



SÉRIE | FROID ET GÉNIE CLIMATIQUE

Francis Meunier
Paul Rivet
Marie-France Terrier

FROID INDUSTRIEL

Nouveau tirage corrigé

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	57
3.1 Introduction historique	57
3.2 Nomenclature des fluides frigorigènes	59
3.3 Propriétés recherchées pour les fluides frigorigènes	61
3.4 Mélanges de fluides frigorigènes	79
3.5 Hydrocarbures : exemple du propane (R-290)	92
3.6 Comparaison entre fluides frigorigènes	93

7 Dioxyde de carbone (R-744)	93
8 Les nouvelles règles de l'art	100
9 Fluides frigorigènes les plus utilisés	101
10 Un avenir sans HFC est-il possible ?	105

Machine frigorifique mono-étagée, à compression mécanique à vapeur

Description du cycle de référence : machine mono-étagée parfaite	109
Machine réelle à compression de vapeur	118
Cycle à compression isotherme avec échangeur liquide-vapeur	130
Conclusions	132

Compresseurs à pistons

Principe de fonctionnement	133
Compresseur à pistons parfait sans volume mort	134
Compresseur à pistons parfait avec espace mort	137
Évolutions du rendement volumétrique d'un compresseur parfait	140
Analyse énergétique d'un compresseur parfait	142
Évolutions de la PME d'un compresseur parfait	143
Compresseur réel à pistons	146
Conclusions	153

Performances d'un compresseur

Bilan énergétique d'un compresseur	155
Rendements d'un compresseur	157
Étude des variations du rendement volumétrique	167
Étude des variations du rendement indiqué	172
Étude des rendements mécanique et effectif	173
Estimation de la température réelle des vapeurs au refoulement d'un compresseur	174

Les bi-étagés

Systèmes bi-étagés avec deux compresseurs	179
Systèmes avec un compresseur bi-étagé	195
Autres types de circuits bi-étagés	202

8 • Dimensionnement d'une machine frigorifique à compression mécanique de vapeur

8.1 Établissement du régime interne	214
8.2 Détermination des composants d'une machine frigorifique	223

9 • Compression thermique de vapeur : le froid à sorption

9.1 Absorption liquide	242
9.2 Systèmes à sorption solide	264
9.3 Impact environnemental des systèmes à sorption	274
9.4 Systèmes à sorption pour production combinée d'énergies mécanique et thermique	280

10 • Modélisation et simulation

10.1 Calcul des propriétés thermodynamiques et des cycles	283
10.2 Simulation de composants	286
10.3 Simulation en régime permanent d'un système frigorifique global	289
10.4 Simulation dynamique en régime transitoire d'un système frigorifique global	290

B

Technologie du froid mécanique

11 • Composants

11.1 Généralités sur les compresseurs	295
11.2 Compresseurs à pistons	296
11.3 Hélico-compresseurs ou compresseurs à vis	312
11.4 Compresseurs rotatifs à palettes	333
11.5 Compresseurs scroll ou spiro-compresseurs	335
11.6 Compresseurs centrifuges	340
11.7 Échangeurs de chaleur	350
11.8 Condenseurs	360
11.9 Évaporateurs	364
11.10 Autres échangeurs	369
11.11 Capacités sous pression	372
11.12 Détendeurs et systèmes de détente	378
11.13 Canalisations frigorifiques et accessoires	387
11.14 Pompes à eau et à frigoporteur	391

12 • Matériels spécifiques

- 12.1 Matériels pour la surgélation ou la congélation
- 12.2 Machines à glace
- 12.3 Groupes de refroidissement de liquide

13 • Architecture des systèmes frigorifiques

- 13.1 Distribution du froid
- 13.2 Production et distribution frigorifique
- 13.3 Centrales frigorifiques
- 13.4 Mode d'alimentation des évaporateurs
- 13.5 Types de circuits frigorifiques
- 13.6 Systèmes de condensation

14 • Applications du froid

- 14.1 Distribution alimentaire
- 14.2 Restauration collective et grandes cuisines
- 14.3 Usines agroalimentaires
- 14.4 Locaux particuliers
- 14.5 Entreposage
- 14.6 Usine de crèmes glacées
- 14.7 Laiterie et fromagerie
- 14.8 Unités de surgélation
- 14.9 Groupe de process
- 14.10 Bâtiment et construction
- 14.11 Patinoires et neige
- 14.12 Malteries et brasseries
- 14.13 Salaisonnerie et charcuterie

• Dégivrage

- 15.1 Généralités
- 15.2 Procédés de dégivrage
- 15.3 Initialisation
- 15.4 Arrêt
- 15.5 Réduction des entrées d'air

• Frigoporteurs

- 16.1 Frigoporteurs liquides
- 16.2 Frigoporteurs liquide/vapeur
- 16.3 Glace liquide (sorbet ou Ice slurry)

399

399

408

411

413

413

414

414

415

416

417

423

423

425

425

426

427

429

430

430

431

431

432

432

433

435

435

436

436

437

437

439

439

441

17 • Huiles frigorifiques

- 17.1 Nécessité et problèmes engendrés
- 17.2 Miscibilité
- 17.3 Solubilité et dissolution
- 17.4 Réintégration d'huile sur circuits HFC et HCFC
- 17.5 Équilibrage d'huile
- 17.6 Principales huiles frigorifiques

18 • Froid, environnement et tendances

- 18.1 Couche d'ozone
- 18.2 Effet de serre
- 18.3 Tendances

Index