



ASSOCIATION PROFESSIONNELLE DES
EXPLOITANTS DES PATINOIRES FRANCAISES

AMIENS LE 5 JUIN 2018

Le CO2 , frigorigène pour les patinoires

LA REFRIGERATION INDUSTRIELLE “NOTRE EXPERTISE”



Assistance
Formation
Etude Energétique



AF Consulting

ECONOMIE D'ENERGIE – TECHNOLOGIE – ENVIRONNEMENT - REGLEMENTATION

Par PAUL RIVET

BESOINS :

FROID

- ▶ Puissance frigorifique installée pour piste intérieure 250 à 300 W/m² variant de 80 à 250 kW
- Évaporation directe -8°C ou frigoporteur -10/-8°C (évaporation -13°C)

DESHUMIDIFICATION

- Recours quasi indispensable à une déshydratation de l'air: idéal +10°C et 4 gr/kg d'air sec

CHALEUR

- Besoins d'ECS pour douches et lavabos et d'eau chaude pour surfaçeuse à +60°C
- Besoins de chauffage locaux, patins vers +50°C
- Besoin de réchauffage de la sous dalle pour éviter gel du sol en fonctionnement 12/12 mois à +20°C
- Besoin de chaleur pour fondre la neige de surfaçage

CLIMATISATION

- *Besoins de climatisation faibles sauf si annexes telles que salles de gym, réunions, bureaux...*
- *Traitement de l'air neuf*

GENERALITES

- Les patinoires ayant largement utiliser les fluides synthétiques, CFC (R12), HCFC, (R22), HFC (R404A et R507) ont subi et subissent, les contraintes des réglemations des frigorigènes sur l'ozone et l'effet de serre.
- L'utilisation de frigoporteurs, pour réduire la charge de frigorigène et donc, l'impact effet de serre direct, s'est développée à partir de 1995
 - >>>> mais impact négatif sur consommation électrique augmentation de 15 à 25% de la puissance absorbée (écart d'évaporation plus pompe)
- Dans le même temps, l'ammoniac en fluide primaire a fait l'objet de quelques réalisations et s'est démocratisé depuis 2015
 - Interdiction en direct en ERP et obligation de limiter la charge à 150 kg
 - Pas d'utilisation de systèmes évaporatifs à pulvérisation (légionellose)
- Faire des économies de KWh liés au froid : 0,6 à 1.2 MWh pour 1800 m2
 - Gestion de la température de la glace de -3°C à -7°C selon les activités
 - Minimiser les besoins de froid: convection, rayonnement, renouvellement d'air ...
- Faire des économies de kWh liés au chaud: 0.5 MWh >>> récupération de chaleur
- Besoin de chaud très variable de 50 à 400 kW pour 60 x 30m et 3 niveaux de température +60°C, +50°C, +20°C

RESULTATS D'UNE ETUDE EN SUEDE :

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		100000 à 200 000
➤ CO2 direct	365 000		107 000
➤ CO2/frigoporteur	488 000		40 000 (1)

(1) Accumulation géothermique

CO2 dans piste, première en 1999 en Autriche en frigoporteur avec NH3 en primaire

1^{ère} CO2 en direct en 2011 au Canada; développement depuis 2015

Fin 2017: 30 pistes en CO2 direct et indirect: Canada, Usa, Suède, Finlande, Belgique, France (cascade R134a/CO2)

LES SOLUTIONS : CO2 EN DETENTE DIRECTE DANS LA PISTE

Les plus

- Si remplacement de HFC, potentiel de CEE de 300 000 à 1 450 000 kWh cumac pour 500kW froid installés et selon conditions climatiques
- Gain énergétique potentiel en production de froid 100 000 kWh
- Utilisation d'air pour évacuer chaleur de compression
- Centrale de production moins chère qu'avec du NH3
- Flexibilité et secours: 4 à 6 compresseurs semi-hermétiques de 37 kW
- Maintenance moins chère et plus aisée
- Gros intérêt en récupération de chaleur: niveau et quantité (voir ci-après) jusqu'à 100% de la chaleur de refoulement
- Evaporation vers -7/-8°C voir COP ci-après
- Pompage divisé par 10; avec frigoporteur monophasique type eau glycolée : $C_p \Delta T = 8 \text{ kJ/kg}$ Gain potentiel 100 000 kWh
avec CO2 s'évaporant : $LV = 250 \text{ kJ/kg}$ et recyclage de 2

Les moins

- Pression de service dans le réseau 25/28b et gestion de la pression à l'arrêt
- Pression de refoulement 50 à 90b mais taux de compression faible < 2 à 3,5
- Type de réseau: acier noir, inox, cuivre protégé ?
- Retour d'expériences sur la longévité du réseau ?
- Passage des collecteurs ? distribution spéciale
- Surcoût du réseau 80 000 euros environ
- Charge et contraintes en liaison avec EN 378 de 2017

LES SOLUTIONS : CO2 & FRIGOORTEUR MONOPHASIQUE

Les plus:

- Piste en PEHD et pression de service 10b
- Collecteurs en PEMD
- Si remplacement de HFC, potentiel de CEE de 300 000 à 1 450 000 kWh cumac pour 500kW froid installés et selon conditions climatiques
- Potentiel de récupérateur de chaleur très élevé: niveau et quantité
- utilisation d'air pour évacuer chaleur de compression
- Centrale de production moins chère qu'avec NH3
- Flexibilité et secours: avec 4 à 6 compresseurs semi hermétiques
- Maintenance moins chère et plus aisée
- Optimisation de la pression de refoulement
- Possibilité de remonter la pression de refoulement pour disposer de davantage de chaleur

Pour mémoire, la solution frigoporteur permet le remplacement de refroidisseurs existants en conservant la piste

Les moins:

- Pression de refoulement de 50 à 90b mais taux de compression faible 2 à 4
- COP inférieur à cause des DT frigoporteur mais la plupart des kWh consommés en plus, augmentent le potentiel de récupération de chaleur
- Énergie de pompage du frigoporteur monophasique élevée: nécessité de la minimiser avec gestion du débit

LES SOLUTIONS : NH₃ & FRIGOORTEUR MONOHASIQUE

- Frigoporteur eau glycolée, (alcali), CaCl₂ ...

Les plus

- Piste en PEHD
- Collecteurs en PEMD
- Récupération simple sur refroidisseurs d'huile des vis vers +45/50°C
- Possibilité de récupérer sur refoulement NH₃ mais plus complexe

Les moins:

- Performances du NH₃ atténuées à cause de la condensation indirecte interface frigoporteur (deux DT en plus)
- La pompe de caloporteur côté condensation réduit encore le COP du système (1) de:
 - 7% avec régime air +32°C et condensation +45°C
 - 11 % avec régime air à +10°C et condensation à +23°C
- Fréquente utilisation de compresseurs à vis (prix augmente et puissance moteur importante)
- Température de récupération limitée à +80 à +90°C (refroidissement de l'huile)
- HP flottante limitée si utilisation de compresseurs à vis sans pompe à huile

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

LES SOLUTIONS : NH₃ & FRIGOPORETUR BIPHASIQUE

Les plus :

- Piste en PEHD
- Collecteurs en PEMD
- Amélioration du COP compresseurs: quasi suppression du DT sur le « coulis »
- Réduction de l'énergie de pompage grâce à la chaleur de fusion des particules de glace du coulis
monophasique $C_p dT = 8 \text{ kJ/kg}$ par rapport à biphasique concentré à 20%, 78 kJ/kg
- Récupération simple sur refroidisseurs d'huile des vis vers +45/50°C
- Potentiel d'accumulation de froid en latent et réduction de la puissance installée

Les moins :

- Pas de retour sur installation coulis de puissance importante
- Difficulté de faire varier rapidement la température du frigoporteur
- Dégradation du COP lorsque l'on accumule et si température du coulis doit être abaissée
- Performances du NH₃ atténuées à cause de la condensation indirecte interface frigoporteur (deux DT en plus)
- La pompe de caloporteur côté condensation réduit encore le COP du système
- Si utilisation de compresseurs à vis (prix augmente et puissance moteur importante)
- Température de récupération limitée à +80 à +90°C (refroidissement de l'huile)
- Si tarif électrique constant, moins d'intérêt à accumuler

COMPARAISON : CO2/NH3 + MONOPHASIQUE

Frigoporteur -10°C et évaporation -15°C

Base air		+32°C	+10°C
Gaz CO2 TC		+34°C	+15°C (cond)
Condensation NH3		+45°C	+ 23°C
Caloporteur		+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	+80°C	+50°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) En économiseur

COMPARAISON : CO2 DIRECT/CO2 + MONOPHASIQUE

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 (1 piste) et 4 000h à 100%			
		314 000 kWh	382 000 kWh
Pompe à eau glycolée		90 000 kWh	
Pompe CO2		16 000 kWh	

(1) Compresseurs Bitzer semi hermétiques

COMPARAISON : RECUPERATION DE CHALEUR

Frigoporteur -10°C et évaporation -15°C

Base air		+32°C		+10°C
Gaz CO2 TC		+34°C		+15°C (cond)
Condensation NH3		+45°C		+ 23°C
Température refoulement	CO2	NH3	CO2	NH3
Température refoulement	+120°C	+80°C	+70°C	+50°C
Rejet de chaleur pour 360 kW froid	593 kW	528 kW	451 kW	442 kW
Pourcentage en désurchauffe (1)	100%	26% (1)	33.2%	16.5%

(1) Avec refroidissement d'huile

OPTION : AMELIORATION DES PERFORMANCES

- Peinture à faible rayonnement ou plafond réfléchissant (le rayonnement compte pour 28% des besoins)
- Récupérer l'énergie de fusion de la neige de surfaçage 35 kW environ (soit environ 10.5% des besoins) pour sous refroidissement du gaz transcritique CO₂ ou du liquide NH₃ >>>> **10% d'économies d'énergie**

De plus, on n'utilise pas de chaleur pour la fonte; chaleur utilisable pour d'autres besoins

- Récupération de chaleur à haute température pour l'ECS +60°C et la surfaçeuse +50°C, les locaux et réchauffage d'air vers +12°C après déshumidification à +3°C
- Utilisation de la chaleur basse température +20°C pour réchauffer la dalle
- Régulation de la température de surface de la glace selon les pratiques (hockey, danse, loisirs, scolaire) et ajuster température de frigoporteur: 1°C >>> **3.5% de consommation en plus ou en moins**
- Optimiser la déshumidification accumulation en latent pour pouvoir stocker du froid et/ou produire du chaud
- Variation de vitesse sur les pompes de piste >>> les pompes frigoporteur représentent 15% des besoins
- Déshydrater l'air vers 4.5 gr/kg avec le retour piste ou déshydratation par absorption avec régénération grâce à la récupération de chaleur

1 degré de température humide en plus >>>> 2.5 à 2.7% de consommation électrique en plus

- Maintenir air vers +10/+12°C >>> réduction du rayonnement et de l'échange convectif avec la piste
- Air et humidité représentent environ 28% des besoins
- Le froid représente au maximum 40% de la consommation d'une patinoire >>> penser aux autres postes de consommation: éclairage, air neuf, chauffage, climatisation, ventilation, ECS, eau de surfaçage (1 degré >>> 0.15 % de consommation et 0,014% par litre). Le surfaçage représente 12% des besoins.

CONCLUSIONS INTERETS DU CO2

- De meilleures performances sur l'année
- Fort potentiel de récupération de chaleur (objectif pas de chaudière)
- Investissement réduit
- Simplification du système,
- Plus de flexibilité et de secours,
- Réduction de la toxicité et des mesures de sécurité
- Non inflammabilité du fluide
- Pérennité

>>>> Probablement du CO2 direct pour un prochain projet avec une piste (réduction de consommation de la production de froid d'environ 200 000 kWh) mais investissement actuellement supérieure de 80 à 100 000 euros à cause de la piste et des collecteurs.

>>>>> lors d'un appel d'offre, FROID, DESHUMIDIFICATION, PRODUCTION DE CHALEUR sous la responsabilité du frigoriste

Remarque: pour prolonger la vie de l'existant HFC/frigoporteur, des solutions existent.

MERCI de votre ATTENTION Paul RIVET afconsulting@free.fr

+ 33 (0)6 23 17 22 54