. superh./suct. g. temp.	21.6 °F	/ 34.6 °F				
Condensing temperature	Subcritical	70.0 °F	Single stage			
Subcooling condenser	3.6 °F	852.8 psi				
Int. heat exch. subc.	0.0 °F					
External subcooling	0.0 °F					
Tot. subc. / liquid temp.	3.6 °F / 66.4 °F					
Medium temperature						
Compressors	4CTC-30K	4CTC-30K	4CTC-30K	Total		
Variable speed drive	No	No	No			
Motor version	Motor 2	Motor 2	Motor 2			
Cooling cap. compressor	325 kBTU/h	325 kBTU/h	325 kBTU/h	975 kBTU/h		
Evaporator capacity	316 kBTU/h	316 kBTU/h	316 kBTU/h	949 kBTU/h		
Power input	26.08 kW	26.08 kW	26.08 kW	78.25 kW		
Current (460 V)	36.82 A	36.82 A	36.82 A	110.46 A		
Max. current*	62.60 A	62.60 A	62.60 A	187.80 A		
Condenser capacity	414 kBTU/h	414 kBTU/h	414 kBTU/h	1,242 kBTU/h		
COP/EER compressor	12.45	12.45	12.45	12.45		
Mass flow compressor	3,774 lb/h	3,774 lb/h	3,774 lb/h	11,321 lb/h		
Mass flow evaporator	3,774 lb/h	3,774 lb/h	3,774 lb/h	11,321 lb/h		
Discharge gas temp.	169 °F	169 °F	169 °F	169 °F		
Ratio to system capacity	33 %	33 %	33 %	100 %		
Ratio to design capacity	0 %	0 %	0 %	0 %		
* Valid for the standard motor						

R-744 – Sous-Critique – hiver :



Medium temperature



Mass flow compressor	11,321 lb/h
Mass flow evaporator	11,321 lb/h
Int. heat exch. ΔT_{log} / cap.	0.0 °F 0 kBTU/h
External subcooling cap.	0 kBTU/h
COP/EER evap.	12.13

DIAGRAMME P/H R-744 : Différents scénarios possibles

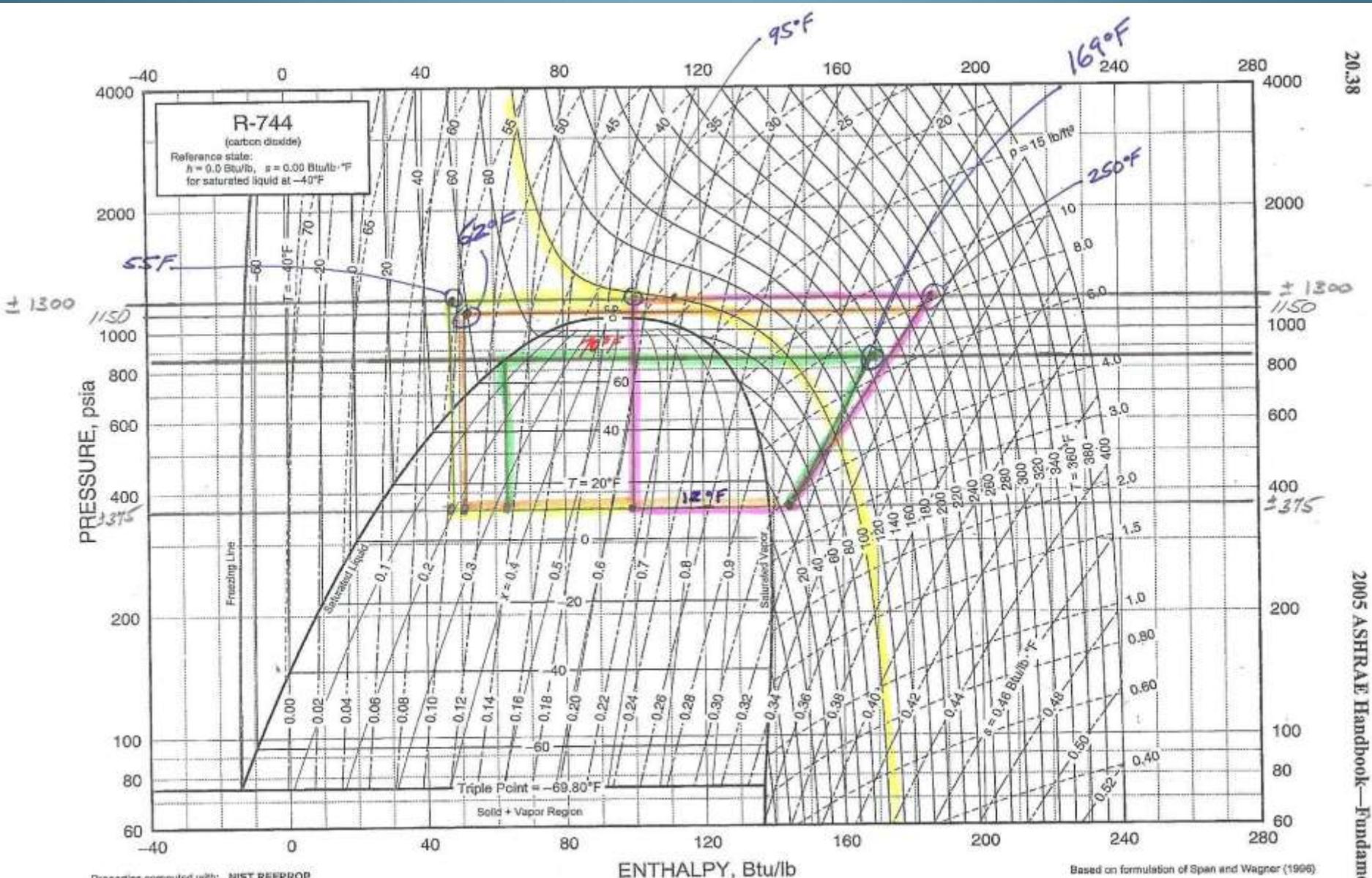


Fig. 18 Pressure-Enthalpy Diagram for Refrigerant 744 (Carbon Dioxide)

L'EFFICACITÉ DE RÉFRIGÉRATION - LE CO₂ vs AMMONIAC

R-717 – Été :

- *Compresseur type : à vis OUVERT # XXX ;*
- *Qté : 2 ;*
- *Réfrigérant : R-717 ;*
- *Conditions : 7° F d'évaporation, 100° F de condensation, ECO =oui, T' liquide = 28.1° F*
- *Capacité : 481 MBH/compresseur = **962 MBH total**
40.1 T./compresseur = **80.2 T. total***
- *Énergie : 44.6 kW/compresseur = **89.2 kW total***
- *T' de refoulement = 304° F / 175° F*
- *Désurchauffe = 277.1 – 167.2 = 109.9 MBH*
- *Rejet de chaleur total : 962 MBH + (89.2 kW *3.413 MBH/kW) = **1,266 MBH***
- *Rejet de chaleur dans les refroidisseurs d'huile :
83.6 MBH x 2 = **167.2 MBH***
- *COP refroidissement : 962 MBH / (89.2 kW *3.413 MBH/kW) = **3.16***
- *COP chauffage : 1,266 MBH / (89.2 kW *3.413 MBH/kW) = **4.16***
- *EER refroidissement : 962 MBH / 89.2 kW = **10.78***
- *EER chauffage : 1,266 MBH / 89.2 kW = **14.19***

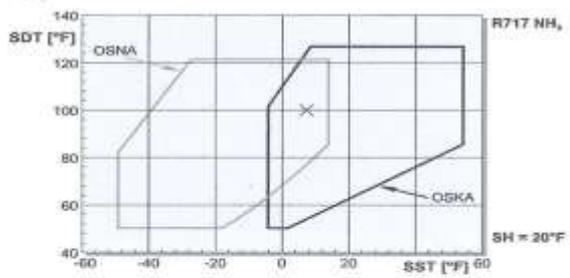
R-717 – Été :

Compressor Selection: Open Screw Compressors

Input Values

Compressor model	
Refrigerant	R717 [NH3]
Reference temperature	Dew point temp.
Evaporating SST	7°F
Condensing SDT	100°F
Operating mode	ECO
Liquid temperature	Auto
Discharge gas temp.	175°F
Suct. gas superheat	5°F
Useful superheat	100%
Speed	3500 /min
Capacity Control	100%

Application Limits (Standard)



Output

Compressor model	OSKA7451-K	XZ
Cooling capacity	481 kBtu/h	→ 962 MRH → 80.2 T.
Cooling capacity *	477 kBtu/h	
Evaporator capacity	481 kBtu/h	
Power input	44.6 kW	→ 89.2 kW
Condensing capacity	549 kBtu/h	
COPEER	10.78	
COPEER *	10.71	
Mass flow LP	887 lb/h	→ 1774 lb/h
Mass flow HP	1037 lb/h	→ 2074 "
Operating mode	ECO	
Liquid temp. (sc)	28.1 °F	
Mass flow ECO	149.9 lb/h	
sub cooler load	71.3 kBtu/h	
sat. ECO Temp.	28.1 °F	
ECO pressure	57.5 psia	
Oil volume flow	7.36 GPM	
Oil cooler outlet	120.4 °F	
Oil cooler load	83.6 kBtu/h	
Necess. driving motor	62.0 kW	
DG w/o cooling	304 °F	

Starting point for motor selection see T. Data/ Notes
 Additional cooling/ Limitations (see Limits + T. Data)!
 Selection only valid for flooded systems
 *with 10°F suction gas superheat, 0°F liquid subcooling

R-717 – Hiver :

- **Compresseur type :** à vis OUVERT # XXX ;
- **Qté :** 2 ;
- **Réfrigérant :** R-717 ;
- **Conditions :** 7° F d'évaporation, **70° F** de condensation, ECO =oui, T' liquide = 27.1° F
- **Capacité :** 517 MBH/compresseur = **1034 MBH total**
43.1 T./compresseur = **86.2 T. total**
- **Énergie :** 31.6 kW/compresseur = **63.2 kW total**
- **T' de refoulement = 220° F / 175° F**
- **Désurchauffe = 194.1 – 55.2 = 138.9 MBH**
- **Rejet de chaleur total :** 1034 MBH + (63.2 kW *3.413 MBH/kW) = **1,250 MBH**
- **Rejet de chaleur dans les refroidisseurs d'huile :**
27.6 MBH x 2 = **55.2 MBH**
- **COP refroidissement :** 1034 MBH / (63.2 kW *3.413 MBH/kW) = **4.79**
- **COP chauffage :** 1,250 MBH / (63.2 kW *3.413 MBH/kW) = **5.79**
- **EER refroidissement :** 1034 MBH / 63.2 kW = **16.36**
- **EER chauffage :** 1,250 MBH / 63.2 kW = **19.78**

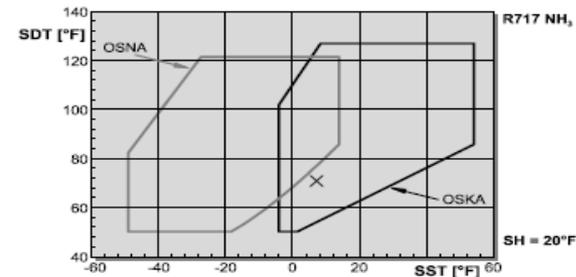
R-717 – Hiver :

Compressor Selection: Open Screw Compressors

Input Values

Compressor model	
Refrigerant	R717 [NH ₃]
Reference temperature	Dew point temp.
Evaporating SST	7°F
Condensing SDT	70°F
Operating mode	ECO
Liquid temperature	Auto
Discharge gas temp.	175°F
Suct. gas superheat	5°F
Useful superheat	100%
Speed	3500 /min
Capacity Control	100%

Application Limits (Standard)



Output

Compressor model	OSKA7451-K
Cooling capacity	517 kBtu/h
Cooling capacity*	513 kBtu/h
Evaporator capacity	517 kBtu/h
Power input	31.6 kW
Condensing capacity	597 kBtu/h
COP/EER	16.36
COP/EER *	16.25
Mass flow LP	951 lb/h
Mass flow HP	1040 lb/h
Operating mode	ECO
Liquid temp. (sc)	27.1 °F
Mass flow ECO	88.8 lb/h
sub cooler load	45.2 kBtu/h
sat. ECO Temp.	27.1 °F
ECO pressure	56.3 psia
Oil volume flow	5.35 GPM
Oil cooler outlet	150.4 °F
Oil cooler load	27.6 kBtu/h
Necces. driving motor	41.5 kW
DG w/o cooling	220 °F

Starting point for motor selection see T. Data/ Notes

Additional cooling/ Limitations (see Limits + T. Data)!

Selection only valid for flooded systems

*with 10°F suction gas superheat, 0°F liquid subcooling

DIAGRAMME P/H R-717 :

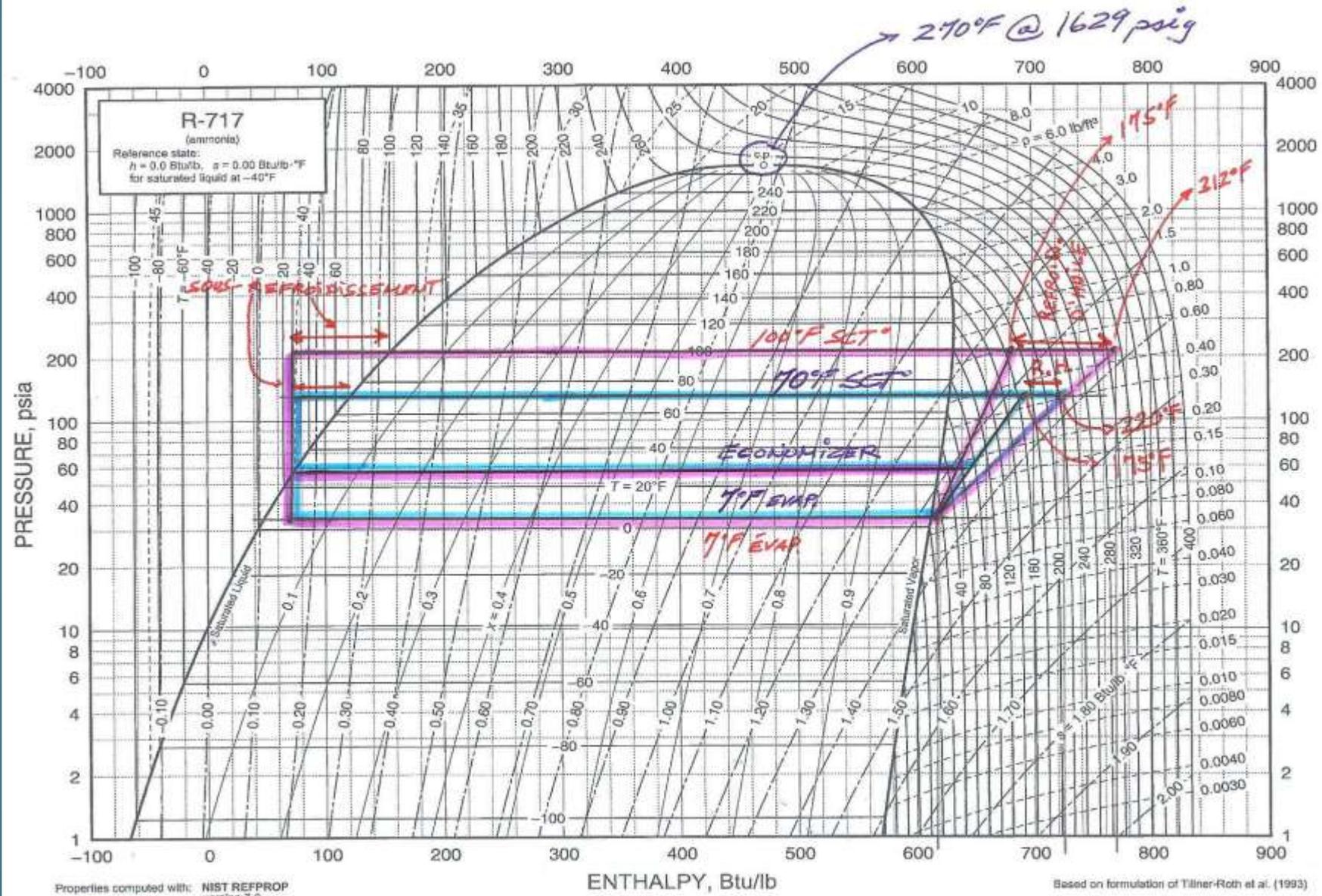


Fig. 16 Pressure-Enthalpy Diagram for Refrigerant 717 (Ammonia)

L'EFFICACITÉ DE RÉFRIGÉRATION :

Ne pas oublier les efficacités des systèmes existants !

Compressor: Non-Economized

Refrigerant: R22

Model:

Voltage: 575

Frequency: 60Hz

Units: ENGLISH

Temp. Leaving Cond. ▲▼ 105 F

Temp. Entering TXV ▲▼ 105 F

Superheat Lv Evap ▲▼ 10 F

Return Gas Temp. ▲▼ 20 F

SST ▲▼ 0 F

SST Increment ▲▼ 5 F

SST ▲▼ 105 F

RPM ▲▼ 1750

% HR ▲▼ 100

Even SST Increment

MtrEff% ▲▼ 93

	▲▼ 0	▲▼ 5	▲▼ 10	▲▼ 15	▲▼ 20
Compressor Capacity (BTUH)	178 438	207 120	238 526	272 739	309 847
Evaporator Refrigeration Effect (BTUH)	174 209	204 627	238 526	276 138	317 722
Mass Flow (lb/hr)					
Condenser	2 672	3 114	3 602	4 139	4 728
Evaporator	2 672	3 114	3 602	4 139	4 728
Economizer	0	0	0	0	0
Power (BHP)	28.21	30.07	31.82	33.44	34.94
Current (Amps)	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
EER	7.9	8.6	9.3	10.2	11.1
SIT (F)	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Discharge Temperature (F)	212	199	187	176	166
HEAT REJECTED LOAD (BTUH)					
Oil Cooler	3 300	3 300	3 300	3 300	3 300
Condenser	250 269	283 689	319 537	357 882	398 796
Economizer Load (BTUH)	0	0	0	0	0

Exemple Aréna typique 75 T.

➤ CO2 sans sous-refroidissement :

- 5 x 211 MBH @ 12° F évap., 95° F sortie refroidisseur de gaz @ 1266 psig
- 1055 MBH = 87.92 T.
- Appel de puissance = 36.84 kW/comp. = 5 x 36.84 kW = 184.2 kW, pour 75 T.
157.1 kW = 210.6 HP, **EER = 5.72**
- T° de refoulement = 247° F @ 1266 psig ;

➤ CO2 avec sous-refroidissement :

- 3 x 321 MBH @ 12° F évap., 55° F sortie refroidisseur de gaz @ 1266 psig
- 962 MBH = 80.17 T.
- Appel de puissance = 36.84 kW/comp. = 3 x 36.84 kW = 110.52 kW, pour 75 T.
103.4 kW = 138.6 HP ;
- T° de refoulement = 247° F @ 1266 psig ;
- **Charge de sous-refroidissement = 321 MBH - 211 MBH = 110 MBH x 3 = 330 MBH**
- **Compresseur de sous-refroidissement 381 MBH @ 40° F évap., 95° F sortie refroidisseur de gaz @ 1266 psig ;**
- **Appel de puissance compresseur de sous-refroidissement = 25.09 kW**
- **T° de refoulement = 193° F @ 1266 psig ;**
- **Donc capacité totale = 75 T. pour 103.4 + 25.09 kW = 128.49 kW, EER = 7.00**

➤ R-717 avec sous-refroidissement :

- 2 x 458 MBH @ 7° F évap., 100° F de condensation @ 197.3 psig
- 962 MBH = 80.2 T.
- Appel de puissance = 44.6 kW/comp. = 2 x 44.6 kW = 89.2 kW, pour 75 T. 83.4 kW = 111.8 HP ;
- T° de refoulement = 175° F avec refroidisseur d'huile @ 197.3 psig ;
- **T° de liquide = 28.1° F @ 42.7 psig ;**
- **Donc capacité totale = 75 T. pour 83.4 kW, EER = 10.79**

RÉSUMÉ DES EFFICACITÉS EN FCT DU RÉFRIGÉRANT :

	R-134a	R-744-TC	R-744-TC	R-134a	R-507	R-744-TC	R-717	R-744-SC	R-134a	R-507	R-717
T' évaporation	7	12	12	7	7	12	7	13	7	7	7
T'condensation	130	95 (1266#)	55 (1266#)	100	100	62 (1150#)	100	70 (853#)	75	70	70
Capacité de refroidissement totale, MBH	798	1 055	963	948	1 062	963	962	975	1 032	1 226	1 034
Capacité de refroidissement totale, T.	66.5	87.9	80.3	79.0	88.5	80.3	80.2	81.3	86.0	102.2	86.2
kW total	176.8	184	136	115	128	103	89	78	79	86	63
Rejet de Chaleur total, MBH	1 401	1 684	1 426	1 339	1 498	1 314	1 266	1 242	1 303	1 519	1 250
EER refroidissement	4.51	5.73	7.10	8.27	8.31	9.37	10.78	12.45	13.00	14.29	16.36
EER récupération	7.93	9.14	10.51	11.69	11.72	12.79	14.20	15.87	16.41	17.70	19.77

RÉCUPÉRATION DE CHALEUR

Récupération de chaleur CO2 Vs Ammoniac

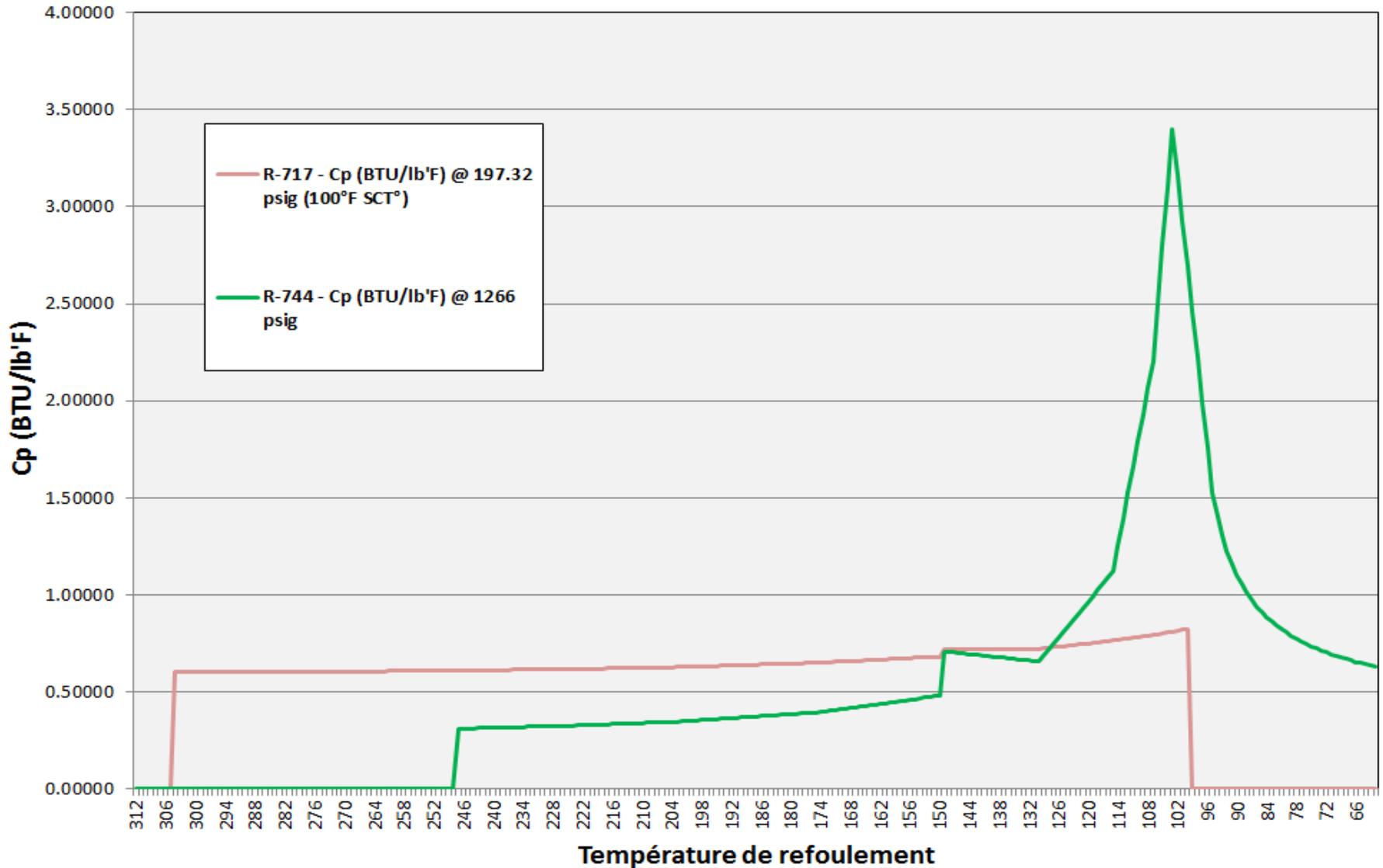
	R-744 TC, SANS SR	R-717 100°F SCT'	R-744 TC, AVEC SR MÉC.	R-744 COMPRESSEUR DÉDIÉ SR	R-744 TC, AVEC SR GRATUIT	R-744 SC @ 70°F SCT'
T'évap.	12	7	12	40	13	13
T cond. ou sortie gaz cooler	95	100	55	95	62	70
Pression	1266	197.32	1266	1266	1150	852.8
# modèle						
Qté	5	2	3.00	1.00	3.00	3.00
Cap./comp. MBH	211.00	481.00	321.00	381.00	321.00	325.00
Cap. tot. MBH	1 055	962	963	381	963	975
Cap. tot. TR	88	80	80	32	80	81
kW/comp.	36.84	44.6	36.84	25.09	34.24	26.08
kW total comp.	184	89	111	25	103	78
dégagement chaleur comp. MBH	629	304	377	86	351	267
kW/T.	2.10	1.11	1.38	0.79	1.28	0.96
EER	5.73	10.78	8.71	15.19	9.38	12.46
COP réf.	1.68	3.16	2.55	4.45	2.75	3.65
débit massique lb/h, LP/comp.	3311.00	887.00	3311.00	3981.00	3485.00	3774.00
débit massique lb/h, LP total	16 555	1 774	9 933	3 981	10 455	11 322
débit massique lb/h, HP	16 555	2 074	9 933	3 981	10 455	11 322
THR en MBH	1 684	1 266	1 010	467	1 314	1 242

Récupération de chaleur CO2 Vs Ammoniac

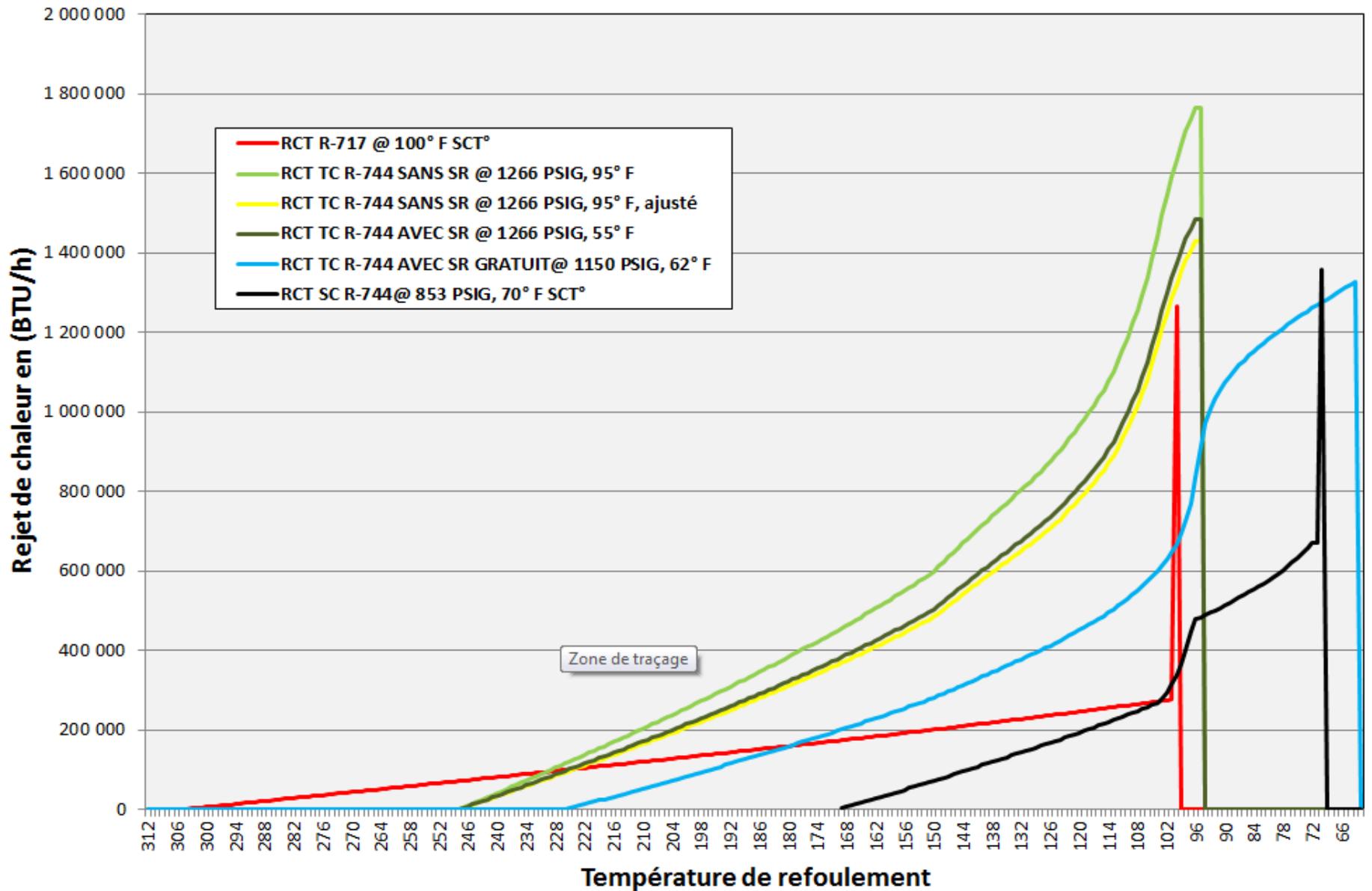
	R-744						R-717				
	THR	THR ajusté	THR total ajusté	cons. kW vs THR	EER heating	COP heating	THR	THR total	cons. kW vs THR	EER heating	COP heating
304 @ 247	0	0	0	0	0.00	0.00	71 574	71 574	5.04	14.19	4.16
247 @ 225	115 554	93 457	93 457	12.55	9.21	2.18	27 833	99 407	1.96	14.19	4.16
225 @ 203	122 010	98 679	192 136	13.25	9.21	2.18	28 352	127 758	2.00	14.19	4.16
203 @ 175	170 185	137 642	329 777	18.49	9.21	2.18	37 021	164 779	2.61	14.19	4.16
175 @ 150	178 297	144 202	473 980	19.37	9.21	2.18	34 428	199 208	2.43	14.19	4.16
150 @ 130	183 098	148 085	622 065	19.89	9.21	2.18	29 036	228 244	2.05	14.19	4.16
130 @ 115	206 938	167 366	789 431	22.48	9.21	2.18	23 063	251 307	1.62	14.19	4.16
115 @ 107	202 633	163 885	953 315	22.01	9.21	2.18	12 900	264 207	0.91	14.19	4.16
107 @ 103	188 561	152 504	1 105 819	20.48	9.21	2.18	6 658	270 864	0.47	14.19	4.16
103 @ 95	328 286	265 509	1 371 328	35.66	9.21	2.18	5 081	275 946	0.36	14.19	4.16
100 cond.	0	0	0	0.00	0.00	0.00	990 045	1 265 990	69.76	14.19	4.16
	1 695 563	1 371 328		184.20			1 265 990		89.20		
		324 235									
		0.80877444									

COEFFICIENT DE CHALEUR SPÉCIFIQUE @ 1266 PSIG/R-744 @ 197.32 PSIG/R-717

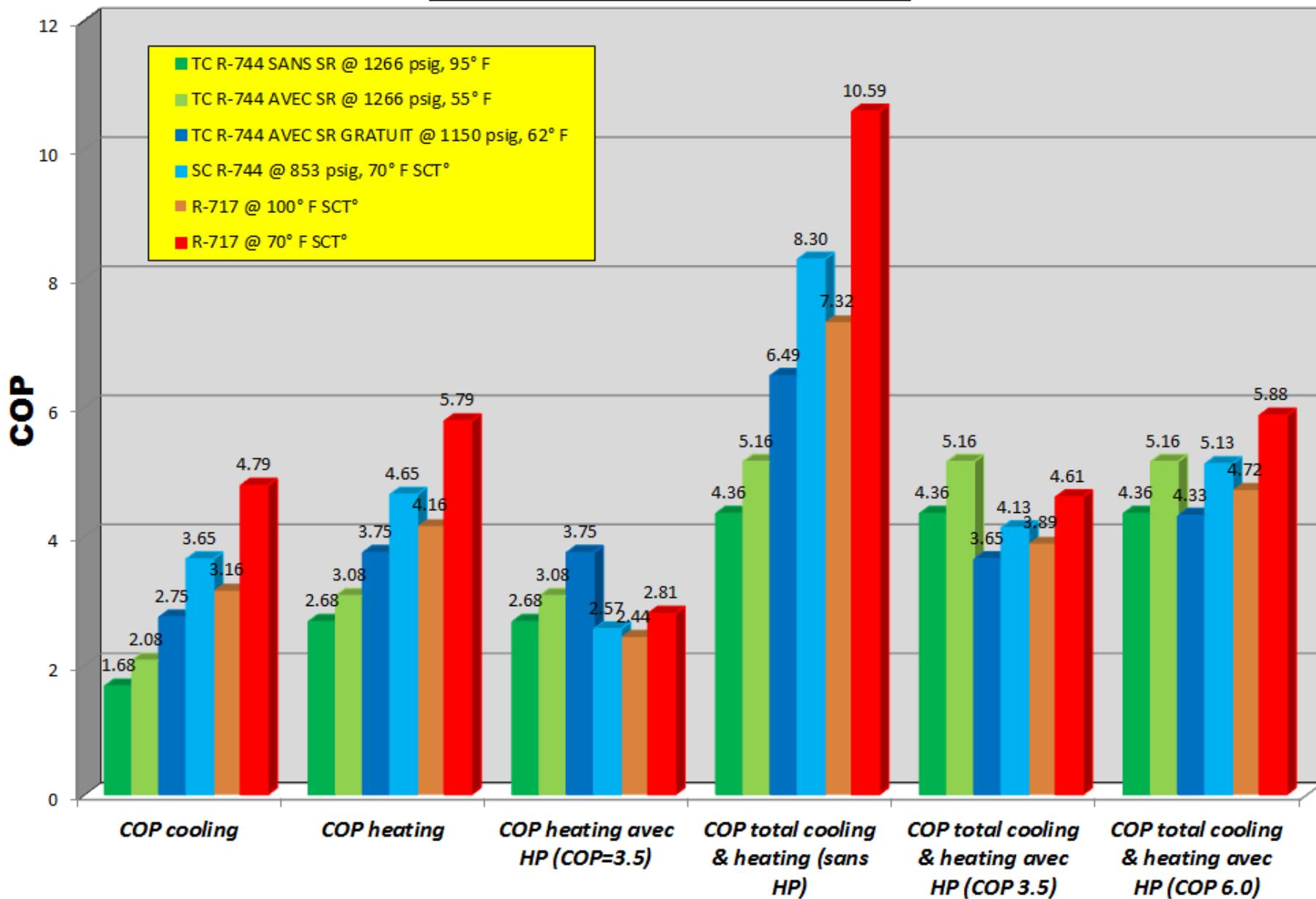
Comparaison entre R-717 et R-744 vs Rejet de chaleur



Comparaison entre R-717 et R-744 vs Rejet de chaleur



Comparaison des différents COP



EN CONCLUSION

- *DES SOLUTIONS À HAUT RENDEMENT ÉNERGÉTIQUE, RÉFRIGÉRATION + RÉCUPÉRATION ;*
- *DES SOLUTIONS AVEC UN ESPRIT ENVIRONNEMENTAL ;*
- *UN SYSTÈME DE RÉFRIGÉRATION N'EST PAS UN SYSTÈME DE CHAUFFAGE ;*
- *MÉFIEZ-VOUS DES EFFICACITÉS, UNE ANALYSE APPROFONDIE DOIT ÊTRE FAITE ;*
- *LA RÉFRIGÉRATION EST COMPLEXE IL EST IMPORTANT D'ÉCOUTER LES VRAIS PROFESSIONNELS ET D'OBTENIR LES VRAIS RÉPONSES....ATTENTION AUX CHARLATANTS !!!!! ;*

SOYEZ PRUDENTS !!!



MERCI !

QUESTIONS ? COMMENTAIRES ?