

Avant-propos

« Le frigoriste doit avoir une spécialisation : une formation de base et des connaissances en physique, électricité, automatisme... En réalité, il faut cinq à dix ans pour être un frigoriste digne de ce nom. » Ainsi s'exprime François Garreau, président de la section Ile-de-France du Snefccca dans le numéro de septembre 1991 de la Revue Pratique du Froid.

Dans ces conditions, on comprendra tout l'intérêt d'un ouvrage « pratique » qui, certes, ne peut remplacer l'enseignement oral de qualité dispensé par des professeurs de haut niveau mais qui, par contre, permet tant à l'étudiant qu'au technicien disposant déjà d'une certaine expérience de bénéficier d'un enseignement écrit, fruit de l'expérience de frigoristes confirmés.

Tel est précisément le cas de cet ouvrage, puisque M. Noack a occupé pendant 25 ans le poste de chef du département « Montage » de la société Linde tout en étant le représentant allemand à la Commission « Enseignement professionnel » du Cecomaf, tandis que M. Seidel, après avoir été chef du département « Réception et maintenance des installations », toujours dans la même société, est à présent responsable général du « Service après-vente ».

C'est donc un savoir-faire concret qu'ils nous exposent dans ce livre, en quelque sorte la quintessence de toute une vie professionnelle de frigoriste passée « sur le tas ». Non seulement M. Seidel a totalement remanié et complété le texte de la 1^{re} édition, mais il nous fait bénéficier de sa propre expérience, traitant de nombreux points sous un angle différent ce qui, les éclairant d'un jour nouveau, permet une meilleure compréhension, le plus souvent parachevée par un exemple d'application.

Mais l'intérêt de l'ouvrage provient également de ce qu'il invite tout naturellement le lecteur à la réflexion : lorsque l'auteur cite un cas de surchauffe de têtes de cylindres due à... une eau du bac de rétention de la tour de refroidissement trop épaisse, le lecteur est amené à considérer l'installation non plus élément par élément, mais dans son ensemble et donc à rechercher parfois l'origine d'une panne tout à l'autre bout de l'installation.

A l'heure où la protection de l'environnement et l'avenir de notre planète sont plus que jamais à l'ordre du jour, il nous est apparu indispensable de compléter le texte de l'édition allemande en exposant d'une part les principales décisions du Protocole de Montréal et de la Conférence de Londres et en reproduisant de l'autre le « Code de bonne conduite des installations frigorifiques » élaboré par les spécialistes de l'industrie européenne du matériel frigorifique groupés au sein du Cecomaf en liaison avec les experts de la Commission de Bruxelles pour l'Environnement.

Gageons que cette nouvelle édition sera aussi bien accueillie que la précédente (tirée à plus de 9 000 exemplaires) par les étudiants, installateurs, hommes de chantier et d'atelier, etc., et même par les frigoristes confirmés (« le savant n'est-il pas celui dont l'ignorance comporte quelques lacunes » pour reprendre la plaisante formule de Louis Leprince-Ringuet) et qu'elle leur permettra d'avoir en permanence à portée de main un outil de travail particulièrement précieux.

Avec cette réalisation, PYC Édition affirme une nouvelle fois sa vocation de promoteur d'ouvrages pratiques et indispensables pour tous les professionnels du Froid.

Octobre 1991

Jean-Louis Cauchepin

SOMMAIRE

Avant-Propos	5
Terminologie Cecomaf	12

1. Eléments de physique

1.1	Température	22
1.1.1	Appréciation de la sensation de chaleur	22
1.1.2	Echelles de température	22
1.1.3	Zéro absolu et Système International d'unités S.I.	23
1.1.4	Mesure de la température	23
1.1.4.1	Thermomètres à dilatation d'un liquide	23
1.1.4.2	Thermomètres à dilatation d'un liquide et ressort	24
1.1.4.3	Thermomètres à bilame	25
1.1.4.4	Thermocouples	25
1.1.4.5	Thermomètres à résistance électrique	26
1.1.5	Précautions à prendre dans la mesure des températures	27
1.1.6	Thermographe	28
1.2	Force et pression	29
1.2.1	Unités du Système International	29
1.2.2	Mesure des pressions	29
1.2.2.1	Manomètres à liquide	29
1.2.2.2	Manomètres à ressort	30
1.2.2.3	Manomètres électriques	30
1.3	Phénomènes de dilatation	31
1.3.1	Dilatation des solides	31
1.3.2	Dilatation des liquides	32
1.3.3	Dilatation des gaz	33
	Loi de Gay-Lussac	33
	Loi de Boyle-Mariotte	34
	Loi de Charles	35
	Equation caractéristique des gaz parfaits	35
1.4	Etats de la matière	36
1.4.1	Enthalpie	37
1.4.2	Point de fusion	37
1.4.3	Enthalpie massique de fusion	38
1.4.4	Point d'ébullition	39
1.4.5	Chaleur latente de vaporisation	39
1.4.6	Comportement des vapeurs	40
1.5	Travail, énergie, chaleur	41
1.5.1	Premier principe de la thermodynamique	41
1.5.2	Second principe de la thermodynamique	42
1.5.3	Différents modes de transmission de la chaleur	43
	Transmission de la chaleur par rayonnement	43
	Transmission de la chaleur par convection	43
	Transmission de la chaleur par conduction	43

1.6	Installations de conditionnement d'air et air ambiant	44
1.6.1	Rôle d'une installation de conditionnement d'air	44
1.6.2	Pression atmosphérique, baromètres	44
1.6.3	Humidité de l'air	47
1.6.3.1	Loi de Dalton	47
1.6.3.2	Humidité maximale, absolue et relative de l'air	48
1.6.3.3	Mesure de l'humidité de l'air	48
1.6.3.4	Point de rosée de l'air	50
1.7	Changements d'état de l'air humide	51
1.7.1	Capacité thermique massique de l'air	51
1.7.2	Diagramme de l'air humide type Mollier	52
1.7.2.1	Réchauffage	54
1.7.2.2	Refroidissement	55
1.7.2.3	Mélange	57
1.7.2.4	Diagramme de l'air humide et psychromètre	60
1.7.2.5	Considérations particulières sur les installations de conditionnement d'air	61
1.7.2.6	Echangeurs de chaleur	62
1.8	Fluides frigorigènes	63
1.8.1	Relation entre pression et température d'un fluide frigorigène	65
1.8.2	Enthalpie des fluides frigorigènes	66
1.8.3	Fluides frigorigènes actuellement en usage	68
1.8.4	Manipulation des hydrocarbures fluorés et chlorés partiellement et entièrement substitués (H-CFC et CFC)	69
1.8.5	Hydrocarbures fluorés et chlorés entièrement substitués (CFC) et protection de l'environnement	70
1.8.5.1	Point de vue scientifique	70
1.8.5.2	Dispositions réglementaires	73
	Protocole de Montréal	73
	Conférence de Londres	73
	Fabrication des substances réglementées	73
	Substances de transition	74
	Restrictions commerciales concernant les substances réglementées	74
	Aide aux pays en développement	74
1.8.5.3	Code de bonne conduite du Cecomaf et de la Commission de Bruxelles pour l'environnement	74
1.8.6	Ammoniac	74
1.9	Cycle frigorifique	76
1.9.1	Exemple de cycle frigorifique utilisant du R 22	78
1.9.1.1	Puissance absorbée par le compresseur	79
1.9.2	Diagramme enthalpie/pression de Mollier	80
1.9.3	Rapport de détente ou taux de compression	85
1.9.4	Diagramme de Clapeyron ou diagramme p, v	87
1.9.5	Températures nominales	89

2. Composants des installations frigorifiques

2.1	Compresseurs	92
2.1.1	Compresseurs alternatifs à piston	92
2.1.2	Compresseurs à vis	96
2.1.3	Compresseurs centrifuges	99

2.1.4	Garniture d'étanchéité	102
2.1.5	Conseils pratiques	104
2.1.6	Huile et compresseur frigorifique	105
2.1.7	Vidange de l'huile	108
2.2	Condenseurs	109
2.2.1	Condenseurs à refroidissement à air	110
2.2.1.1	Régulation de la pression de condensation	111
2.2.2	Condenseurs à refroidissement à eau	113
2.2.3	Tours de refroidissement	116
2.2.3.1	Différents types	117
2.2.3.2	Eléments constitutifs d'une tour de refroidissement	117
2.2.3.3	Théorie du refroidissement	118
2.2.3.4	Débit d'eau d'appoint et précautions particulières	118
2.2.3.5	Traitement de l'eau d'appoint des tours de refroidissement	121
	Corrosions	122
	Dépôts	123
	Action microbiologique	123
2.2.3.6	Panache de vapeur, bruit et entretien des tours de refroidissement	123
2.3	Régulateurs de débit de fluide frigorigène	124
2.3.1	Détendeurs capillaires	125
2.3.1.1	Utilisation d'un détendeur capillaire dans le cas particulier des climatiseurs de fenêtre	126
2.3.1.2	Etat des vapeurs de fluide frigorigène dans la tuyauterie d'aspiration des motocompresseurs hermétiques	127
2.3.2	Détendeurs thermostatiques	127
2.3.2.1	Principe de fonctionnement d'un détendeur thermostatique	127
2.3.2.2	Egalisation interne ou externe de pression des détendeurs thermostatiques	129
2.3.2.3	Charge des bulbes des détendeurs thermostatiques	131
2.3.2.4	Détendeurs thermostatiques à pression d'ouverture limitée	131
2.3.2.5	Distributeurs de liquide pour injection multiple	133
2.3.2.6	Mise en place d'un détendeur thermostatique	134
2.3.2.7	Réglage des détendeurs thermostatiques	136
2.3.2.8	Exemple d'installation équipée d'un détendeur thermostatique à pression d'ouverture limitée	140
2.3.3	Détendeurs électroniques	141
2.3.4	Régulateurs de débit de fluide frigorigène pour évaporateurs noyés	142
2.3.4.1	Régulateurs de niveau	142
2.3.4.2	Détendeurs à flotteur	143
2.4	Evaporateurs	145
2.4.1	Evaporateurs refroidisseurs d'air	146
2.4.1.1	Evolution technologique des évaporateurs à ailettes refroidisseurs d'air	146
2.4.1.2	Fonctionnement d'une batterie de refroidissement d'air	147
2.4.1.3	Dégivrage des évaporateurs par chauffage électrique	149
2.4.1.4	Dégivrage des évaporateurs par les gaz chauds	152
2.4.2	Evaporateurs refroidisseurs de liquides	155

3. Réseau de tuyauteries d'une installation frigorifique

3.1	Tuyauterie de refoulement	161
3.2	Tuyauterie de condensats	162
3.3	Tuyauterie de liquide	164
3.4	Tuyauterie d'injection	165
3.5	Tuyauterie d'aspiration	165

4. Mise en service d'une installation frigorifique et contrôle de son bon fonctionnement

4.1	Mise en service d'une installation frigorifique	170
4.1.1	Contrôle de l'étanchéité du circuit frigorifique	170
4.1.2	Tirage au vide du circuit frigorifique	172
4.1.2.1	Pourquoi tirer une installation frigorifique au vide ?	172
4.1.2.2	Méthodes de tirage au vide	175
4.1.2.3	Tirage au vide et déshydratation des petites installations frigorifiques équipées de motocompresseurs	180
4.1.2.4	Durée du tirage au vide	180
4.1.3	Chargement en fluide frigorigène	181
4.1.3.1	Chargement initial d'une installation frigorifique neuve	181
4.1.3.2	Chargement d'appoint d'une installation frigorifique	184
4.2	Contrôle du bon fonctionnement d'une installation frigorifique	186
4.2.1	Contrôle de l'absence de fuites	186
4.2.2	Contrôle de l'absence d'humidité	188
4.2.2.1	Humidité et chlorofluorocarbones	188
4.2.2.2	Voyants indicateurs hygrométriques	190
4.2.2.3	Filtres déshydrateurs	191
4.2.3	Contrôle du retour correct de l'huile	193
4.2.3.1	Caractéristiques d'une huile frigorifique	193
4.2.3.2	Influence du fluide frigorigène sur les qualités de l'huile	196
4.2.3.3	Circulation de l'huile	202
4.2.3.4	Cuivrage d'une installation frigorifique	205
4.2.4	Contrôle de l'absence d'air	206
4.2.4.1	Conséquences de la pénétration d'air dans un circuit frigorifique	206
4.2.4.2	Comment détecter la présence d'air dans un circuit frigorifique	207
4.2.4.3	Désaérateurs	208
4.2.4.4	Exemple de dégazage d'une installation frigorifique avec ou sans désaérateur	209

5. Installations frigorifiques à groupe de compression préfabriqué

5.1	Définition et domaine d'emploi	212
5.2	Description du circuit frigorifique	212
5.3	Régulation des installations à groupe de compression préfabriqué	216
5.3.1	Régulation des compresseurs	216
5.3.2	Régulation des chambres froides	217
5.3.3	Régulation des condenseurs	218

6. Pompes à chaleur

6.1	Définition, principe de fonctionnement	222
6.2	Coefficient de performance et coefficient d'effet calorifique	223
6.3	Différents types de pompes à chaleur	225
6.4	Perspectives de développement	227
6.5	Prescriptions de sécurité, maintenance	228

7. Interventions sur les installations frigorifiques

7.1	Outillage du monteur frigoriste (manomètres, manifolds, thermomètres, pompes à vide, manovacuumètres, groupes de transfert de fluide frigorigène, anémomètres, hygromètres, multimètres, dudgeonnières, coupe-tubes, cintreuses)	232
7.2	Stockage et transvasement des fluides frigorigènes	239
7.2.1	Stockage temporaire de la charge dans une partie d'une installation frigorifique	239
7.2.2	Transvasement d'un fluide frigorigène d'un emballage dans un autre (transvasement par gravité, au moyen d'un compresseur frigorifique, au moyen d'une pompe, comment vider au maximum un emballage)	240
7.3	Maintenance et entretien des installations frigorifiques	245
7.4	Code de bonne conduite des installations frigorifiques	246
Index		257