

Pierre Rapin  
Patrick Jacquard  
Jean Desmons

La  
Rpf



# TECHNOLOGIE DES INSTALLATIONS FRIGORIFIQUES

**10<sup>e</sup> ÉDITION**

DUNOD

# TABLE DES MATIÈRES

---

Remerciements	XI
Avant-propos • Naissance et évolution des utilisations du froid et des matériels frigorifiques	XIII
Préambule	XXI
<b>1 • Compresseurs mécaniques</b>	<b>1</b>
1.1 Généralités	1
1.2 Rôle du compresseur	1
1.3 Différents types de compresseurs	1
1.4 Grandeurs caractéristiques d'un compresseur	1
1.5 Compresseurs alternatifs	2
1.6 Compresseurs rotatifs	10
1.7 Compresseurs à vis	10
1.8 Compresseurs centrifuges	11
<b>2 • Compresseurs ouverts</b>	<b>13</b>
2.1 Compresseurs alternatifs à pistons	13
2.2 Compresseurs rotatifs	33
2.3 Compresseurs centrifuges	39
<b>3 • Motocompresseurs hermétiques et hermétiques accessibles</b>	<b>43</b>
3.1 Historique	43
3.2 Motocompresseurs hermétiques	45
3.3 Motocompresseurs hermétiques à pistons	46
3.4 Motocompresseurs hermétiques rotatifs	53
3.5 Motocompresseurs hermétiques accessibles	53
3.6 Motocompresseurs hermétiques accessibles à pistons	53
3.7 Le compresseur et ses accessoires	66
3.8 Compresseurs en parallèle	66
3.9 Compresseurs semi-hermétiques bi-étagés	66
3.10 Groupes de compression	68
3.11 Motocompresseurs centrifuges hermétiques accessibles	69
3.12 Motocompresseurs centrifuges à fonctionnement sans huile	71
<b>4 • Compresseurs à vis et compresseurs à spirales</b>	<b>75</b>
4.1 Compresseurs à vis	75
4.2 Compresseurs à spirales (compresseurs scroll)	100

<b>5 • Compresseurs à exécutions spéciales ou à usages particuliers</b>	<b>113</b>
5.1 Compresseur à membrane Corblin	113
5.2 Compresseurs à pistons secs	114
<b>6 • Lubrifiants</b>	<b>119</b>
6.1 Fonctions	119
6.2 Caractéristiques fondamentales	119
6.3 Choix du lubrifiant	120
6.4 Lubrification	120
6.5 Miscibilité avec les fluides frigorigènes	120
6.6 Lubrifiants et nouveaux fluides frigorigènes	120
6.7 Analyse du lubrifiant	120
<b>7 • Condenseurs</b>	<b>127</b>
7.1 Généralités	127
7.2 Condenseurs à air	133
7.3 Condenseurs à eau	148
7.4 Réglementation et pression d'épreuve	153
7.5 Tours de refroidissement d'eau	154
7.6 Refroidisseurs hybrides	156
7.7 Aéroréfrigérants ou refroidisseurs secs ou <i>dry-cooler</i>	160
7.8 Évolutions	162
7.9 Annexes	162
<b>8 • Évaporateurs</b>	<b>167</b>
8.1 Généralités	167
8.2 Classification des évaporateurs	174
8.3 Évaporateurs refroidisseurs de liquide	174
8.4 Évaporateurs refroidisseurs de gaz	184
8.5 Accessoires et options	205
8.6 Annexes	206
<b>9 • Échangeurs de chaleur à plaques</b>	<b>209</b>
9.1 Échangeur à plaques à cassettes	209
9.2 Échangeur à plaques brasées	210
9.3 Fluides utilisés	211
9.4 Propriétés	211
9.5 Installation	211
9.6 Les évaporateurs, environnement technologique et évolutions	212
9.7 Exemple d'installation utilisant un échangeur à plaques	215
9.8 Exemple d'application pratique d'un échangeur à plaques	220
9.9 Exemple d'installation avec évaporateur et condenseur à plaques	220
9.10 Mise en route et entretien	221

13	9.11 Domaines d'application	221
113	9.12 Évolutions	221
114	<b>10 • Appareils annexes du circuit</b>	<b>223</b>
19	10.1 Séparateur d'huile	223
119	10.2 Silencieux de refoulement	227
119	10.3 Réservoir de liquide	228
120	10.4 Désaérateurs	232
120	10.5 Déshydrateurs	233
122	10.6 Filtres déshydrateurs bidirectionnels	238
123	10.7 Déshydrateurs réservoirs	239
123	10.8 Voyants	239
127	10.9 Filtres	241
127	10.10 Filtre déshydrateur de nettoyage spécial « grillage de compresseur »	244
133	10.11 Filtres à huile	245
143	10.12 Filtres déshydrateurs pour lubrifiants	246
153	10.13 Cartouches	246
154	10.14 Séparateur de liquide	247
156	10.15 Bouteille d'aspiration	250
160	10.16 Pompes à liquide	253
162	10.17 Clapet de retenue ou clapet antiretour	257
162	10.18 Clapet taré	259
167	10.19 Échangeur de chaleur	259
167	10.20 Éliminateurs ou amortisseurs de vibrations	264
174	10.21 Dispositif antipulsatoire	267
174	10.22 Dispositif de retour et de contrôle de niveau d'huile dans une installation avec plusieurs compresseurs	267
184	<b>11 • Centrales de froid, systèmes monoblocs, appareils à éléments séparés (split system)</b>	<b>273</b>
205	11.1 Centrales de froid	273
206	11.2 Systèmes frigorifiques monoblocs	283
209	11.3 Appareils à éléments séparés (split system)	284
210	<b>12 • Tuyauteries</b>	<b>285</b>
211	12.1 Tuyauteries en cuivre	285
211	12.2 Tuyauteries en acier	300
212	12.3 Détermination des tuyauteries	314
215	12.4 Vibrations et dilatations des tuyauteries	333
220	12.5 Identification des circuits fluidiques	336
220	12.6 Contrôle de l'étanchéité	338
221		

<b>13 • Robinetterie</b>	<b>33</b>
13.1 Terminologie	33
13.2 Robinets en alliage cuivreux	34
13.3 Robinets en alliages ferreux	34
13.4 Soupapes automatiques	34
<b>14 • Principes généraux de l'automatisme</b>	<b>34</b>
14.1 Naissance et but de l'automatisme	34
14.2 Systèmes automatisés	35
14.3 Constitution d'une boucle de régulation	35
14.4 Fonctions d'un régulateur	35
14.5 Utilisations d'un régulateur	35
<b>15 • Appareillages automatiques d'alimentation</b>	<b>35</b>
15.1 Alimentation en fluide frigorigène	35
15.2 Alimentation en fluides auxiliaires	35
<b>16 • Appareils automatiques de régulation et de sécurité</b>	<b>40</b>
16.1 Introduction	40
16.2 Appareils de régulation et de sécurité	41
16.3 Appareils de protection	43
16.4 Appareillages de contrôle	43
<b>17 • Systèmes de régulation électronique</b>	<b>44</b>
17.1 Principales caractéristiques des systèmes de régulation électronique	44
17.2 Les différents composants de la régulation	44
<b>18 • Isolants</b>	<b>45</b>
18.1 Caractéristiques générales des isolants	45
18.2 Origine des isolants	45
18.3 Principaux isolants	45
<b>19 • Mise en œuvre des isolants</b>	<b>46</b>
19.1 Migration de la vapeur d'eau	46
19.2 Écrans pare-vapeur	46
19.3 Isolation des chambres froides	46
19.4 Isolation des corps cylindriques	47
19.5 Menuiseries isothermiques	47
19.6 Sécurité	47
19.7 Aménagements intérieurs	48
<b>20 • Pompes à chaleur</b>	<b>48</b>
20.1 Généralités	48
20.2 Principe fonctionnel de la pompe à chaleur	48

<b>339</b>	20.3	Coefficient de performance	485
339	20.4	Différentes sources de chaleur	486
341	20.5	Utilisation des pompes à chaleur	487
344	20.6	Cas concret : étude d'une pompe à chaleur eau/eau associée à une géothermie	487
348	20.7	Conclusion	490
<b>349</b>	<b>21</b>	<b>• Principes d'obtention des basses et très basses températures</b>	<b>491</b>
349	21.1	Machine frigorifique à compression étagée	491
350	21.2	Fabrication de glace carbonique (glace sèche)	497
352	21.3	Machines en cascade	497
353	21.4	Liquéfaction de l'air	500
354	<b>22</b>	<b>• Machines frigorifiques à compression thermique</b>	<b>505</b>
<b>357</b>	22.1	Machines à absorption	506
357	22.2	Machines à éjection	512
397	<b>23</b>	<b>• Bilan thermique d'une installation</b>	<b>515</b>
<b>409</b>	23.1	Généralités	515
409	23.2	Éléments constitutifs du bilan thermique	515
411	23.3	Évaluation du bilan général	518
438	23.4	Détermination de la puissance frigorifique de l'évaporateur	519
439	23.5	Détermination de la puissance frigorifique du compresseur	519
<b>441</b>	<b>24</b>	<b>• Acoustique pratique</b>	<b>521</b>
442	24.1	Origine des bruits	521
442	24.2	Correction et isolement acoustiques	522
<b>455</b>	24.3	Silencieux	528
455	24.4	Les transmissions solidiennes	531
456	24.5	Installation des matériels	533
456	24.6	Mesure du bruit	535
<b>461</b>	24.7	Cahier des charges	536
461	24.8	Évolution des matériels	537
<b>483</b>	<b>25</b>	<b>• Installations au CO<sub>2</sub></b>	<b>539</b>
483	25.1	Généralités	539
484	25.2	Caractéristiques thermodynamiques du CO <sub>2</sub>	539
	25.3	Avantages du R 744	542
	25.4	Inconvénients du CO <sub>2</sub>	542
	25.5	Le CO <sub>2</sub> vis-à-vis de l'eau	542
	25.6	Le CO <sub>2</sub> et l'ammoniac	542
	25.7	Dégivrage des installations au CO <sub>2</sub>	542
	25.8	Problème de pression avec le CO <sub>2</sub>	544
	25.9	Exemple de technologies permettant d'éviter les surpressions	545
	25.10	Étude d'une installation type cascade R 404 A/CO <sub>2</sub>	546

<b>26 • Fluides frigopORTEURS</b>	<b>553</b>
26.1 Généralités	553
26.2 Avantages des fluides frigopORTEURS	553
26.3 Inconvénients de la réfrigération indirecte	554
26.4 Différents types de fluides frigopORTEURS	555
26.5 Différentes technologies et régulations des installations à fluide frigopORTEUR	560
<b>27 • Congélation et surgélation</b>	<b>563</b>
27.1 Généralités	563
27.2 Différences entre congélation et surgélation	563
27.3 La surgélation dans l'industrie agroalimentaire	564
27.4 Différentes techniques de surgélation	564
27.5 Tunnel de congélation à fonctionnement discontinu	564
27.6 Tunnel de congélation à fonctionnement continu à production de froid mécanique	565
27.7 Tunnel de congélation à fonctionnement continu utilisant un fluide cryogénique	565
27.8 Congélateur à plaques	566
27.9 Congélateur à lit fluidisé	567
27.10 Surgélateur spiral	568
27.11 Règles générales concernant la surgélation	568
27.12 Rendement d'un système de congélation	570
<b>28 • Stockage de l'énergie</b>	<b>571</b>
28.1 Pourquoi stocker l'énergie	571
28.2 Comparaison des stockages sensibles et latents	571
28.3 Technologie de stockage	571
28.4 Différentes stratégies possibles	571
28.5 Conception d'une installation	571
28.6 Dimensionnement d'un STL	571
28.7 Calcul du volume du STL	571
28.8 Calcul des puissances d'échange	571
28.9 Procédures de validation	571
<b>29 • Évolution des produits</b>	<b>581</b>
29.1 Généralités	581
29.2 Exemple d'évolutions de vannes principales	581
29.3 Exemple de polyvalence de fonctionnalité d'un type de vanne	581
29.4 Nouveaux types de capteurs	581
<b>Annexe • Symboles graphiques</b>	<b>581</b>
<b>Index alphabétique</b>	<b>61</b>

ÉLECTRONIQUE

ÉNERGIES

FROID ET GÉNIE  
CLIMATIQUE

GESTION  
INDUSTRIELLE

ENVIRONNEMENT

MÉCANIQUE  
ET MATÉRIAUX

ÉLECTRO-  
TECHNIQUE

AUTOMATIQUE  
ET RÉSEAUX

# TECHNOLOGIE DES INSTALLATIONS FRIGORIFIQUES

10<sup>e</sup> ÉDITION

## Pierre Rapin

DSFI, était professeur honoraire au lycée technique Raspail.

## Patrick Jacquard

DSFI, DEST Énergétique, professeur agrégé. Après avoir occupé différents postes dans l'industrie, il a été professeur au lycée La Martinière Monplaisir à Lyon, en BTS « Fluides - Énergie - Environnement », option Génie frigorifique.

## Jean Desmons

DSFI, après une carrière dans l'industrie, il a enseigné le froid commercial et industriel à des BTS « Fluides - Énergie - Environnement » option génie frigorifique. Il enseigne aujourd'hui le froid industriel à des ingénieurs en énergie renouvelable.

Cet ouvrage s'adresse à tous les frigoristes, quelle que soit leur activité dans le domaine du génie frigorifique. Il couvre l'ensemble des connaissances utilisées dans le secteur du froid :

- l'étude des **systèmes frigorifiques** : fonctionnement, bilan thermique, rendement...
- le rôle et le fonctionnement des différents **équipements** : compresseur, détendeur, évaporateur, vanne...
- l'étude technologique des **machines simples et complexes** : compression monoétagée ou biétagée, à cascade, mécanique ou thermique...
- la **régulation**, la **réglementation**, l'acoustique, etc.

Cette **dixième édition** apporte de nombreuses mises à jour (motocompresseurs centrifuges à fonctionnement sans huile, installations utilisant un échangeur à plaques, machines à cascade à 2 étages, hydroraclage, etc.) ainsi que des nouveaux chapitres sur la congélation et surgélation, le stockage de l'énergie et l'évolution des produits.

## POINTS FORTS

- ✓ Un panorama complet des connaissances et machines utilisées dans le secteur du froid.
- ✓ Une véritable bible tant pour la formation ou le perfectionnement que la pratique.
- ✓ Un ouvrage de référence des frigoristes depuis plus de 40 ans.

## CONTENU DE L'OUVRAGE

- Composants (compresseurs, condenseurs, évaporateurs, échangeurs, tuyauteries, isolants...)
- Installations (centrales de froid, split systems, pompes à chaleur, machines à compression thermique, installations au CO<sub>2</sub>)
- Automatismes et régulation
- Acoustique
- Congélation et surgélation
- Stockage de l'énergie
- Évolution des produits



Les actus



du savoir

