

Jean **Desmons**

AIDE-MÉMOIRE

Froid industriel



- Fluides frigorigènes
- Composants et technologies des installations industrielles
- Exemples d'installations
- Pannes et réglages

5^e édition

DUNOD

TABLE DES MATIÈRES

Préface	III
Avant-propos	XIV
Quelques symboles graphiques utilisés dans l'ouvrage	XVI

A

Généralités sur le froid industriel

1 • Spécificités du froid industriel	2
2 • Les fluides frigorigènes utilisés en froid industriel	4
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 R134a	15
2.7 Le R404A (FX 70)	18
2.8 Le R407F (Performax LT)	23
2.9 L'ammoniac (NH ₃)	27
2.10 Le dioxyde de carbone (CO ₂)	31

2.11	Le R-455A (Solstice L 40 X)	34
2.12	Solstice Ze ou R-1234ze	39
2.13	Solstice yf R-1234yf	40
2.14	Étude comparative entre le R404A, le R507, le R717 et le R407F	43
3	• Étude de la compression monoétagée	51
3.1	Généralités	51
3.2	Étude d'une machine à compression monoétagée	52
3.3	Étude de la même machine, la température d'ébullition passant de - 10 °C à - 30 °C	55
3.4	Conclusion	57
4	• Étude de la compression biétagée	58
4.1	Généralités	58
4.2	Étude comparative entre la compression monoétagée et la compression biétagée	58
4.3	Détermination de la pression intermédiaire	66
4.4	Exemple de machines biétagées disponibles	67
5	• Compresseurs industriels à pistons monoétagés	69
5.1	Principales caractéristiques des compresseurs à pistons monoétagés	69
5.2	Réduction de puissance	70
5.3	Lubrification	75
6	• Compresseurs à vis	81
6.1	Comportement des compresseurs à vis comparativement aux compresseurs à pistons	82
6.2	Principe de fonctionnement des compresseurs à vis	83
6.3	Rendement volumétrique des compresseurs à vis	84
6.4	Compresseurs monovis	85
6.5	Compresseurs bivis	87
6.6	Réduction de puissance des compresseurs à vis	88
6.7	Suralimentation des compresseurs à vis	93
6.8	Fonctionnement d'un compresseur à vis en dehors des conditions normales de marche	98
6.9	Volume index (Vi) des compresseurs à vis	99
6.10	Lubrification	101
6.11	Exemples de centrales frigorifiques équipées de compresseurs à vis	104

7 • Pompes à fluide frigorigène	107
8 • Différentes technologies possibles des machines industrielles	110
8.1 Installation à compression biétagée sans sous-refroidissement intermédiaire	110
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	113
8.3 Installation à compression biétagée avec bouteille intermédiaire à injection partielle sans sous-refroidissement	115
8.4 Installation à compression biétagée avec bouteille intermédiaire à injection partielle avec sous-refroidissement	116
8.5 Installation à compression étagée avec bouteille intermédiaire à injection totale	118
8.6 Installation à compression biétagée à injection totale avec refroidisseur intermédiaire, bouteille séparatrice basse pression et à alimentation par pompe des évaporateurs	120
8.7 Installation à compression biétagée avec production de froid à la pression intermédiaire	122
8.8 Étude comparative entre les différentes technologies de machines à compression biétagée	124
8.9 Installation comportant plusieurs fluides frigorigènes, appelée « machine en cascade »	137
9 • Différentes technologies permettant l'alimentation en fluide frigorigène liquide d'évaporateurs ou de séparateurs	144
9.1 Alimentation en fluide frigorigène liquide à partir d'un régleur manuel et d'un régulateur de niveau à élément thermostatique et pressostatique	144
9.2 Contrôle de niveau par contrôleur électromagnétique	147
9.3 Contrôleur de niveau électronique	148
9.4 Contrôleur de niveau optoélectronique	149
9.5 Contrôle de niveau à partir d'un régulateur modulant à servocommande et flotteur basse pression	150
9.6 Contrôle de niveau à partir d'un régulateur modulant à servocommande et flotteur haute pression	153
10 • Comparaison des alimentations sèches et noyées des évaporateurs	157
10.1 Alimentation sèche	157
10.2 Alimentation noyée	159

11 • Problèmes d'huile avec les fluides frigorigènes en alimentation de type noyée	164
11.1 Cas où l'huile est moins dense et miscible avec le fluide frigorigène	164
11.2 Cas où l'huile est plus dense et non miscible avec le fluide frigorigène	168
12 • Dégivrages	169
12.1 Dégivrage par les gaz chauds avec différentiel de pression entre les gaz chauds et la ligne liquide	170
12.2 Dégivrage par les gaz chauds sans différentiel de pression	174
12.3 Évaporateur en froid industriel	177
13 • Les Centrales frigorifiques	179
13.1 Généralités	179
13.2 Centrales à plusieurs compresseurs	179
13.3 Régulation HP et BP flottantes	180
13.4 L'huile dans les centrales frigorifiques	192
13.5 Exemple de modularité des centrales frigorifiques	196
13.6 Étude d'une centrale frigorifique existante d'un hypermarché de conception spécifique	197
13.7 Quelques exemples de centrales frigorifiques	201
14 • Régulateurs de pression et vannes	204
14.1 Vannes amont et aval	204
14.2 Vannes à commande directe	206
14.3 Régulateurs frigorifiques à servocommande	206
14.4 Différents pilotages des vannes principales	209
15 • Les fluides frigopORTEURS	214
15.1 Généralités	214
15.2 Refroidissement direct	214
15.3 Refroidissement indirect	214
15.4 Avantages des installations à fluide frigopORTEUR	216
15.5 Inconvénients de la réfrigération indirecte	216
15.6 Les différents types de fluides frigopORTEURS	217
15.7 Les circuits frigopORTEURS	231
16 • Le CO₂ comme fluide frigorigène	236
16.1 Généralités	236
16.2 Avantages du CO ₂	244
16.3 Inconvénients du CO ₂	244

16.4	Le CO ₂ vis-à-vis de l'eau	245
16.5	Le CO ₂ et l'ammoniac	247
16.6	Dégivrage des installations au CO ₂	250
17	• Sécurités et contrôles en froid industriel	252
17.1	Sécurités et contrôles concernant la partie électrique	252
17.2	Sécurités et contrôles concernant le domaine aéraulique	252
17.3	Sécurités et contrôles concernant le domaine hydraulique	253
17.4	Sécurités et contrôles dans le domaine frigorifique	253
17.5	Sécurité incendie	266
18	• Problèmes des sols en température négative	267
18.1	Apport par ventilation	268
18.2	Apport par chauffage	268
18.3	Remarques de responsables d'entrepôts frigorifiques confrontés à des problèmes de chauffage des sols	268
19	• Soupapes d'équilibrage	269
19.1	Calcul des pressions s'exerçant sur les parois d'une chambre froide	269
19.2	Soupape d'équilibrage hydraulique	270
19.3	Soupape d'équilibrage à clapet	271
20	• Isolation thermique – Bilan frigorifique	274
20.1	Étude d'une paroi plane	274
20.2	Étude des températures d'une tuyauterie isolée	277
20.3	Bilans frigorifiques	280
21	• Congélation et surgélation	286
21.1	Généralités	286
21.2	Différences entre congélation et surgélation	286
21.3	La surgélation dans l'industrie agroalimentaire	288
21.4	Différentes techniques de surgélation	289
21.5	Tunnel de congélation à fonctionnement discontinu	290
21.6	Tunnel de congélation à fonctionnement continu à production de froid mécanique	292
21.7	Tunnel de congélation à fonctionnement continu utilisant un fluide cryogénique	293
21.8	Congélateur à plaques	294
21.9	Congélateur à lit fluidisé	295
21.10	Surgélateur spiral	297

21.11 Règles générales concernant la surgélation	298
21.12 Rendement d'un système de congélation	298

B

Cas concrets d'installations

22 • Entrepôt frigorifique polyvalent	300
22.1 Fluides utilisés	300
22.2 Schéma de principe	301
22.3 Principe de fonctionnement et description	302
22.4 Cycle frigorifique de principe	306
22.5 Réfrigération des quais	308
23 • Patinoire	310
23.1 Compresseurs	310
23.2 Condensation	310
23.3 Contrôle des niveaux de fluide frigorigène	311
23.4 Évaporateur à plaques	311
23.5 Circuit frigoporteur	312
23.6 Choix du frigoporteur	312
23.7 Schéma de principe	312
23.8 Cycle de fonctionnement sur diagramme enthalpique	314
23.9 Neige produite par la piste de patinage	316
23.10 Composants d'une piste de patinage	318
23.11 Patinoire à ciel ouvert	318
23.12 Projet de remodelage d'une patinoire	319
23.13 Remarques sur les condenseurs évaporatifs	321
24 • Entrepôt frigorifique	325
24.1 Production du froid	325
24.2 Compresseurs	325
24.3 Cycle de fonctionnement et description succincte	327
24.4 Dégivrage	330
24.5 Huile	332
24.6 Refroidissement des halls d'accès	333

25 • La chaîne du froid	335
25.1 Définition	335
25.2 Conséquences de la rupture de la chaîne du froid	335
25.3 Évolution de la chaîne du froid	336
25.4 Réflexion sur le maillon transport	336
25.5 Contrôles de la chaîne du froid	336
25.6 Exemple de chaîne du froid : chaîne du froid des produits aquatiques	337
26 • La chaîne du froid du beurre	343
26.1 Généralités	343
26.2 Les tanks à lait	343
26.3 Collecte du lait	346
26.4 Le lait à la laiterie	346
26.5 Beurrerie	347
27 • La chaîne du froid du saucisson sec	354
27.1 Généralités	354
27.2 Matériel spécifique du fabricant de saucisson : le matériel d'étuvage et de séchage	355
27.3 Étapes de la fabrication	356
27.4 Évolutions psychrométriques	358
27.5 Séchage thermodynamique	360
27.6 Ventilation	361
27.7 Régulation	363
28 • Fabrication de la bière	364
28.1 Constituants de la bière	364
28.2 Fabrication de la bière	364
28.3 Conclusions et remarques	367
29 • Les abattoirs industriels	368
29.1 Généralités	368
29.2 Différents types de locaux à température contrôlée	368
29.3 Chambre ou tunnel de ressuage	369
29.4 Chambre de maturation ou chambre de conservation	372
29.5 Laboratoire ou salle de découpe	373
29.6 Salle des ventes	374
29.7 Chambre d'abats blancs	374
29.8 Chambre d'abats rouges	375

29.9	Chambre de consigne	375
29.10	Chambre de saisie	375
29.11	Tunnel de surgélation	375
29.12	Chambre de stockage des produits surgelés	376
30	• Étude d'installations	377
30.1	Étude n° 1	377
30.2	Étude n° 2	383
30.3	Étude n° 3 – Étude d'une installation au CO ₂ fonctionnant en transcritique	391
30.4	Étude n° 4	401
30.5	Étude n° 5	413

C

Cas concrets de pannes et dépannages

31	• Défaut de conception d'un collecteur d'aspiration	422
31.1	Éléments succincts de l'installation	422
31.2	Coups de liquide	422
31.3	Intervention	422
31.4	Constatations et conclusion	423
32	• Défaut de conception de bouteilles séparatrices	424
32.1	Éléments succincts de l'installation	424
32.2	Casse mécanique	424
32.3	Dépannage	425
32.4	Explication	426
32.5	Solutions envisagées et remèdes	426
33	• Défaut de conception de pompes à fluide frigorigène	427
33.1	Éléments succincts de l'installation	427
33.2	Grippage des pompes	427
33.3	Intervention	428
33.4	Constatations et conclusion	430

34 • Arrêt des compresseurs par les pressostats différentiels d'huile	431
34.1 Éléments succincts de l'installation	431
34.2 Coupures	431
34.3 Intervention	432
34.4 Remèdes	434
35 • Évolution des produits	435
35.1 Généralités	435
35.2 Exemple d'évolutions de vannes principales	436
35.3 Nouveaux composants polyvalents	439
36 • Pannes et dépannages électriques	443
36.1 Exemples concrets de pannes	443
36.2 Méthodologie de dépannage	452
Annexe • Réglementations et normes	455
Index	461