

Business Case for
Natural Refrigerants

05/07/2018 – Paris



Solutions fluides naturels pour les PATINOIRES en France

NOUVELLES et EXISTANTES

**Paul RIVET
AF CONSULTING**

afconsulting@sfr.fr

[**www.afconsultingrefri.fr**](http://www.afconsultingrefri.fr)

- **150 patinoires en France: intérieures, publiques, une seule piste 56x 26m ou 58 x 28m ou 60x30m**
- **10 doubles pistes; seconde 56 x 26 ou 40 x 20m ou ronde**
- **5 avec piste ludique: pente, rivière , tunnel, etc**
- **2 pistes de curling**
- **Pas d'anneau de vitesse**
- **1 piste de bobsleigh**
- **Puissance installée: 250 à 300 W/m² avec déshumidification et secours**
- **Évaporation directe -8°C ou frigoporteur -10/-8°C (évaporation -13°C)**
- **ECS à +60°C et pour surfaçeuse à +50°C**
- **Chauffage et réchauffage de l'air après déshumidification**
- **Climatisation faibles sauf annexes: salles de gym, réunions, bureaux...**
- **Réchauffage de la sous dalle +25°C**
- **Fusion de la neige de surfaçage +25°C**

Situation en France

- 50% en HFC/eau glycolée
- 30% en NH3 eau glycolée
- 15% en détente directe R404A ou R507 ou R22
- 1 extérieure en cascade R134a/CO2
- 2 doubles pistes neuves en construction CO2/eau glycolée
- 2 en construction NH3/eau glycolée

Situation hors de France

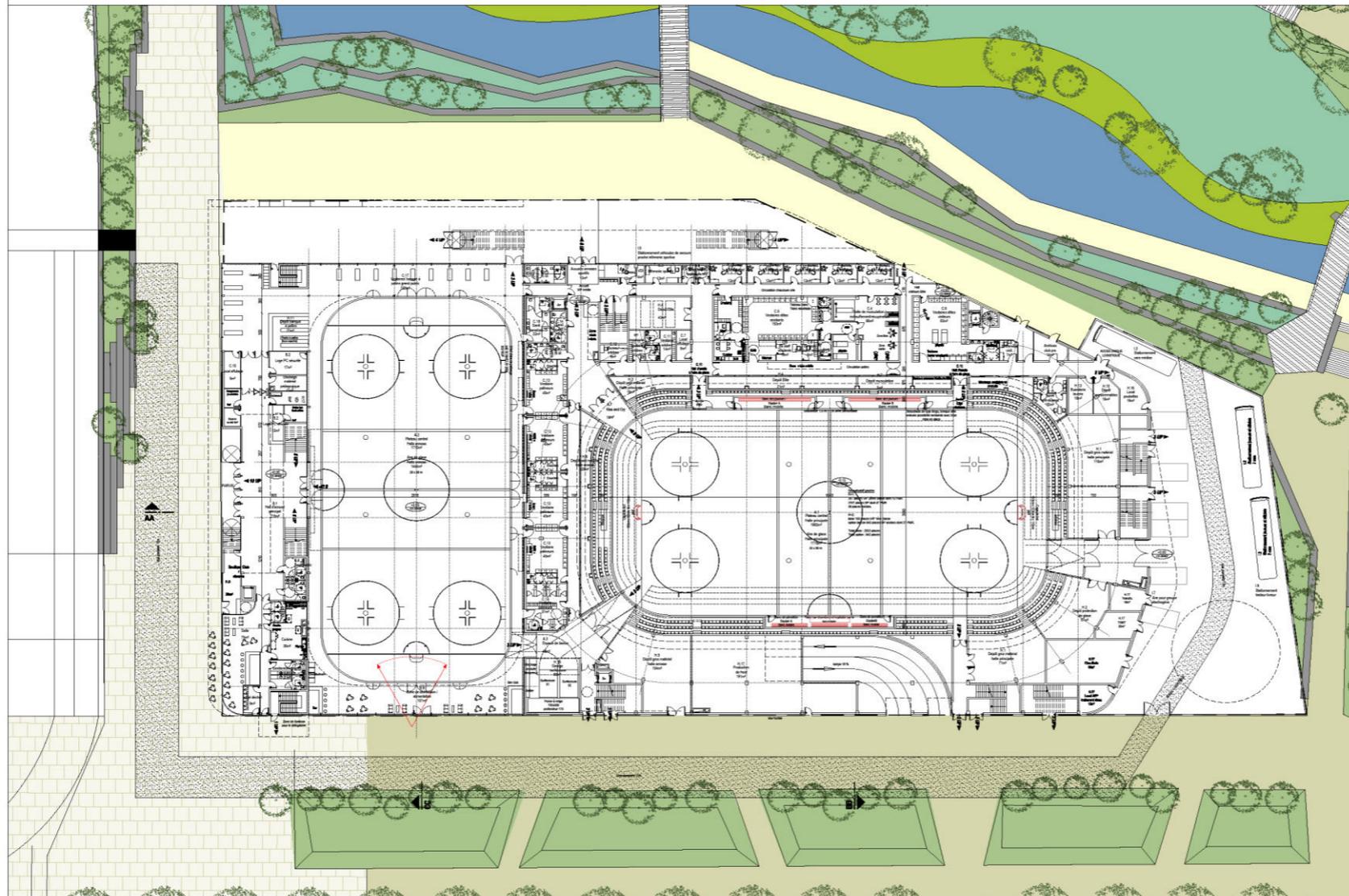
- *Majorité en Europe, Canada, USA en frigoporteur avec NH3, HFC, R22*
 - 2017: première piste au CO2 direct en Belgique
 - Au Canada, première piste en CO2 direct en 2011; actuellement plus de 20 pistes en CO2 direct et CO2/saumure, eau glycolée. Nombreux projets de rénovations (R22)
 - Premières pistes CO2 direct en 2016 en Alaska; nombreux projets de rétrofit USA R22/eau glycolée
 - En Suède, première piste en CO2 direct en 2016 actuellement 10 pistes dont certaines en CO2/frigoporteur
- >>> la prochaine réalisation concerne une piste neuve, elle sera probablement en CO2 direct**



ATMO
sphere

PATINOIRE D'ANGERS

1800 + 1500 m²: NH₃/eau glycolée



ANGERS Patinoire

NIVEAU RDC **APS**
5.20

DATE: 08 Novembre 2014

Autres références	Échelle	Titre
01/11/14	1/50	Plan de situation
02/11/14	1/100	Plan de situation
03/11/14	1/200	Plan de situation
04/11/14	1/500	Plan de situation
05/11/14	1/1000	Plan de situation
06/11/14	1/2000	Plan de situation
07/11/14	1/5000	Plan de situation
08/11/14	1/10000	Plan de situation
09/11/14	1/20000	Plan de situation
10/11/14	1/50000	Plan de situation
11/11/14	1/100000	Plan de situation
12/11/14	1/200000	Plan de situation
13/11/14	1/500000	Plan de situation
14/11/14	1/1000000	Plan de situation
15/11/14	1/2000000	Plan de situation
16/11/14	1/5000000	Plan de situation
17/11/14	1/10000000	Plan de situation
18/11/14	1/20000000	Plan de situation
19/11/14	1/50000000	Plan de situation
20/11/14	1/100000000	Plan de situation

(photo Chabane Architecte)

CONTRAINTES SPECIFIQUES

- Pas NH3 en direct (ERP) >>>> frigoporteur et charge limitée 150 kg >>> condensation indirecte avec caloporteur
- Pas de systèmes évaporatifs (légionellose)
- **Remplacer R507 ou R404A et autres HFC (R134a, R410A...). Certains sites en pompe avec 3.5 tonnes**
- Réduire kWh liés au froid : 1 à 1.2 MWh pour 1800 m2
- Réduire kWh liés au chaud: 0.5 MWh
- Déshumidification +10°C / 4, 5g/kg air sec
- Besoin de froid très variables de 80 à 300 W/m2
- Besoin de chaud variable de 50 à 400 kW pour 1800 m2 et 3 niveaux de température: +60°C, +50°C, +20°C
- Secours et de la flexibilité



1. CO2 par pompe dans la piste (cycle transcritique)

➤ *Les moins*

- **pression de service réseau 25b et gestion de la pression à l'arrêt**
- **type et longévité réseau de piste: acier noir, inox, cuivre protégé ?**
- **passages des collecteurs ? >>>> norme EN378**
- **surcoût du réseau 50 à 100 000 euros**

Les plus

- **énergie compression inférieure (voir page 9)**
- **débit de pompage très inférieure: frigoporteur CO2 CpdT = LV 8 kJ/kg
250 kJ/kg et recyclage de 2**
- **utilisation d'air pour évacuer chaleur compression**
- **centrales plus compétitives que NH3: 4 à 6 compresseurs semi- hermétiques >>>> flexibilité, secours**
- **maintenance moins chère**
- **gros intérêt en récupération de chaleur: niveau et quantité (voir page 10)**

2. CO2 transcritique avec frigoporteur

Les plus:

- piste et collecteurs en polyéthylène
- potentiel de récupérateur de chaleur très élevé: niveau et quantité
- utilisation d'air pour évacuer chaleur de compression
- centrales plus compétitives que NH3: 4 à 6 compresseurs semi- hermétiques >>>> flexibilité, secours
- optimisation pression de refoulement
- remonter pression de refoulement pour plus de chaleur
- remplacement de refroidisseurs existants en conservant la piste
- envisager dépannage avec groupe de location standard

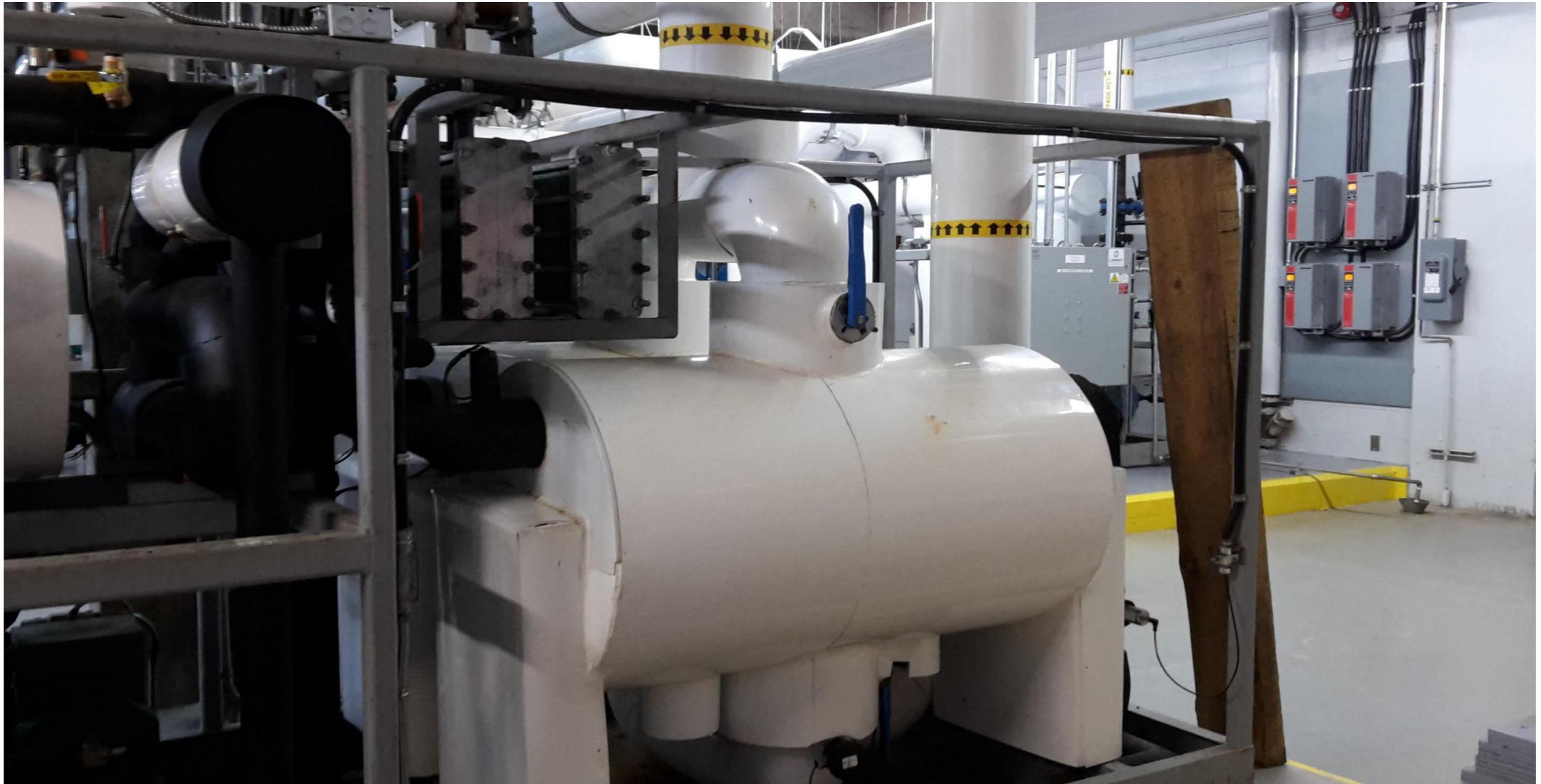
Les moins:

- COP inférieur: dT frigoporteur mais kWh consommés en + augmentent potentiel récupération
- énergie pompage élevée >>> à minimiser par gestion débit/température



ATMO
sphere

EVAPORATEUR "SHELL AND PLATE" CO2/EAU GLYCOLÉE



3. NH₃ avec frigoporteur

Les plus:

- piste et collecteurs en polyéthylène
- remplacement de refroidisseurs existants en conservant la piste
- dépannage avec groupe de location standard
- récupération simple mais limitée sur refroidisseurs d'huile des vis vers +55°C et récupération sur refoulement

Les moins:

- performances NH₃ atténuées car condensation indirecte (interface frigoporteur: deux dT en plus)
- la pompe caloporteur côté condensation réduit encore le COP système (1) de:
 - 7% avec air +32°C et condensation + 45°
 - 11 % avec air +10°C et condensation à +23
- utilisation de compresseurs à vis (à cause du régime de fonctionnement >>> prix augmente
- température de refoulement limitée à +90°C (refroidissement de l'huile)
- HP flottante limitée si compresseurs à vis sans pompe à huile

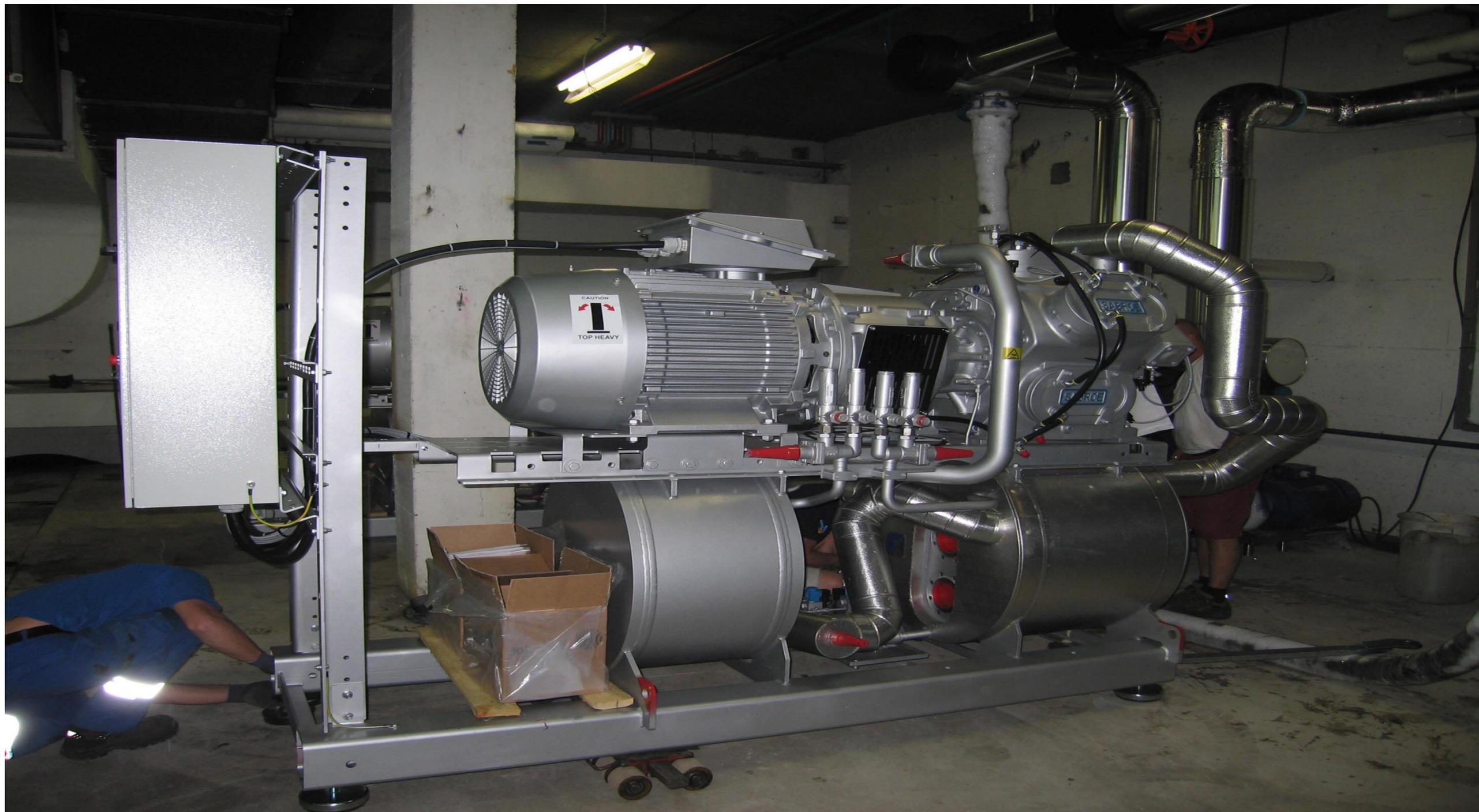
(1) Pour puissance frigo de 360 kW (200W/m² et 1800 m²)



ATMO
sphere

PATINOIRE DE MORZINE

1 des 3 unités à très faibles charge de NH3 (17kg)





COMPARAISON DES COP

Avec Frigoporteur -10°C et évaporation -15°C entre CO2 et NH3

Base: température d' air

+32°C

+10°C

Frigrigène

NH3

CO2

NH3

CO2

Température de gaz ou condensation CO2

+34°C

+15°C

Condensation NH3

+45°C

+ 23°C

Caloporteur condensation

+38/+42°C

+ 16/+20°C

COP (1)

CO2 TC

1.54

3.97

CO2 TC // (2)

1.89

4.03

NH3 (3)

1.97 (5)

3.95

NH3 (4)

1.83

3.52

Température refoulement

CO2

+120°C

+70°C

NH3

+90°C

+70°C

(1) Compresseurs Bitzer pour CO2 (semi Hermétiques) et NH3 à vis

(2) Avec compression parallèle

(3) Aux bornes des compresseurs

(4) Avec correction pompe caloporteur

(5) Compresseurs à vis en économiseur

COMPARAISON DES COP

CO2 direct et CO2 frigoporteur

	Evaporation directe	CO2/eau glycolée
Température air moyenne annuelle	+12°C	
Température de condensation	+17°C	

Température évaporation moyenne	-8°C	-13°C

COP compresseurs aux bornes (1)	4.59	3.77

Consommation annuelle base 360 kW et 4000h à 100%	314 000 kWh	382 000 kWh

Pompe à eau glycolée	-	90 000 kWh

Pompe CO2	16 000 kWh	

Total compresseurs + pompes	330 000 kWh	472 000 kWh

(1) Compresseurs Bitzer semi hermétiques et cycle CO2 TC standard

Frigoporteur -10°C et évaporation -15°C entre CO2 et NH3

Base air	+32°C		+10°C	
Frigorigène	CO2	NH3	CO2	NH3
Gaz CO2 ou condensation	+34°C		+15°C	
Condensation NH3		+45°C		+ 23°C
Température refoulement	+120°C	+90°C	+ 70°C	+70°C
Rejet de chaleur pour 360 kW froid	593 kW	528 kW	451 kW	442 kW
Pourcentage en désurchauffe	100%	28% (1)	34%	16%

(1) Avec refroidissement d'huile

Consommation électrique selon le type de production de froid

	FROID		CHAUD
Moyenne de 5 installations 12 mois NH3/frigoporteur	530 000	kWh	145 000
Mini et maxi	490 000 à 600 000		100 000 à 200 000
Moyenne de 4 installations HFC/frigoporteur	626 000		135 000
Mini et maxi	580 000 à 657 000		100 000 à 200 000
CO2 direct	365 000		107 000
CO2/frigoporteur (1)	488 000		40 000

(1) Accumulation géothermique

PISTES D'AMÉLIORATIONS ÉNERGETIQUES

- **Récupérer l'énergie de fusion de la neige de surfaçage 38 kW (soit 10.5% de Q₀) pour:**
 - sous refroidissement du liquide NH₃
 - sous refroidissement du gaz CO₂

de plus, pas de chaleur pour la fonte >>>> chaleur utilisable ailleurs
- **Réchauffer sous dalle avec source fluide frigorigène condensé >>> récupérer cette source de froid**
- **Ajuster température de la glace >>>> 1°C de différence = 3.5% d'énergie**
- **Optimiser déshumidification: (1degré de température humide en plus = 2.5% de consommation en plus)soit:**
 - en l'intégrant avec la piste via le retour d'eau glycolée ou via le CO₂
 - en la traitant séparément par adsorption avec régénération par la chaleur récupérée
- **Accumuler en latent du froid et/ou produire du chaud**
- **Optimiser renouvellement d'air**
- **Plafond réfléchissant ou peinture à faible rayonnement (lequel compte pour 25% des besoins)**

CONCLUSIONS

- Etudes au Canada et en Suède montrent un potentiel d'économies de 30 à 40% avec le CO2 (voir page11)
 - Mettre les lots, production de froid, chauffage, déshumidification sous une seule responsabilité; celle du spécialiste de la production de froid.
 - Des gains énergétiques et d'investissement sont attendus
 - Si l'on peut:
 - respecter les charges maxi de CO2,
 - améliorer le coût du réseau,
 - valider le type de tubes,
- >>>> le CO2 en direct apporte un gain énergétique non négligeable.
- La solution intermédiaire CO2/frigoporteur apporte des plus par rapport à la solution NH3/frigoporteur.
 - La récupération de chaleur est un des éléments décisifs
- >>> *la prochaine réalisation concernant une piste neuve, sera probablement en CO2 direct*



ATMO
sphere

PATINOIRE DE DUNKERQUE

1800 +800 m²: CO₂/eau glycolée

COMPLEXE PATINOIRE DE DUNKERQUE



(photo Chabane Architecte)

PATINOIRE DE LOUVIERS

1800 + 400m²: CO₂/eau glycolée



(photo Chabane Architecte)



Business Case for
Natural Refrigerants

05/07/2018 – Paris

Merci pour votre attention!

