

AIDE-MÉMOIRE

# Froid industriel

# L'OFFRE D'INFO DES PROFESSIONNELLS DU FROID

**La Rpf**  
N° 1057  
JUILLET-AOÛT 2017  
www.larpf.fr

LA REVUE PRACTIQUE DU FROID ET DU CONDITIONNEMENT D'AIR

POINT DE VUE  
**L'installation viticole, une passion de père en fils**  
P.24  
BENOÎT FROST  
DIRECTEUR DE CLIMAFRANCE

ACTUALITES  
**HFC : une taxe officialisée par Nicolas Hulot** P.10

**4%** Progression des ventes d'équipements de cuisines professionnelles au 1<sup>er</sup> trimestre 2017 P.14

2016  
**NHs : jusqu'où réduire les charges** P.30

POINT TECHNIQUE  
**Les lubrifiants pour les compresseurs au CO<sub>2</sub>** P.50

FLUIDE PERFORMANCES MAÎTRISER P.33  
... que jamais d'actualité, le R 744 dans ses états purs qui sait l'apprivoiser criétés à ne jamais oublier.

ABONNEZ-VOUS

Engagez-vous...  
S'abonner en ligne...  
S'abonner par chèque...  
S'abonner par mandat...  
S'abonner par carte bancaire...  
S'abonner par prélèvement automatique...  
S'abonner par virement...  
S'abonner par chèque postal...  
S'abonner par mandat...  
S'abonner par carte bancaire...  
S'abonner par prélèvement automatique...  
S'abonner par virement...  
S'abonner par chèque postal...  
S'abonner par mandat...

**La Rpf**  
LA REVUE DES PROFESSIONNELLS DU FROID ET DE LA CLIMATISATION

LE MOIS DE JUILLET-AOÛT 2017

À LA UNE

**La norme NF EN 378 à son tour en phase de révision**  
L'Association Française de Normalisation (AFNOR) a annoncé la révision de la norme NF EN 378, une norme internationale qui définit les exigences de sécurité des systèmes de froid pour les applications de refroidissement.

**Nouvelle norme en garde sur les fluides réfrigérants**  
Le Règlement (UE) 2016/1131 a été adopté par le Parlement européen et le Conseil de l'Union européenne. Ce règlement vise à harmoniser les exigences de sécurité des systèmes de froid pour les applications de refroidissement.

**Tournez-vous vers la transmission des savoirs**  
L'Association Française de Normalisation (AFNOR) a annoncé la révision de la norme NF EN 378, une norme internationale qui définit les exigences de sécurité des systèmes de froid pour les applications de refroidissement.

**sifa**

EN 378  
A son agnition : prochainement révision EN 378

- Une analyse détaillée des évolutions techniques et réglementaires.
- Des retours d'expériences d'installateurs sur des réalisations complexes.
- L'actualité marquante du secteur.

Pas encore abonné à La Rpf ?  
**ABONNEZ-VOUS EN LIGNE**

**larpf.fr**

Jean **Desmons**

AIDE-MÉMOIRE

# Froid industriel

**4<sup>e</sup> édition**

Préface de Louis **Lucas**

Président de l'Association française du froid

Directeur honoraire de l'Institut internationale du froid

**La  
Rpf**

DUNOD

Graphisme de couverture : Nicolas HUBERT

Photographie de couverture : © ururhan-iStock.com

Illustrations intérieures : Ursula et Alain BOUTEVEILLE-SANDERS

Le pictogramme qui figure ci-contre mérite une explication. Son objet est d'alerter le lecteur sur la menace que représente pour l'avenir de l'écrit, particulièrement dans le domaine de l'édition technique et universitaire, le développement massif du photocopillage.

Le Code de la propriété intellectuelle du 1<sup>er</sup> juillet 1992 interdit en effet expressément la photocopie à usage collectif sans autorisation des ayants droit. Or, cette pratique s'est généralisée dans les établissements

d'enseignement supérieur, provoquant une baisse brutale des achats de livres et de revues, au point que la possibilité même pour

les auteurs de créer des œuvres nouvelles et de les faire éditer correctement est aujourd'hui menacée. Nous rappelons donc que toute reproduction, partielle ou totale, de la présente publication est interdite sans autorisation de l'auteur, de son éditeur ou du

Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC, 20, rue des Grands-Augustins, 75006 Paris).



© Dunod, Paris, 2006, 2010, 2014, 2018

11, rue Paul Bert, 92240 Malakoff

[www.dunod.com](http://www.dunod.com)

ISBN 978-2-10-078279-6

Le Code de la propriété intellectuelle n'autorisant, aux termes de l'article L. 122-5, 2<sup>o</sup> et 3<sup>o</sup> a), d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective » et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite » (art. L. 122-4).

Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles L. 335-2 et suivants du Code de la propriété intellectuelle.

# PRÉFACE

---

Le froid artificiel est associé à la plupart de nos activités : alimentation, ambiance des logements et lieux de travail, déplacements, loisirs, santé... Ceci résulte notamment de la miniaturisation des installations, possible à partir des années 1935-1950 par le développement des chlorofluorocarbures (CFC), qui a mis à notre portée réfrigérateurs, congélateurs, climatiseurs domestiques et automobiles, vitrines de vente, fontaines d'eau glacée, etc.

Cette explosion des petits équipements n'enlève rien à l'importance ni aux merveilleuses évolutions de ces machines frigorifiques industrielles qui, cachées au grand public, contribuent à la conservation ou à la préparation des aliments, permettent de produire de l'eau glacée pour les procédés ou la maîtrise des ambiances, de garnir les patinoires... Ce « froid industriel » peut certes impressionner le débutant, comme le dit si bien Jean Desmons, avant de devenir la passion de celui qui apprend à le maîtriser !

Un « aide-mémoire » ? Que l'on s'initie ou que l'on œuvre chaque jour sur des machines, chacun en a besoin, tant ce « froid industriel » recouvre de procédés différents, pour apporter des réponses adaptées aux situations rencontrées. Ce champ d'activité, aussi exigeant que varié, est aussi le terrain d'évolutions considérables, qui échappent au public : les compresseurs, à piston comme à vis, ne cessent de se perfectionner, tout comme les échangeurs, composants variés, modes de commande et automatismes ; l'évolution est, entre autres, stimulée par les contraintes environnementales (protection de l'ozone stratosphérique, lutte contre le réchauffement climatique), des mesures de sécurité plus strictes, le coût des salaires et de l'énergie. Cet ouvrage rend bien compte de cette évolution ; il intègre les nouveautés, même en cours d'adoption dans l'industrie, ce qui sera précieux pour les praticiens autant que pour les étudiants.

« Aide-mémoire », cet ouvrage l'est, certes, en aidant, de façon classique, à retrouver ce dont on a besoin ; il l'est aussi en aidant le lecteur à faire travailler sa créativité et son intelligence. Ainsi, dans ses études de cas, fort intéressantes, il ne traite pas toutes les solutions mais guide le lecteur dans une analyse qui attire l'attention sur les écueils à éviter et les analyses à faire.

Une telle approche supposait à la fois une grande expérience industrielle et un grand sens de la pédagogie. Jean Desmons est l'homme idéal pour nous le proposer, lui qui a combiné avec bonheur, dans sa carrière, entreprise et enseignement.

L'attention à l'autre et le sens du bien commun qui guident son action, appréciée par tous, au sein de l'Association française du froid, transparaissent du reste dans l'approche qu'il propose tout au long de ce livre.

Puisse le lecteur en accepter la contagion et progresser aussi dans ces qualités humaines. Tout en profitant à la qualité du travail accompli, cet ouvrage contribuera alors aussi à donner une saveur toute spéciale aux efforts qu'il implique.

**Louis Lucas**

Président de l'Association française du froid  
Directeur honoraire de l'Institut international du froid

# TABLE DES MATIÈRES

---

Préface	V
Avant-propos	XVII
Quelques symboles graphiques utilisés dans l'ouvrage	XIX

## A

---

### Généralités sur le froid industriel

<b>1 • Spécificités du froid industriel</b>	<b>2</b>
<b>2 • Les fluides frigorigènes utilisés en froid industriel</b>	<b>4</b>
2.1 Généralités	4
2.2 Termes ou expressions spécifiques des fluides frigorigènes	5
2.3 Classification et caractéristiques de base des fluides frigorigènes	6
2.4 Qualités d'un bon fluide frigorigène	9
2.5 Quelques éléments de physiques se rapportant aux fluides frigorigènes	11
2.6 Le R22	15
2.7 Le R134a	19
2.8 Le R404A (FX 70)	22
2.9 Le R407F (Performax LT)	27
2.10 L'ammoniac (NH <sub>3</sub> )	31

2.11	Le dioxyde de carbone (CO <sub>2</sub> )	35
2.12	Étude comparative entre le R404A, le R507, le R717 et le R407F	38
<b>3</b>	<b>• Spécificités de la compression monoétagée</b>	<b>46</b>
<b>4</b>	<b>• Principe de la compression biétagée</b>	<b>50</b>
4.1	Étude comparative entre la compression monoétagée et la compression biétagée	50
4.2	Description succincte d'une machine à compression biétagée	51
4.3	Détermination de la pression intermédiaire	52
4.4	Exemple de machines biétagées disponibles	53
<b>5</b>	<b>• Compresseurs industriels à pistons monoétagés</b>	<b>56</b>
5.1	Principales caractéristiques des compresseurs à pistons monoétagés	56
5.2	Réduction de puissance	57
5.3	Lubrification	62
<b>6</b>	<b>• Compresseurs à vis</b>	<b>68</b>
6.1	Comportement des compresseurs à vis comparativement aux compresseurs à pistons	69
6.2	Principe de fonctionnement des compresseurs à vis	70
6.3	Rendement volumétrique des compresseurs à vis	71
6.4	Compresseurs monovis	72
6.5	Compresseurs bivis	74
6.6	Réduction de puissance des compresseurs à vis	75
6.7	Suralimentation des compresseurs à vis	80
6.8	Fonctionnement d'un compresseur à vis en dehors des conditions normales de marche	85
6.9	Volume index (Vi) des compresseurs à vis	86
6.10	Lubrification	88
6.11	Exemples de centrales frigorifiques équipées de compresseurs à vis	91
<b>7</b>	<b>• Pompes à fluide frigorigène</b>	<b>94</b>
<b>8</b>	<b>• Différentes technologies possibles des machines industrielles</b>	<b>97</b>
8.1	Installation à compression biétagée sans sous-refroidissement intermédiaire	97
8.2	Installation à compression biétagée avec contrôle de la température de fin de compression du compresseur haute pression par injection de fluide frigorigène à la pression intermédiaire	100



8.3	Installation à compression biétagée avec bouteille intermédiaire à injection partielle sans sous-refroidissement	102
8.4	Installation à compression biétagée avec bouteille intermédiaire à injection partielle avec sous-refroidissement	103
8.5	Installation à compression étagée avec bouteille intermédiaire à injection totale	105
8.6	Installation à compression biétagée à injection totale avec refroidisseur intermédiaire, bouteille séparatrice basse pression et à alimentation par pompe des évaporateurs	107
8.7	Installation à compression biétagée avec production de froid à la pression intermédiaire	109
8.8	Étude comparative entre les différentes technologies de machines à compression biétagée	111
8.9	Installation comportant plusieurs fluides frigorigènes, appelée « machine en cascade »	124
<b>9</b>	<b>• Différentes technologies permettant l'alimentation en fluide frigorigène liquide d'évaporateurs ou de séparateurs</b>	<b>131</b>
9.1	Alimentation en fluide frigorigène liquide à partir d'un régleur manuel et d'un régulateur de niveau à élément thermostatique et pressostatique	131
9.2	Contrôle de niveau par contrôleur électromagnétique	134
9.3	Contrôleur de niveau électronique	135
9.4	Contrôleur de niveau optoélectronique	136
9.5	Contrôle de niveau à partir d'un régulateur modulant à servocommande et flotteur basse pression	137
9.6	Contrôle de niveau à partir d'un régulateur modulant à servocommande et flotteur haute pression	140
<b>10</b>	<b>• Comparaison des alimentations sèches et noyées des évaporateurs</b>	<b>144</b>
10.1	Alimentation sèche	144
10.2	Alimentation noyée	146
<b>11</b>	<b>• Problèmes d'huile avec les fluides frigorigènes en alimentation de type noyée</b>	<b>149</b>
11.1	Cas où l'huile est moins dense et miscible avec le fluide frigorigène	149
11.2	Cas où l'huile est plus dense et non miscible avec le fluide frigorigène	153

<b>12</b>	<b>• Dégivrages</b>	<b>155</b>
12.1	Dégivrage par les gaz chauds avec différentiel de pression entre les gaz chauds et la ligne liquide	156
12.2	Dégivrage par les gaz chauds sans différentiel de pression	160
12.3	Évaporateur en froid industriel	163
<b>13</b>	<b>• Les Centrales frigorifiques</b>	<b>165</b>
13.1	Généralités	165
13.2	Centrales à plusieurs compresseurs	165
13.3	Régulation	166
13.4	L'huile dans les centrales frigorifiques	168
13.5	Exemple de modularité des centrales frigorifiques	172
13.6	Étude d'une centrale frigorifique existante d'un hypermarché de conception spécifique	173
13.7	Quelques exemples de centrales frigorifiques	177
<b>14</b>	<b>• Régulateurs de pression et vannes</b>	<b>180</b>
14.1	Vannes amont et aval	180
14.2	Vannes à commande directe	182
14.3	Régulateurs frigorifiques à servocommande	182
14.4	Différents pilotages des vannes principales	185
<b>15</b>	<b>• Les fluides frigoporteurs</b>	<b>190</b>
15.1	Généralités	190
15.2	Refroidissement direct	190
15.3	Refroidissement indirect	190
15.4	Avantages des installations à fluide frigoporteur	192
15.5	Inconvénients de la réfrigération indirecte	192
15.6	Les différents types de fluide frigoporteurs	193
15.7	Les circuits frigoporteurs	207
<b>16</b>	<b>• Le CO<sub>2</sub> comme fluide frigorigène</b>	<b>212</b>
16.1	Généralités	212
16.2	Avantages du CO <sub>2</sub>	220
16.3	Inconvénients du CO <sub>2</sub>	220
16.4	Le CO <sub>2</sub> vis-à-vis de l'eau	221
16.5	Le CO <sub>2</sub> et l'ammoniac	223
16.6	Dégivrage des installations au CO <sub>2</sub>	226

<b>17 •</b>	<b>Sécurités et contrôles en froid industriel</b>	<b>228</b>
17.1	Sécurités et contrôles concernant la partie électrique	228
17.2	Sécurités et contrôles concernant le domaine aéraulique	228
17.3	Sécurités et contrôles concernant le domaine hydraulique	229
17.4	Sécurités et contrôles dans le domaine frigorifique	229
17.5	Sécurité incendie	242
<b>18 •</b>	<b>Problèmes des sols en température négative</b>	<b>244</b>
18.1	Apport par ventilation	245
18.2	Apport par chauffage	245
18.3	Remarques de responsables d'entrepôts frigorifiques confrontés à des problèmes de chauffage des sols	245
<b>19 •</b>	<b>Soupapes d'équilibrage</b>	<b>246</b>
19.1	Calcul des pressions s'exerçant sur les parois d'une chambre froide	246
19.2	Soupape d'équilibrage hydraulique	247
19.3	Soupape d'équilibrage à clapet	248
<b>20 •</b>	<b>Isolation thermique</b>	<b>251</b>
20.1	Étude d'une paroi plane	251
20.2	Étude des températures d'une tuyauterie isolée	255
<b>21 •</b>	<b>Congélation et surgélation</b>	<b>259</b>
21.1	Généralités	259
21.2	Différences entre congélation et surgélation	259
21.3	La surgélation dans l'industrie agroalimentaire	261
21.4	Différentes techniques de surgélation	262
21.5	Tunnel de congélation à fonctionnement discontinu	263
21.6	Tunnel de congélation à fonctionnement continu à production de froid mécanique	265
21.7	Tunnel de congélation à fonctionnement continu utilisant un fluide cryogénique	266
21.8	Congélateur à plaques	266
21.9	Congélateur à lit fluidisé	267
21.10	Surgélateur spiral	269
21.11	Règles générales concernant la surgélation	269
21.12	Rendement d'un système de congélation	270

# B

## Cas concrets d'installations

<b>22</b>	<b>• Entrepôt frigorifique polyvalent</b>	<b>272</b>
22.1	Fluides utilisés	272
22.2	Schéma de principe	273
22.3	Principe de fonctionnement et description	274
22.4	Cycle frigorifique de principe	278
22.5	Réfrigération des quais	280
<b>23</b>	<b>• Patinoire</b>	<b>282</b>
23.1	Compresseurs	282
23.2	Condensation	282
23.3	Contrôle des niveaux de fluide frigorigène	283
23.4	Évaporateur à plaques	283
23.5	Circuit frigoporteur	284
23.6	Choix du frigoporteur	284
23.7	Schéma de principe	284
23.8	Cycle de fonctionnement sur diagramme enthalpique	286
23.9	Neige produite par la piste de patinage	288
23.10	Composants d'une piste de patinage	290
23.11	Patinoire à ciel ouvert	290
23.12	Projet de remodelage d'une patinoire	291
23.13	Remarques sur les condenseurs évaporatifs	293
<b>24</b>	<b>• Entrepôt frigorifique</b>	<b>297</b>
24.1	Production du froid	297
24.2	Compresseurs	297
24.3	Cycle de fonctionnement et description succincte	299
24.4	Dégivrage	302
24.5	Huile	304
24.6	Refroidissement des halls d'accès	305
<b>25</b>	<b>• La chaîne du froid</b>	<b>307</b>
25.1	Définition	307
25.2	Conséquences de la rupture de la chaîne du froid	307
25.3	Évolution de la chaîne du froid	308

25.4	Réflexion sur le maillon transport	308
25.5	Contrôles de la chaîne du froid	308
25.6	Exemple de chaîne du froid : chaîne du froid des produits aquatiques	309
<b>26</b>	<b>• La chaîne du froid du beurre</b>	<b>315</b>
26.1	Généralités	315
26.2	Les tanks à lait	315
26.3	Collecte du lait	318
26.4	Le lait à la laiterie	318
26.5	Beurrerie	319
<b>27</b>	<b>• La chaîne du froid du saucisson sec</b>	<b>326</b>
27.1	Généralités	326
27.2	Matériel spécifique du fabricant de saucisson : le matériel d'étuvage et de séchage	327
27.3	Étapes de la fabrication	328
27.4	Évolutions psychrométriques	330
27.5	Séchage thermodynamique	332
27.6	Ventilation	333
27.7	Régulation	335
<b>28</b>	<b>• Fabrication de la bière</b>	<b>336</b>
28.1	Constituants de la bière	336
28.2	Fabrication de la bière	336
28.3	Conclusions et remarques	339
<b>29</b>	<b>• Les abattoirs industriels</b>	<b>341</b>
29.1	Généralités	341
29.2	Différents types de locaux à température contrôlée	341
29.3	Chambre ou tunnel de ressuage	342
29.4	Chambre de maturation ou chambre de conservation	345
29.5	Laboratoire ou salle de découpe	346
29.6	Salle des ventes	347
29.7	Chambre d'abats blancs	347
29.8	Chambre d'abats rouges	348
29.9	Chambre de consigne	348
29.10	Chambre de saisie	348
29.11	Tunnel de surgélation	348
29.12	Chambre de stockage des produits surgelés	349

<b>30 • Étude d'installations</b>	<b>350</b>
30.1 Étude n° 1	350
30.2 Étude n° 2	356
30.3 Étude n° 3 – Étude d'une installation au CO <sub>2</sub> fonctionnant en transcritique	364
30.4 Étude n° 4	372

## C

### Cas concrets de pannes et dépannages

<b>31 • Défaut de conception d'un collecteur d'aspiration</b>	<b>386</b>
31.1 Éléments succincts de l'installation	386
31.2 Coups de liquide	386
31.3 Intervention	386
31.4 Constatations et conclusion	387
<b>32 • Défaut de conception de bouteilles séparatrices</b>	<b>388</b>
32.1 Éléments succincts de l'installation	388
32.2 Casse mécanique	388
32.3 Dépannage	389
32.4 Explication	390
32.5 Solutions envisagées et remèdes	390
<b>33 • Défaut de conception de pompes à fluide frigorigène</b>	<b>391</b>
33.1 Éléments succincts de l'installation	391
33.2 Grippage des pompes	391
33.3 Intervention	392
33.4 Constatations et conclusion	394
<b>34 • Arrêt des compresseurs par les pressostats différentiels d'huile</b>	<b>395</b>
34.1 Éléments succincts de l'installation	395
34.2 Coupures	395
34.3 Intervention	396
34.4 Remèdes	398

<b>35 • Évolution des produits</b>	<b>399</b>
35.1 Généralités	399
35.2 Exemple d'évolutions de vannes principales	400
35.3 Nouveaux composants polyvalents	403
<b>36 • Pannes et dépannages électriques</b>	<b>407</b>
36.1 Exemples concrets de pannes	407
36.2 Méthodologie de dépannage	416
<b>Annexe • Réglementations et normes</b>	<b>419</b>
<b>Index</b>	<b>425</b>





# AVANT-PROPOS

---

Ayant débuté ma carrière dans une société pratiquant le froid industriel, j'ai eu l'opportunité de travailler sur des installations dans le domaine des conserveries, des laiteries, des abattoirs, des chocolateries, etc.

Ces installations, impressionnantes au début, deviennent rapidement compréhensibles pour peu qu'on s'y intéresse vraiment et s'avèrent généralement fiables et performantes grâce aux techniques utilisées.

Si l'on observe l'évolution récente des machines industrielles, on remarque les changements ou tendances suivants :

- les compresseurs à pistons sont de plus en plus supplantés par les compresseurs à vis ;
- la régulation, qui était de type tout-ou-rien, pneumatique ou analogique, est maintenant presque systématiquement de type numérique, le plus souvent communicante ;
- les fluides chlorés sont aujourd'hui abandonnés en installations neuves ;
- les puissances frigorifiques installées sont quelquefois très élevées : des enceintes de plusieurs centaines de milliers de mètre cubes ne sont plus exceptionnelles ;
- dans le but d'améliorer le confinement du fluide frigorigène, les installations à fluide frigoporteur sont de plus en plus étudiées et installées ;
- enfin, notons que les metteurs au point, qui, naguère, étaient souvent de formation mécanique, ont généralement aujourd'hui une formation de base d'électrotechniciens et d'automaticiens.

La première partie de cet ouvrage est consacrée aux bases du froid industriel. Elle aborde les notions suivantes : les fluides frigorigènes utilisés en froid industriel, les différents types de compresseurs, les différents types d'installations biétagées, etc. Nous étudions ensuite le sujet des fluides frigoporteurs, et

le cas particulier du dioxyde de carbone, qui, après avoir été abandonné, est à nouveau utilisé en tant que fluide frigorigène.

L'ouvrage présente ensuite des cas concrets : différentes installations industrielles sont décrites dans la deuxième partie, puis des exemples de dysfonctionnements sont développés dans la troisième partie.

En annexe, on trouvera des éléments concernant la législation des machines industrielles.

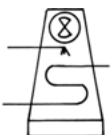
Cet ouvrage s'adresse principalement :

- aux étudiants en génie frigorifique car il expose de façon simple la structure et le fonctionnement d'une machine industrielle ;
- aux techniciens metteurs au point (des réglages et des cas concrets de dysfonctionnement sont étudiés) ;
- aux concepteurs de machines industrielles, différents choix technologiques étant proposés pour une application donnée.

Je remercie les sociétés suivantes, dont sont issues différentes figures et données : Alfa Laval, Arcos, Baltimore Aircool (Balticare), Bitzer, Carrier, Copeland, Danfoss, Dehon, Dunham-Bush, Friga Bohn, Geneglace, Grasso, Hallscrew, Hermetic, Isotechnica, Johnson Controls, Lactalis, Lèbre-FMI, Legrand, Mycom, ProFroid, Raffel, Schneider, Searle, Sériaco, Trane, US Reco.

# QUELQUES SYMBOLES GRAPHIQUES UTILISÉS DANS L'OUVRAGE

---



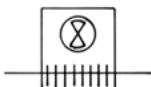
Condenseur évaporatif



Robinet manuel



Vanne principale  
pilotée



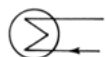
Condenseur à air



Vanne électromagnétique



Vanne 3 voies  
motorisée



Condenseur à eau



Soupape de sûreté



Vanne d'équilibrage  
2 voies



Compresseur



Contrôleur de niveau



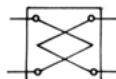
Flotteur basse ou haute  
pression



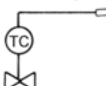
Pompe



Clapet anti-retour



Échangeur à plaques



Détendeur thermostatique



Vanne à pression  
constante



Vase d'expansion



Filtre déshydrateur



# A

---

## Généralités sur le froid industriel

# 1 • SPÉCIFICITÉS DU FROID INDUSTRIEL

---

Compte tenu de l'importance des puissances en jeu, la production du froid est généralement assurée par des centrales à plusieurs compresseurs.

Le coût des évaporateurs représentant une part importante du prix de ces installations, il est recherché une performance optimale de ces échangeurs. L'alimentation en « noyé » est donc la plus fréquente ; la technologie du régime noyé nécessite dans la plupart des cas l'utilisation de pompes à fluide frigorigène.

Du fait des débits importants en fluide frigorigène, les organes d'alimentation sont souvent spécifiques à ces installations.

En congélation ou en conservation de denrées surgelées, la compression biétagée est généralement nécessaire.

Les consommations d'énergie électrique étant très importantes, il est recherché une haute pression minimale. Les tours de refroidissement ouvertes (à chaleur latente) sont de ce fait très utilisées, les condenseurs évaporatifs se rencontrent également. Notons cependant que les problèmes de légionellose imposent une maintenance très stricte de ces matériels.

Dans le but d'optimiser le fonctionnement, les réglages et les choix technologiques doivent être les meilleurs possibles.

Les quantités de fluide frigorigène étant importantes, on doit porter une attention toute particulière au contrôle de l'étanchéité des installations. Il convient donc, à la conception de ces machines, de rechercher la technologie conduisant à une quantité de fluide frigorigène minimale.

Les installations récentes sont régulées à partir de régulateurs ou d'automates numériques. Ces régulations permettent d'optimiser au maximum le fonctionnement de ces machines : la gestion optimale de la consommation d'énergie

est l'une des possibilités offertes (délestages, fonctionnement prioritaire aux heures creuses...).

Les fluides frigorigènes utilisés en froid industriel sont spécifiques : ils sont caractérisés principalement par une production frigorifique au mètre cube aspiré importante, permettant de limiter les cylindrées des compresseurs, donc leur coût. En outre, la recherche d'un confinement maximal du fluide frigorigène entraîne la réalisation quasi systématique d'une étude de faisabilité de ces installations avec fluide frigoporteur.

Les vannes sont généralement à servocommande.

Les applications pratiques du froid industriel concernant les denrées périssables sont nombreuses : abattoirs, conserveries, entrepôts frigorifiques, laiteries, chocolateries, séchoirs à saucissons, brasseries, sociétés productrices de crème glacée, fromageries, etc.

Les autres applications sont également nombreuses et variées : patinoires, installations de dessalage de l'eau de mer, chimie, pétrochimie, séchoirs à céréales et autres, process de concentration, etc.

En résumé, fiabilité maximale et consommation d'énergie électrique minimale sont sans doute les critères essentiels que retiennent les concepteurs de ces machines.

## 2 • LES FLUIDES FRIGORIGÈNES UTILISÉS EN FROID INDUSTRIEL

---

### 2.1 Généralités

La prise de conscience environnementale a conduit à la recherche de fluides frigorigènes ayant le moins d'impact possible sur l'environnement. Le premier impact environnemental constaté a été la dégradation de l'ozone stratosphérique due au chlore. L'ozone stratosphérique ( $O_3$ ) fait office de bouclier en ce qui concerne des rayonnements solaires ayant un impact négatif sur les êtres vivants sur terre. Les molécules  $O_3$  bloquent en effet de nombreux rayonnements solaires et les réfléchissent vers l'espace. Le maintien de la couverture terrestre par une couche d'ozone est donc crucial. En conséquence, les fluides les plus chlorés ont d'abord été abandonnés, il s'agit des **CFC (R12, R11, etc.)**.

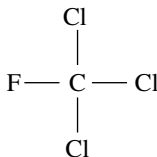
Des fluides moins chlorés (les **HCFC**) ont alors été majoritairement employés. Cependant, la prise de conscience environnementale étant de plus en plus répandue, les **HCFC** ont à leur tour été supprimés (**R22, etc.**). Des fluides non chlorés ont alors été largement utilisés (**HFC**). Parmi ces **HFC**, certains ont un impact très négatif sur le réchauffement climatique. On parle de **GWP** (*Global Warming Potential*). L'activité humaine est génératrice d'importantes productions thermiques, une grande partie des rayonnements qui en découle s'évacue vers la stratosphère. Certaines molécules en bloquant ces rayonnements contribuent à produire l'effet de serre, c'est le cas des fluides à fort **GWP**. En conséquence, les **HFC** présentant de forts **GWP** sont actuellement de moins en moins utilisés et sont remplacés par des fluides à faible **GWP**.



Dès 2020, la législation F-gaz stipule l'interdiction de tout fluide frigorigène vierge à **PRG** supérieur à **2 500 kg Eq. CO<sub>2</sub>** pour l'entretien et la maintenance d'équipement de réfrigération ayant une charge supérieure à **40 t. Eq. CO<sub>2</sub>** (correspondant à **10,2 kg de R404A**). À partir de 2030, cette interdiction sera étendue à l'utilisation de ce fluide régénéré ou recyclé pour ce même objectif.

## 2.2 Termes ou expressions spécifiques des fluides frigorigènes

- **ODP** : *ozone depletion power* ou potentiel de destruction de l'ozone. La molécule qui sert de référence au calcul de l'ODP est le **R11**. Le R11 est le trichlorofluorométhane dont la formule est **CCl<sub>3</sub>F**.



**ODP du R11 = 1**

Les fluides comportant un ou plusieurs atomes de chlore dans leur molécule ont un ODP supérieur à zéro. Tous les fluides chlorés sont actuellement interdits.

- **GWP** : *Global Warming Potential* ou potentiel de réchauffement global. Le fluide qui sert de référence au GWP est le CO<sub>2</sub> dont la valeur est égale à 1. L'abréviation GWP est souvent associée à l'indice **100 (GWP<sub>100</sub>)**, cela veut dire que l'impact du réchauffement couvre une période de 100 ans. Cet indice caractérise l'action d'un composé chimique sur l'effet de serre.
- **TEWI** : *Total Equivalent Warming Impact* ou impact de réchauffement total équivalent.

C'est un concept qui caractérise l'impact global d'un équipement sur le réchauffement climatique durant toute sa durée de vie opérationnelle. Cet indice comprend l'effet direct dû aux fuites de fluide frigorigène et l'effet indirect provenant des émissions de CO<sub>2</sub> dues à la consommation d'énergie nécessaire au fonctionnement de cette installation.

## 2.3 Classification et caractéristiques de base des fluides frigorigènes

### 2.3.1 CFC : abréviation de chlorofluorocarbone

Le plus connu des CFC était le R12.

**ODP du R12 = 1**

**GWP<sub>100</sub> du R12 = 10 900** selon IPCC 4 et 10 200 selon IPCC 5

Température d'ébullition à la pression atmosphérique : - 29,8 °C.

La molécule du R12 est constituée d'un atome de carbone, de 2 atomes de chlore et de 2 atomes de fluor.

La production des CFC donc du R12 a été interdite à partir du 1<sup>er</sup> janvier 1995.

### 2.3.2 HCFC : abréviation de hydrochlorofluorocarbone

Le plus connu des HCFC est le R22.

Le R22 est un fluide chloré : **ODP = 0,055**.

**GWP<sub>100</sub> = 1 810** selon IPCC 4 et 1 760 selon IPCC 5.

Température d'ébullition à la pression atmosphérique : - 40,8 °C.

La molécule du R22 est constituée d'un atome de carbone, d'un atome de chlore, d'un atome d'hydrogène et de 2 atomes de fluor.

L'utilisation des HCFC, donc du R22 a été interdite à partir du 1<sup>er</sup> janvier 2015.

### 2.3.3 Les HFC : abréviation de hydrofluorocarbone

Le plus connu des HFC est le R134a.

**ODP de ce fluide : 0.**

**GWP<sub>100</sub> = 1 430** selon IPCC 4 et 1 300 selon IPCC 5.

Température d'ébullition à la pression atmosphérique : - 26,08 °C.

L'indice « a » indique que la molécule est isomérique.

Constitution la molécule : 2 atomes de carbone, 2 atomes d'hydrogène et 4 atomes de fluor.

Le R134a est à ce jour très utilisé, cependant, son potentiel de réchauffement étant relativement élevé (1 300), son remplacement par des fluides à faible GWP est dès à présent envisagé.

### 2.3.4 Les azéotropes

Les azéotropes sont des mélanges. Les azéotropes ont un comportement analogue aux fluides purs, c'est-à-dire qu'à l'état saturant, leur relation pression-température est constante. Ils sont classés dans la série des R500. Le premier azéotrope mis au point est le R500, le second est le R501, etc. Exemple d'azéotrope : le R507A dont la composition est la suivante :

50 % de R125 ; 50 % de R134a

**ODP = 0**

**GWP<sub>100</sub> = 3 985** selon IPCC 4

Température d'ébullition à la pression atmosphérique : - 47,1 °C.

### 2.3.5 Les zéotropes

Les zéotropes sont des mélanges. Ils sont classés dans la série des R400, leur appellation correspond à l'ordre de leur codification : R401 ; R402, etc. Ces mélanges ont des glissements de température. Les glissements correspondent à des changements de température lors du changement d'état à pression constante. En fonction des fluides, ces glissements peuvent varier de quelques dixièmes de degré jusqu'à 10 °C.

Exemple de fluide zéotropique : R404A

Composition : 44 % de R125 ; 52 % de R143a et 4 % de R134a.

Température d'ébullition à la pression atmosphérique : - 46,5 °C (température de bulle) et - 45,7 (température de rosée).

Le glissement de ce fluide est donc de 0,8 °C.

La température de bulle correspond à la température de début d'ébullition, la température de rosée correspond à la température de fin d'ébullition.

**ODP = 0.**

**GWP<sub>100</sub> = 3 922** selon IPCC 4 et 3 943 selon IPCC 5.

### 2.3.6 Les fluides naturels... ou fluides à faible GWP

Les seuls fluides naturels sont en fait l'air et l'eau. Le CO<sub>2</sub>, le propane, l'isobutane et l'ammoniac sont tous transformés chimiquement. Dire qu'ils sont naturels n'est donc pas exact, il vaut mieux les qualifier de fluides à faible GWP. Ils sont classés dans la série des R700. L'appellation normalisée est R700 auquel il faut ajouter la valeur de la masse moléculaire.

Exemple :

L'eau (H<sub>2</sub>O) = R(700 + 2 + 16) = R718

L'ammoniac ( $\text{NH}_3$ ) =  $R(700 + 14 + 3) = R717$

**ODP = 0**

**GWP<sub>100</sub> = 0**

Le dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ) =  $R(700 + 12 + 32) = R744$

**ODP = 0**

**GWP<sub>100</sub> = 1**

### 2.3.7 Les hydrocarbures

Il s'agit de composés chimiques dont la molécule ne contient que du carbone et de l'hydrogène.

Exemple :

– le propane (**R290**)

Température d'ébullition à la pression atmosphérique normale : **- 42 °C**

**ODP = 0**

**GWP = 3**

– l'isobutane (**R600a**) ou méthylpropane

Température d'ébullition à la pression atmosphérique normale : **- 11,7 °C**

**ODP = 0**

**GWP = 3**

Ces fluides étant très inflammables, leur utilisation est limitée aux petites puissances, par exemple le froid domestique et dans les équipements hermétiques scellés.

Par ailleurs, la manipulation de ces fluides demande une formation spécifique préalable.

### 2.3.8 Les HFO

HFO est l'abréviation de hydrofluorooléfine. Il s'agit là de fluides de synthèse. Les HFO sont des fluides récents à ODP zéro et à faible GWP.

Ce faible GWP s'explique par la faible durée de vie de la molécule dans l'atmosphère.

La gamme des HFO est déjà importante, citons par exemple :

– le solstice yf : **HFO-1234 yf**

**GWP = 4** selon IPCC 4 et inférieur à 1 selon IPCC 5 ;

– le solstice ze : **HFO-1234 ze**

**GWP = 7** selon IPCC 4 et inférieur à 1 selon IPCC 5 ;

– le solstice zd : **HFO-1233 zd**

- GWP = 5** selon IPCC 4 et 1 selon IPCC 5 ;  
 – le solstice N 13 : **HFO blend (R-450A)**  
 GWP = 605 selon IPCC 4 et 547 selon IPCC 5.

## 2.4 Qualités d'un bon fluide frigorigène

- La consommation d'énergie électrique des installations frigorifiques industrielles représente une part importante des frais de fonctionnement, la recherche de fluides frigorigènes à effet frigorigère maximal est donc évidente.

$$\text{Effet frigorigère ou COP} = \frac{\text{Puissance frigorigère}}{\text{Puissance électrique absorbée}}$$

Il importe donc que 1 kWh d'énergie électrique consommée permette d'évacuer le maximum d'énergie thermique (en kWh) du médium à refroidir. Le COP peut varier de **0,6 à 3** dans les applications classiques en froid industriel, voire au-delà ou en de ça dans les applications particulières.

- Le coût des installations frigorifiques industrielles est important, les compresseurs en représentent une part significative.

La recherche de fluides frigorigères permettant de faibles cylindrées est donc évidente.

Cette faible cylindrée est possible à partir de fluide présentant une forte production frigorigère volumétrique (en kilojoules par mètre cube aspiré). La production frigorigère volumétrique dépend des deux facteurs suivants :

- forte chaleur latente d'ébullition (**kJ/kg**) ;
- faible volume massique des vapeurs à l'aspiration (**m<sup>3</sup>/kg**).

$$\begin{aligned} \text{Production frigorigère volumétrique} &= \\ \frac{\text{Chaleur latente d'ébullition}}{\text{Volume spécifique des vapeurs à l'aspiration}} &= \frac{\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}{\frac{\text{m}^3}{\text{kg}}} = \frac{\text{kJ}}{\text{m}^3} \end{aligned}$$

Les deux caractéristiques ci-dessus sont prioritairement prises en compte lors du choix d'un fluide frigorigère.

### Remarque

Il est à noter qu'un fluide frigorigène peut être doté d'une forte production frigorifique volumétrique et développer un faible effet frigorifique (COP).

Le choix d'un fluide doit prioritairement tenir compte du COP.

Le COP est le reflet de la consommation énergétique de l'installation sur la durée de sa vie.

Le TEWI est le reflet de la consommation énergétique et de l'impact sur l'effet de serre de l'installation sur la durée de sa vie.

### ■ Autres qualités demandées à un fluide frigorigène

- Faible taux de compression.
- Basse pression supérieure à la pression atmosphérique en fonctionnement normal.
- Faible température de fin de compression (une température élevée n'est pas favorable à la stabilité chimique de l'huile et du fluide frigorigène).
- Miscibilité à l'huile. La miscibilité huile fluide frigorigène est indispensable pour assurer le retour de l'huile au compresseur. La sélection de l'huile est donc importante. Cette remarque vaut surtout pour les installations à alimentation sèche des évaporateurs.
- Prix compétitif.
- Bonne disponibilité.
- Faible toxicité.
- Recherche des fuites faciles.
- Faible volume massique du liquide (influence sur le prix des canalisations liquides).
- Faible influence sur le réchauffement climatique (GWP).

De très nombreuses autres qualités sont à prendre en compte, telles que l'influence sur l'ozone et l'effet de serre, l'influence sur les composants de l'installation, la non-inflammabilité, la non-explosibilité, l'absence d'action sur les denrées entreposées, etc.

Le choix d'un fluide n'est donc pas toujours très évident, c'est un compromis entre de multiples critères : lors du choix, que privilégie-t-on ?

- Le coût à l'installation.
- Le COP (consommation d'énergie) et le TEWI.
- L'environnement.
- La sécurité du personnel.
- La maintenance.