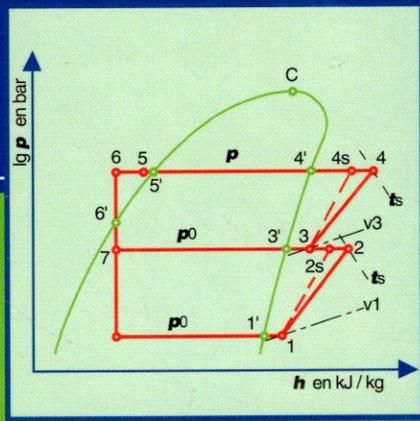


W. MAAKE - H.-J. ECKERT - Jean-Louis CAUCHEPIN

LE POHLMANN



Manuel technique du froid

BASES - COMPOSANTS - CALCULS

**Montage, Conduite, Maintenance
des installations frigorifiques**



**deuxième édition
tome 1**

TABLE DES MATIÈRES

Définitions préliminaires	1
1. Données fondamentales du génie frigorifique	15
11. Système International d'unités (S.I.), anciens systèmes d'unités, unités périmées, tables de conversion	17
111. Système International d'unités	17
-1. Historique	17
-2. Unités du Système International	17
-3. Règles d'écriture et remarques particulières	25
-4. Multiples et sous-multiples	26
112. Anciens systèmes d'unités et unités périmées	28
113. Tables de conversion entre unités légales du Système International S.I. et unités périmées courantes	30
114. Tables de conversion entre unités diverses dont unités anglo-saxonnes	32
12. Bref historique du génie frigorifique	41
13. Thermophysique, thermodynamique et machines frigorifiques	45
Généralités	45
131. Chaleur et froid	46
-1. Sensation de chaleur et de froid, température	46
-2. Notion de quantité de chaleur et de froid	46
-3. Mesure des quantités de chaleur absorbées ou cédées : la calorimétrie	48
-4. Formule fondamentale de la calorimétrie, capacité thermique massique	50
-41. Capacité thermique massique d'un corps solide ou liquide	50
-42. Capacité thermique d'un corps solide ou liquide	54
-43. Calcul de la capacité thermique massique d'un corps solide ou liquide	54
-44. Capacité thermique massique des gaz	58
-5. Puissance calorifique et puissance frigorifique	60
132. Transmission de la chaleur	61
-1. Transmission de la chaleur par rayonnement	61
-11. Loi de Stefan-Boltzmann	61
-12. Loi de Kirchhoff	63
-13. Rayonnement mutuel de deux surfaces	63
-14. Rayonnement des gaz	63
-15. Coefficient de transmission thermique par rayonnement	63
-16. Facteur d'angle	65
-2. Transmission de la chaleur par conduction	66
Généralités	66
-21. Variation de la conductivité thermique en fonction de la masse volumique ..	67
-22. Variation de la conductivité thermique en fonction de la teneur en humidité ..	68
-23. Variation de la conductivité thermique en fonction de la température	71
-24. Effusivité	79
-3. Transmission de la chaleur par convection	80
Généralités	80
-31. Écoulement forcé	80

-311. Écoulement d'un gaz dans une conduite	80
-312. Écoulement de l'air autour d'une conduite simple	81
-313. Écoulement de l'air autour d'un faisceau de tubes	81
-314. Écoulement le long d'une plaque, d'une paroi ou d'un tube (sans rayonnement)	81
-315. Écoulement turbulent d'eau dans une conduite	82
-316. Eau contenue dans un réservoir en température	82
-317. Vapeurs de fluide frigorigène	83
-32. Écoulement libre	84
-321. Conduites dans l'air	84
-322. Parois verticales	85
-323. Parois horizontales	87
-324. Conduites placées dans l'eau	87
-33. Fluides à l'ébullition	87
-331. Eau	87
-332. Fluide frigorigène, tube isolé	88
-333. Fluide frigorigène, faisceau de tubes	88
-34. Vapeur se condensant et eau	89
-35. Évaporation, transfert de matière	89
-4. Transmission de chaleur d'un fluide à un autre fluide à travers une paroi plane ...	90
-41. Principe de calcul du flux de chaleur transmis à travers une paroi plane homogène et extension à une paroi plane composite	90
-42. Cas particulier des parois extérieures des entrepôts frigorifiques	93
-421. Expression du flux thermique transmis à travers la paroi extérieure d'un entrepôt frigorifique	93
-422. Exemple de calcul du coefficient global de transmission thermique K d'une paroi plane composite et de l'évolution de la température à l'intérieur de la paroi	94
-423. Valeurs précalculées du coefficient global de transmission thermique K .	96
-424. Existence d'une lame d'air	97
-425. Cas des parois hétérogènes	98
-43. Autres cas particuliers	99
-431. Cloisons intérieures des entrepôts frigorifiques	99
-432. Locaux chauffés	100
-5. Transmission de chaleur d'un fluide à un autre fluide à travers une paroi courbe .	100
-6. Transmission de chaleur d'un fluide à un autre fluide dans un échangeur de chaleur	105
-61. Échangeurs de chaleur rencontrés dans les installations frigorifiques	105
-611. L'évaporateur	106
-612. L'échangeur de chaleur	106
-613. Le sous-refroidisseur	106
-614. Le désurchauffeur	106
-615. Le condenseur	106
-616. La tour de refroidissement	107
-617. Le refroidisseur d'huile	107
-618. Échangeurs-récupérateurs de chaleur des moteurs d'entraînement	107
-619. En résumé	107
-62. Caractéristiques optimales d'un échangeur de chaleur	108
-63. Différents types d'échangeurs de chaleur	110
-631. Échangeurs tubulaires	110
-632. Échangeurs à plaques	110
-633. Autres types d'échangeurs	112
-64. Calcul général d'un échangeur de chaleur	116
133. Effets de la chaleur : dilatation/contraction et changements d'état de la matière	122
-1. Phénomènes de dilatation/contraction	122
-11. Dilatation/contraction des solides	122
-111. Dilatation/contraction linéaire	122
-112. Dilatation/contraction surfacique	125
-113. Dilatation/contraction volumique	126
-114. Variation de la masse volumique d'un solide avec la température	128
-115. Conséquences et applications de la dilatation/contraction des solides ..	129
-12. Dilatation/contraction des liquides	129

-121. Dilatation/contraction apparente et dilatation/contraction absolue	129
-122. Variation de la masse volumique d'un liquide avec la température	130
-123. Conséquences et applications de la dilatation/contraction des liquides .	132
-124. Cas particulier de la dilatation de l'eau	132
-13. Dilatation/contraction d'un gaz en fonction de la température lorsque la pression reste constante (loi de Gay-Lussac)	133
-14. Variation de la pression d'un gaz en fonction de la température lorsque le volume reste constant (loi de Charles)	138
-2. Changements d'état de la matière	139
-21. Fusion/solidification	140
-22. Vaporisation/condensation	145
-221. Généralités	145
-222. Vaporisation dans l'air en atmosphère illimitée	145
-2221. Vaporisation par évaporation	145
-2222. Vaporisation par ébullition	146
-223. Vaporisation dans l'air en atmosphère limitée	149
-224. Vaporisation dans le vide	149
-225. Chaleur latente de vaporisation	152
-226. Condensation	153
-23. Sublimation/Désublimation	154
-24. Résumé sur les changements d'état par fusion puis vaporisation dans le cas particulier de l'eau ; grandeurs d'état de l'eau liquide et de la vapeur d'eau saturante	155
-25. Interprétation cinétique des changements d'état de la matière	161
-251. Structure élémentaire de la matière	161
-252. Énergie de cohésion	164
-253. Chaleur et désordre	165
-26. Compléments divers sur l'état de la matière	165
-261. Phase, diagramme des phases, point triple	165
-262. États extrêmes de la matière : superfluide et plasma	167
-263. Deux phénomènes particuliers : la surfusion et la caléfaction	167
134. Gaz parfaits et gaz réels, lois qui les régissent	168
-1. Le gaz parfait, état limite du gaz réel aux pressions évanescences	168
-2. Dilatation/contraction d'un gaz en fonction de la pression lorsque la température reste constante (loi de Boyle-Mariotte)	170
-3. Équation caractéristique des gaz parfaits	172
-4. Loi d'Avogadro-Ampère	176
-5. Masse volumique d'un gaz	178
-6. Densité d'un gaz par rapport à l'air, relation d'Avogadro-Ampère	178
-7. Expression de la masse d'un gaz connaissant son volume, sa pression et sa température	179
-8. En résumé	180
-9. Exercices d'application	180
-10. Loi de Dalton	183
-11. Compléments de chimie : nombre d'Avogadro, masse molaire, volume molaire ...	187
135. Forces pressantes exercées par un solide, un liquide ou un gaz, pression	190
-1. Force pressante exercée par un solide, pression	190
-2. Force pressante exercée par un liquide, pression en un point d'un liquide	191
-21. Force pressante exercée par un liquide sur un petit élément de surface en contact avec ce liquide, expérience du crève-tonneau de Pascal	191
-22. Force pressante exercée par un liquide sur le fond horizontal du récipient qui le contient, paradoxe hydrostatique	193
-23. Résultante des forces pressantes exercées par un liquide en équilibre sur l'ensemble des parois latérales du récipient qui le contient	194
-24. Pression en un point d'un liquide, principe fondamental de l'hydrostatique .	195
-25. Théorème de Pascal	198
-26. Résultante des forces pressantes exercées par un liquide en équilibre sur un corps immergé, théorème d'Archimède	198
-3. Force pressante exercée par un gaz, pression en un point d'un gaz	201
-31. Force pressante exercée par un gaz libre, en l'occurrence l'air, sur tout élément de surface en contact avec lui, existence d'une pression atmosphérique	201

-32. Force pressante exercée par un gaz non libre sur un élément de surface en contact avec lui, pression en un point du gaz	202
-33. Résultante des forces pressantes exercées par un gaz en équilibre sur un corps immergé, théorème d'Archimède, poids apparent d'un corps	205
136. Machines frigorifiques à compression d'une vapeur avec changement de phase	205
-1. Généralités	205
-11. Système thermodynamique	206
-111. Définition	206
-112. Variables thermodynamiques	206
-113. Transformation, état initial, état final, cycle	206
-114. Convention de signe	207
-12. De l'énergie à l'anergie en passant par l'enthalpie, l'entropie et l'exergie	207
-121. Énergie, ses différentes formes	208
-122. Transformations mutuelles entre énergie-chaleur et énergie-travail	208
-123. Énergie interne d'un système	210
-124. Enthalpie	212
-125. Entropie	212
-126. Exergie et anergie	215
-13. Premier principe de la thermodynamique	217
-14. Second principe de la thermodynamique	220
-15. Troisième principe de la thermodynamique	222
-2. Cycle de la machine frigorifique à compression d'une vapeur et diagrammes thermodynamiques	222
-21. Principe de fonctionnement de la machine frigorifique à compression d'une vapeur et changement de phase	222
-211. Machine frigorifique élémentaire	222
-212. Machine frigorifique complète	228
-213. Machines frigorifiques particulières	229
-22. Diagramme pression-volume pV	230
-221. Représentation graphique d'un travail	230
-222. Changements d'état d'un gaz dans le diagramme de Clapeyron	234
-223. Transformation isobare	235
-224. Transformation isochore	256
-225. Transformation isotherme	239
-226. Transformation adiabatique (isentropique)	241
-227. Transformation polytropique	246
-228. Travail du compresseur théorique par kilogramme de fluide frigorigène mis en circulation et par tour de l'arbre-vilebrequin	250
-229. Cycle théorique idéal de Carnot	252
-23. Diagramme température-entropie T, s	253
-231. Représentation graphique d'une quantité de chaleur	253
-232. Changement d'état d'un gaz dans le diagramme T, s	254
-233. Transformation isobare	254
-234. Transformation isochore	256
-235. Transformation isotherme	257
-236. Transformation isentropique	257
-237. Transformation polytropique	258
-238. Cycle théorique idéal de Carnot et cycle réel d'une machine frigorifique dans le diagramme T, s	259
-24. Diagramme enthalpie-pression h, lg p	260
-241. Généralités	260
-242. Lecture d'un diagramme h, lg p	263
-243. Représentation du cycle théorique d'une machine frigorifique monoétagée à compression d'une vapeur dans un diagramme h, lg p	272
-244. Représentation du cycle réel d'une machine frigorifique monoétagée à compression d'une vapeur dans un diagramme h, lg p	275
-2441. Influence du rendement indiqué sur l'évolution du cycle frigorifique	275
-2442. Influence du rendement mécanique sur l'évolution du cycle	277
-2443. Influence des pertes de charge dans les tuyauteries et les accessoires sur l'évolution du cycle	278
-2444. Régimes de fonctionnement d'une machine frigorifique	282

-245. Intérêt du diagramme h, lg p dans la recherche des anomalies de fonctionnement d'une machine frigorifique	284
-3. Caractéristiques thermodynamiques d'une machine frigorifique monoétagée à compression d'une vapeur et changement de phase	285
-31. Caractéristiques thermiques	288
-311. Production frigorifique massique nette (ou utile) par kilogramme de fluide frigorigène en circulation	288
-312. Production frigorifique volumique nette (ou utile) par mètre cube de fluide frigorigène aspiré au compresseur	288
-313. Production frigorifique massique brute par kilogramme de fluide frigorigène en circulation	288
-314. Production frigorifique volumique brute par mètre cube de fluide frigorigène aspiré au compresseur	289
-315. Débit-masse de fluide frigorigène en circulation	291
-316. Débit-volume de fluide frigorigène à l'aspiration du compresseur	296
-317. Production frigorifique brute du compresseur	296
-318. Production frigorifique nette du compresseur	296
-319. Productions frigorifiques spécifiques	297
-32. Caractéristiques géométriques du compresseur	298
-321. Volume balayé par unité de temps, cylindrée, volume géométrique d'un cylindre, alésage, course	298
-322. Rendement volumétrique global	300
-33. Caractéristiques mécaniques	302
-331. Travail massique de la compression isentropique	302
-332. Travail du compresseur par cylindre et par tour de l'arbre-manivelle en compression isentropique	303
-333. Travail massique de la compression polytropique (travail indiqué)	303
-334. Travail du compresseur par cylindre et par tour de manivelle en compression polytropique	303
-335. Diagramme indiqué, pression moyenne indiquée	304
-336. Puissances du compresseur	306
a) Puissance théorique de la compression isentropique	306
b) Puissance indiquée de la compression polytropique	306
c) Puissance effective sur l'arbre du compresseur	307
d) Puissance délivrée par le moteur d'entraînement	310
e) Puissance absorbée sur le réseau	311
-34. Caractéristiques qualitatives	311
-341. Taux de compression	311
-342. Rendements	311
a) Cas des compresseurs hermétiques ou hermétiques accessibles	311
b) Cas des compresseurs ouverts équipés d'un moteur électrique	312
c) Cas des compresseurs ouverts équipés d'un moteur autre qu'électrique	312
-343. Coefficients de performance	313
a) Coefficient de performance d'une machine frigorifique rapporté à la compression isentropique	312
b) Coefficient de performance d'une machine frigorifique rapporté à la compression polytropique	314
c) Coefficient de performance d'une machine frigorifique rapporté à la compression effective	315
d) Coefficient de performance global (ou utile ou pratique) d'une machine frigorifique	316
e) Coefficient de performance rapporté à la production frigorifique nette	316
f) Coefficient de performance du cycle idéal de Carnot	316
-344. Degré de qualité interne d'une machine frigorifique	317
-35. Caractéristiques de l'évaporateur, du condenseur et du sous-refroidisseur	318
-351. Évaporateur	318
-352. Condenseur	318
-353. Sous-refroidisseur	319
-36. Résumé des caractéristiques thermodynamiques de notre exemple de machine frigorifique	319

-4. Machines frigorifiques à compression d'une vapeur et changement de phase particulières	320
-41. Machines frigorifiques monoétagées comportant un échangeur de chaleur ..	320
-411. Intérêt d'un échangeur de chaleur	320
-412. Comparaison avec la machine frigorifique ne comportant ni échangeur de chaleur ni sous-refroidisseur	324
-42. Machines frigorifiques destinées à desservir une installation comportant une pompe de circulation	325
-43. Machines frigorifiques à compression étagée	327
-431. Machines frigorifiques à compression étagée simples	330
-432. Machines frigorifiques à compression étagée, détente étagée et refroidissement complémentaire hors de la bouteille moyenne pression	330
-433. Machines frigorifiques à compression étagée, détente étagée et refroidissement complémentaire dans la bouteille moyenne pression	332
-434. Machines frigorifiques à compression étagée, détente étagée et second évaporateur	332
-435. Exemple de calcul d'une machine frigorifique biétagée	334
-436. Compléments divers sur les machines frigorifiques étagées	339
-44. Machines frigorifiques en cascade	340
-5. Possibilités de récupération puis de valorisation de l'énergie thermique évacuée par une installation frigorifique à compression d'une vapeur	341
-51. Exemple d'une installation frigorifique équipée d'un compresseur à pistons ..	342
-511. Hypothèses	342
-512. Désurchauffeur	343
-513. Condenseur	343
-514. Circuit d'eau de refroidissement	343
-52. Exemple d'une installation frigorifique équipée d'un compresseur à vis	344
-521. Hypothèses	344
-522. Refroidisseur d'huile	344
-523. Désurchauffeur	346
-524. Condenseur	346
-525. Circuit d'eau de refroidissement	346
-53. Comparaison des possibilités de récupération d'énergie d'une installation frigorifique suivant qu'elle est équipée d'un compresseur à pistons ou d'un compresseur à vis	347
-54. Valorisation de la chaleur rejetée par les moteurs d'entraînement	347
-541. Cas des moteurs électriques	347
-542. Cas des moteurs à gaz et des moteurs diesels	347
-55. Utilisation de la chaleur récupérée d'une installation frigorifique	348
-551. Utilisation à des fins de réchauffage d'eau chaude sanitaire	348
-552. Utilisation à des fins de réchauffage d'air	349
137. Machines frigorifiques à absorption	350
-1. Théorie des machines frigorifiques à absorption	351
-11. Principe de fonctionnement	351
-12. Cycle	353
-13. Bilan thermodynamique	353
-14. Coefficient de performance et degré de qualité	353
-15. Mélanges binaires	355
-2. Machines frigorifiques à absorption fonctionnant avec le mélange binaire eau/bromure de lithium	356
Généralités	356
-21. Principe de fonctionnement	358
-22. Conditions d'utilisation	360
-23. Consommations et débits	360
-24. Régulation de la production frigorifique	361
-25. Construction	362
-3. Machines frigorifiques à absorption fonctionnant avec le mélange binaire ammoniac/eau	365
Généralités	365
-31. Machines frigorifiques monoétagées	367
-311. Principe de fonctionnement	367
-312. Coefficient de performance	371

-313. Consommations et débits	372
-314. Régulation de la production frigorifique	373
-315. Emplacement et disposition	373
-32. Machines frigorifiques multiétagées	374
-321. Généralités	374
-322. Consommations et débits	375
-4. Coûts comparatifs d'exploitation des machines frigorifiques à absorption et à compression	378
-5. Petites machines frigorifiques à absorption continue du type à diffusion	380
138. Autres machines frigorifiques et procédés divers de production du froid	382
-1. Machines frigorifiques à éjection de vapeur	382
-2. Machines frigorifiques à compression de gaz sans changement de phase	385
-21. Machine frigorifique à compression de gaz et détente avec production de travail extérieur	385
-22. Machine frigorifique à compression de gaz et détente sans production de travail extérieur	388
-3. Réfrigération thermoélectrique	389
-4. Désaimantation adiabatique	393
139. Machines à double service pour production combinée de froid et de chaleur	394
-1. Thermofrigopompes	394
-2. Pompes à chaleur	396
-21. Pompes à chaleur à compression (d'une vapeur)	396
-211. Principe de fonctionnement	397
-212. Classification des pompes à chaleur	399
-213. Coefficient de performance	399
-214. Différentes sources naturelles de chaleur	401
-215. Critères de rentabilité d'une pompe à chaleur	401
-216. Pompe à chaleur greffée sur une machine frigorifique	403
-22. Pompes à chaleur à absorption	403
-221. Principe de fonctionnement	404
-222. Différents types de pompes à chaleur à absorption	404
-223. Coefficient de performance de la production de chaleur utile	405
-224. Température minimale du fluide de chauffage du générateur	406
-225. Température maximale possible de la chaleur utile	406
-226. Rentabilité	406
-23. Autres types de pompes à chaleur	407
2. Données annexes du génie frigorifique	409
21. Renseignements climatiques	411
211. Rayonnement solaire	411
-1. Intensité du rayonnement solaire à son entrée dans l'atmosphère	411
-2. Intensité du rayonnement solaire à la surface de la terre	411
-3. Calcul de l'intensité du rayonnement solaire direct et du rayonnement solaire diffus	412
212. Température de l'air	414
-1. Généralités	414
-2. Évolution de la température de l'air	417
213. Humidité de l'air	418
214. Température de l'eau et du sol	419
-1. Température de l'eau	420
-2. Température du sol	421
215. Vent	421
216. Résumé sur les données climatiques	423

217. Conditions de l'air extérieur et diagramme de l'air humide	427
22. L'air humide et son diagramme	429
Généralités	429
221. Caractéristiques de l'air humide, définitions	429
-1. Humidité absolue de l'air humide	430
-2. Humidité relative de l'air humide	431
-3. Masse volumique de l'air humide	432
-4. Volume massique de l'air humide	434
-5. Enthalpie de l'air humide	435
-6. Autres définitions	439
222. Tables de l'air humide	439
223. Diagramme de l'air humide	439
-1. Généralités	439
-2. Description	442
224. Exemples de calculs à l'aide du diagramme de l'air humide	444
-1. Mélange de deux masses d'air différentes	444
-2. Refroidissement d'une masse d'air sans ou avec déshumidification	446
-21. Refroidissement dans le domaine du conditionnement d'air	446
a) Cas où la température superficielle de la batterie est supérieure à la température de rosée de l'air (batterie sèche)	446
b) Cas où la température superficielle de la batterie est inférieure à la température de rosée de l'air (batterie humide)	447
-22. Refroidissement dans le domaine de la réfrigération	448
-23. Refroidissement dans le domaine de la congélation	449
-3. Déshumidification	449
-31. Adsorption par le gel de silice	450
-32. Autres substances agissant par sorption	451
-4. En résumé	451
23. Mécanique des fluides	453
Généralités	453
231. Propriétés des fluides	453
-1. Compressibilité	453
-2. Viscosité	454
232. Lois d'écoulement des fluides	456
-1. Définitions, caractéristiques d'un écoulement	456
-2. Équations des écoulements	458
-21. Débit-volume et débit-masse	458
-22. Équation de continuité	458
-23. Équation de conservation de l'énergie ou équation de Bernoulli	459
-24. Équation de conservation de la quantité de mouvement ou équation d'Euler ..	461
233. Diaphragmes et tuyères	462
234. Perte de charge	466
-1. Perte de charge répartie	466
-2. Perte de charge singulière	470
-3. Perte de charge totale	472
235. Détermination des organes de robinetterie sur la base de leur coefficient k_v	476
24. Techniques de régulation	483
Généralités	483
241. Définitions	483
242. L'installation à réguler et son équipement de régulation	486

243. Les différents types de régulateurs	489
-1. Régulateurs à deux échelons « tout ou rien » ou « tout ou peu » et régulateurs à échelons multiples	489
-2. Régulateurs à action flottante	489
-3. Régulateurs à action proportionnelle	490
-4. Régulateurs à action intégrale	491
-5. Régulateurs à action complémentaire dérivée	492
-6. Régulateurs à action composée	492
244. La régulation moderne : automates programmables et gestion technique centralisée	492
-1. Du matériel de régulation classique au matériel électronique informatisé	492
-2. Les automates programmables	493
-3. Les systèmes de gestion technique centralisée, télégestion et télésurveillance	498
-4. Choix d'un système de gestion technique centralisée	500
-5. Exemples de gestion technique centralisée	502
-51. Cas d'un linéaire de vitrines réfrigérées	502
-52. Cas d'une centrale frigorifique	504
25. Acoustique élémentaire	507
251. Généralités et définitions	507
252. Caractéristiques physiques du son	509
-1. Longueur d'onde	509
-2. Célérité	509
-3. Vitesse acoustique	511
-4. Pression acoustique et niveau de pression acoustique	511
-5. Puissance acoustique et niveau de puissance acoustique	512
-6. Intensité acoustique et niveau d'intensité acoustique	515
-7. Densité acoustique	516
253. Caractéristiques psychophysiologiques du son	516
-1. Hauteur d'un son	517
-2. Intensité physiologique d'un son	517
-3. Timbre	519
254. Niveaux sonores pondérés et indices de gêne	519
255. Addition de deux bruits	521
256. Mesure des bruits et des vibrations	526
257. Isolation acoustique aux bruits aériens	529
-1. Généralités	529
-2. Les bruits des différents équipements	529
-21. Bruit produit par un compresseur	530
-22. Bruit produit par un moteur électrique	530
-23. Bruit produit par une pompe	530
-24. Bruit produit par un ventilateur	530
-25. Bruit produit par une tour de refroidissement	533
-3. Réduction d'un bruit propagé en champ libre	534
-31. Niveau de pression acoustique en champ libre	534
-32. Dispositions de réduction du bruit envisageables	534
-4. Réduction du bruit propagé à l'intérieur du local d'émission	536
-5. Réduction du bruit propagé d'un local d'émission à un autre local contigu à travers une paroi mitoyenne	539
-6. Réduction du bruit propagé d'un local d'émission à un autre local contigu ou non par l'intermédiaire de conduits aérauliques	542
258. Isolation acoustique aux bruits solidiens par amortissement des vibrations	543
Généralités	543
-1. Matelas d'isolation antivibratoire	544
-2. Isolateurs de vibrations	545
-21. Caractéristiques d'une suspension élastique	546
-211. Vibrations d'une machine	546

3. Composants des machines et des installations frigorifiques	619
31. Composants autres que les fluides	621
311. Compresseurs et leurs dispositifs d'entraînement	621
-1. Classification des compresseurs, définitions	621
-2. Compresseurs à pistons	623
-21. Technologie générale	623
-22. Particularités	627
-221. Principe de fonctionnement d'un compresseur à pistons	627
-222. Clapets, plaques à clapets et espace mort	628
-223. Garniture d'étanchéité	636
-224. Dispositifs de réduction de la production frigorifique	637
-225. Lubrification	643
-226. Chauffage du carter	644
-227. Pressostat de sécurité d'huile	645
-228. Protection contre la surchauffe des gaz refoulés	647
-229. Refroidissement complémentaire	649
-23. Caractéristiques de quelques compresseurs à pistons	649
-24. Compresseurs à pistons secs	676
-25. Fonctionnement en parallèle de plusieurs compresseurs à pistons	680
-3. Compresseurs à vis	684
-31. Généralités et caractéristiques de différents modèles	684
-32. Fonctionnement en parallèle de plusieurs compresseurs à vis	692
-4. Compresseurs spiro-orbitaux et caractéristiques de quelques modèles	696
-5. Turbocompresseurs et caractéristiques de quelques modèles	708
-6. Autres types de compresseurs	715
-61. Compresseurs à palettes	715
-62. Compresseurs à piston tournant ou roulant	720
-63. Compresseurs à membrane	721
-7. Domaine d'emploi des compresseurs et comparaison des différents types	722
-8. Dispositifs d'entraînement des compresseurs	722
-81. Généralités	722
-82. Dispositif d'entraînement direct d'un compresseur ouvert au moyen d'un accouplement élastique	724
a) Calcul du couple nominal à transmettre	724
b) Détermination du coefficient de sécurité K	725
c) Calcul du couple nominal de l'accouplement	725
d) Autres paramètres	725
-83. Dispositif d'entraînement indirect d'un compresseur ouvert au moyen de poulies et courroies	728
-84. Utilisation de coupleurs	740
a) Coupleurs hydrauliques	741
b) Coupleurs centrifuges	741
-85. Moteurs d'entraînement électriques	741
-851. Choix d'un moteur électrique	741
a) Moteurs à disposition	741
b) Critères de sélection d'un moteur électrique	742
b1) Ambiance de travail	742
b2) Réseau électrique	743
b3) Nature de l'organe entraîné	743
b4) Type de service	744
b5) Mode de démarrage	744
b6) Coût d'investissement	748
c) Résumé sur le choix d'un moteur asynchrone	749
-852. Caractéristiques d'un moteur électrique	749
a) Constitution d'un moteur électrique	749
b) Exemple de moteur électrique asynchrone triphasé à rotor à cage d'écureuil en court-circuit	753
c) Renseignements à fournir à la commande d'un moteur élec- trique	753
-86. Autres moteurs d'entraînement	753

312. Évaporateurs	754
-1. Généralités	754
-2. Classification	755
-3. Évaporateurs à détente sèche ou fonctionnant en régime noyé	756
-31. Évaporateurs à détente sèche	756
-32. Évaporateurs en régime noyé	758
-4. Différents types d'évaporateurs	759
-41. Évaporateurs multitubulaires horizontaux fonctionnant en régime noyé	759
-42. Évaporateurs multitubulaires horizontaux fonctionnant en détente sèche	760
-43. Évaporateurs coaxiaux	762
-44. Évaporateurs type serpentin	762
-45. Évaporateurs à plaques	765
-46. Évaporateurs à tubes à ailettes	766
-5. Dégivrage des évaporateurs	770
-51. Dégivrage par circulation d'air ambiant	774
-52. Dégivrage à l'eau	775
-53. Dégivrage au moyen de saumure	776
-54. Dégivrage au moyen de résistances électriques	776
-55. Dégivrage par les gaz chauds	778
-56. Exemple de système de dégivrage	780
-6. Exemple de détermination d'un évaporateur	783
-7. Exploitation optimale d'un évaporateur	783
313. Condenseurs et leurs systèmes de refroidissement	786
-1. Généralités	786
-2. Classification des condenseurs	791
-3. Différents types de condenseurs	791
-31. Condenseurs refroidis directement par circulation naturelle ou forcée d'air ou aérocondenseurs	791
-32. Condenseurs refroidis directement ou indirectement par circulation d'eau	793
-321. Condenseurs multitubulaires horizontaux	793
-322. Condenseurs multitubulaires verticaux	797
-323. Condenseurs à serpentin	802
-324. Condenseurs coaxiaux	802
-325. À propos de l'eau de refroidissement des condenseurs à refroidissement à eau	802
-3251. Tours de refroidissement	806
a) Tours de refroidissement à circuit ouvert	806
b) Tours de refroidissement à circuit fermé	814
-3252. Aéroréfrigérants	817
-33. Condenseurs refroidis directement par circulation d'air et pulvérisation d'eau ou condenseurs évaporatifs	818
-4. Comparaison entre différents systèmes de refroidissement de condenseurs	822
-5. Régulation des condenseurs	822
-6. Montage en parallèle de plusieurs condenseurs	827
-7. Bruits émis par les systèmes de refroidissement des condenseurs	832
-8. Exemples de sélection d'un condenseur	834
-81. Détermination d'un condenseur refroidi directement par circulation forcée d'air	834
-82. Détermination d'un condenseur évaporatif	835
314. Autre gros appareillage des installations frigorifiques	835
-1. Réservoir de liquide (haute pression)	835
-2. Séparateur de liquide/bouteille anti-coups de liquide et séparateur de liquide/bouteille de surchauffe	836
-3. Ensemble de contrôle et de retour d'huile	843
-31. Généralités sur les problèmes de retour d'huile	843
-32. Séparateur d'huile	845
-33. Réservoir-tampon d'huile et clapet anti-retour à différentiel constant	848
-34. Filtre à huile	850
-35. Contrôleur de niveau d'huile	851
-4. Désurchauffeur	852
-5. Échangeur de chaleur	853

332. Qualités, caractéristiques et spécifications des huiles frigorigènes	1071
-1. Qualités	1071
-2. Caractéristiques d'identification	1071
-3. Caractéristiques d'utilisation élémentaires	1071
. Pouvoir lubrifiant	1072
. Viscosité	1073
. Stabilité chimique	1075
. Teneur en eau	1076
. Teneur en cendres	1076
. Point d'éclair	1076
. Point d'écoulement	1076
. Indice de saponification	1076
. Indice de neutralisation acide	1077
. Effet moussant	1077
. Miscibilité et solubilité	1079
-4. Caractéristiques d'utilisation complémentaires	1079
-41. Températures limites d'emploi	1079
-42. Comparaison des propriétés	1079
-43. Comportement des joints avec les lubrifiants	1079
333. Spécifications de quelques huiles frigorigènes	1079
334. Critères de choix d'une huile frigorigène, avantages et inconvénients des différentes catégories	1083
335. Une nouvelle génération d'huiles frigorigènes : les écolubrifiants	1084
336. Analyse d'une huile frigorigène	1086
4. Montage, mise en service, conduite et maintenance d'une installation frigorigène, litiges, règles professionnelles, bibliographie	1089
41. Montage d'une installation frigorigène	1091
411. Généralités	1091
412. Appareillage et outillage du technicien-monteur frigoriste	1092
-1. Appareillage de tirage au vide, de charge et de rinçage	1092
-2. Appareillage de soudage	1097
-3. Appareillage de mesure	1097
-4. Appareillage de détection des fuites de fluide frigorigène	1097
-5. Outillage de travail des tubes	1102
-6. Outillage divers	1104
-7. Outillage à orientation électricité	1104
-8. Outillage à orientation calorifugeage	1106
413. Contrôle de l'étanchéité du circuit frigorigène, mise en pression	1107
414. Tirage au vide	1109
415. Chargement en fluide frigorigène	1113
42. Essais avant mise en service et réception d'une installation frigorigène	1117
421. De l'intérêt de définir les rapports entre les différents intervenants	1117
422. Conditions générales syndicales de vente des matériels aérauliques, thermodynamiques et frigorigènes	1118
423. Réception d'une installation frigorigène : essais et procès-verbal	1119
-1. Le procès-verbal de réception	1119
-2. Les essais : calcul de la production frigorigène	1119

-21. Détermination de la production frigorifique totale sur la base du débit-masse de fluide frigorigène	1121
-22. Détermination de la production frigorifique utile dans le cas du refroidissement d'un liquide	1121
-23. Détermination de la production frigorifique utile dans le cas du refroidissement d'air	1122
-24. Détermination de la production frigorifique utile dans le cas de la fabrication de glace	1122
43. Conduite d'une installation frigorifique, détection des pannes, mesures à prendre en cas d'accident corporel	1123
431. Objet de la conduite, notice et guide de conduite	1123
432. Pannes des installations frigorifiques, symptômes, causes et remèdes	1124
433. Que faire en cas d'accident corporel, consignes de sécurité	1134
-1. Comportement général	1134
-2. Cas des fluides frigorigènes autres que l'ammoniac	1134
-3. Cas de l'ammoniac	1135
-4. Consignes de sécurité	1136
44. Maintenance et gestion d'une installation frigorifique	1139
441. Objet de la maintenance	1139
442. Contrats de maintenance	1140
-1. Généralités	1140
-2. Dispositions préalables à l'établissement de tout contrat	1140
-3. Contenu du contrat	1141
-31. Dispositions administratives	1141
-32. Dispositions techniques	1142
-4. Différents types de contrats	1142
-41. Contrat type F1 « Entretien simple »	1142
-42. Contrat type F2 « Maintenance simple »	1142
-43. Contrat type F3 « Maintenance complète »	1142
-44. Contrat type F4 « Maintenance complète et garantie totale »	1142
443. Opérations de maintenance	1142
-1. Installations frigorifiques	1143
-2. Installations électriques	1145
-3. Protection contre l'incendie	1146
-4. Livre d'entretien	1146
45. Litiges, règles professionnelles, quelques ouvrages récents	1149
451. Litiges	1149
452. Règles professionnelles	1150
-1. Code de bonne conduite du Cecomaf	1151
-2. Charte des mesures à prendre concernant la conception, l'étude, l'installation, l'exploitation, la maintenance des installations de froid et de climatisation et la formation des personnels ainsi que Protocole intersyndical sur la qualification des entreprises mettant en œuvre des CFC 11, 12, 113, 114 et 115 dans les installations frigorifiques et climatiques non domestiques	1151
-3. Norme Afnor NF E 35-400 « Installations frigorifiques, Règles de sécurité »	1152
453. Quelques ouvrages récents	1152
-1. « Itinéraire du frigoriste »	1152
-2. « Nouveaux schémas électriques, applications frigorifiques »	1153
3. « Pratique des installations frigorifiques »	1153
4. « Vade-Mecum de la récupération des CFC et autres fluides frigorigènes »	1154