

AVANT-PROPOS

Le candidat à un emploi de bureau d'études dans le domaine des machines frigorifiques doit avoir une sérieuse formation théorique et pratique.

Une formation de base en thermodynamique, mécanique des fluides, électricité, automatisme et informatique est nécessaire. À celle-ci, il est souvent préférable d'ajouter une formation pratique acquise sur les chantiers.

L'objet de cet ouvrage est d'apporter une aide à tous ceux qui envisagent de postuler à un emploi de concepteur d'installations frigorifiques. Après avoir rappelé les notions de thermodynamique et de mécanique des fluides nécessaires à la compréhension du fonctionnement des machines frigorifiques, il développe l'étude du fonctionnement des types d'installations les plus utilisées aujourd'hui.

Pour compléter cette partie théorique, des projets concrets sont présentés s'appuyant sur les principaux progiciels mis à disposition gratuitement par les fabricants de matériel frigorifique.

Ce livre est l'aboutissement de plus de 25 années passées à enseigner la conception des installations frigorifiques à des étudiants de B.T.S. Il n'a pas la prétention d'être exhaustif mais de montrer la difficulté de concevoir ainsi que les moyens informatiques qui peuvent permettre de travailler plus rapidement dans une relative sécurité.

En conclusion, concevoir une installation frigorifique reste très compliqué même si l'outil informatique apporte de nouvelles solutions. Il ne faut toutefois jamais oublier que la machine n'est rien sans l'intelligence humaine qui lui fournit les données.

TABLE DES MATIÈRES

Avant-propos	3
Table des matières	4
Chapitre I – La machine frigorifique	10
2. Quantité de chaleur	10
3. La vaporisation	11
a. Les changements d'états	12
b. Application à la machine frigorifique	13
4. La condensation	14
5. Constitution de la machine	14
6. Les fluides frigorigènes	15
a. Petit historique	15
b. Numérotation des fluides frigorigènes	16
c. Caractéristiques principales	16
d. Choix d'un fluide frigorigène	17
e. La F-Gas 2014	18
7. Le cycle frigorifique	19
a. Le diagramme $h, \log(p)$	19
b. Représentation d'un cycle	20
8. Test des connaissances acquises	23
Chapitre II – Les quatre appareils principaux	25
1. Le condenseur	25
a. Évolution du fluide	25
b. Représentation graphique	26
c. Le $\Delta\theta_c$ au condenseur	26
d. Le sous-refroidissement	27
2. L'évaporateur	27
a. Évolution du fluide	28
b. Représentation graphique	28
c. Le $\Delta\theta_e$ à l'évaporateur	29
d. La surchauffe	29
3. Le détendeur	30
a. Définitions	30
b. Le détendeur thermostatique à égalisation interne de pression	31
c. Le détendeur thermostatique à égalisation externe de pression	32
d. La charge du train thermostatique	34
e. Les détendeurs électroniques	35
4. Les compresseurs	36
a. Caractéristiques des gaz	36
b. Compression des gaz	37
c. Les différents carters	38
d. Quatre technologies	39
5. Test des connaissances acquises	42

Chapitre III - Étude thermodynamique d'une installation simple	44
1. Rappels de thermodynamique	44
a. Définitions	44
b. Premier principe	44
c. Second principe	45
2. Étude d'une machine frigorifique	46
a. Représentation simplifiée	46
b. Tracé du cycle fonctionnel	47
c. Bilan énergétique d'un cycle frigorifique	51
3. Exemple I	53
a. Extrait du cahier des charges	53
b. Détermination du régime de fonctionnement	53
c. Hypothèses	54
d. Schéma simplifié et tracé du cycle	56
e. Estimation des caractéristiques du compresseur	59
f. Estimation de la puissance Φ_k rejetée au condenseur	61
4. Étude d'une machine réelle	61
a. Influence des pertes de charges	61
b. Tracé du cycle fonctionnel	63
5. Exemple II	64
a. Extrait du cahier des charges	64
b. Détermination du régime de fonctionnement	65
c. Hypothèses	65
d. Schéma simplifié et tracé du cycle	66
e. Estimation des caractéristiques du compresseur	68
f. Estimation de la puissance rejetée au condenseur	69
6. Avec un échangeur liquide-vapeur	70
7. Exemple III	71
a. Extrait du cahier des charges	71
b. Détermination du régime de fonctionnement	72
c. Hypothèses	72
d. Schéma simplifié et tracé du cycle	72
e. Estimation des caractéristiques du compresseur	74
Chapitre IV - Le bilan frigorifique	76
1. Éléments constitutifs	76
2. Détermination de Q_D	77
a. Refroidissement de denrées	77
b. La congélation des denrées	78
c. La respiration des denrées	79
d. L'emballage des denrées	79
3. Détermination de Q_P	80
a. Transmission de la chaleur	80
b. Calcul de Q_{pv}	83
c. Calcul de Q_{pi}	83

d. Calcul de Q_s	84
4. Détermination de Q_I	84
a. Calcul de Q_{p_e}	84
b. Calcul de Q_e	85
c. Calcul de Q_m	85
d. Calcul de Q_v	85
5. Détermination de Q_R	87
a. Calcul de Q_{v_s}	87
b. Calcul de Q_n	87
6. Détermination de la puissance frigorifique	89
7. Calcul par abaques ou tableaux	90
8. Exemple	92
a. Extrait du cahier des charges	92
b. Calculs	92
Chapitre V – Projet n°1	96
1. Cahier des charges	96
2. Régime et puissance frigorifique	97
3. Étude thermodynamique	97
4. Sélection du groupe de condensation	100
5. Sélection de l'évaporateur	102
6. Point de fonctionnement	103
7. Schéma fluidique complet	104
8. Diamètre des tuyauteries	105
9. Sélection du détendeur thermostatique	106
10. La régulation	108
a. Types de régulation	108
b. Le régulateur	112
c. L'électrovanne de la ligne liquide	114
d. Le pressostat BP de régulation	117
11. La sécurité	118
a. La bouteille anti-coup de liquide	118
b. Le filtre d'aspiration	120
c. Le filtre déshydrateur	121
d. Le voyant indicateur d'humidité	123
e. Le pressostat HP de sécurité	124
Chapitre VI - Les centrales frigorifiques	126
1. Étude thermodynamique	126
a. Représentation simplifiée	126
b. La vanne de régulation de pression d'évaporation	127
c. Tracé du cycle fonctionnel	128
2. Exemple	132
a. Extrait du cahier des charges	132
b. Hypothèses	132
c. Schéma simplifié et tracé du cycle	133

d. Estimation des caractéristiques du compresseur	137
e. Estimation de la puissance rejetée au condenseur	137
3. Compresseurs en parallèle	138
a. L'huile et les fluides frigorigènes	138
b. Système de séparation et de redistribution	139
c. Disposition des tuyauteries	141
d. Les collecteurs	142
Chapitre VII – Projet n°2	143
1. Cahier des charges	143
2. Conditions de fonctionnement	144
a. Pressions	144
b. Puissances	144
3. Étude thermodynamique	144
a. Hypothèses	144
b. Étude	146
4. Sélection des compresseurs	150
5. Sélection du condenseur à air	151
6. Diamètres des tuyauteries	153
7. Systèmes de récupération d'huile	161
8. Les filtres et le voyant	163
a. Estimation de la quantité de fluide	163
b. Sélections	165
9. Schéma complet	168
10. Pression de condensation	169
a. Nécessité de la régulation	169
b. Régulation du débit d'air	169
c. Régulation par variation de la surface d'échange	169
d. La régulation de pression flottante	170
e. Sélection de la vanne de pression de condensation	171
11. Pression de démarrage	172
a. Nécessité de la régulation	172
b. Sélection de la vanne de régulation de pression d'aspiration	174
12. Régulation de puissance	176
13. Matériel de la chambre froide	177
Chapitre VIII - Récupération de chaleur	184
1. Principe	184
2. Récupération dans le condenseur	184
3. Le désurchauffeur	189
4. L'eau chaude sanitaire	190
5. Solutions pour le projet n°2	192
6. Sélections	196
Chapitre IX – La recirculation	199
1. Principe	199

2. L'ammoniac	200
a. Effets et risques	200
b. Les réglementations	201
c. Salle des machines	203
3. Mécanique des fluides	203
a. Statique des fluides	204
b. Écoulement des fluides parfaits	205
c. Écoulement permanent des fluides réels	207
d. Les pertes de charges	207
4. Recirculation naturelle	211
a. Représentation simplifiée	211
b. Tracé du cycle fonctionnel	211
c. Détermination de la pression au point 8	214
d. Bilan énergétique	214
5. Exemple I	215
a. Extrait du cahier des charges	215
b. Schéma simplifié	215
c. Hypothèses	215
d. Tracé du cycle	216
e. Estimation des caractéristiques du compresseur	219
f. Estimation de la puissance rejetée au condenseur	220
6. Les pompes	220
a. Définitions	220
b. Les pompes centrifuges	221
c. La cavitation	224
7. Recirculation par pompe	225
a. Représentation simplifiée	225
b. Tracé du cycle fonctionnel	225
c. Détermination des pressions en 8 et 9	228
d. Bilan énergétique	229
8. Exemple II	229
a. Extrait du cahier des charges	229
b. Schéma simplifié	230
c. Hypothèses	230
d. Tracé du cycle	231
e. Estimation des caractéristiques du compresseur	233
f. Estimation de la puissance rejetée au condenseur	234
Chapitre X - Projet n°3	235
1. Cahier des charges	235
2. Conditions de fonctionnement	235
a. Le condenseur évaporatif	235
b. Température d'évaporation	236
3. Étude thermodynamique	237
4. Sélection du compresseur	239

5. Sélection des évaporateurs	241
6. Sélection du condenseur	243
7. Sélection des diamètres de tuyauterie	244
8. Sélection de la pompe	244
a. Calcul de la perte de charge du réseau évaporatoire	244
b. N.P.S.H.	244
c. Sélection	245
9. Régulation du niveau du liquide	246
a. Régulation du niveau du liquide haute pression	247
b. Régulation du niveau du liquide basse pression	248
10. Régulation de la pompe	250
11. Système de récupération d'huile	252
12. Élimination de l'eau	254
13. Le dégivrage	256
a. Les raisons	256
b. Les procédés de dégivrage	257
15. Schéma de l'installation	261
Chapitre XI - Installations au CO₂	267
1. Le CO ₂	267
a. Provenance	267
b. Utilisation	268
c. Caractéristiques	268
d. Réglementations et sécurité	270
2. En frigoporteur	271
3. En cascade	272
4. Exemple I	274
a. Extrait du cahier des charges	274
b. Régime de fonctionnement et puissances nécessaires	274
c. Étude de la centrale au CO ₂	275
d. Étude de la centrale au R 134a	278
5. En transcritique	284
6. La régulation	286
a. Régulation du refroidisseur de gaz	286
b. Régulation de la récupération de chaleur	287
c. Régulation du séparateur de liquide	287
7. Exemple II	288
a. Extrait du cahier des charges	288
b. Hypothèses	288
c. Tracé du cycle	288
d. Estimation des caractéristiques des compresseurs	292
e. Puissance du refroidisseur de gaz	294
Symboles	295
Caractéristiques et diagrammes des fluides	299
Index	310