

SOMMAIRE

Introduction et Avertissement aux lecteurs 3 et 4

Première partie : CYCLE FRIGORIFIQUE ET RÉGIME DE FONCTIONNEMENT DES INSTALLATIONS FRIGORIFIQUES

Chapitre 1 - PRODUCTION DE FROID 11

1. Principe de production du froid
2. Production du froid élémentaire
3. Machine frigorifique de base
4. Analyse fonctionnelle simplifiée des différents composants
5. Analyse énergétique de la machine de base
6. Températures et pressions caractéristiques

Chapitre 2 - LES FLUIDES FRIGORIGÈNES 21

1. Généralités

2. Propriétés thermodynamiques

- Température d'ébullition
- Température critique
- Taux de compression
- Exposant de compression adiabatique γ
- Production frigorifique volumique
- Volume massique de la vapeur aspirée
- Changements d'état et courbes de saturation

3. Propriétés chimiques

4. Propriétés vis-à-vis de l'environnement

- Action sur l'environnement
- Action sur la couche d'ozone
- Impact sur l'effet de serre
- Critères économiques

5. Désignation des fluides frigorigènes

- Les différents types de fluides frigorigènes
- Fluides frigorigènes halogénés : CFC - HCFC - HFC
- Ammoniac - NH_3
- Classification selon groupe de sécurité

6. Confinement des fluides frigorigènes

- La réduction des émissions
- Aspects techniques du confinement du fluide dans les installations

7. Synthèse de la réglementation sur les fluides frigorigènes

8. Compléments : équations thermodynamiques des fluides

- Pression de bulle - Pression de rosée
- Masse volumique du liquide saturé
- L'équation d'état
- Volume massique de la vapeur
- Enthalpie de la vapeur
- Entropie
- Enthalpie en phase liquide

Chapitre 3 - DIAGRAMME ENTHALPIQUE 39

1. Représentation des caractéristiques thermodynamiques

2. Diagramme enthalpique

- Diagramme enthalpique - Isotherme
- Diagramme enthalpique - Mélange azéotrope
- Diagramme enthalpique - Isentropie
- Diagramme enthalpique - Isochore
- Exploitation du diagramme enthalpique - Exercices d'application

3. Logiciels graphiques

- Exploitation des logiciels - Exercices d'application

**Chapitre 4 - REPRÉSENTATION GRAPHIQUE
DU CYCLE FRIGORIFIQUE..... 59**

1. Evolutions du fluide : cycle frigorifique
2. Tracé du cycle d'un circuit frigorifique simple
3. Bilan énergétique du circuit frigorifique
 - Bilan du détendeur
 - Bilan de l'évaporateur
 - Bilan du compresseur
 - Bilan du condenseur
 - Bilan du fluide
 - Exercices d'application

**Chapitre 5 - RÉGIME DE FONCTIONNEMENT
DES INSTALLATIONS FRIGORIFIQUES 69**

1. Applications techniques du froid
2. Régime de fonctionnement d'une installation
 - Définition du régime de fonctionnement
 - Température d'évaporation - Exercice d'application
 - Température de condensation
 - Simulation de dysfonctionnements sur cellule frigorifique (R134a)
3. Puissance frigorifique
 - Débit volume balayé q_{vth}
 - Le rendement volumétrique est spécifique à chaque type de compresseur
 - Le volume massique
 - Influence de différents paramètres sur la puissance frigorifique
4. Echangeur de chaleur liquide-vapeur - Exercices d'application
5. Pertes de charge du circuit frigorifique
 - Pertes de charge linéaires
 - Pertes de charge singulières
 - Coefficient de vanne k_v, k_{vS}
 - Influence des pertes de charge sur le circuit frigorifique
 - Représentation d'une perte de charge en écart de température
6. Influence d'une dénivellation sur le régime HP - Exercice d'application
7. Calcul de la puissance frigorifique fournie par l'installation - Exercice d'application
8. Calcul de la cylindrée ou du débit volume balayé d'un compresseur - Exercice d'application
9. Logiciels de calcul de la puissance frigorifique

**Chapitre 6 - EXEMPLE D'UNE INSTALLATION FRIGORIFIQUE
MONO-ÉTAGÉE À PLUSIEURS POSTES DE FROID 113**

1. Généralités
2. Obtention de différentes températures d'évaporation
3. Représentation graphique du circuit et calcul des débits
4. Installation frigorifique à 2 postes de froid
5. Nécessité de réduction de puissance des compresseurs - Exercices d'application

**Deuxième partie :
TECHNOLOGIE ET SÉLECTION DES ÉQUIPEMENTS**

Chapitre 1 - ÉTUDE ET SÉLECTION DES COMPRESSEURS 125

1. Généralités - Compression du fluide frigorigène
2. Les compresseurs à pistons
 - Description
 - Pistons
 - Les bielles
 - Les dispositifs d'obturation
 - Le carter
 - Compresseurs à pistons : formulaire de calcul
 - Typologie des compresseurs à pistons
3. Les compresseurs rotatifs
 - Compresseur rotatif à excentrique DAIKIN
 - Compresseurs rotatifs à spirales, dits "scroll"
4. Les compresseurs à vis
 - Description

- Vue d'un compresseur semi-hermétique à vis en coupe
- Compression et rapport volumétrique interne V_i
- Régulation de puissance et démarrage à vide
- Lubrification des compresseurs à vis
- Fonctionnement avec économiseur

5. Sélection d'un compresseur

- Analyse comparative : compresseurs semi-hermétiques / compresseurs à vis
- Etude comparative du coefficient de performance des compresseurs installés dans des applications basses températures
- Tableau comparatif de différents compresseurs
- Sélection des compresseurs à partir de tables constructeur
- Sélection des compresseurs à partir de quelques logiciels fournis par les constructeurs
- Vocabulaire généralement utilisé par les constructeurs de compresseur (d'après doc. COPELAND)

6. Protection des motocompresseurs des installations négatives contre les surcharges

7. Centrales frigorifiques - Montage des compresseurs en parallèle

Chapitre 2 - ÉTUDE ET SÉLECTION DES CONDENSEURS 191

1. Généralités

2. Condenseurs refroidis par air

3. Condenseurs refroidis par eau

4. Refroidissement des condenseurs à eau

- Circuit à eau perdue
- Circuit à eau recyclée refroidi par un aéroréfrigérant (dry cooler)
- Circuit à eau recyclée refroidi par une tour de refroidissement
- Définitions et formulaire

5. Condenseurs évaporatifs

6. Récupération de chaleur sur un condenseur

- Récupération partielle
- Récupération totale

7. Régulation de la température de condensation

8. Sélection d'un condenseur

- Sélection des condenseurs FRIGA-BOHN
- Sélection des condenseurs SEARLE
- Sélection des condenseurs GEA - KUBA CAV/H

Chapitre 3 - ÉTUDE ET SÉLECTION DES ÉVAPORATEURS 211

1. Généralités

2. Évaporateurs refroidisseurs d'air

- Ecart pratique des évaporateurs refroidisseurs d'air
- Dégivrage des évaporateurs

3. Évaporateurs refroidisseurs de liquide

4. Comparaison des coefficients de transmission thermique globale entre les différents types d'évaporateurs

5. Sélection d'un évaporateur refroidisseur d'air

- Sélection pratique d'un évaporateur
- Sélection d'un évaporateur SHC LU-VE Contardo à partir de tables fournies par le constructeur
- Logiciels de sélection des évaporateur
- Détermination des conditions standard de fonctionnement des évaporateurs

6. Contrôle de la température d'évaporation

- Installation à un poste de froid
- Installation à plusieurs postes de froid à température unique (climatisation)
- Installation à plusieurs postes de froid à températures différentes (type supermarché)

Chapitre 4 - ÉTUDE ET SÉLECTION DU DÉTENDEUR 235

1. Détendeur capillaire

2. Le détendeur thermostatique

- Présentation
- Description
- Principe de régulation
- Composition détendeur thermostatique SPORLAN
- Comportement du détendeur thermostatique à l'arrêt et au démarrage d'une installation

3. Sélection d'un détendeur

- Sélection d'un détendeur DANFOSS
- Adaptation à une pression de condensation flottante (θ_k variant de 20 à 50 °C)

Troisième partie : BILAN FRIGORIFIQUE & SÉLECTION DES ÉQUIPEMENTS

Chapitre 1 - BILAN THERMIQUE D'UNE CHAMBRE FROIDE 251

1. Objectifs et contraintes

2. Conservation des denrées - Réglementation

3. Utilisation - Environnement

4. Construction - Critères économiques

- Dimensionnement d'une chambre froide
- Isolation des parois
- Epaisseurs économiques

5. Calcul du bilan thermique sur 24 heures

- Refroidissement des denrées
- Transmission à travers une paroi composée plane
- Apports par renouvellement d'air
- Apports internes de chaleur
- Taux de brassage
- Apports totaux

6. Exemple de bilan

- Refroidissement des denrées (application des formules du paragraphe 5.1)
- Apports par les parois
- Apports par renouvellement d'air
- Dégagements internes
- Calcul de la puissance à installer

Chapitre 2 - SÉLECTION DE L'ÉQUIPEMENT FRIGORIFIQUE 263

1. Sélection de l'évaporateur

2. Sélection du détendeur

3. Sélection du compresseur

4. Sélection des canalisations frigorifiques

- Installations sans réduction de puissance sur les compresseurs
- Installations équipées de réduction de puissance sur les compresseurs
- Application numérique
- Dimensions des tuyauteries frigorifiques

5. Équipements annexes

- Réservoir de liquide
- Le filtre déshydrateur
- Electrovanne liquide
- Voyant liquide
- Bouteille anti-coups de liquide
- Eliminateur de vibrations
- Echangeur liquide-vapeur
- Le séparateur d'huile

Quatrième partie : SOLUTION DES EXERCICES PROPOSÉS DANS L'OUVRAGE

..... 283

Cinquième partie : TABLES THERMODYNAMIQUES

Tables de vapeur surchauffée et de liquide saturé du R22 302

Tables de vapeur surchauffée et de liquide saturé du 134 a 303

Tables de vapeur surchauffée et de liquide saturé du 404 A 304

Tables comparatives des pressions des fluides utilisés en climatisation 305

Tables comparatives des pressions des fluides utilisés en réfrigération 306

Masse volumique des fluides frigorigènes à l'état liquide 307