

**La
Rpf**

SÉRIE | FROID ET GÉNIE CLIMATIQUE

Francis Meunier

Paul Rivet

Marie-France Terrier

FROID INDUSTRIEL

2^e édition

DUNOD

2-621-7-1

2-621-7-1

Francis Mesnier

Paul Rivet

Marie-France Terrier

FROID INDUSTRIEL

2^e édition

**La
Rpf**

DUNOD

TABLE DES MATIÈRES

Avant-propos	XI
Notations et abréviations	XII

A

Production du froid

1 • Thermodynamique et transferts thermiques	3
1.1 Rappels de thermodynamique	3
1.2 Cycles de production du froid à deux ou trois températures	6
1.3 Échanges thermiques	19
2 • Cycles thermodynamiques de production du froid	41
2.1 Cycle de Carnot conventionnel	41
2.2 Nouveau cycle de Carnot	41
2.3 Cycle à compression mécanique de vapeur	43
2.4 Cycles à compression mécanique de gaz	46
2.5 Cycles à gaz à compression mécanique et à détente avec changement de phase	50
2.6 Cycle à compression thermique de vapeurs	55
3 • Fluides frigorigènes	61
3.1 Introduction historique	61
3.2 Nomenclature des fluides frigorigènes	62
3.3 Propriétés recherchées pour les fluides frigorigènes	65
3.4 Mélanges de fluides frigorigènes	84
3.5 Hydrocarbures : exemple du propane (R-290)	97
3.6 Comparaison entre fluides frigorigènes	98

3.7	Dioxyde de carbone (R-744)	105
3.8	Les nouvelles règles de l'art	113
3.9	Fluides frigorigènes les plus utilisés	113
4	Machine frigorifique mono-étagée, à compression mécanique de vapeur	117
4.1	Description du cycle de référence : machine mono-étagée parfaite	117
4.2	Machine réelle à compression de vapeur	126
4.3	Cycle à compression isotherme avec échangeur liquide-vapeur	138
4.4	Conclusions	140
5	Compresseurs à pistons	141
5.1	Principe de fonctionnement	141
5.2	Compresseur à pistons parfait sans volume mort	142
5.3	Compresseur à pistons parfait avec espace mort	145
5.4	Évolutions du rendement volumétrique d'un compresseur parfait	148
5.5	Analyse énergétique d'un compresseur parfait	150
5.6	Évolutions de la PME d'un compresseur parfait	151
5.7	Compresseur réel à pistons	154
5.8	Conclusions	161
6	Rendements d'un compresseur	163
6.1	Bilan énergétique d'un compresseur	163
6.2	Rendements d'un compresseur	165
6.3	Étude des variations du rendement volumétrique	173
6.4	Étude des variations du rendement indiqué	178
6.5	Étude des rendements mécanique et effectif	173
6.6	Estimation de la température réelle des vapeurs au refoulement d'un compresseur	180
7	Cycles bi-étagés	183
7.1	Systèmes bi-étagés avec deux compresseurs	185
7.2	Systèmes avec un compresseur bi-étagé	198
7.3	Autres types de circuits bi-étagés	205
7.4	Cycles en cascade	207
7.5	Cas particulier des cascades au CO ₂	213
7.6	Conclusion	214

8 • Dimensionnement d'une machine frigorifique à compression mécanique de vapeur	215
8.1 Établissement du régime interne	216
8.2 Détermination des composants d'une machine frigorifique	225
8.3 Détermination du coefficient de performance	241
8.4 Tendances	243
9 • Compression thermique de vapeur : le froid à sorption	245
9.1 Absorption liquide	246
9.2 Systèmes à sorption solide	264
9.3 Impact environnemental des systèmes à sorption	273
10 • Froid renouvelable : solaire, éolien, géothermie et biomasse	277
10.1 Les deux filières de froid renouvelable	277
10.2 Les deux filières du froid solaire	278
10.3 Le froid renouvelable à compression mécanique de vapeur	279
10.4 La filière thermique de froid renouvelable	282
10.5 Tendances du froid renouvelable	285
11 • Modélisation et simulation	287
11.1 Calcul des propriétés thermodynamiques et des cycles	288
11.2 Simulation de composants	290
11.3 Simulation dynamique en régime transitoire d'un système frigorifique global	294
11.4 Cas particulier de la FDD (détection et diagnostic de pannes)	297

B

Technologie du froid mécanique

12 • Composants	305
12.1 Généralités sur les compresseurs	305
12.2 Compresseurs à pistons	306
12.3 Hélico-compresseurs ou compresseurs à vis	322
12.4 Compresseurs rotatifs à palettes	344
12.5 Compresseurs scroll ou spiro-orbital	346
12.6 Compresseurs centrifuges	350
12.7 Échangeurs de chaleur	360
12.8 Condenseurs	369

12.9	Évaporateurs	376
12.10	Autres échangeurs	380
12.11	Capacités sous pression	384
12.12	Détendeurs et systèmes de détente	390
12.13	Canalisations frigorifiques et accessoires	398
12.14	Pompes à eau et à frigoporteur	403
12.15	Refroidisseurs atmosphériques	403
12.16	Matériel de régulation	406
13	• Matériels spécifiques	411
13.1	Matériels pour la surgélation ou la congélation	411
13.2	Machines à glace	419
13.3	Groupes de refroidissement de liquide	423
14	• Architecture des systèmes frigorifiques	425
14.1	Distribution du froid	425
14.2	Production et distribution frigorifique	426
14.3	Centrales frigorifiques	427
14.4	Mode d'alimentation des évaporateurs	427
14.5	Types de circuits frigorifiques	429
14.6	Systèmes de condensation	431
15	• Applications du froid	435
15.1	Distribution alimentaire	435
15.2	Restauration collective et grandes cuisines	437
15.3	Usines agroalimentaires	437
15.4	Locaux particuliers	439
15.5	Entreposage	439
15.6	Usine de crèmes glacées	441
15.7	Laiterie et fromagerie	442
15.8	Unités de surgélation	443
15.9	Groupe de process	443
15.10	Bâtiment et construction	444
15.11	Patinoires et neige	444
15.12	Malteries et brasseries	444
15.13	Salaisonnerie et charcuterie	445
15.14	Procédés divers de refroidissement	446
16	• Dégivrage	449
16.1	Généralités	449

16.2	Procédés de dégivrage	450
16.3	Initialisation	450
16.4	Arrêt	451
16.5	Réduction des entrées d'air	451
17	• Frigoporteurs	453
17.1	Frigoporteurs liquides	453
17.2	Frigoporteurs monophasiques liquides	455
17.3	Frigoporteurs liquide/vapeur	457
17.4	Frigoporteurs solide/liquide	458
17.5	Accumulation de froid	464
18	• Huiles frigorigènes	467
18.1	Nécessité et problèmes engendrés	467
18.2	Miscibilité	468
18.3	Solubilité et dissolution	469
18.4	Réintégration d'huile sur circuits HFC, HCFC et CO ₂	469
18.5	Équilibrage d'huile	471
18.6	Principales huiles frigorigènes	472
19	• Froid, environnement et tendances	477
19.1	Couche d'ozone	477
19.2	Effet de serre	477
19.3	Tendances	487
	Index	489