

CFmnLog

TECHNIQUE GENERALE

TECHNIQUE DU FROID
COURS DE BASE

Edition : juillet07

YSH04054

Sommaire

1 GENERALITES

1.1 Introduction

1.2 Modes de production du froid et applications

1.3 Eléments de physiques

1.3.1 Température

1.3.2 Chaleur

1.3.3 Puissance

1.3.4 Pression

1.3.5 Changement d'état

2 LES FLUIDES FRIGORIGENES

2.1 GENERALITES

2.2 CLASSIFICATION

2.2.1 Les composés inorganiques

2.2.2 Les composés organiques

2.2.2.1 Les corps purs

2.2.2.2 Les mélanges

2.2.2.3 Les hydrocarbures

2.3 IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX

2.3.1 Destruction de la couche d'ozone

2.3.2 Réchauffement de la planète

2.3.3 Caractérisation des impacts environnementaux

2.3.4 Récupération des fluides frigorigènes

2.3.4.1 Frigorigène récupéré

2.3.4.2 Récupération

2.3.4.3 Recyclage

2.3.4.4 Régénération

2.3.5 Les contaminants des fluides frigorigènes

2.3.6 Choix d'un fluide frigorigène

2.4 Les huiles frigorigènes

3 ORGANES PRINCIPAUX D'UNE MACHINE FRIGORIFIQUE

3.1 GENERALITES

3.2 LES COMPRESSEURS

3.2.1 Technologie des compresseurs

3.2.2 Les compresseurs volumétriques

3.2.3 Les compresseurs centrifuges

3.2.4 Association Moteur Compresseur

3.2.4.1 Les compresseurs hermétiques

- 3.2.4.2 Les compresseurs ouverts
 - 3.2.4.3 Les compresseurs semi hermétiques ou semi ouverts
 - 3.2.5 Comparaison des principales caractéristiques des compresseurs
 - 3.3 COMPRESSEUR A PISTONS HERMETIQUE
 - 3.3.1 Principe de fonctionnement
 - 3.3.2 Dispositifs de transfert d'énergie
 - 3.3.2.1 Arbre excentrique et arbre vilebrequin
 - 3.3.2.2 Les bielles
 - 3.3.2.3 La garniture d'étanchéité
 - 3.3.2.4 Le carter
 - 3.3.2.5 Les dispositifs de lubrification
 - 3.3.2.6 Le piston
 - 3.3.2.7 Les soupapes ou clapets
 - 3.3.2.8 Dispositifs de variation de puissance
- 3.4 LES CONDENSEURS
 - 3.4.1 Technologie des condenseurs
 - 3.4.2 Les condenseurs à air
 - 3.4.2.1 Les condenseurs à air à convection naturelle
 - 3.4.2.2 Les condenseurs à air à convection forcée
 - 3.4.2.2.1 Condenseurs à air à convection forcée verticaux
 - 3.4.2.2.2 Condenseurs à air à convection forcée horizontaux
 - 3.4.3 Les condenseurs à eau
 - 3.4.3.1 Les condenseurs à double tube
 - 3.4.3.2 Les condenseurs bouteilles
 - 3.4.3.3 Les condenseurs multitubulaires
 - 3.4.3.4 Les condenseurs à plaques brasées
 - 3.4.3.5 Notion de groupe de condensation
 - 3.4.4 Sous refroidissement des condenseurs
 - 3.4.5 Systèmes de refroidissement des condenseurs à eau
 - 3.4.5.1 Les Aérorefroidisseurs
 - 3.4.5.2 Les Tours de refroidissement
 - 3.4.5.2.1 Les tours de refroidissement à circuit ouvert
 - 3.4.5.2.2 Les tours de refroidissement à circuit fermé
 - 3.4.5.2.3 La notion d'approche des tours de refroidissement
 - 3.4.5.3 Les condensateurs évaporatifs
 - 3.4.6 Echanges thermiques dans les condenseurs
- 3.5 LES DETENDEURS
 - 3.5.1 Technologie des détendeurs
 - 3.5.2 Les tubes capillaires
 - 3.5.3 Les détendeurs thermostatiques
 - 3.5.3.1 Les détendeurs thermostatiques à égalisation de pression interne
 - 3.5.3.2 Les détendeurs thermostatiques à égalisation de pression externe
 - 3.5.3.3 Les détendeurs MOP
 - 3.5.4 Les détendeurs électroniques
- 3.6 LES EVAPORATEURS
 - 3.6.1 Technologie des évaporateurs
 - 3.6.2 Evaporateurs à détente sèche
 - 3.6.3 Evaporateurs noyés
 - 3.6.4 Les évaporateurs à eau
 - 3.6.4.1 Les évaporateurs double tube
 - 3.6.4.2 Les évaporateurs du type serpentin

- 3.6.4.3 Les évaporateurs multitubulaires
 - 3.6.4.3.1 Les évaporateurs multitubulaires noyés
 - 3.6.4.3.2 Les évaporateurs multitubulaires à détente sèche
- 3.6.4.4 Les évaporateurs du type échangeur à plaques
- 3.6.5 Les évaporateurs à air
 - 3.6.5.1 Les évaporateurs à convection naturelle
 - 3.6.5.2 Les évaporateurs à convection forcée
- 3.6.6 Surchauffe des évaporateurs
- 3.6.7 Echanges thermiques dans les évaporateurs
- 3.6.8 Dégivrage des évaporateurs
 - 3.6.8.1 Dégivrage par circulation d'air ambiant
 - 3.6.8.2 Dégivrage à l'eau
 - 3.6.8.3 Dégivrage à la saumure
 - 3.6.8.4 Dégivrage par résistances électriques
 - 3.6.8.5 Dégivrage par gaz chauds

4 ORGANES ANNEXES D'UNE MACHINE FRIGORIFIQUE

- 4.1 LE RESERVOIR DE LIQUIDE
- 4.2 LA BOUTEILLE ANTI-COUPS DE LIQUIDE
- 4.3 LE SEPARATEUR D'HUILE
- 4.4 L'ECHANGEUR DE CHALEUR LIQUIDE VAPEUR
- 4.5 LES POMPES
- 4.6 LES VENTILATEURS
- 4.7 LE FILTRE DESHYDRATEUR
- 4.8 LES VOYANTS
- 4.9 ELIMINATEUR DE VIBRATIONS
- 4.10 ELECTROVANNE
- 4.11 ORGANES DIVERS
 - 4.11.1 Le désurchauffeur
 - 4.11.2 Le silencieux de refoulement
 - 4.11.3 Les purgeurs d'incondensables
- 4.12 REGULATEUR d' EVAPORATION
- 4.13 REGULATEUR de CAPACITE
- 4.14 REGULATEUR de PRESSION DE CONDENSATION
- 4.15 REGULATEUR de DEMARRAGE
- 4.16 RDK
- 4.17 REGULATION PROTECTION MINIMUM

5 ORGANES DE COMMANDE ET DE SECURITE

- 5.1 LES ORGANES DE ROBINETTERIE
 - 5.1.1 Les robinets manuels d'isolement
 - 5.1.2 Les robinets 3 voies
 - 5.1.3 Le clapet de non retour
 - 5.1.4 Les robinets manuels de réglage
 - 5.1.5 Les robinets manuels de purge d'huile
 - 5.1.6 Le robinet 4 voies d'inversion de cycle
- 5.2 LES THERMOSTATS
- 5.3 LES PRESSOSTATS
- 5.4 AUTRES DISPOSITIFS

- 5.4.1 Contrôleur de débit
- 5.4.2 Soupapes de sûreté
- 5.4.3 Protections électriques

6 REGULATIONS TYPES DES INSTALLATIONS FRIGORIFIQUES

- 6.1 SCHEMA TYPE D'UNE INSTALLATION FRIGORIFIQUE
- 6.2 REGULATION PAR ACTION DIRECTE
- 6.3 REGULATION PAR TIRAGE AU VIDE AUTOMATIQUE

7 CALCUL DES MACHINES A COMPRESSION DE VAPEUR

- 7.1 REGIME DE FONCTIONNEMENT
- 7.2 LE CYCLE FRIGORIFIQUE
 - 7.2.1 Le cycle frigorifique de référence
 - 7.2.2 Le cycle théorique
 - 7.2.3 Le cycle parfait
 - 7.2.4 Le cycle réel

8 ENTREPOSAGE FRIGORIFIQUE

- 8.1 GENERALITES
 - 8.1.1 Processus d'altérations des aliments
 - 8.1.2 Agents responsables de l'altération des aliments
 - 8.1.2.1 Les enzymes
 - 8.1.2.2 Les microorganismes
 - 8.1.3 Chaîne du froid
 - 8.1.4 Réfrigération
 - 8.1.5 Congélation
 - 8.1.6 Surgélation
 - 8.1.7 Atmosphères contrôlées
 - 8.1.8 Opérations préliminaires et complémentaires
 - 8.1.8.1 Le refroidissement initial ou prérefrigération
 - 8.1.8.2 La maturation complémentaire
 - 8.1.8.3 Autres techniques
 - 8.1.9 Incompatibilités d'entreposage
 - 8.1.9.1 Incompatibilités thermiques
 - 8.1.9.2 Incompatibilités dues aux odeurs et à l'éthylène
 - 8.1.10 Vitesse de congélation et décongélation
- 8.2 CONCEPTION DES ENTREPOTS FRIGORIFIQUES
 - 8.2.1 Classification des entrepôts frigorifiques
 - 8.2.2 Cahier des charges techniques d'un entrepôt frigorifique
- 8.3 DISPOSITIONS CONSTRUCTIVES DES ENTREPOTS FRIGORIFIQUES
 - 8.3.1 Génie civil
 - 8.3.1.1 Plancher
 - 8.3.1.2 Sol
 - 8.3.1.3 Murs
 - 8.3.1.4 Toiture
 - 8.3.1.5 Plafond
 - 8.3.2 Isolation
 - 8.3.2.1 Isolation traditionnelle

- 8.3.2.2 Panneaux préfabriqués
- 8.3.2.3 Isolation du sol
- 8.3.3 Portes isothermes
- 8.3.4 Eclairage des chambres froides
- 8.3.5 Variation de pressions dans les chambres froides
- 8.3.6 Migration d'humidité
- 8.3.7 Détermination des dimensions intérieures des chambres froides
- 8.4 BILAN FRIGORIFIQUE D'UNE CHAMBRE FROIDE
- 8.4.1 Généralités
- 8.4.2 Charges thermiques externes
 - 8.4.2.1 Charge thermique par transmission à travers les parois Q_{tr}
 - 8.4.2.2 Charge thermique due au renouvellement d'air Q_{re}
 - 8.4.2.3 Charge thermique par ouverture des portes Q_{op}
- 8.4.3 Charges thermiques internes
 - 8.4.3.1 Charges thermiques internes indépendantes des produits entreposés
 - 8.4.3.1.1 Charge thermique due à l'éclairage
 - 8.4.3.1.2 Charge thermique due aux personnes
 - 8.4.3.1.3 Charge thermique due au matériel roulant
 - 8.4.3.1.4 Charge thermique due à des machines diverses
 - 8.4.3.2 Charges thermiques internes dépendantes des denrées entreposées
 - 8.4.3.2.1 Charge thermique due aux denrées entrantes Q_{de}
 - 8.4.3.2.2 Charge thermique due à la respiration des denrées Q_{res}
 - 8.4.3.2.3 Charge thermique due à la fermentation des denrées Q_{ferm}
- 8.4.4 Puissances frigorifiques de l'évaporateur
- 8.4.5 Charge thermique due aux moteurs des ventilateurs des évaporateurs
- 8.4.6 Charge thermiques due aux résistances de dégivrage
- 8.4.7 Puissance frigorifique effective de l'évaporateur
- 8.5 CHOIX DES EQUIPEMENTS DE L'INSTALLATION FRIGORIFIQUE
- 8.5.1 Choix de l'évaporateur
- 8.5.2 Choix du compresseur ou du groupe de condensation
- 8.5.3 Choix du condenseur
- 8.5.4 Choix du détendeur thermostatique
- 8.5.5 Choix de l'électrovanne

9 OPERATIONS DE MISES EN SERVICE

- 9.1 MATERIEL DE MISE EN SERVICE
- 9.2 RECHERCHE DE FUITES
- 9.3 TIRAGE AU VIDE
- 9.4 CASSAGE DU VIDE
- 9.5 CHARGE EN FLUIDE FRIGORIGENE D'UNE INSTALLATION
- 9.6 COMPLEMENT DE CHARGE EN FLUIDE FRIGORIGENE
- 9.7 VERIFICATION DU BON FONCTIONNEMENT
- 9.8 CUIVRE et BRASAGE
- 9.9 SOUTIRAGE ET COMPLEMENT D'HUILE
- 9.10 RECUPERATION DE FLUIDE FRIGORIGENE
- 9.11 DEGIVRAGE

10 PANNES CLASSIQUES

10 PANNES CLASSIQUES

10.1 PANNES FRIGORIFIQUES

10.1.1 Panne du détendeur trop petit

10.1.2 Panne du manque de charge

10.1.3 Panne de la pré-détente

10.1.4 Panne de l'évaporateur trop petit

10.1.5 Panne du compresseur trop petit

10.1.6 Panne de l'excès de charge

10.1.7 Panne des incondensables

10.1.8 Panne du condenseur trop petit

10.1.9 Synthèse des pannes frigorifiques

10.2 PANNES ELECTRIQUES

10.2.1 Moteurs monophasés

10.2.2 Les condensateurs

10.2.3 Moteurs électriques triphasés

10.2.3.1 Enroulements des moteurs triphasés

10.2.3.2 Démarrage des moteurs électriques triphasés

10.2.3.2.1 Les moteurs à démarrage Part Winding

10.2.3.2.2 Démarrage des moteurs à 2 vitesses

11 CLIMATISATION

11.1 GENERALITES

11.2 LES DIFFERENTS SYSTEMES DE CLIMATISATION

11.2.1 Les systèmes à détente directe

11.2.1.1 Les climatiseurs de fenêtre

11.2.1.2 Les splits system

11.2.1.3 Les armoires de climatisation

11.2.1.4 Les monoblocs

11.2.2 La climatisation centrale à eau glacée

11.2.2.1 Les groupes frigorifiques

11.2.2.2 La distribution de l'eau glacée

11.2.2.3 Les ventilo-convecteurs

11.2.2.4 Les centrales de traitement d'air

11.2.3 La diffusion de l'air

11.2.3.1 Diffusion directe par l'unité intérieure

11.2.3.2 Diffusion par réseau aéraulique

11.2.3.3 Les éléments terminaux de diffusion

12 LE FROID DOMESTIQUE ET DE CAMPING

1.1 INTRODUCTION

Le froid trouve de nombreuses applications dans des domaines très variées (industries agro-alimentaires, médecine, confort thermique, pétrochimie...) et c'est dans le domaine alimentaire que le froid occupe une place prépondérante car il permet de limiter les gaspillages (pertes après récolte...) et de prolonger la durée de conservation des produits ce qui permet un élargissement des échanges.

On a pu estimer que dans certaines régions du monde, 50% des denrées alimentaires disponibles se perdent entre la période qui s'écoule entre le moment de la production et celui de la consommation. Ainsi, dans le domaine alimentaire, l'objectif du froid est de maintenir la qualité originale des produits en limitant (ou en supprimant) les altérations liées au développement des microorganismes, altérations très rapides dans les pays chauds à cause des conditions climatiques (température, humidité relative) qui sont favorables à la prolifération des bactéries, levures et moisissures.

Pour les produits fabriqués par l'industrie agroalimentaire (lait, fromage...), le froid permet d'améliorer leur qualité en favorisant la maîtrise des conditions de fabrication par une optimisation des paramètres climatiques influençant le comportement des microorganismes.

Le froid permet aussi l'augmentation du volume de production agricole par la modification du cycle végétatif des plantes améliorant ainsi leur rendement (printanisation des céréales...).

En production animale, le froid permet la conservation longue durée du sperme destiné à l'insémination artificielle ou encore la conservation des sérums et des vaccins destinés à enrayer les épidémies frappant les animaux.

L'avancée technologique de nos jours qui autorise un contrôle plus précis de la température et de l'humidité permet d'améliorer la production du froid.

L'utilisation des atmosphères artificielles permet d'augmenter la durée de conservation de certains fruits et légumes, de même l'utilisation d'adjuvants permet de renforcer l'action du froid mais leur utilisation doit être conforme à la législation nationale relative à la protection des aliments.

Dans les pays chauds et humides, une température de l'ordre de +10°C permet une bonne conservation du poisson fumé, du lait concentré ou en poudre, des conserves de viandes...ce qui montre une bonne complémentarité entre le froid et les autres techniques de conservations (séchage...).

Il faut retenir que l'alimentation d'une population mondiale sans cesse croissante exige que des efforts réalisés pour accroître les productions alimentaires soient accompagnés d'initiatives destinées à réduire sinon à éliminer les pertes qui autrement resteraient considérables à toutes les étapes de la distribution et de la transformation des aliments.

Dans le contexte des pays africains en voie de développement, ces initiatives de conservation des aliments doivent couvrir un vaste champ de techniques (abaissement de l'activité de l'eau, traitements thermiques à haute température, traitement thermique à basse température, abaissement du pH, utilisation d'additifs alimentaires, préparation stockage condition des aliments, séparation ou fractionnement).

Les traitements thermiques à basse température (le froid) seront étudiés dans le cadre de ce cours.

1.2 MODES DE PRODUCTION DU FROID ET APPLICATIONS

La production du froid qui consiste à absorber la chaleur contenue dans un milieu peut être obtenue suivant plusieurs modes. De même, les applications du froid sont très variées.

Parmi les différentes modes de production du froid, il faut retenir :

- la sublimation d'un solide (cas du CO_2)
- la détente d'un gaz comprimé
- la fusion d'un corps solide
- le refroidissement thermoélectrique
- la dissolution de certains sels
- la désaimantation adiabatique
- la vaporisation d'un liquide en circuit fermé

La sublimation d'un solide consiste à le faire passer de l'état solide à l'état vapeur par absorption de chaleur, le cas le plus courant est celui du CO_2 qui à la pression atmosphérique a une température de sublimation de -78.9°C .

La détente d'un gaz comprimé repose sur le principe de l'abaissement de la température d'un fluide lors de sa détente (avec ou sans travail extérieur). Cependant, cet abaissement est plus important lors de la détente sans travail extérieur (détente Joule -Thomson : étranglement à travers une vanne) mais il ne faut pas perdre de vue que le refroidissement du gaz détendu aura lieu seulement dans le cas où sa température avant la détente serait inférieure à la température d'inversion de l'effet Joule - Thomson.

La fusion d'un corps solide se fait à température constante par absorption de la chaleur latente de fusion du corps considéré, ce procédé discontinu bien que simple présente l'inconvénient de nécessiter une congélation préalable à moins que cet état ne soit disponible à l'état naturel.

Le refroidissement thermoélectrique (effet Peltier) est utilisé pour produire de très petites quantités de froid. Il consiste à faire passer un courant continu dans un thermocouple constitué de conducteurs de natures différentes reliés alternativement par des ponts de cuivre.

La dissolution d'un sel dans l'eau provoque un abaissement de la température de la solution. Ce n'est pas un phénomène très utilisé dans l'industrie frigorifique à cause de la nécessité de vaporisation ultérieure de l'eau (récupération du sel). Par exemple, le mélange de neige (4 parties) et de potasse (3 parties) fait baisser la température de la solution de 0°C à 40°C .

La désaimantation adiabatique consiste en une réorganisation du cortège électronique d'un corps, ce qui permet l'obtention de très basses températures (10^{-2} à 10^{-6} K).

La vaporisation d'un liquide permet de produire du froid par l'absorption de la chaleur à travers un échangeur (évaporateur), la vapeur produite étant ultérieurement liquéfiée dans un

autre échangeur (condenseur), le fluide décrit ainsi un cycle au sein d'une machine fonctionnant de manière continue.

Les machines utilisant ce principe peuvent être regroupées en deux grandes familles que sont les machines à compression mécanique et les machines à absorption.

La vaporisation d'un liquide en circuit fermé reste la méthode la plus utilisée pour la production du froid.

La production de froid pour les besoins domestiques, commerciaux et industriels nécessitent l'utilisation d'un dispositif capable d'extraire de la chaleur dans le milieu à refroidir pour la rejeter dans un milieu dit extérieur, ce dispositif qui obéit nécessairement au second principe de la thermodynamique est appelé « machine frigorifique ».

La conception, la réalisation et l'exploitation et/ou le suivi d'une telle machine nécessitent de bonnes connaissances en thermodynamique, en mécanique des fluides, en transfert thermique et en électrotechnique.

Ces connaissances théoriques devront être complétées par une bonne familiarisation à la technologie des composants ainsi qu'à l'élaboration et à la lecture de schémas électriques ou de régulation.

Dans le cadre de ce cours, il sera étudié les machines utilisant la vaporisation d'un fluide en circuit fermé.

Le froid peut être produit directement ou indirectement.

On parle de refroidissement direct lorsque la substance à refroidir (par exemple l'air) est en contact avec le fluide circulant en circuit fermé dans la machine (par l'intermédiaire de l'échangeur).

Le refroidissement est dit indirect lorsqu'on utilise un fluide intermédiaire (par exemple l'eau) entre la substance à refroidir (l'air) et le fluide circulant en circuit fermé dans la machine. Le fluide intermédiaire est appelé fluide frigoporteur.

Le tableau ci-dessous fait un point des différentes applications du froid.

Tableau 1.0 : Principales applications du froid.

REFRIGERATION CLASSIQUE	GAMME DE TEMPERATURES (°C)	APPLICATIONS
Conditionnement d'air	+16 à +26	Confort humain
Réfrigération des denrées	0 à +10	Conservation des aliments à court/moyen terme
Congélations des denrées	-35 à 0	Conservation des aliments à long terme
Lyophilisation	-80 à -30	Dessiccation à basse température
Traitements divers	-200 à 0	Applications chimiques Essais thermiques des matériaux
CRYOGENIE	GAMME DE TEMPERATURES (°K)	APPLICATIONS
Liquéfaction du gaz naturel	93 à 113	Transport en phase liquide (méthanier)
Liquéfaction de l'air	70 à 80	Distillation
Liquéfaction de l'hydrogène	14 à 30	Recherche nucléaire
Liquéfaction de l'hélium	1 à 5	Supraconductivité
Méthodes magnétiques	10^{-3} à 10^{-2}	Recherche fondamentale

La cryogénie est la branche du froid qui s'occupe de la production des très basses températures.

1.3 ELEMENTS DE PHYSIQUE

1.3.1 La température

Le chaud et le froid sont appréciés par des sensations d'où une évaluation irrationnelle de ces grandeurs.

Aussi, il a été défini la température qui permet une objectivité des mesures. La température caractérise le niveau auquel la chaleur se trouve dans un corps permettant ainsi de dire qu'un corps est plus ou moins chaud qu'un autre.

Les températures dans le S.I. sont exprimées en °C (degrés Celsius) mais dans la littérature, on rencontre les degrés Fahrenheit (°F) et les degrés Kelvin (°K)

Conversion entre les différentes unités de températures

$$^{\circ}\text{C} = \frac{5}{9} \times (^{\circ}\text{F} - 32)$$

$$^{\circ}\text{F} = \frac{9}{5} ^{\circ}\text{C} + 32$$

$$^{\circ}\text{K} = ^{\circ}\text{C} + 273$$

1.3.2 La chaleur

La chaleur est une forme d'énergie (énergie de mouvement des molécules) qui va d'un point chaud (température plus élevée) vers un point froid (température moins élevée).

C'est la sensation perçue par nos organes de sens lorsque nous sommes placés devant un corps incandescent par exemple.

L'unité légale est le Joule (J) mais la kCal (kiloCalorie) est également utilisée.

Une kCal est la quantité de chaleur qu'il faut fournir à un kG d'eau pour augmenter sa température de 1°C.

Conversion d'unités :

$$1 \text{ kCal} = 4,185 \text{ kJ} = -1 \text{ Fg (frigorie)}$$

$$1 \text{ thermie (Th)} = 1000 \text{ kCal} = 4,185 \text{ kJ}$$

$$1 \text{ BTU} = 1,053 \text{ kJ (BTU : British Thermal Unit)}$$

1.3.3 La puissance

La puissance est le rapport de l'énergie fournie ou absorbée sur l'unité de temps.

L'unité légale est le Watt (W).

Conversion d'unités :

$$1 \text{ kW} = 860 \text{ kCal/h}$$

$$1 \text{ kCal/h} = -1 \text{ Fg/h} = 1,163 \text{ W}$$

$$1 \text{ cv (cheval)} = 736 \text{ W}$$

1.3.4 La pression

L'unité légale de la pression est le Pascal (Pa) qui est égal à la pression uniforme exercée par une force de 1 N (Newton) sur une surface de 1 m².

L'unité de pression couramment utilisée par les frigoristes est le Bar et il faut distinguer :

Les appareils de mesure des pressions (appelés manomètres) sur les systèmes frigorifiques qui sont gradués généralement en pression relative (par rapport à la pression atmosphérique)

les appareils de mesures du vide (appelés vacuomètres) sur les systèmes frigorifiques qui sont gradués en pression absolue (par rapport au vide absolu).

Conversion d'unités

1 Bar = 10^5 Pa = 1.02 kG/m² = 0.986 atm = 750 mmHg

1 Bar = 14.54 PSI = 10.2 mCE (mètre de colonnes d'eau)

PSI : Pound per Square Inch (Livre par Pouce carré)

1.3.5 Le changement d'état

La maîtrise des deux états de la matière que sont la phase liquide et la phase vapeur est primordiale en froid.

Le changement d'état se définit comme la phase de transformation d'une phase vers une autre phase.

La figure 1.1 donne les différents changements d'état possibles de la matière.

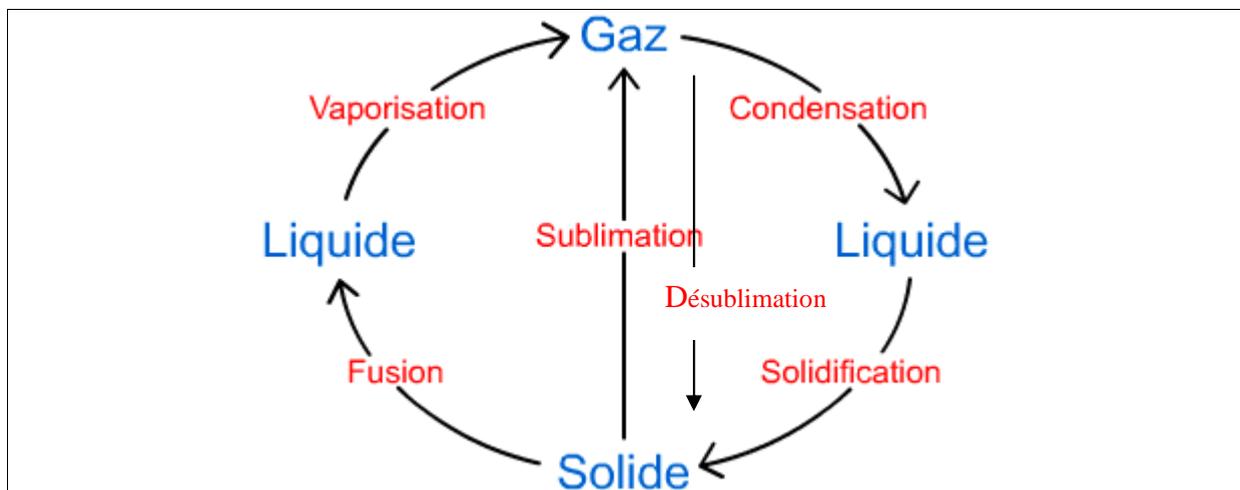


Figure 1.0 – Changements d'états de la matière.

A titre d'exemple, il sera rappelé les changements d'état pour l'eau (cf. figure 1.1) :

Ces changements sont les suivants :

le passage de l'état solide (glace) à l'état liquide, appelé la fusion

le passage de l'état liquide à l'état solide (glace), appelé la congélation (ou solidification)

le passage de l'état liquide à l'état liquide à l'état vapeur, appelé la vaporisation (ou l'ébullition ou encore l'évaporation)

le passage de l'état vapeur à l'état liquide, appelé la liquéfaction (ou condensation)

Ainsi sont définis les termes suivants :

la chaleur latente de congélation ou chaleur latente de fusion suivant qu'on passe de la phase liquide vers la phase solide ou vice versa ; pour l'eau cette chaleur latente est de 334.8 kJ/kg (80 kCal/kg) à la pression atmosphérique, la température de congélation étant de 0°C à cette pression

la chaleur latente de vaporisation ou de condensation suivant qu'on passe de la phase liquide à la phase vapeur ou vice versa ; pour l'eau cette chaleur latente est de 2254.7 kJ/kg (539 kCal/kg) à la pression atmosphérique, la température d'évaporation étant de 100°C à cette pression

Comme autres changements d'état, il faut citer :

la sublimation (passage de l'état solide à l'état vapeur)

la désublimation (passage de l'état vapeur à l'état solide)

En rappel, il existe pour tout corps pur, une relation pression température si et seulement si la vapeur est contact avec le liquide qui lui a donné naissance.

A chaque corps correspond une courbe de changement d'état représenté dans le diagramme thermodynamique pression (Log P) – enthalpie (h) appelé diagramme enthalpique ou diagramme de Mollier des frigoristes.

Ce diagramme est utilisé pour l'étude des cycles de réfrigération.

Les autres diagrammes thermodynamiques ne sont pratiquement pas utilisés par les frigoristes.

Le diagramme Température (T) – entropie (s) est utilisé à des fins pédagogiques ou lorsqu'on veut concevoir un procédé (applications aux machines thermiques).

Le diagramme enthalpie (h) – entropie (s) aussi appelé diagramme de Mollier des motoristes est utilisé pour l'étude des cycles moteurs à vapeur.

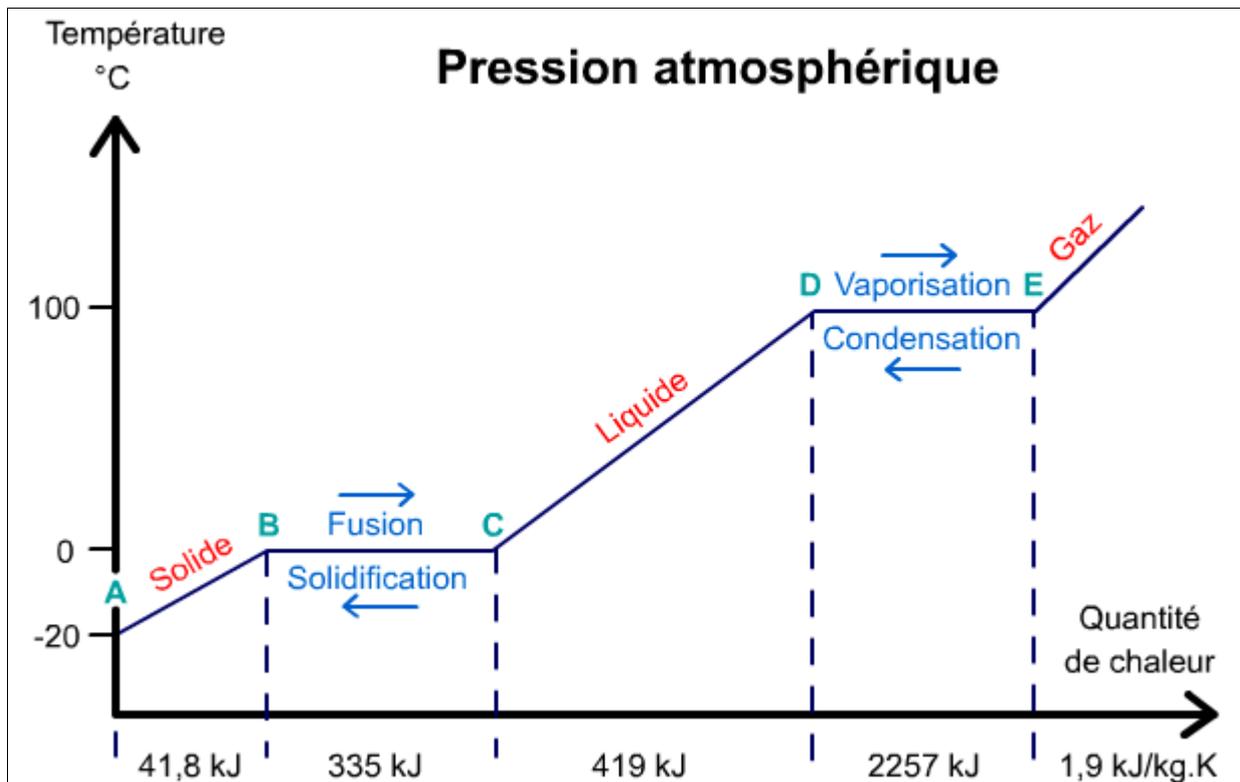


Figure 1.1 – Changement d'état de l'eau.

De A à B :

La température de la glace augmente régulièrement pour atteindre 0°C. La chaleur apportée et nécessaire à cette étape est de 41,8 kJ. C'est de la chaleur sensible (la température augmente).

En B :

On a un bloc de glace de 1kg à 0°C.

De B à C :

A 0°C, la 1ère goutte de liquide apparaît et la glace commence à fondre. Pendant toute la fonte de la glace, le mélange liquide/solide aura une température rigoureusement égale à 0°C. La chaleur apportée est de 335 kJ, c'est de la chaleur latente (la température reste constante).

En C :

On a 1kg d'eau entièrement liquide à 0°C.

De C à D :

La température de l'eau s'élève progressivement jusqu'à atteindre 100°C. Pour réaliser cette augmentation de température, nous devons apporter 419 kJ. C'est de la chaleur sensible.

En D :

On a 1kg d'eau entièrement liquide à 100°C, c'est du liquide saturé.

De D à E :

A 100°C, comme nous continuons à apporter de la chaleur, l'eau se met à bouillir et la première molécule de vapeur apparaît. C'est le début de l'évaporation. La température reste constante pendant tout le changement d'état. Quand la dernière goutte de liquide s'évapore, le changement d'état sera terminé, nous aurons apporté 2257 kJ de chaleur latente.

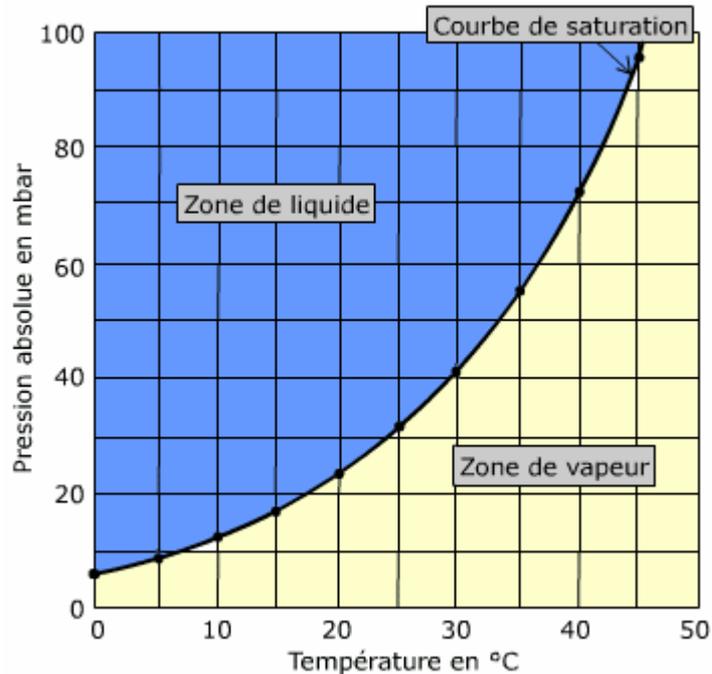
En E :

Nous avons 1kg de vapeur à 100°C, c'est de la vapeur saturée.

Après E :

Si on continue à chauffer la vapeur, la température continue d'augmenter nécessitant 1,9 kJ/kg.K.

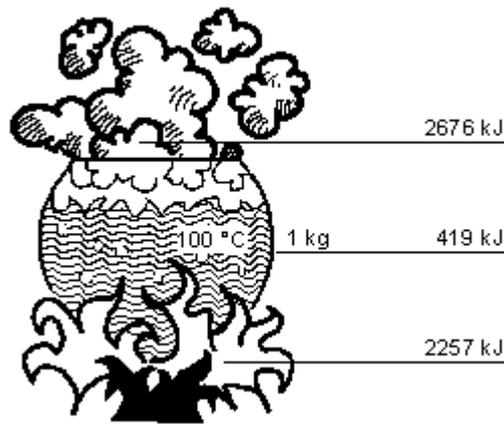
Evolution des températures de changements d'état en fonction de la pression :



Point d'ébullition de l'eau par rapport à la pression atmosphérique

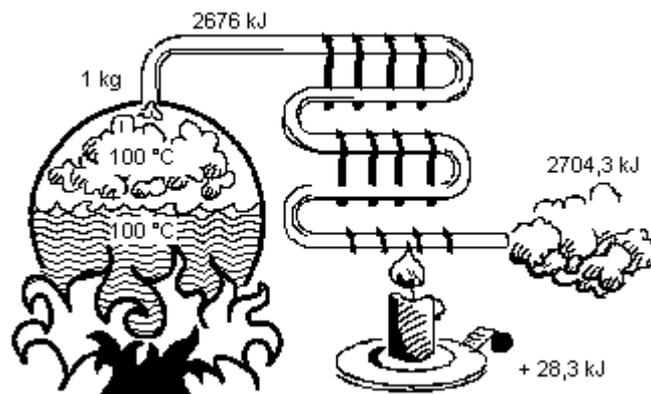
Plus la pression est élevée et plus la température du changement d'état augmente.
Exemple : à 1,5 bars l'eau bout à 110°C .Pour qu'il y est ébullition il faut la force interne du liquide > à la force externe.
Le rapport $P_r \ll T^\circ$ est correct seulement et seulement si ,il y a présence de liquide ET de gaz.

Notion d'enthalpie:



Nous avons vu qu'il fallait apporter 2257 kJ de chaleur à l'eau pour l'évaporer et donc la convertir en 1kg de vapeur à 100°C. Si nous ajoutons les 419 kJ nécessaires pour chauffer 1kg d'eau de 0 à 100°C, on obtient alors 2676 kJ, la teneur en chaleur ou en enthalpie d'1 kg de vapeur saturée à 100°C. (Le point 0 de l'échelle d'enthalpie est fixé à une température de matière de 0°C).

Notion de surchauffe :



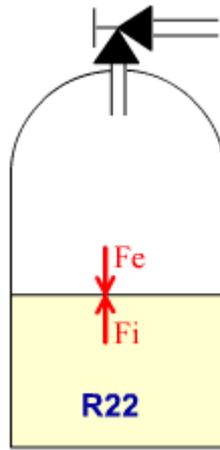
Si nous ajoutons de la chaleur à la vapeur saturée sèche à 100°C, il se produit une augmentation de température appelée surchauffe. La chaleur de surchauffe est de la chaleur sensible. Pour augmenter 1kg de vapeur sèche à 100°C de 15K, on doit fournir 28,3 kJ. L'enthalpie de cette vapeur d'eau à 115°C est de $2676+28,3=2704,3$ kJ.

Notion de sous-refroidissement :

De même si on extrait de la chaleur à de l'eau qui vient de se condenser, on la sous-refroidit. Ainsi sous pression atmosphérique, de l'eau à 80°C est sous-refroidit de 20°C. L'enthalpie de l'eau à 80°C est de :
 $h = 419 - 20 \times 419 / 100 = 335,2$ kJ/kg.

Relation pression-température

Analyse des forces mises en jeu dans une bouteille de fluide frigorigène :



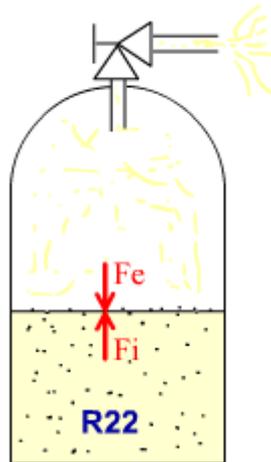
Dans une bouteille de R22, la surface du fluide frigorigène est soumise à l'action de deux forces :

F_e = force externe exercée par la vapeur de fluide frigorigène sur la surface du liquide.

F_i = force interne exercée par le liquide sur sa surface.

Naturellement, le fluide frigorigène établit un équilibre entre ses 2 forces. C'est à dire qu'il essaie de maintenir $F_e = F_i$.

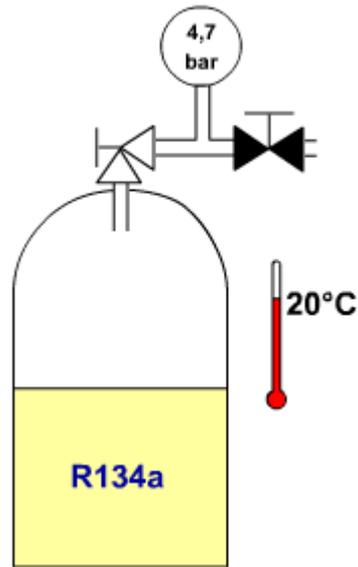
La bouteille étant fermée, la quantité de vapeurs contenue dans celle-ci engendre une force F_e qui compense celle interne au liquide... Rien ne se passe dans la bouteille.



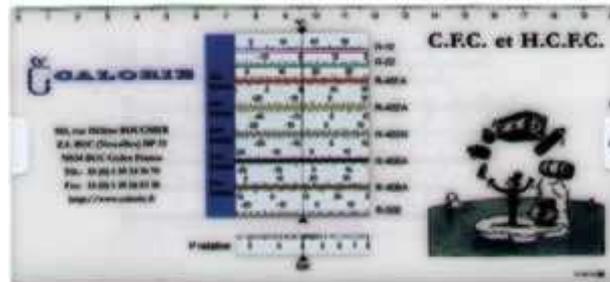
En ouvrant la vanne de la bouteille, des vapeurs s'échappent. La pression exercée par ces vapeurs sur la surface du liquide diminue. La force F_e qu'elles engendrent diminue aussi. Elle devient alors inférieure à F_i . Le fluide frigorigène se met à bouillir afin de fournir des vapeurs pour rétablir l'équilibre naturel. Malheureusement, comme les vapeurs s'échappent de la bouteille, l'ébullition du liquide ne permet pas de rétablir l'équilibre...

Ainsi, nous pouvons conclure que le fluide frigorigène bout si F_e devient inférieure à F_i .

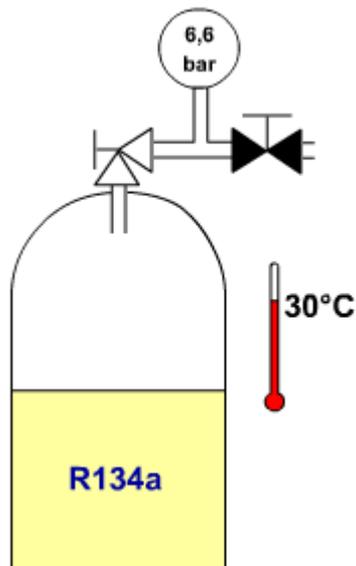
Relation pression-température :



Un mélange liquide-gaz de R134a à 20°C a une pression de 4,7 bars.
C'est la relation pression-température pour le mélange liquide-gaz de R134a.
Chaque fluide possède sa propre relation pression-température. Ainsi, un mélange liquide-gaz de R22 à 20°C aura une pression de 8,1bar qui est différente de celle du mélange liquide-gaz de R134a.
Connaissant la température d'un mélange liquide-gaz d'un fluide, on peut connaître sa pression et vis-versa.
C'est pourquoi sur les manomètres utilisés par les frigoristes, il y a une échelle de pression et des échelles de température pour des fluides donnés.
Il est aussi possible de faire la correspondance pression-température pour un mélange liquide-gaz à l'aide d'une réglette de conversion.

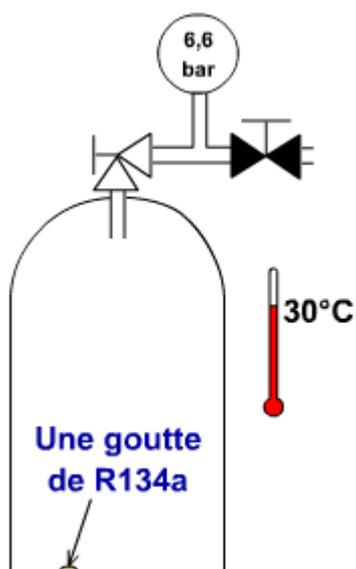


Réglette de conversion



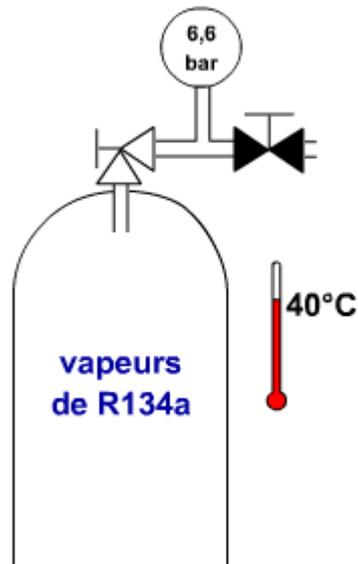
Si la température augmente de 10°C, l'agitation moléculaire va augmenter dans le liquide. La force interne F_i deviendra supérieure à la force externe F_e . Le fluide frigorigène va donc essayer de rétablir l'équilibre entre son liquide et sa vapeur. Pour cela, une faible quantité de liquide va s'évaporer pour fournir des vapeurs. Cette quantité de vapeurs supplémentaire permet à F_e de croître aussi, et dans la même proportion de F_i . Grâce à l'évaporation de la faible quantité de liquide, le fluide frigorigène a réussi à rétablir l'équilibre entre la force exercée par sa vapeur et celle exercée par son liquide. On retrouve alors $F_e = F_i$.

Comme on retrouve plus de vapeurs, la pression augmente... 6,6 bars, c'est la pression d'un mélange liquide-gaz de R134a à 30°C.



Il suffit d'une goutte de liquide pour que la relation pression-température soit applicable. Ici la condition est réalisée. Nous pouvons donc dire : 6,6 bars, c'est la pression d'un mélange liquide-gaz de R134a à 30°C.

Vapeurs surchauffées :



Si nous plaçons la bouteille précédente dans une ambiance à + 40°C. L'agitation moléculaire augmente dans la goutte de liquide qui s'évapore. Malheureusement, elle ne fournit plus suffisamment de vapeurs pour faire augmenter la pression. Celle-ci reste égale à 6,6 bars. La force exercée par la pression de vapeur F_e ne peut donc plus augmenter. L'élévation de la température ambiante à 40°C a fait évaporer tout le liquide. Il n'y a donc plus relation pression-température.

6,6 bars était la pression d'un mélange liquide-gaz de R134a à 30°C. Ici nous avons des vapeurs à 40°C.

Elles sont donc surchauffées de $40^\circ\text{C} - 30^\circ\text{C} = 10^\circ\text{C}$.

GENERALITES

Le fluide frigorigène permet les échanges de chaleur dans un système frigorifique par ses changements d'état que sont l'évaporation et la condensation.

Il peut se définir comme une substance chimique dont la température d'évaporation à la pression atmosphérique est inférieure à la température ambiante, autrement dit le fluide frigorigène doit être liquide à cette ambiance.

Par température ambiante, il faut comprendre l'ambiance ou le milieu à refroidir.

Le tableau 2.0 donne les températures d'évaporation (d'ébullition) de certains fluides frigorigènes à la pression atmosphérique.

**Tableau 2.0 : Températures d'ébullition
de quelques fluides à la pression atmosphérique.**

Fluide (réfrigérant)	Température d'ébullition (°C)
Eau – H ₂ O – R718	100
R11	23.3
R12	-29.8
R22	-40.7
R502	-45.6
Ammoniac - NH ₃ – R717	-33.3

Il est important pour un fluide frigorigène (réfrigérant) d'avoir une température d'évaporation peu élevée pour que le changement d'état (passage de la phase liquide à la phase vapeur) soit réalisable.

Le changement d'état s'effectue à température et pression constantes (stabilisation de l'effet de réfrigérant à une température donnée) et c'est durant cette phase que la quantité de chaleur absorbée (ou rejetée) est la plus importante.

Le tableau 2.1 donne les chaleurs sensibles et les chaleurs latentes d'évaporation de quelques fluides (liquides).

**Tableau 2.1 : Chaleurs sensibles et chaleurs latentes d'évaporation
de quelques fluides.**

Fluide (Liquide)	Chaleur sensible nécessaire pour chauffer le liquide de 1°C (kJ/kg°C)	Chaleur latente nécessaire pour évaporer le liquide à la pression atmosphérique (kJ/kg°C)
Eau	4.18	2250
R12	0.98	169
R22	1.40	231

Les valeurs du tableau ci-dessus permettent de conclure que la quantité de chaleur absorbée durant l'évaporation est équivalente au fait d'avoir élevé la température de :

538°C environ pour l'eau

170°C environ pour le R12 et le R22

C'est la raison pour laquelle l'évaporation et la condensation sont partout présentes dans la production du froid.

Le fluide frigorigène, étant un médium qui sert à évacuer de la chaleur, possède des caractéristiques propres (physiques, thermodynamiques et chimiques).

Il doit posséder les propriétés requises d'un bon fluide frigorigène que sont :

ne pas détruire la couche d'ozone

avoir un faible potentiel d'effet de serre

avoir une grande chaleur latente de vaporisation

avoir un point d'ébullition sous la pression atmosphérique suffisamment bas compte tenu des conditions de fonctionnement désirées (de sorte que la température d'évaporation soit toujours à un niveau plus élevé que la température correspondant à la pression atmosphérique)

avoir une température critique élevée (de sorte que la température de condensation dans les conditions d'utilisation soient bien inférieure à cette température critique)

avoir un faible rapport de compression, c'est à dire faible rapport entre les pressions de refoulement et d'aspiration

avoir un faible volume massique de la vapeur saturée rendant possible l'utilisation d'un compresseur et de tuyauteries de dimensions réduites

ne pas avoir d'action sur le lubrifiant (huile) employé conjointement

être non toxique et sans effet sur la santé du personnel

être non inflammable et non explosif en mélange avec l'air,

être non corrosif, pas d'action sur les métaux constituant le circuit, pas d'action sur les joints

sans odeur ou n'ayant qu'une odeur non désagréable

sans action sur les denrées à conserver

être d'un coût peu élevé et d'un approvisionnement facile

fuites faciles à détecter et à localiser par méthode visuelle

Il faut bien comprendre qu'aucun des fluides utilisés ne possède l'ensemble de ces qualités.

Le tableau 2.2 donne un exemple de caractérisation d'un fluide frigorigène.

Tableau 2.2 : Caractéristiques du fluide frigorigène R22.

	Exemple du R22
Nom du fluide	R22
Famille	HCFC (hydrochlorofluoroacarbone)
Formule chimique	CHF ₂ Cl
Couleur	Incolore
Odeur	Très légèrement éthérée
Température critique	96°C
Pression critique	49.8 bar
Température d'ébullition à la pression atmosphérique	-40.9°C
Solubilité de l'eau dans le produit	0.13% en masse
Potentiel d'appauvrissement de la couche d'ozone	0.05
Potentiel d'effet de serre global à 100 ans	1 700
Informations toxicologiques	Non nocif par inhalation Décomposition thermique à haute température en produits toxiques et corrosifs Gelures possibles par projection du gaz liquéfié
Précautions individuelles	Eviter le contact avec la peau (gants), les yeux (lunettes) Ne pas fumer
Manipulation et stockage	Eviter le contact avec les flammes Tenir à l'écart de la chaleur Stocker dans un endroit frais et ventilé
Informations réglementaires	Substance classée non dangereuse Fluide non inflammable et non toxique Groupe de sécurité A1 (A : faiblement toxique – 1 : pas de propagation de flamme à 18°C et 101300 Pa)
Détection de fuites	Lampe haloïde Mousse à savon Détecteur électronique adapté
Précautions nécessaires au montage et à la mise en service	Propreté poussée lors du montage Utiliser des raccords brasés Effectuer les brassages sous atmosphère neutre Effectuer un tirage au vide poussé : inférieur à 30 Pa Utiliser un lubrifiant minéral ou de synthèse
Domaines d'applications	Conditionnement d'air résidentiel, commercial et industriel Refroidisseur de liquide Installations à température négative

Courbe de saturation

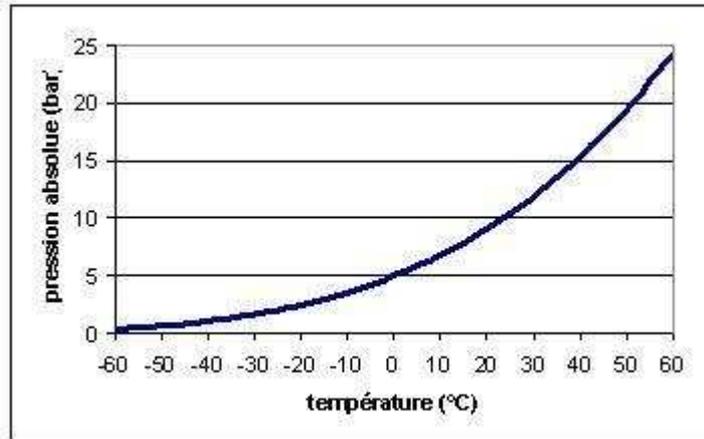


Table de saturation

Voir tableau 2.3

Diagramme enthalpique

Voir figure 2.0

Tableau 2.3 : Table de saturation du fluide frigorigène R22.

T(°C)	-60	-59	-58	-57	-56	-55	-54	-53	-52	-51
P (bar)	0.375	0.397	0.420	0.444	0.469	0.496	0.523	0.552	0.582	0.613
T(°C)	-50	-49	-48	-47	-46	-45	-44	-43	-42	-41
P (bar)	0.645	0.679	0.714	0.751	0.789	0.829	0.870	0.913	0.958	1.00
T(°C)	-40	-39	-38	-37	-36	-35	-34	-33	-32	-31
P (bar)	1.05	1.10	1.15	1.21	1.26	1.32	1.38	1.44	1.50	1.57
T(°C)	-30	-29	-28	-27	-26	-25	-24	-23	-22	-21
P (bar)	1.64	1.71	1.76	1.86	1.93	2.01	2.10	2.18	2.27	2.36
T(°C)	-20	-19	-18	-17	-16	-15	-14	-13	-12	-11
P (bar)	2.45	2.55	2.65	2.75	2.85	2.96	3.07	3.19	3.30	3.42
T(°C)	-10	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1
P (bar)	3.55	3.67	3.81	3.94	4.08	4.22	4.36	4.51	4.66	4.82
T(°C)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
P (bar)	4.98	5.14	5.31	5.48	5.66	5.84	6.03	6.22	6.41	6.61
T(°C)	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
P (bar)	6.81	7.02	7.23	7.45	7.67	7.89	8.12	8.36	8.60	8.85
T(°C)	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
P (bar)	9.10	9.36	9.62	9.89	10.2	10.4	10.7	11.0	11.3	11.6
T(°C)	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
P (bar)	11.9	12.2	12.6	12.9	13.2	13.5	13.9	14.2	14.6	15.0
T(°C)	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49
P (bar)	15.3	15.7	16.1	16.5	16.9	17.3	17.7	18.1	18.6	19.0
T(°C)	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59
P (bar)	19.4	19.9	20.3	20.8	21.3	21.8	22.2	22.7	23.2	23.8
T(°C)	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69
P (bar)	24.3	24.8	25.3	25.9	26.4	27	27.6	28.2	28.7	29.3

P (en pression absolue)

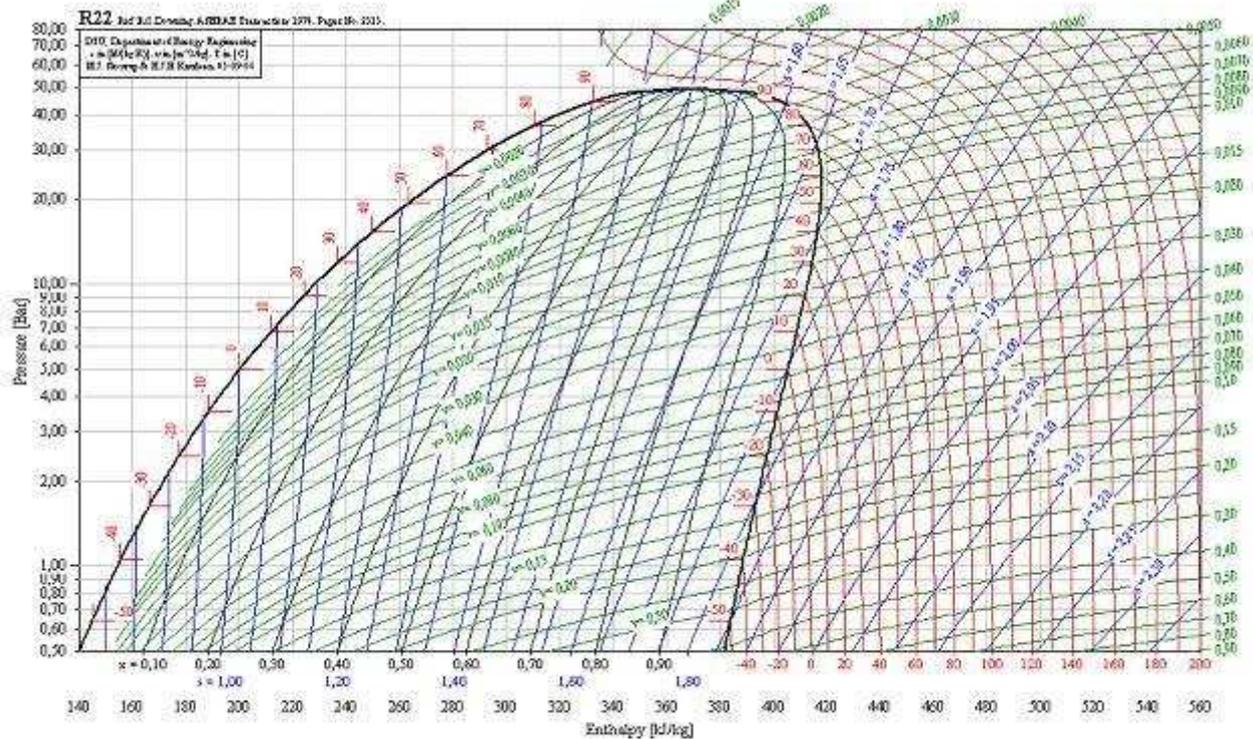


Figure 2.0 – Diagramme enthalpique du R22.

2.2 CLASSIFICATION

Les fluides frigorigènes obéissent à une classification qui permet une désignation précise de chaque fluide.

Cette classification est effectuée sur la base de critères différents suivant la famille ou la sous famille de fluides considérés.

Les fluides frigorigènes sont divisés en deux grandes familles qui sont :

- les composés inorganiques

- les composés organiques

2.2.1 Les composés inorganiques

Les fluides de cette famille sont ceux de la série 700.

Le fluide le plus utilisé de cette famille est l'ammoniac (NH_3) et il est désigné par R717

- R désigne Réfrigérant

- Le 7 des centaines désigne la série 700

- Le 17 représentant les deux derniers chiffres désigne la masse molaire du corps (14 pour l'azote « N » et 3 pour l'hydrogène « H »)

Autres exemples de composés inorganiques :

l'eau (H₂O) : R718

le dioxyde de carbone (CO₂) : R744

2.2.2 Les composés organiques

Les composés organiques sont des dérivés du méthane (CH₄) et de l'éthane (C₂H₆).

Ils se divisent en trois sous familles :

les corps purs

les mélanges (de corps purs)

les hydrocarbures

2.2.2.1 Les corps purs

Les corps purs se regroupent en trois sous groupes suivant leur composition chimique :

les CFC (chlorofluorocarbone) – exemple le R12

les HCFC (hydrochlorofluorocarbone) – exemple le R22

les HFC (hydrofluorocarbone) – exemple le R134a

La caractéristique principale d'un corps pur est qu'il se condense et s'évapore à température et pression constante.

Les molécules des CFC sont complètement halogénées.

Ceux des HFC ne contiennent aucun atome de chlore.

Quant aux molécules des HCFC, ils contiennent du chlore non complètement halogéné; autrement dit certains atomes de chlore ont été remplacés par des atomes d'hydrogène.

Leur désignation est basée sur la règle suivante :

R : Réfrigérant

Chiffre des unités « u » : nombre d'atomes de fluor

Chiffre des dizaines « d » : nombre d'atomes d'hydrogène + 1

Chiffre des centaines « c » : nombre d'atomes de carbones – 1

La valence du carbone étant de 4, la molécule sera complétée par des atomes de chlore si nécessaire.

Les lettres minuscules en fin de numérotation désigne une asymétrie plus (b) ou moins (a) de la molécule.

Le tableau 2.4 est une illustration de la désignation des corps purs.

Tableau 2.4 : Exemples de désignation des corps purs R12 – R22 – R134a.

Désignation	Chiffres des unités	Chiffres des dizaines	Chiffres des centaines	Nombre d'atomes de chlore	Formule chimique
R12	2	1	0	2 chlore	CCl ₂ F ₂
	2 fluor	0 hydrogène	1 carbone		
R22	2	2	0	1 chlore	CHClF ₂
	2 fluor	1 hydrogène	1 carbone		
R134a	2	3	1	0 chlore	CH ₂ FCF ₃
	2 fluor	2 hydrogène	2 carbone		

A partir de la formule chimique des fluides frigorigènes ci-dessus, les dénominations de ces fluides sont les suivantes :

le Dichlorodifluorométhane (CCl₂F₂) pour le R12

le Monochlorodifluorométhane (CHClF₂) pour le R22

le Tétrafluoroéthane (CH₂FCF₃) pour le R134a

Ces appellations ne sont pratiquement pas utilisées en froid.

2.2.2.2 Les mélanges

Les mélanges de corps purs se regroupent en deux sous groupes que sont :

les mélanges azéotropiques qui se comportent comme des corps purs

les mélanges zéotropiques qui ne sont pas des corps purs

Les mélanges azéotropiques sont les fluides frigorigènes de la série 500.

Les deux derniers chiffres indiquent le numéro d'ordre d'apparition du fluide considéré.

Exemple : le R502 (mélange de 48.8% de R22 et de 51.2% de R115)

Les mélanges zéotropiques sont les fluides frigorigènes de la série 400.

Les deux derniers chiffres indiquent le numéro d'ordre d'apparition du fluide considéré.

Exemple : le R404A (mélange de 52% de R143a, de 44% de R125 et de 4% de R134a)

Dans le cas de mélanges de corps purs identiques mais dans des proportions différentes (isotopes), on associe une lettre majuscule (A,B,C) en fin de numérotation dans l'ordre chronologique d'apparition.

Exemple : R407A, R407B, R407C

R407A (mélange de 20% de R32, de 40% de R125 et de 40% de R134a)

R407B (mélange de 10% de R32, de 70% de R125 et de 20% de R134a)

R407C (mélange de 23% de R32, de 25% de R125 et de 52% de R134a)

Les mélanges zéotropiques se vaporisent et se condensent non pas à une température constante mais sur une plage de températures (glissement dans les zones de changement d'état).

2.2.2.3 Les hydrocarbures

Les fluides frigorigènes du type hydrocarbure proviennent essentiellement du raffinage du pétrole mais également du dégazolinage (récupération des hydrocarbures liquides) du gaz naturel.

Ce sont essentiellement le R600 (butane), le R600a (isobutane) et le R290 (propane) qui est le plus utilisé.

Contrairement aux autres fluides frigorigènes, les hydrocarbures sont hautement inflammables.

Dans certaines classifications, les fluides frigorigènes du type HC (hydrocarbures) sont regroupés avec les fluides de la série 700 comme le R717 (ammoniac), le R718 (eau) ou le R744 (dioxyde de carbone) sous la famille des fluides dits « naturels », les autres fluides étant regroupés dans la famille des fluides dits « de synthèse ».

2.3 IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX

Les impacts environnementaux liés aux fluides frigorigènes reposent sur deux phénomènes :

la destruction de la couche d'ozone

le réchauffement de la planète

2.3.1 Destruction de la couche d'ozone

L'ozone est une forme d'oxygène constituée de trois atomes au lieu de deux. C'est un gaz instable et il est particulièrement vulnérable aux attaques des composés naturels contenant de l'hydrogène, de l'azote et du chlore.

L'ozone situé dans la stratosphère (région située entre 11 et 48 km au dessus de la surface de la terre) est aussi indispensable à la vie que l'oxygène.

Il forme en effet un bouclier certes d'une extrême minceur mais d'une remarquable efficacité car il parvient à filtrer la quasi totalité de tous les rayons ultra-violets nuisibles du soleil (absorption de la plupart des rayons UV B).

La formation et la destruction de la couche d'ozone est un processus cyclique et naturel suivant les réactions suivantes :

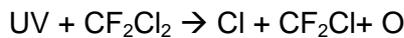
$UV + O_3 \rightarrow O_2 + O$ (*Destruction de la couche d'ozone*) – UV: ultra-violets – O_3 : ozone

$O_2 + O \rightarrow O_3$ (*Formation Ozone*)

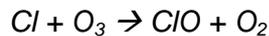
Cependant cet équilibre est rompu par l'effet néfaste de certains fluides frigorigènes qui rejetés dans l'atmosphère (molécules contenant du chlore) vont détruire les molécules d'ozone et par conséquent endommagera la couche d'ozone avec comme conséquence une augmentation des rayons UV B arrivant à la surface de la Terre.

En effet, les UV agissent sur les molécules de certains fluides (principalement les CFC et dans une moindre mesure les HCFC) pour libérer les atomes de chlore et ce sont ces atomes qui vont réagir avec l’ozone pour la détruire suivant une réaction en chaîne :

Cas du CFC R12 (CF_2Cl_2)



(libération atome de chlore du CFC R12)



(Réaction du chlore libéré avec l’Ozone : Destruction Ozone)



(Réaction du ClO avec O et libération d’un atome de chlore à nouveau...)

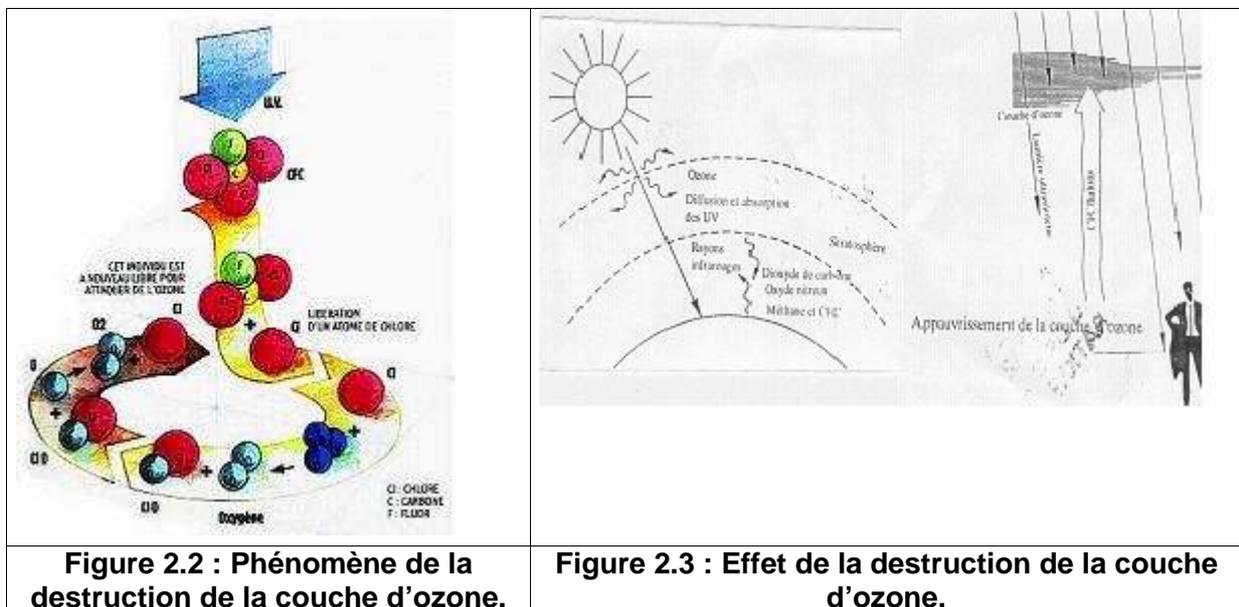


Figure 2.2 : Phénomène de la destruction de la couche d’ozone.

Figure 2.3 : Effet de la destruction de la couche d’ozone.

Il faut noter que les CFC ont une durée de vie importante dans l’atmosphère (un demi siècle en moyenne pour le R11, 102 ans en moyenne pour le R12, et 85 ans en moyenne pour le R113), par conséquent une fois ces produits rejetés, ils influencerons le processus d’appauvrissement de la couche d’ozone pendant maintes années à venir.

C’est pour caractériser la capacité de destruction de la couche d’ozone par les fluides frigorigènes qu’a été défini le Potentiel d’Action sur la couche d’Ozone (PAO) ou Ozone Depletion Potential (PAO) avec comme valeur de référence le PAO du CFC R11 qui est de 1, ce fluide étant considéré comme celui ayant l’effet le plus destructeur sur la couche d’ozone. Un PAO de 0 signifierait que le fluide frigorigène considéré n’a aucun effet sur la destruction de la couche d’ozone.

Le tableau ci-dessous donne le PAO de quelques fluides frigorigènes.

(Voir également le guide de la bonne pratique)

Tableau 2.5 : Valeurs de PAO de quelques fluides frigorigènes.

FF	R11	R12	R22	R134a	R717	R507	R404A	R600
Famille	CFC	CFC	HCFC	HFC	inorganique	Azéotropique	zéotropique	hydrocarbure
PAO	1	0.9	0.05	0	0	0	0	0

Les conséquences de la destruction de la couche d'ozone (augmentation des rayons UV B à la surface de la Terre) sont les suivantes :

l'augmentation des cancers de la peau

l'augmentation des cas de cataractes et autres lésions oculaires

la diminution du système immunitaire

la baisse des rendements agricoles et la destruction des forêts

la détérioration de la vie maritime.

2.3.2 Réchauffement de la planète

La température de la terre est maintenue par un équilibre entre l'effet réchauffant émanant du rayonnement solaire venant de l'espace et l'effet refroidissant des rayons infrarouges émis par la surface chaude de l'écorce terrestre et l'atmosphère qui remontent vers l'espace.

Le rayonnement solaire sous forme de lumière visible qui atteint la terre se divise en plusieurs parties :

une partie est absorbée par l'atmosphère

une partie est réfléchiée par les nuages et le sol (tout particulièrement le désert et la neige)

le reste est absorbée par la surface qui est réchauffée et qui à son tour réchauffe l'atmosphère, la surface réchauffée et l'atmosphère de la terre émettent des rayons infrarouges (IR) de grandes longueurs d'onde.

Une partie des rayons IR de grande longueur d'onde renvoyées est absorbée dans l'atmosphère par certains gaz ralentissant ainsi les dégagements des rayonnements refroidissant et réchauffant ainsi la surface de la terre, il s'agit de l'effet de serre qui un phénomène naturel sans lequel la vie sur terre serait invivable avec une température moyenne de -18°C contre +15°C actuellement à la surface du globe terrestre.

Les gaz présents dans l'atmosphère et qui absorbent une partie de ce rayonnement IR sont appelés gaz à effet de serre. Il s'agit principalement du CO₂, de la vapeur d'eau, du méthane (CH₄) et de l'oxyde nitreux (N₂O) et des fluides frigorigènes rejetés dans l'atmosphère (principalement les CFC).

Cependant, les activités humaines contribuent à une concentration importante de ces gaz à effet de serre. Ces gaz sont issus pour la plus part de la combustion des carburants fossiles par le secteur industriel, le secteur tertiaire et les transports et des rejets de fluides frigorigènes dans l'atmosphère.

Cette concentration des gaz à effet de serre va augmenter le pouvoir d'absorption des rayonnements IR et par suite augmenter la température moyenne autour de la surface de la planète : c'est le réchauffement de la planète.

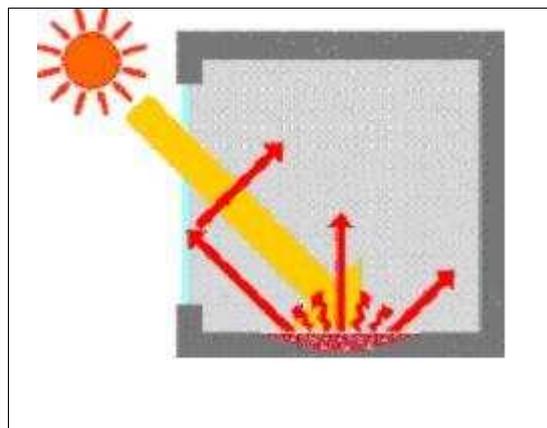


Figure 2.4 : Phénomène de l'effet de serre.

Pour caractériser l'effet des fluides frigorigènes sur le réchauffement de la planète, il a été défini le Potentiel d'Action sur l'Effet de Serre (PAES) ou GWP (Global Warning Potential) qui est un index qui compare l'effet de réchauffement des différents gaz au fil du temps par rapport à des émissions équivalentes de CO₂ (exprimé en masse).

Etant donné la durée de vie du CO₂ qui est de l'ordre de 500 ans, il est défini plusieurs GWP en fonction de la durée d'intégration en années (10, 20, 50, 100, 200, 500) mais en pratique il est adopté le GWP pour une durée d'intégration de 100 ans : GWP₁₀₀

Par conséquent le GWP₁₀₀ du CO₂ (dioxyde de carbone – R744) est de 1.

Le tableau suivant donne le GWP₁₀₀ de quelques fluides frigorigènes.

Tableau 2.6 : Valeurs de GWP₁₀₀ de quelques fluides frigorigènes.

FF	R11	R12	R22	R134a	R717	R507	R404A	R600
Famille	CFC	CFC	HCFC	HFC	inorganique	Azéotropique	zéotropique	hydrocarbure
GWP₁₀₀	3500	7300	1500	1200	<1	3330	3260	3

Le GWP désigne la contribution directe des fluides frigorigènes au réchauffement de la planète.

Cette contribution peut être réduite par la restriction des émissions due en partie à l'étanchéité renforcée des systèmes frigorifiques et en partie à la récupération de ces fluides.

La contribution directe des fluides n'existe que lorsque la substance est véritable rejetée dans l'atmosphère, il convient de noter qu'il existe une contribution indirecte due à la consommation énergétique des systèmes frigorifiques.

Cette contribution représente le nombre de kilogrammes de rejetés dans l'atmosphère pour la production de chaque kilowattheure électrique consommé (kWh) pour produire le froid.

Diverses expériences et calculs ont démontré que la contribution indirecte à l'effet de serre des systèmes thermodynamiques est supérieure à la contribution directe associée au rejet des fluides frigorigènes.

2.3.3 Caractérisation des impacts environnementaux

De nos jours, deux propriétés des fluides frigorigènes font l'objet d'une attention particulière, il s'agit :

du potentiel d'appauvrissement de la couche d'ozone (PAO) ou ODP (Ozone Depletion Potential)

du potentiel d'action global sur l'effet de serre à 100 ans (PAES₁₀₀) ou GWP₁₀₀ (Global Warning Potential)

En effet, des études de laboratoire avaient confirmé les constatations faites en 1972/1974 sur la diminution de la couche d'ozone protégeant la Terre des rayonnements ultra-violets dangereux pour notre environnement et qui impliquaient les CFC (Chlorofluorocarbone) et les BrFC (Bromofluorocarbone) ex : R13B1, R12B1 appelés aussi Hallon 1301 et 1211 lorsqu'ils sont utilisés comme agents d'extinction.

Le Protocole de Montréal de 1987 fait suite à la Convention de Vienne de 1985 par laquelle 189 pays se sont engagés à prendre des mesures appropriées pour protéger la santé humaine et l'environnement contre les effets néfastes résultant ou susceptibles de résulter des activités humaines qui modifient ou sont susceptibles de modifier la couche d'ozone."

Ce protocole prévoyait l'interdiction des CFC dans l'industrie frigorifique en réglementant l'utilisation de fluides de transition que sont les HCFC (hydrochlorofluorocarbone), l'objectif à terme étant l'utilisation de fluides sans action sur la couche d'ozone parmi lesquels sont classés les HFC (hydrofluorocarbone).

Ce protocole a fait l'objet de plusieurs amendements soumis à la ratification des différentes Parties à la Convention de Vienne.

La chronologie des accords successifs est la suivante :

Accord	Date signature	Date entrée en vigueur
Convention de Vienne	22 mars 1985	22 septembre 1988
Protocole de Montréal	16 septembre 1987	1 janvier 1989
Amendement de Londres	29 juin 1990	10 août 1992
Amendement de Copenhague	25 novembre 1992	14 juin 1994
Amendement de Montréal	17 septembre 1997	10 novembre 1999
Amendement de Pékin	3 décembre 1999	25 février 2002

La réglementation communautaire (européenne) en la matière stipule :

pour les CFC : l'arrêt de la production depuis 1994, l'interdiction de leur commercialisation et de leur utilisation depuis 1999 et une dérogation pour la maintenance jusqu'en 2000

pour les HCFC : l'interdiction de l'utilisation dans les équipements neufs (depuis 1996 pour les réfrigérateurs, congélateurs, véhicules de transport, depuis 1998 dans les trains, depuis 2001 dans tous les équipements frigorifiques et de climatisation sauf les pompes à chaleur réversibles), l'interdiction de l'utilisation en maintenance à partir de 2015

Le protocole de Montréal prévoyait pour les pays en développement un délai de grâce de 10 ans pour l'application des mesures prises avec l'assurance d'un soutien technique.

Il a été également démontré que l'utilisation des fluides frigorigènes pouvait avoir une incidence sur le réchauffement terrestre (effet de serre).

Les rencontres internationales en commençant par la convention de RIO en 1992 étaient focaliser sur le problème du réchauffement de la planète avec comme principale recommandation pour les pays développés : ramener leur émissions de gaz à effet de serre à leur niveau de 1990.

Le sommet de la Terre à RIO marquait la prise de conscience internationale du risque de changement climatique de la planète.

Par la suite, les rencontres suivantes (Berlin en avril 1995, Genève en juillet en 1995 et surtout Kyoto en 1997) se sont également penchées sur cette problématique.

Le protocole de Kyoto a été signé en décembre 1997 au Japon par environ 180 pays.

Dans ce Protocole, 38 pays industrialisés s'obligent à abaisser leurs émissions de gaz à effet de serre entre 2008 et 2012 à des niveaux inférieurs de 5,2 % à ceux de 1990.

Le Protocole de Kyoto traduit en engagements quantitatifs juridiquement contraignants la volonté de stabilisation des émissions des gaz à effet de serre.

Les gaz à effet de serre concernés sont :

- le gaz carbonique ou dioxyde de carbone (CO_2) provenant essentiellement de la combustion des énergies fossiles et de la déforestation,

- le méthane (CH_4) qui a pour origine principale l'élevage des ruminants, la culture du riz, les décharges d'ordures ménagères, les exploitations pétrolières et gazières,

- les halo carbures (CFC, HCFC, HFC et PFC « PerFluoroCarbure ») sont les gaz réfrigérants utilisés dans les systèmes de climatisation et la production de froid, les gaz propulseurs des aérosols,

- le protoxyde d'azote ou oxyde nitreux (N_2O) provient de l'utilisation des engrais azotés et de certains procédés chimiques,

- l'hexafluorure de soufre (SF_6) utilisé par exemple dans les transformateurs électriques.

Les engagements souscrits par les pays développés étant ambitieux et pour faciliter leur réalisation, le protocole de Kyoto prévoit, pour ces pays, la possibilité de recourir à des mécanismes dits " de flexibilité " en complément des politiques et mesures qu'ils devront mettre en œuvre au plan national.

Ces mécanismes sont au nombre de trois :

- les " **permis d'émission** ", cette disposition permet de vendre ou d'acheter des droits à émettre entre pays industrialisés ;

la " **mise en œuvre conjointe** " (MOC) qui permet, entre pays développés de procéder à des investissements visant à réduire les émissions de gaz à effet de serre en dehors de leur territoire national et de bénéficier des crédits d'émission générés par les réductions ainsi obtenues ;

le " **mécanisme de développement propre** " (MDP), proche du dispositif précédent, à la différence que les investissements sont effectués par un pays développé dans un pays en développement.

La ratification officielle du Protocole de Kyoto est intervenue le 16 juillet 2005.

2.3.4 Récupération des fluides frigorigènes

Les enjeux environnementaux des fluides frigorigènes ont conduit à l'introduction de nouvelles techniques qui sont entre autres la récupération des fluides frigorigènes.

Le Protocole de Montréal introduisait déjà des recommandations pour la récupération de certains fluides frigorigènes (CFC en particulier) et quelques pays (surtout les pays développés) ont introduit une réglementation en la matière.

En France par exemple, le Décret ministériel n°92-1271 du 07/12/92 modifié par le décret du 30/06/98 rend obligatoire la récupération des CFC, HCFC et même des HFC lorsque l'installation contient une charge en fluide de plus de 2 kg.

Il existe une terminologie pour préciser les opérations liées à la récupération des fluides frigorigènes (frigorigène récupéré, récupération, recyclage, régénération).

2.3.4.1 Frigorigène récupéré

Il s'agit d'un frigorigène ayant été récupéré d'un système frigorifique à des fins d'entreposage, de recyclage, de régénération ou de transport.

2.3.4.2 Récupération

C'est l'opération qui consiste à récupérer le fluide frigorigène contenu dans un système frigorifique pour le stocker dans un cylindre prévu à cet effet en vue de son réemploi ou de sa destruction.

2.3.4.3 Recyclage

C'est l'opération qui consiste à réduire les polluants présents dans le fluide frigorigène récupéré par une séparation de l'huile, l'extraction des incondensables et par l'usage de filtres déshydrateurs qui réduisent l'humidité, l'acidité et les particules.

Le terme de Filtration conviendrait bien à la définition ci-dessus, le terme Recyclage étant traduit de l'anglais « Recycling » qui signifie recycler et qui introduit une notion de transformation du produit.

2.3.4.4 Régénération

C'est l'opération qui consiste au traitement du fluide frigorigène usagé en vue de le rendre conforme aux spécifications d'un fluide frigorigène neuf par des méthodes qui peuvent comprendre un processus de distillation.

Ce cycle extrêmement complet et obtenu par différents procédés industriels ne peut être effectué que par les producteurs de fluides ou leurs mandants.

Un contrôle rigoureux permet de remettre le produit aux normes de commercialisation avec toutes les garanties d'y attachant.

(Voir également le guide de la bonne pratique)

2.3.5 Les contaminants des fluides frigorigènes

Le fluide frigorigène circule à travers le circuit frigorifique qui est composé de tuyauteries et d'organes (principaux, annexes...) qui doit être étanche c'est à dire sans possibilité pour le fluide frigorigène de s'échapper ou sans possibilité aux constituants de l'ambiance (air, vapeur d'eau, poussières...) d'y pénétrer.

Pour éviter les contaminants, la première opération est de s'assurer de l'étanchéité du circuit frigorifique.

Cette vérification est obtenue par le test d'étanchéité (cf page...). Il s'agit d'une opération effectuée avant la mise en route d'un nouveau système frigorifique ou d'un système ayant subi une réparation ou une maintenance.

Après ce test, il faut effectuer le vide du système frigorifique, ce test permet de s'assurer de l'absence de contaminants (air, azote utilisé pour le test d'étanchéité...) dans le circuit

Les principaux contaminants des fluides frigorigènes (FF) sont l'air et l'eau (plus précisément la vapeur d'eau).

Les principales sources de contamination sont les suivantes :

- les fausses manœuvres (mauvais serrage ou mauvais brasage...)

- le vide insuffisant (présence d'air et d'azote après le test d'étanchéité), la mise au vide permet d'évacuer les gaz et la vapeur d'eau contenus dans le circuit frigorifique

- le mauvais fonctionnement du système frigorifique (par exemple lorsque la pression dans une partie du circuit frigorifique est inférieure à la pression de l'ambiance «pression atmosphérique»)

Les principales conséquences de la présence de ces contaminants sont les suivants :

- la corrosion pouvant entraîner des réactions chimiques néfastes

- la formation d'oxydes de fer et de cuivre (oxydation) qui peuvent se détacher et se déposer dans le circuit frigorifique, ce qui peut obstruer le passage du FF à travers certains organes

- la formation de cristaux de glace (givre) à certains points du circuit frigorifique, notamment au niveau du détendeur

- la décomposition de l'huile en boue ou cire

- le phénomène d'acidification dégradant l'huile et le FF et pouvant attaquer les enroulements du moteur électrique du compresseur.

2.3.6 Choix d'un fluide frigorigène

Le choix d'un fluide frigorigène repose sur les critères suivants :

- les propriétés thermo physiques du fluide frigorigène

les conditions d'utilisation (applications) du fluide frigorigène

le critère économique et la disponibilité du fluide frigorigène

le critère de réglementation (normes, recommandations, impacts environnementaux...)

En résumé, le choix d'un fluide frigorigène est basé sur des considérations technico-économiques.

Il ne faut pas perdre de vue que ce choix doit se faire à l'achat ou à la commande du matériel car l'opération de conversion (changement de fluide frigorigène d'un système frigorifique existant) est souvent onéreuse (changement de certains organes, changement de l'huile du système, opération de récupération du fluide à changer, achat du nouveau fluide, mise en route du système reconverti...) et les performances techniques du système reconverti ne sont pas toujours garanties.

2.4 Les huiles frigorifiques.

La lubrification est un des facteurs principaux du bon fonctionnement d'une installation frigorifique. Le choix d'un lubrifiant est spécifique à un compresseur pour une application donnée. Déterminer le lubrifiant adapté est essentiel pour la performance et la longévité d'une installation frigorifique. Dans l'industrie frigorifique, il existe plusieurs familles d'huiles dont l'utilisation avec les différents types de fluides frigorigènes est synthétisée ci-dessous.

Familles Origines Sous-familles

Types de fluides frigorigènes

Minérales

Naturelles, issues de la distillation du pétrole brut.

- naphthénique

-paraffiniques selon la nature et la provenance du pétrole.

CFC,HCFC,NH3

Semi-synthétiques

Mélanges d'huiles minérales et synthétiques.

CFC,HCFC,NH3

Synthétiques

chimiques

- alkylbenzènes (AB)

CFC,HCFC,NH3

- hydrocarbures : polyalphaoléfines (PAO)...

CFC,HCFC,NH3

- poly glycols:

polyalkylèneglycols (PAG)

- R-134a en climatisation automobile
- NH3 dans quelques cas pour certains compressoristes

esters:
polyol esters
(POE)

HFC

LES FAMILLES DE LUBRIFIANTS POUR SYSTEMES FRIGORIFIQUES :

Les huiles minérales :

Les huiles minérales pour la lubrification des compresseurs frigorifiques sont des mélanges d'hydrocarbures sans cire spécifiquement sélectionnés pour leur très bonne fluidité à basse température.

Les huiles minérales sont les produits traditionnellement utilisés pour la lubrification des compresseurs frigorifiques.

Elles sont adaptées pour l'utilisation avec des fluides frigorigènes CFC, HCFC, et l'ammoniac.

Les huiles synthétiques :

Les huiles synthétiques sont des polymères de monomères chimiques spécifiques tel que les esters ou les glycols.

Les premières huiles synthétiques ont été développées pour les HCFC (alkyl benzène et poly alphaoléfines).

Avec l'introduction :

- des nouveaux fluides
- les HFC

- le besoin de nouveaux types d'huiles

est apparu, la raison principale étant la non miscibilité des huiles minérales avec les HFC, ce qui ne favorise pas le retour d'huile dans les systèmes.

Les huiles alkyl benzènes :

Ce sont les premières huiles synthétiques qui ont été utilisées dans l'industrie de la réfrigération. Elles ont une excellente stabilité thermique et chimique (moins de décomposition d'huile à haute température) et une excellente miscibilité à basse température. Les huiles alkyl benzènes sont recommandées pour les fluides de type R-22 et mélanges de HCFC. Elles sont compatibles avec les huiles minérales traditionnelles. En cas de mauvais fonctionnement avec les huiles minérales, les huiles alkyl benzènes peuvent avantageusement remplacer l'huile d'origine.

Les huiles poly alphaoléfines :

Les huiles poly alphaoléfines - ou PAO - peuvent être décrites comme des "huiles minérales synthétiques" car elles ont la même structure chimique que les huiles minérales traditionnelles mais ce sont des produits fabriqués à partir de monomères. Les huiles PAO ont des points d'écoulement très bas et une excellente stabilité thermique, ce qui permet de les utiliser dans des systèmes au R-22 ou à l'ammoniac fonctionnant dans des conditions extrêmes.

Les huiles polyalkylèneglycols :

Les huiles polyalkylèneglycols - mieux connues sous l'abréviation PAG - ont été les premières huiles développées pour l'utilisation des fluides HFC. Elles ont donc une bonne miscibilité avec ces produits. En revanche, elles sont très hygroscopiques. Du fait de leur tendance à absorber de l'eau et de leur réaction en présence de cuivre, les huiles

PAG sont essentiellement utilisées dans les systèmes de climatisation automobile fonctionnant au R-134a, car les constructeurs ont éliminé les métaux cuivreux. Grâce à leur bonne miscibilité avec l'ammoniac, les PAG pourraient être utilisées dans les systèmes contenant ce fluide.

Les huiles polyol esters :

Les huiles polyol esters - ou POE - sont la deuxième génération d'huiles à avoir été développée pour les HFC. Il s'agit d'excellents lubrifiants, moins hygroscopiques que les PAG et beaucoup plus stables chimiquement que les PAG en présence d'eau. Les POE sont les huiles dédiées aux HFC dans toutes les applications de réfrigération et conditionnement d'air à l'exception de la climatisation automobile qui utilise principalement les PAG.

3.1 GENERALITES

La machine frigorifique à compression de vapeur est composée de 4 organes principaux que sont :

le compresseur

le condenseur

le détendeur

l'évaporateur

Le fluide frigorigène décrit un cycle fermé en quatre phases à travers le circuit constitué des organes principaux :

la compression du fluide gazeux

la condensation du fluide gazeux

la détente du fluide liquide

la vaporisation du fluide liquide (production du froid)

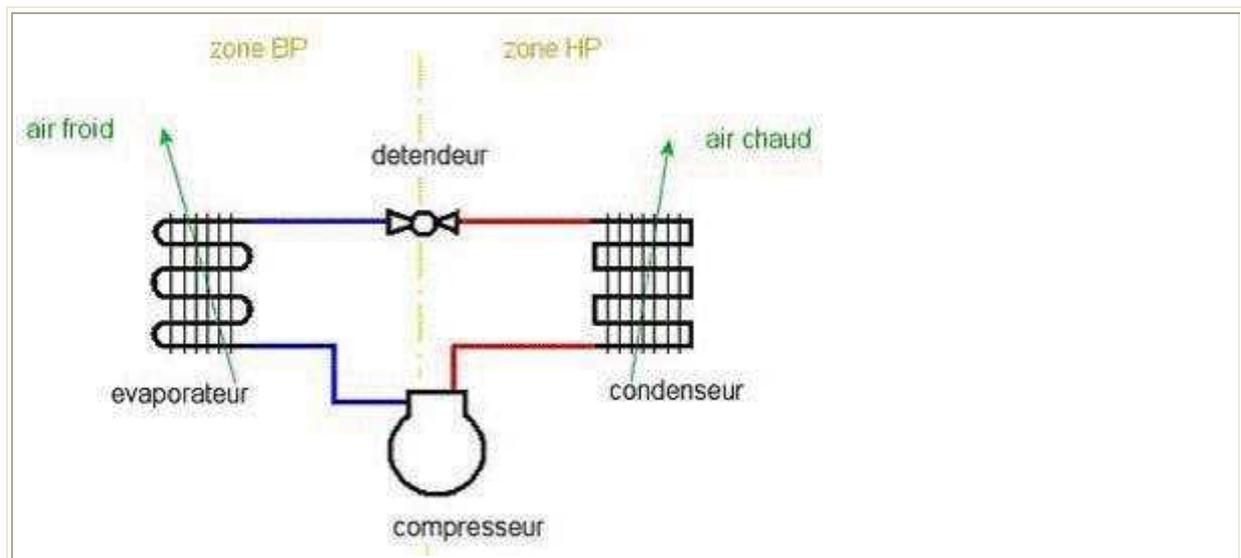


Figure 3.0 : Schéma de base d'une machine frigorifique.

Le **compresseur** aspire le fluide frigorigène gazeux (à bas niveau de température et de pression) issu de l'évaporateur, le comprime à un niveau plus haut de température et de pression puis le refoule vers le condenseur



Figure 3.1 : Vues de compresseur hermétique.

Le **condenseur** est un échangeur de chaleur qui va permettre l'évacuation de la chaleur contenue dans le fluide frigorigène gazeux issu du compresseur en le liquéfiant. Cette condensation (liquéfaction) est obtenue par le refroidissement du fluide frigorigène gazeux à pression constante par un médium qui peut être de l'eau ou de l'air.

Cette évacuation de chaleur s'effectue en trois étapes :

la désurchauffe des vapeurs de fluide frigorigène (évacuation par chaleur sensible – tronçon AB)

la condensation des vapeurs (évacuation par chaleur latente – étape principale – tronçon BC)

le sous refroidissement du fluide frigorigène liquide (évacuation par chaleur sensible – tronçon CD)

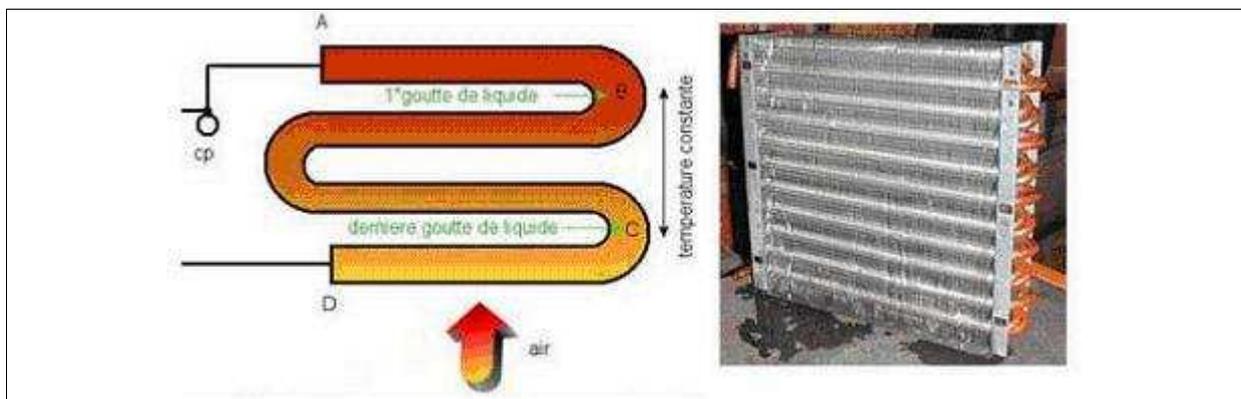


Figure 3.2 : Condenseur à air.

Le **détendeur** permet de réduire la pression du fluide frigorigène liquide (création de pertes de charge) issu du condenseur avant son introduction dans l'évaporateur dans le but de permettre sa vaporisation à basse température dans l'évaporateur.

Il règle aussi la quantité de fluide frigorigène liquide arrivant à l'évaporateur en fonction des besoins de "froid" (uniquement pour les détendeurs thermostatiques).

Pour les détendeur du type capillaire (tubes capillaire), le débit du fluide frigorigène arrivant dans l'évaporateur est fonction du diamètre intérieur (de 0.6 à 1.5 mm) et de la longueur (de 1.80 à 3.50 m) du tube ainsi que de la différence de pression entre le condenseur et l'évaporateur.

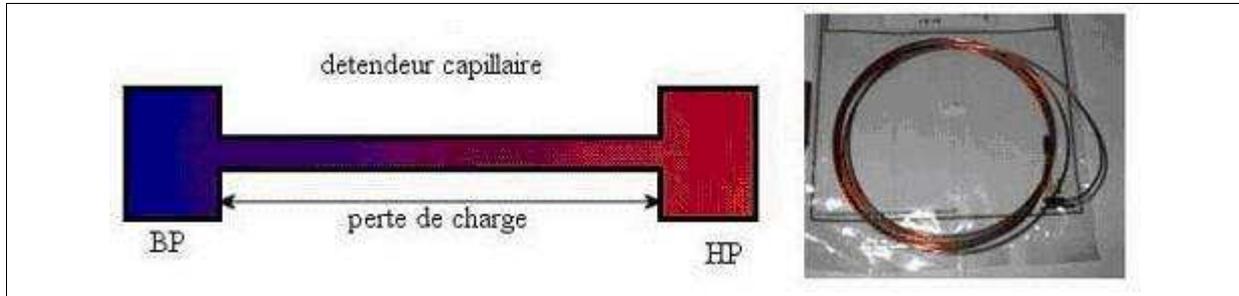


Figure 3.3 : Détendeur type capillaire.

L'**évaporateur** est un échangeur de chaleur dans lequel le fluide frigorigène liquide à bas niveau de température et de pression va absorber la chaleur du milieu à refroidir (air ou eau) à pression constante devenant ainsi gazeux.

Cette absorption de chaleur s'effectue en deux étapes :

l'évaporation du fluide frigorigène liquide (aspiration de chaleur latente – étape principale – tronçon AB)

la surchauffe des vapeurs issues de l'évaporation du fluide frigorigène liquide (aspiration de chaleur sensible – tronçon BC)

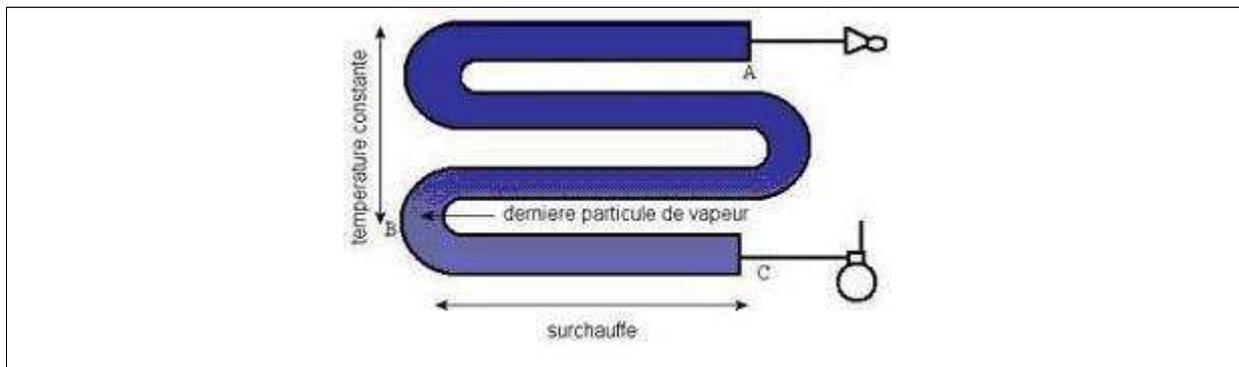


Figure 3.4 : Evaporateur.

Ce fluide frigorigène gazeux est à nouveau absorbé par le compresseur et le cycle reprend.

3.2 LES COMPRESSEURS

3.2.1 Technologie des compresseurs

Il existe deux grands types de compresseurs à vapeur :

les compresseurs volumétriques dans lesquels la compression des vapeurs est obtenue par la réduction du volume intérieur d'une chambre de compression, c'est le type de compresseur le plus répandu sur les installations frigorifiques.

les compresseurs centrifuges aussi appelés turbocompresseurs dans lesquels la compression résulte de la force centrifuge obtenue par entraînement dynamique au moyen d'une roue à aubes, c'est un type de compresseurs destiné à des applications spécifiques et utilisés pour de grandes puissances (groupes frigorifiques de grande puissance en génie climatique par exemple).

3.2.2 Les compresseurs volumétriques

Il existe plusieurs types de compresseurs volumétriques et la classification retenue permet de distinguer :

les compresseurs à pistons dont le plus connu est le compresseur à pistons alternatif c'est le type de compresseur le plus répandu ; la compression des vapeurs est obtenue par le déplacement d'un ou de plusieurs pistons dans une capacité donnée (cylindre); il faut également signaler les compresseurs à pistons axial (compresseurs à plateau oscillant) rencontrés surtout dans le domaine de la climatisation automobile

les compresseurs rotatifs aussi appelés compresseurs à palettes dans lesquels la compression des vapeurs est obtenue par déplacement d'un corps cylindrique creux d'une masse excentrée agissant sur une palette mobile (fig 3.1)

les compresseurs à spirales aussi appelés compresseurs scroll dans lesquels la compression des vapeurs est obtenue par la rotation d'une spirale mobile dans une spirale fixe (fig 3.7)

les compresseurs à vis parmi lesquels il faut distinguer les compresseurs mono vis (mono rotor) et les compresseurs double vis (bi rotors)

3.2.3 Les compresseurs centrifuges

Un compresseur centrifuge est une turbomachine qui communique l'énergie au fluide frigorigène grâce à une ou plusieurs roues tournant dans un carter : l'énergie cinétique résultant de la force centrifuge est ensuite transformée en pression statique dans un canal à section croissante appelée volute.

3.2.4 Association Moteur Compresseur

Lorsqu'on parle de compresseur, on sous entend moto compresseur, le compresseur étant la partie mécanique entraînée par un moteur.

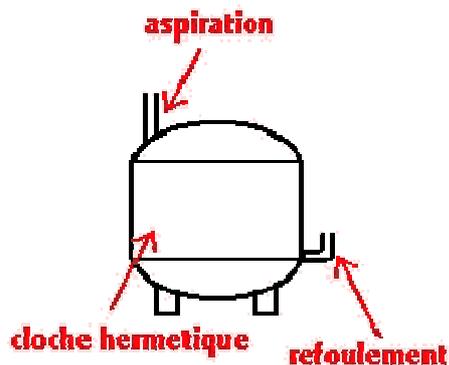
Suivant le type de liaison ou d'association entre les deux parties, on distingue :

les compresseurs hermétiques

les compresseurs ouverts

les compresseurs semi hermétiques ou semi ouverts

3.2.4.1 Les compresseurs hermétiques



Le moteur électrique et le compresseur sont enfermés dans la même enveloppe sans possibilité d'accès « en principe » à chacune des parties de manière isolée, l'ensemble est supporté généralement par ressorts pour éviter la transmission des vibrations.

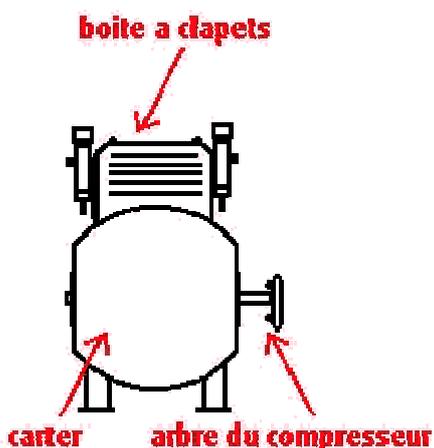
Le compresseur aspire les vapeurs de fluide frigorigène à l'intérieur de l'enveloppe et le refoulement est effectué au travers d'une tuyauterie souple brasée à l'enveloppe.

Le moteur électrique est alimenté par des fils reliés à des bornes étanches.

L'étanchéité de ces compresseurs est assurée par des joints fixes (passage des fils et des tuyauteries).

Ce type de compresseur est utilisée pour les petites puissances (réfrigérateurs, climatiseurs...) et les moyennes puissances (refroidisseurs de liquides, armoires de climatisation...).

3.2.4.2 Les compresseurs ouverts

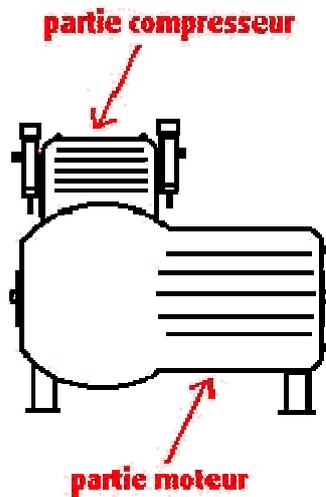


Le moteur électrique et le compresseur sont associés par un organe de liaison qui peut être un manchon d'accouplement ou une ou plusieurs courroies.

L'accès aux différents éléments du compresseur de même que ceux du moteur est possible.

Dans ce type de compresseur, la vitesse de rotation est ajustable et modifiable en changeant la poulie du moteur par exemple, cependant ce type nécessite un joint d'étanchéité tournant (joint rotatif) à la traversée du carter par l'arbre. Il est utilisé pour toutes les puissances.

3.2.4.3 Les compresseurs semi hermétiques ou semi ouverts



Il s'agit d'un type intermédiaire entre les précédents types. Le moteur électrique et le compresseur sont montés sur un arbre commun et sur le même bâti avec la possibilité d'accès à chaque élément, ce qui fait que ces compresseurs sont également appelés compresseurs hermétiques « accessibles ». L'accessibilité est réalisée par des plaques boulonnées sur le bâti. Ce type bénéficie des avantages du groupe ouvert (accès au mécanisme) et du groupe hermétique (pas de garniture d'étanchéité).

Ils sont utilisés pour les moyennes puissances.



Figure 3.5 : Associations moteur – compresseur.

Les compresseurs à pistons alternatifs peuvent se retrouver suivant les trois configurations et le tableau 3.0 précise les applications associées.

Tableau 3.0 : Caractéristiques des compresseurs à pistons suivant les différentes associations moteur – compresseur.

Type	Vitesse de rotation (tr/mn)	Volume balayée (m ³ /h)	Applications	Régulation de puissance
Hermétique	3000	0.6 à 95	Froid ménager Froid commercial Climatisation	Moteur à deux vitesses
Semi hermétique	1500	3 à 180	Froid commercial Semi industriel	Hors service des cylindres
Ouvert	500 à 1800	0.81 à 1700	Froid commercial Semi industriel Froid Industriel	Hors service des cylindres Ouverture forcée des clapets BP

3.2.5 Comparaison des principales caractéristiques des compresseurs

Le tableau ci-dessous permet de faire une comparaison entre les principales caractéristiques des différents types de compresseurs.

Tableau 3.1 : Caractéristiques des différents types de compresseurs.

Type	Pistons	Rotatif	Spirales	Vis	Turbo
Volume balayée (m ³ /h)	Jusqu'à 1500	de 350 à 5600	Faible de 10 à 200	de 500 à 5000	De 800 à 50000
Vitesse de rotation (tr/mn)	Jusqu'à 1800	Jusqu'à 4000	Jusqu'à 10000	Jusqu'à 3000	Jusqu'à 30000
Taux de compression	2 à 10	5 à 6	Environ 5	20 à 30	3.5 à 4
Applications	Ménager Commercial Industriel	Commercial Industriel	Commercial	Industriel	Industriel

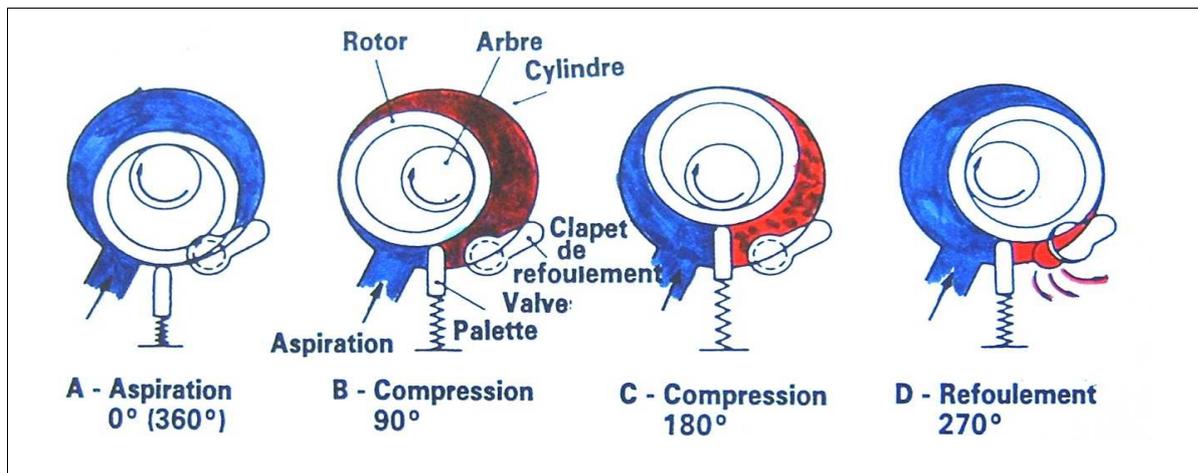


Figure 3.6 : Cycle de fonctionnement d'un compresseur rotatif.

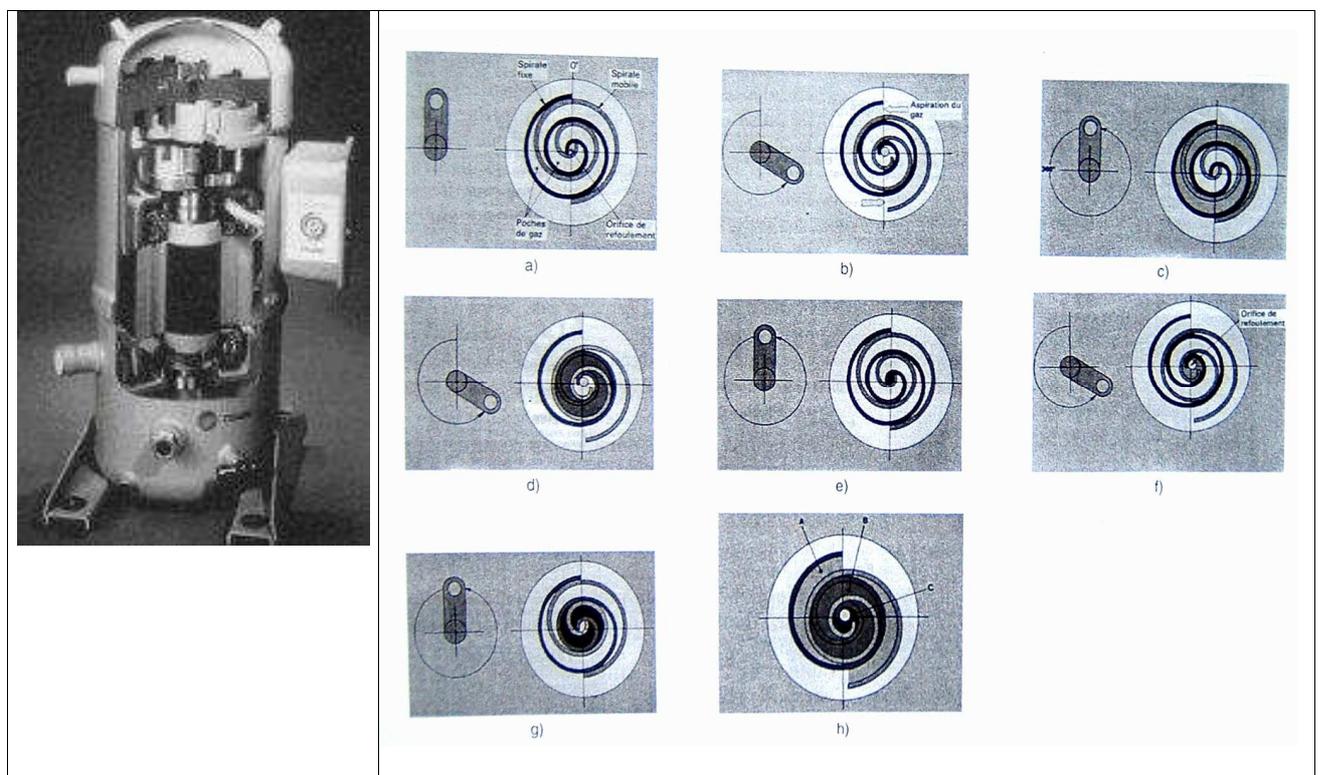


Figure 3.7 : Compresseur à spirales « scroll ».

En a), le mouvement orbital entraîne la formation de poches de gaz et au cours du fonctionnement, le mouvement relatif entre la spirale fixe et la spirale mobile déplace ces poches de gaz vers l'orifice de refoulement situé au centre de la spirale supérieure. Cette progression est caractérisée par une diminution régulière du volume occupée par le gaz.

En b), Lors de la première rotation de l'arbre moteur, où phase d'admission, les parois des deux spirales s'écartent, permettant l'admission de gaz ;

En c), à la fin du premier tour, les parois reviennent en contact formant alors de poches de gaz étanches ;

En d), pendant la deuxième rotation de l'arbre moteur, ou phase de compression, le volume de poches de gaz est progressivement réduit ;

En e), à la fin de la seconde rotation, la compression est à son niveau maximal ;

En g) à la fin de ce troisième tour, tous les gaz comprimés ont été évacués, le volume de la troisième poche de gaz est donc nul.

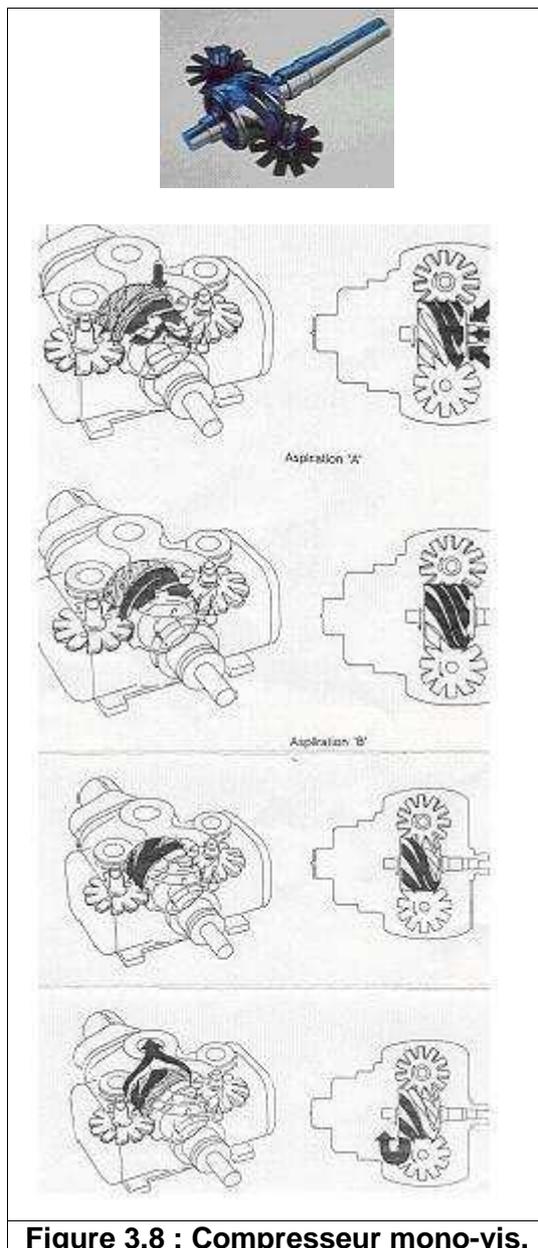


Figure 3.8 : Compresseur mono-vis.

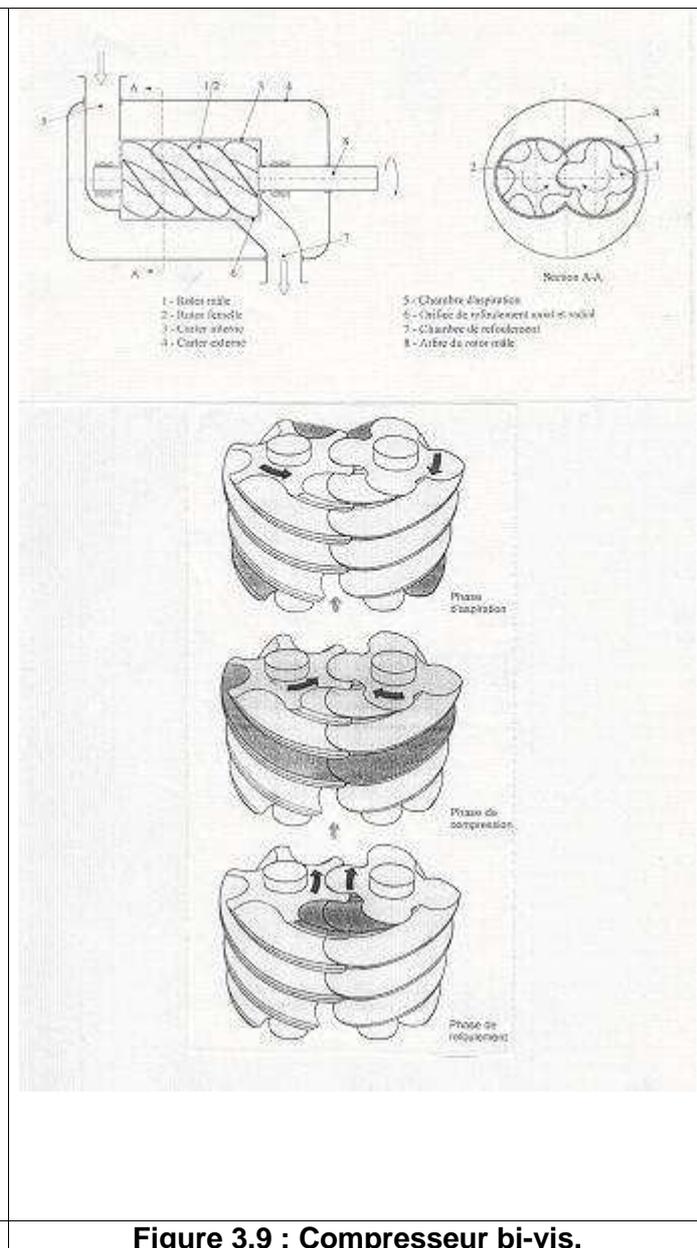


Figure 3.9 : Compresseur bi-vis.

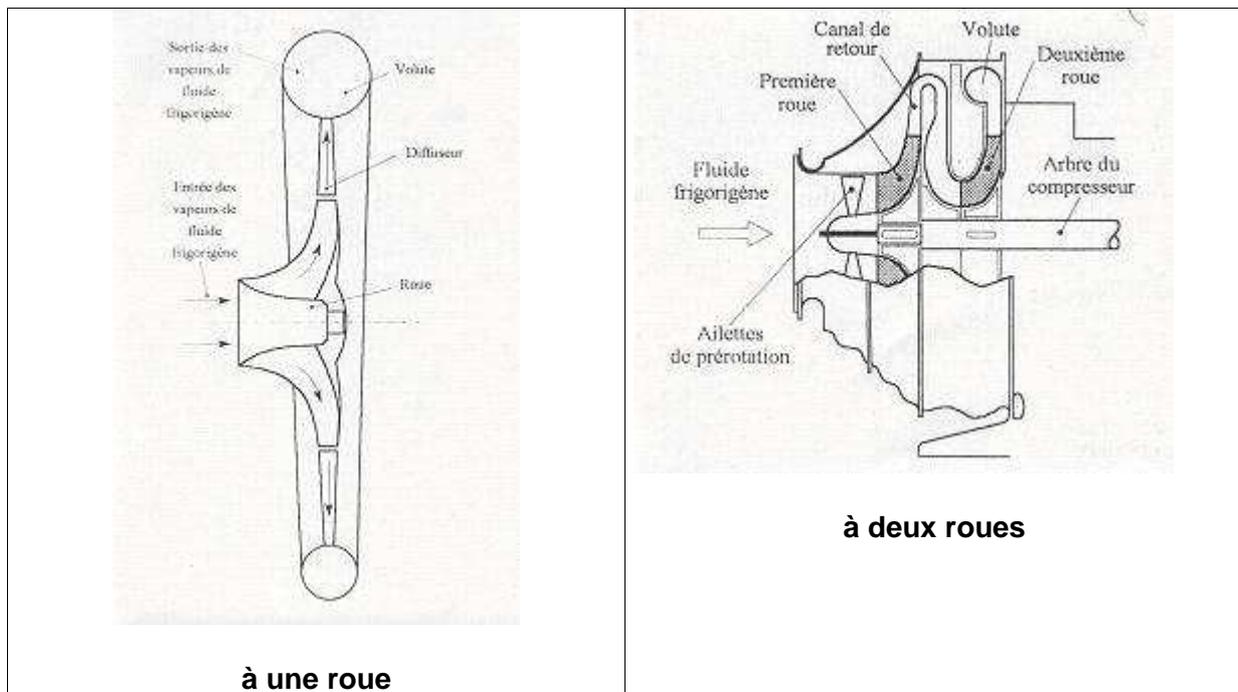


Figure 3.10 : Compresseurs centrifuges « turbo ».

3.3 COMPRESSEUR A PISTONS HERMETIQUE

3.3.1 Principe de fonctionnement

Ce compresseur a été pendant longtemps le type le plus utilisé et le plus répandu dans le domaine du froid ménager, du froid commercial et du froid industriel.

Il reste le type le plus rencontré sur les installations frigorifiques de nos jours.

Le compresseur à pistons est un convertisseur d'énergie qui permet de transférer l'énergie mécanique produite par le moteur électrique (moteur d'entraînement) au fluide frigorigène suivant les deux étapes suivantes :

transfert de l'énergie mécanique du moteur d'entraînement aux pistons (mécanisme de transformation du mouvement rotatif en mouvement alternatif, système d'entraînement des pistons, dispositifs comme le carter, la garniture d'étanchéité, le dispositif de lubrification et du dispositif d'entraînement)

transfert de l'énergie des pistons au fluide frigorigène (le fluide frigorigène est aspiré, comprimé et refoulé ; les pièces en jeu sont bien sûr les pistons mais également les segments, les cylindres, les soupapes ou clapets et les canaux d'admission et d'échappement)



Figure 3.11 : Vues éclatées du compresseur avec le moteur électrique.

Le piston d'un compresseur évolue entre le point mort haut (PMH) et le point mort bas (PMB) suivant le cycle ci-dessous (cycle correspondant à un tour de l'arbre - vilebrequin) :

le piston étant au PMH, le clapet d'aspiration va s'ouvrir (en effet le clapet d'aspiration s'ouvre dès la course descendante du piston sous l'effet de la pression de la chambre d'aspiration qui devient supérieure à la pression régnant dans le cylindre), l'aspiration par le clapet d'aspiration des vapeurs de fluide frigorigène provenant de l'évaporateur s'opère alors au fur et à mesure que le piston continue à descendre, pendant cette phase, le clapet de refoulement est fermé

lorsque le piston atteint le PMB, le cylindre est rempli de vapeurs à la pression d'évaporation (P_0), le clapet de refoulement reste fermé et le clapet d'aspiration se ferme (ou va se fermer très rapidement); en effet lorsque le piston va commencer à remonter, la pression dans le cylindre augmente et lorsqu'elle devient légèrement supérieure à la pression régnant dans la chambre d'aspiration, le clapet d'aspiration va se fermer

partant du PMB, le piston remonte, le volume intérieur contenant les vapeurs se réduit permettant d'obtenir la compression de ces vapeurs et lorsque la pression devient légèrement supérieure à la pression P_c (pression régnant dans la chambre de refoulement), le clapet de refoulement s'ouvre et le refoulement des vapeurs s'opère jusqu'à ce que le piston atteigne le PMH

le piston ayant atteint le PMH, les vapeurs de fluide frigorigène viennent d'être refoulées vers le condenseur, dans l'espace mort ou espace nuisible (espace entre le haut du piston en PMH et le haut du cylindre) les vapeurs sont enfermées à la pression P_c , le clapet d'aspiration est fermée et le clapet de refoulement se ferme (ou va se fermer très rapidement) ; en effet à partir du PMH, le piston va commencer à redescendre, la pression dans le cylindre va diminuer ce qui va permettre au clapet de refoulement de se refermer (assez rapidement) lorsque la pression dans la chambre de refoulement va être supérieure à pression régnant dans le cylindre.

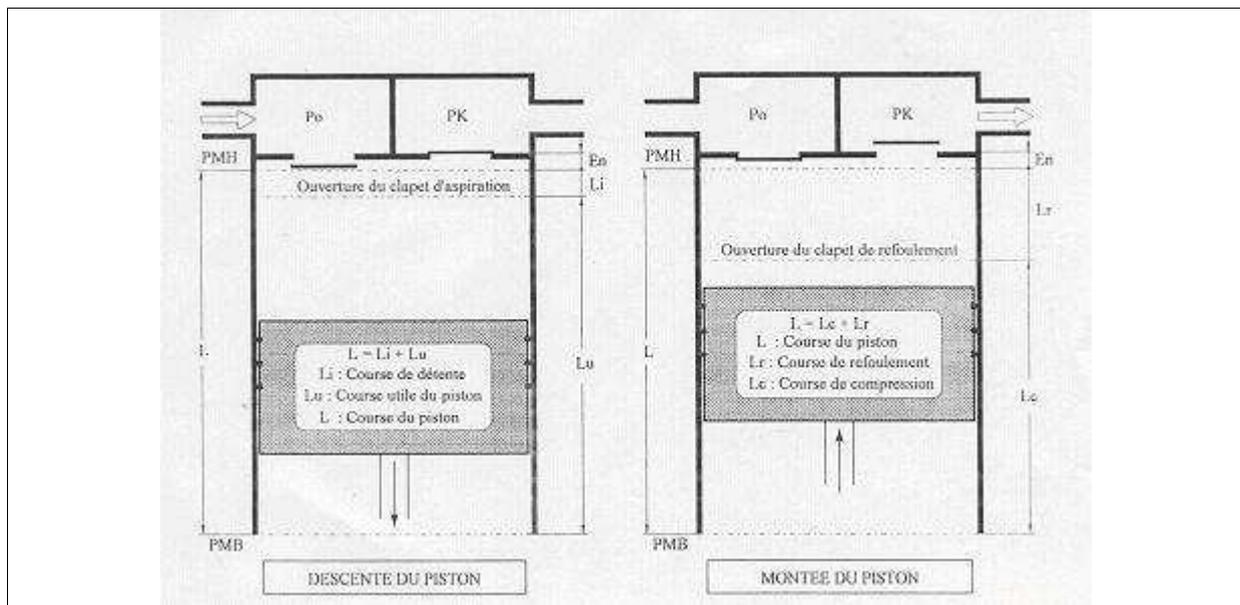


Figure 3.12 : Cycles de fonctionnement du compresseur à piston.

3.3.2 Dispositifs de transfert d'énergie

3.3.2.1 Arbre excentrique et arbre vilebrequin

Ce dispositif permet de transmettre l'énergie fournie par le moteur d'entraînement (électrique) en transformant le mouvement rotatif en mouvement alternatif.

L'arbre excentrique est généralement utilisé pour les compresseurs de faible puissance (compresseurs hermétiques et semi hermétiques). Sa fabrication est plus simple que l'arbre vilebrequin et il permet la mise en place de bielles à tête fermée.

L'arbre vilebrequin est un arbre avec deux paliers principaux (avec quelques fois des paliers intermédiaires) à ses extrémités qui tourne sur des paliers généralement lisses quelques fois à billes ou à rouleaux.

Il comporte trois parties :

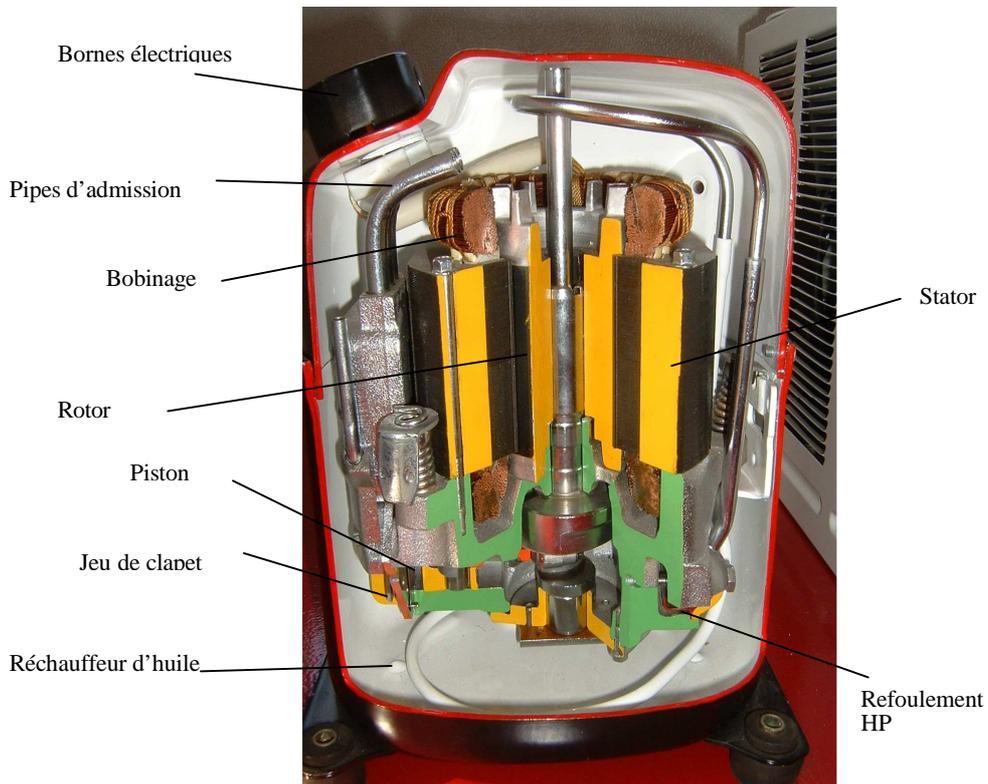
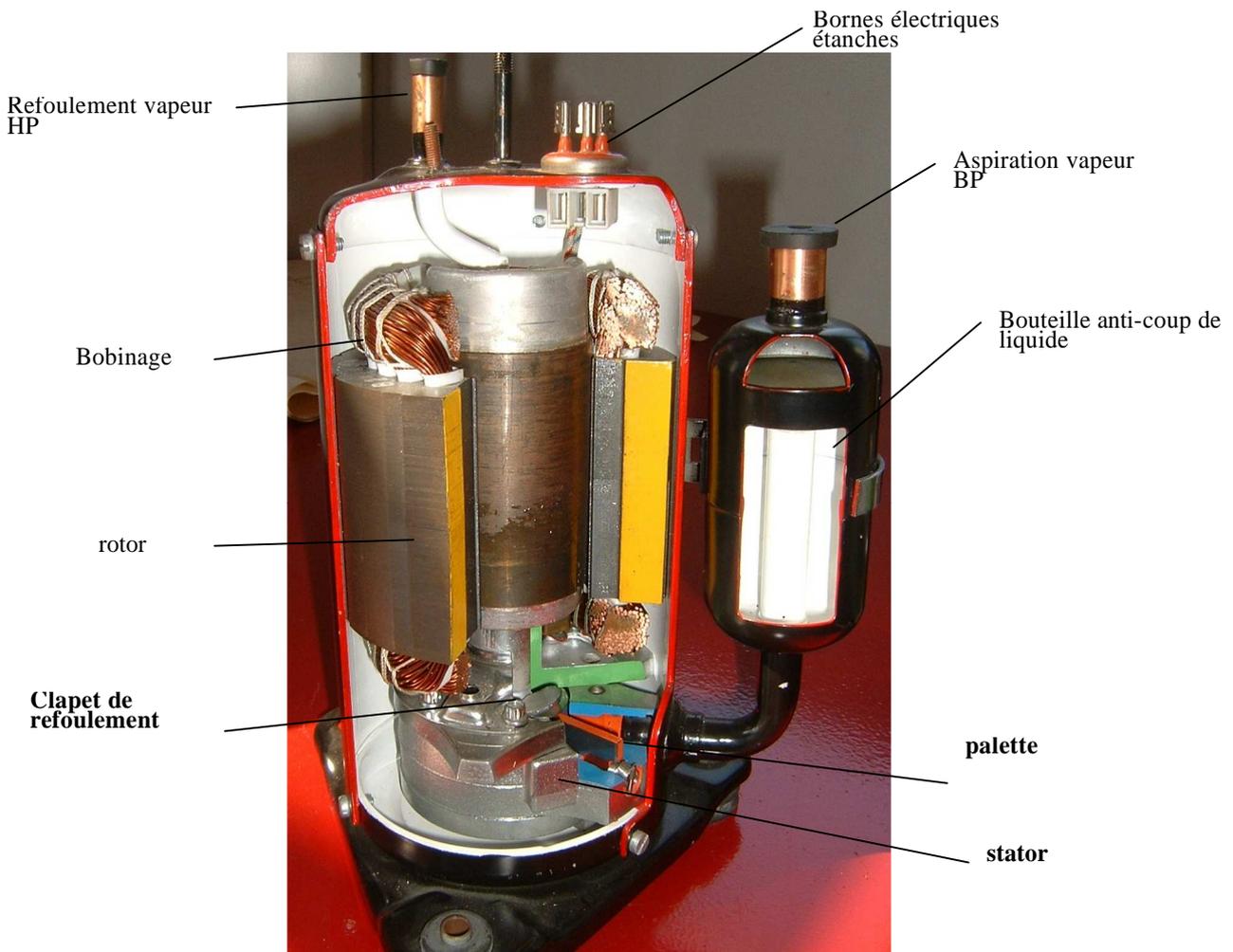
- les tourillons avant , arrière et quelques fois intermédiaires, ils sont lisses et soigneusement usinés pour être positionnées dans les paliers

- les manetons qui sont le support des bielles, les têtes de bielles sont fixées sur les manetons soit directement soit en interposant des soies.

- Les contrepoids sont des masses soigneusement calculés et judicieusement positionnées pour équilibrer les forces résultantes du mouvement de l'ensemble mécanique constitué du vilebrequin et des bielles.

Les arbres vilebrequins sont généralement forés de canaux qui transportent l'huile de graissage vers les paliers, les manetons et la garniture d'étanchéité.

La partie de l'arbre à l'extérieur du carter est conique et comporte une clavette pour la mise en place d'un volant ou d'un dispositif d'accouplement élastique (compresseurs ouverts), l'autre extrémité comporte le logement du système d'entraînement de la pompe à huile.



3.3.2.2 Les bielles

Elles assurent la transmission de l'énergie du vilebrequin aux pistons, elles doivent être résistantes et légères (aluminium coulé ou alliage d'aluminium).

Il existe les bielles à tête fermée pour les arbres excentriques et les bielles à tête ouverte.

Les bielles à tête fermée renferment les deux éléments d'un coussinet mince réalisé en acier recouvert de cuivre et de métal antifriction.

3.3.2.3 La garniture d'étanchéité

Il s'agit d'un organe spécifique aux compresseurs ouverts et dont le rôle est de permettre la rotation de l'arbre tout en assurant l'étanchéité entre le carter (contenant le fluide frigorigène et l'huile frigorigène) et l'atmosphère et ce quelque soit la pression régnant dans le carter (supérieure et inférieure à la pression atmosphérique).

Elle doit être abondamment lubrifiée.

3.3.2.4 Le carter

Il renferme et supporte le dispositif d'entraînement des pistons, il reçoit et renferme les cylindres et les chapeaux des cylindres.

La partie inférieure forme la réserve d'huile et permet l'accès aux différents composants pour les visites d'entretien et de réparation (compresseurs semi hermétiques et ouverts).

Le carter doit être étanche et pour la majorité des compresseurs de type industriel il est réalisé en fonte fine. Les carters sont éprouvés hydrauliquement. La pression régnant dans le carter est la pression d'aspiration grâce à des orifices d'équilibrage.

3.3.2.5 Les dispositifs de lubrification

Les compresseurs doivent être lubrifiés à des points précis tels que les paliers, les têtes de bielle, les pieds de bielle, les cylindres et la garniture d'étanchéité.

L'huile assure la lubrification des pièces en mouvement de même qu'elle contribue au refroidissement (évacuation de la chaleur due aux frottements) et participe à l'étanchéité du système. On distingue la lubrification avec ou sans pompe à huile.

Lubrification sans pompe à huile

Lubrification par barbotage

Les têtes de bielle plongent dans l'huile et la projette à l'intérieur du carter lors des remontées. Cette technique convient pour des petits compresseurs dont la vitesse de rotation ne dépasse pas 800 tr/mn. Pour des vitesses supérieures, on constate la formation d'émulsion d'huile formée par l'agitation créée par les têtes de bielle.

Lubrification des compresseurs hermétiques

Les compresseurs hermétiques disposent d'un dispositif de lubrification sans barbotage des têtes de bielle, ni pompe à huile.

L'arbre creux muni d'une rainure hélicoïdale plonge dans l'huile et c'est par la capillarité et sous l'effet de la force centrifuge que l'huile remonte le long de l'arbre et lubrifie les organes essentiels du compresseur (paliers, bielles...). En bout d'arbre, l'huile est finalement projetée dans la cloche en fines gouttelettes refroidissant le moteur et retombe ensuite dans le bas de la cloche, ce dispositif est réversible et ne dépend pas du sens de rotation.

Lubrification forcée par pompe à huile

Une pompe à huile placée en bout d'arbre assure la lubrification des points essentiels du compresseur. Un circuit classique de lubrification sous pression comporte :

un filtre d'aspiration à l'entrée du circuit disposé dans l'huile

une pompe à huile entraînée par l'arbre vilebrequin

un filtre de refoulement à mailles fines (chez certains constructeurs)

un dispositif de réglage de la pression de lubrification

L'huile retourne ensuite dans le carter de diverses manières (fuites internes des paliers et manetons, fuite permanente de la garniture, raclage des parois internes des cylindres, chambres d'aspiration, retour de la soupape de décharge). La pompe à huile délivre une pression supérieure à la pression régnant dans le carter (à peu près la pression d'aspiration).

3.3.2.6 Le piston

Le matériau de plus en plus utilisé pour la fabrication du piston est l'aluminium et ses alliages mais la fonte qui était le matériau utilisé depuis fort longtemps est toujours d'actualité.

Le piston se déplace dans un cylindre avec un jeu de l'ordre de $1/1000^{\text{ème}}$ de l'alésage. L'étanchéité au fluide frigorigène est obtenue par l'utilisation de segments de compression, quelque fois le piston est équipé d'un segment racleur d'huile.

D'une manière générale, le rapport diamètre sur course est de l'ordre de 1.3 à 1.4.

3.3.2.7 Les soupapes ou clapets

Un cylindre est muni d'une ou plusieurs soupapes d'aspiration et de refoulement.

Les soupapes d'aspiration permettent le passage des vapeurs de fluide frigorigène (FF) de la chambre d'aspiration vers le cylindre et celles de refoulement le passage des vapeurs comprimés dans le cylindre vers la chambre de refoulement.

Le fonctionnement des soupapes est automatique, elles s'ouvrent sous l'effet de dépression à l'aspiration et d'une surpression au refoulement. Inversement la soupape d'aspiration se referme lors de la course de compression et la soupape de refoulement se ferme lors de la course d'aspiration.

Les soupapes doivent présenter certaines qualités telles que une faible perte de charges, une inertie faible, une bonne étanchéité, une bonne résistance, un faible encombrement, un fonctionnement silencieux et bien sûr être bon marché.

Deux types de soupapes sont disposées à la partie supérieure du cylindre :

les soupapes du type à lamelles

les soupapes concentriques ou annulaires.

Les soupapes sont généralement réalisées en acier.

Les soupapes sont très sensibles au fluide frigorigène liquide qui peut provoquer leur usure lente voir leur destruction rapide et totale lorsque le liquide est en grande quantité, c'est pour cette raison que certains compresseurs sont équipés d'un dispositif anti-coups de liquide.

3.3.2.8 Dispositifs de variation de puissance

L'installation frigorifique est dimensionnée généralement pour évacuer la chaleur du milieu à refroidir durant la période où la charge thermique est maximale, le reste du temps la puissance frigorifique de l'installation est excédentaire, ce qui entraîne un fonctionnement par « à coups », c'est-à-dire des enclenchements trop fréquents de la machine, ce qui est préjudiciable au bon fonctionnement et à la longévité de l'installation (surchauffe du moteur électrique d'entraînement, mauvaise lubrification des pièces en mouvement au démarrage due à la faible pression différentielle d'huile, réintégration insuffisante de l'huile dans le carter).

Des dispositifs de temporisation (anti-court cycle) limitent la fréquence de démarrage des compresseurs et assurent un temps minimal de fonctionnement mais ces systèmes seuls ne permettent pas de régler le problème de variations de charges thermiques qui se traduisent au niveau de l'évaporateur par des variations de débit de vapeur de fluide frigorigène. Ces variations de débit entraînent à leur tour des variations de pression d'évaporation. Lorsque la pression d'évaporation diminue et par conséquent la température d'évaporation si rien ne change au niveau des compresseurs, cela entraîne un mauvais fonctionnement du système (formation de givre ou augmentation de la quantité normale de givre...).

Le débit aspiré par le compresseur doit être ajusté au débit évaporé dans les évaporateurs, ce qui peut s'obtenir par :

des arrêts de compresseurs (fonctionnement tout ou rien, fonctionnement par étages)

une variation de la vitesse de rotation du compresseur (moteur à 2 vitesses, variateurs de vitesse)

une mise hors service de cylindres (décharge des cylindres)

un bipasse refoulement aspiration

une obturation de l'orifice d'aspiration



Figure 3.13 : Vues du dispositif mécanique du compresseur.

3.4 LES CONDENSEURS

3.4.1 Technologie des condenseurs

Les condenseurs sont des échangeurs thermiques entre le fluide frigorigène et un fluide de refroidissement. Le fluide frigorigène cède la chaleur acquise, dans l'évaporateur et lors de la compression, au fluide de refroidissement.

Lors de son passage dans le condenseur, le fluide frigorigène passe de l'état vapeur à l'état liquide.

On distingue deux familles de condenseurs suivant le fluide de refroidissement :

les condenseurs à air

les condenseurs à air à convection naturelle

les condenseurs à air à convection forcée

les condenseurs à eau

les condenseurs à double tube (condenseurs coaxiaux)

les condenseurs bouteilles (condenseurs à serpentins)

les condenseurs multitubulaires

les condenseurs à plaques brasées (échangeur à plaques)

Le tableau suivant donne les avantages et les inconvénients de chacune des deux familles.

Tableau 3.2 : Avantages et inconvénients des condenseurs à air et à eau.

	Avantages	Inconvénients
Condenseurs à air	Air disponible en quantité illimitée Entretien simple et réduit	Coefficients globaux d'échange thermique relativement faibles Plus imposants et plus lourds Températures de condensation élevées dans les pays chauds
Condenseurs à eau	Coefficients globaux d'échange thermique plus élevés Plus compacts et moins encombrants à puissance égale Températures de condensation stables et de bas niveau Fonctionnement moins bruyant Possibilité de récupération d'énergie	Gaspillage d'eau pour les condenseurs à eau perdue Nécessité de mise en place d'un système de refroidissement de l'eau

3.4.2 Les condenseurs à air

Il existe deux types de condenseur à air à savoir les condenseurs à convection naturelle (sans ventilateur) et les condenseurs à convection forcée (utilisation d'un ventilateur pour la circulation forcée de l'air).

3.4.2.1 Les condenseurs à air à convection naturelle

On distingue les condenseurs à tubes lisses et les condenseurs constitués de tubes à ailettes.

L'air au contact du faisceau à ailette (ou du faisceau de tubes) s'échauffe et s'élève laissant la place à de l'air plus frais. Ils ne nécessitent aucune énergie pour la circulation de l'air mais le coefficient global d'échange thermique est faible (inférieur à $15 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ et même inférieur à $10 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ pour les condenseurs à tubes lisses).

Ils ne sont utilisés que pour des puissances à échanger très faibles (froid ménager : réfrigérateurs et congélateurs).

3.4.2.2 Les condenseurs à air à convection forcée

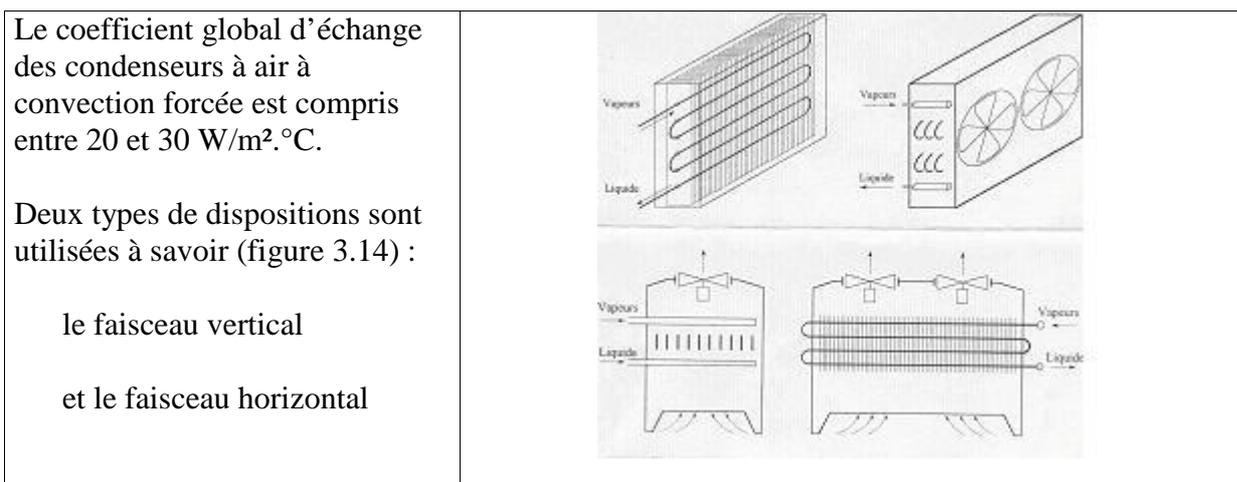


Figure 3.14 : Condenseurs - faisceaux horizontal et vertical.

3.4.2.2.1 Condenseurs à air à convection forcée verticaux

Ils sont utilisés pour les petites et moyennes puissances, la vapeur surchauffée entre par le collecteur supérieur et le liquide sous-refroidi sort par le collecteur inférieur.

3.4.2.2.2 Condenseurs à air à convection forcée horizontaux

Ils sont utilisés pour des puissances supérieures, les sections sont disposées en parallèle permettant un meilleur équilibre thermique. La vitesse moyenne de l'air est comprise entre 2 et 4 m/s pour limiter les pertes de charge et le niveau sonore.



Figure 3.15 : Condenseurs à air – constructeur FRIGA BOHN.

3.4.3 Les condenseurs à eau

Il faut distinguer les condenseurs à eau perdue et les condenseurs à eau recyclée.

Pour les condenseurs à eau perdue, l'eau chaude issue du refroidissement des vapeurs de fluide frigorigène est rejetée soit à l'égout (procédé très coûteux et ayant pratiquement disparu) , soit dans une réserve d'eau considérée infinie (barrage, retenue d'eau, rivière, mer, fleuve...).

Pour les condenseurs à eau recyclée, à savoir que l'eau chaude issue du refroidissement est refroidi pour être à nouveau utilisée, il est fait appel à des dispositifs appelés « Tours de refroidissement ».

3.4.3.1 Les condenseurs à double tube

Ils sont constitués de deux tubes concentriques, l'eau circule dans le tube central tandis que le fluide frigorigène se désurchauffe, se liquéfie et se sous refroidit dans l'espace annulaire, ce qui permet une possibilité d'évacuation de la chaleur du fluide frigorigène vers l'extérieur.

La circulation eau-FF s'effectue généralement à contre courant (meilleures performances).

Les puissances échangées sont relativement faibles, le coefficient global d'échange varie entre 700 et 950 W/m².°C.

3.4.3.2 Les condenseurs bouteilles

Le fluide frigorigène se condense au contact du tube d'eau (serpentin),il s'agit de la combinaison d'un condenseur et d'un réservoir de liquide.

Les puissances échangées sont également faibles.

3.4.3.3 Les condenseurs multitubulaires

Ils sont constitués d'un grand nombre de tubes mis en parallèle, c'est le faisceau tubulaire qui est enclos dans un corps circulaire, la calandre.

Les tubes sont soudés ou brasés sur les plaques tubulaires qui délimitent le faisceau, les fonds démontables, chicanés, canalisent l'eau de refroidissement qui circule dans les tubes (vitesse de l'ordre de 1 à 1.25 m/s). Le fluide frigorigène se condense dans la calandre au contact des tubes où circule l'eau de refroidissement.

le coefficient global d'échange est compris entre 700 et 1100 W/m².°C.

Les condenseurs multitubulaires sont généralement horizontaux et suivant la conception, le faisceau tubulaire :

occupe en totalité la calandre, un réservoir de liquide est alors nécessaire

n'occupe pas la partie inférieure de la calandre, permettant ainsi le stockage du fluide frigorigène condensé

3.4.3.4 Les condenseurs à plaques brasées

La technologie de ces condenseurs est identique à celle des évaporateurs à plaques brasées (cf. 3.6.4.4 : évaporateurs du type échangeur à plaques).

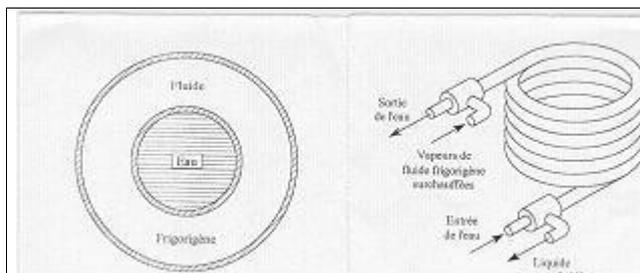


Figure 3.16 : Condenseur double tube

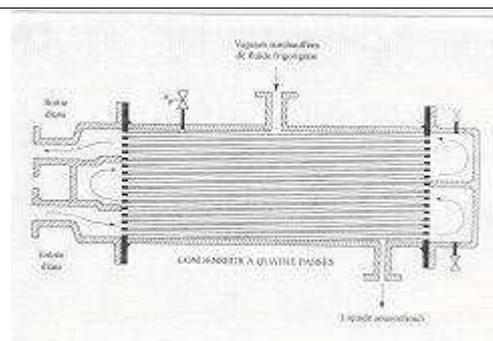


Figure 3.17 : Condenseur multitubulaire.

3.4.3.5 Notion de groupe de condensation

Ce terme renvoie à l'association d'un compresseur, d'un condenseur et d'une bouteille liquide, le tout étant monté d'origine sur le même bâti. Ce type d'appareil est répandu en froid commercial (chambres froides, vitrine réfrigérée...).

3.4.4 Sous refroidissement des condenseurs

Le sous refroidissement représente la différence entre la température de condensation (T_c) des vapeurs de FF et la température du FF liquide (T_l) à la sortie du condenseur.

La température du FF liquide à la sortie du condenseur (T_l) se mesure avec un thermomètre de contact.

La température de condensation (T_c) se déduit de la pression de condensation et de la nature du FF. Le manomètre placé au refoulement du compresseur (P_c) donne la valeur de la pression de condensation.

Lorsque les pertes de charge dans la conduite de refoulement ne sont pas négligeables tandis que celles du condenseur le sont, il est nécessaire de mesurer la pression à l'entrée du condenseur (utilisation d'une prise schrader).

Lorsque les pertes de charge dans le condenseur ne sont pas négligeables, il est nécessaire de mesurer la pression à la sortie du condenseur (utilisation d'une prise schrader).

La valeur du SR est généralement comprise entre 3 et 7°C.

Le SR est effectué à la sortie du condenseur

3.4.5 Systèmes de refroidissement des condenseurs à eau

Les condenseurs à eau recyclée font appel à des systèmes de refroidissement de l'eau chaude qui sort des condenseurs pour permettre sa réutilisation : ce sont les tours de refroidissement.

En marge des tours de refroidissement, il faut citer les cas particuliers des aérorefroidisseurs « dry-cooler » et des condenseurs évaporatifs.

3.4.5.1 Les Aérorefroidisseurs

L'allure générale de ce type de refroidisseur est celui d'un condenseur à air à la différence que c'est de l'eau (eau glycolée en général) qui circule dans les tubes à la place du fluide frigorigène pour les condenseurs.

Un tel refroidisseur ne consomme pas d'eau et le circuit hydraulique reste propre.

Cependant, le fait qu'il n'y ait pas d'évaporation d'eau ne permet pas d'avoir un refroidissement intense.

Ce type de refroidisseur n'est pratiquement pas utilisé dans les pays chauds.

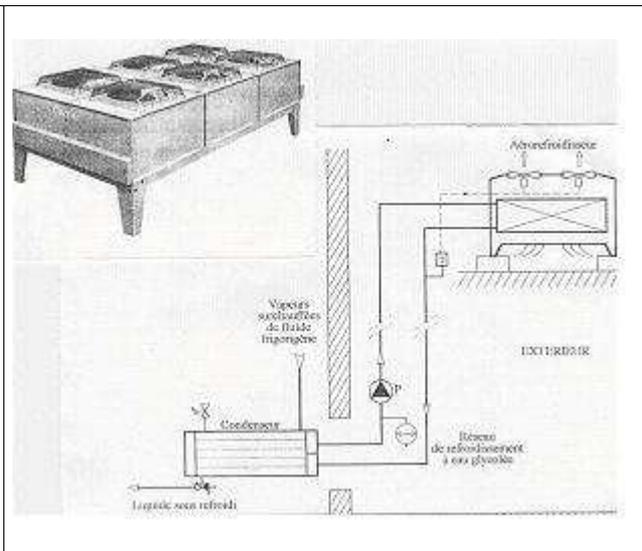


Figure 3.18 : Aérorefroidisseur.

3.4.5.2 Les Tours de refroidissement

Ces refroidisseurs permettent d'économiser l'eau de refroidissement des condenseurs.

Le principe de fonctionnement est le suivant : l'eau échauffée dans le condenseur est mis en présence d'un courant d'air, une partie de cette eau s'évapore dans l'air refroidissant la fraction restée liquide. Cette eau refroidie est ensuite récupérée dans un bac pour être à nouveau renvoyée vers le condenseur. On pourrait dire que la chaleur cédée au fluide frigorigène dans le condenseur est utilisée pour vaporiser une partie de l'eau (un kilo d'eau évaporée signifie l'évacuation de 2500 kJ).

On distingue deux types de tours de refroidissement :

les tours à circuit ouvert (eau de refroidissement en contact direct avec l'air ambiant)

les tours à circuit fermé (l'eau de refroidissement est en contact avec l'air ambiant par l'intermédiaire d'un échangeur de chaleur).

3.4.5.2.1 Les tours de refroidissement à circuit ouvert

Il s'agit de systèmes munis de ventilateurs pour forcer le passage de l'air, deux dispositions sont possibles : soit un (ou plusieurs) ventilateur(s) hélicoïde(s), soit une (ou plusieurs) ventilateur(s) centrifuge(s).

L'eau chauffée dans le condenseur entre dans la tour par la partie haute par une rampe de distribution munie de pulvérisateurs, à partir de ses buses de pulvérisation l'eau est divisée en fines gouttelettes (pour améliorer l'évaporation) puis elle ruisselle par gravité sur une surface d'échange air-eau (nids d'abeilles). Un courant d'air ascendant est établi par le (ou les) ventilateur(s) ; du fait de l'évaporation partielle et de la convection, la température de l'eau diminue. L'eau refroidie tombe dans un bac ou elle est recueillie pour aller condenser à nouveau le fluide frigorigène (par l'intermédiaire d'un circulateur ou pompe de recirculation).

Le bac de ce type de tour contiendra des particules laissées par l'air extérieur sous l'action de l'eau pulvérisée. Les gouttelettes d'eau entraînées par l'air sont arrêtés au sommet de l'appareil par le séparateur de gouttelettes et retombent dans le bac de récupération.

3.4.5.2.2 Les tours de refroidissement à circuit fermé

Ces systèmes sont comparables aux tours à circuit ouvert à la différence que l'échangeur air-eau est remplacé par un échangeur de chaleur du type multitubulaire dans lequel circule l'eau chaude issue du condenseur.

La rampe de pulvérisation disposée en partie haute arrose l'échangeur par gravité, le courant d'air à contre courant créé par le (ou les) ventilateur(s) provoque l'évaporation d'une faible quantité d'eau, l'eau de ruissellement tombe dans le bac de récupération puis renvoyée dans la rampe de pulvérisation par le circulateur.

La tour de refroidissement à circuit fermé évite la pollution de l'eau circulant dans les condenseurs par l'air atmosphérique mais son utilisation entraîne une température de condensation plus élevée (refroidissement moins intense) et par conséquence une consommation énergétique accrue.

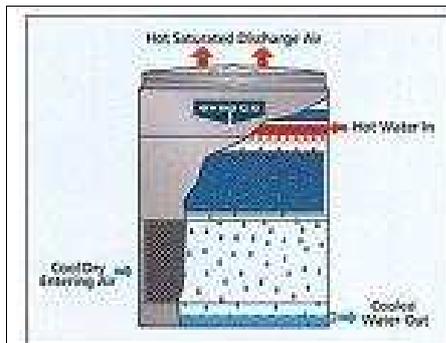


Figure 3.19 : Principe de fonctionnement tour de refroidissement à circuit ouvert.

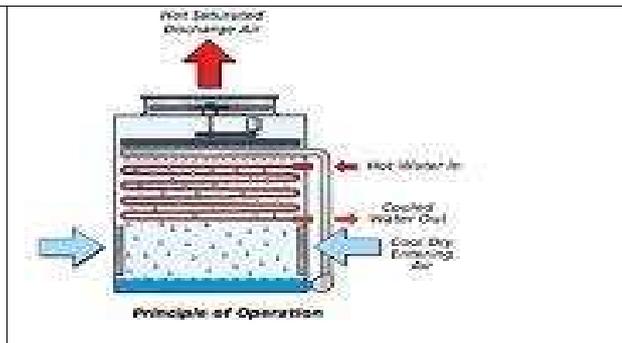


Figure 3.20 : Principe de fonctionnement tour de refroidissement à circuit fermé.

3.4.5.2.3 La notion d'approche des tours de refroidissement

L'approche d'une tour de refroidissement caractérise l'efficacité d'une tour de refroidissement, c'est la différence entre la température humide de l'air extérieur et la température de l'eau dans le bac de la tour (eau refroidie dans la tour).

En théorie pour une tour de refroidissement **parfaite** (surface d'échange infinie), l'eau chaude venant des condenseurs est refroidie à la température de l'air humide de l'air extérieur, soit une surchauffe nulle.

Plus l'approche est faible, plus la tour est efficace, elle se situe environ entre 3 et 7°C.

3.4.5.3 Les condenseurs évaporatifs

Il s'agit d'un type de condenseur qui intègre dans son enceinte le système de refroidissement de l'eau servant au refroidissement des vapeurs de FF.

Le principe est identique à la tour de refroidissement (pulvérisation d'eau et circulation d'air) à la différence que c'est le condenseur lui-même qui est directement refroidi dans une carrosserie et non un circuit intermédiaire comme dans le cas de la tour de refroidissement.

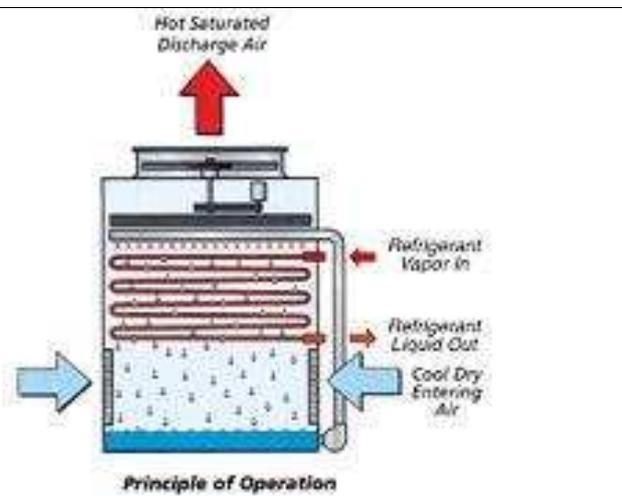


Figure 3.21 : Principe de fonctionnement condenseur évaporatif.

 <p>The image shows a brown, rectangular industrial tower with a cylindrical top section. The letters 'AT' are displayed in a stylized, metallic font above the tower. A small logo is visible on the front panel.</p>	 <p>The image shows a white, rectangular industrial tower with a cylindrical top section. The letters 'ATW' are displayed in a stylized, metallic font above the tower. The front panel features two horizontal sections with logos.</p>	 <p>The image shows a white, rectangular industrial tower with a cylindrical top section. The letters 'ATC' are displayed in a stylized, metallic font above the tower. The front panel features two horizontal sections with logos.</p>
<p>Tour à circuit ouvert</p>	<p>Tour à circuit fermé</p>	<p>Condenseur évaporatif</p>
<p>Figure 3.22 : Tours et condenseur évaporatif du constructeur EVAPCO.</p>		

3.4.6 Echanges thermiques dans les condenseurs

Les évolutions de FF dans les condenseurs sont considérées sans perte de charge et seuls les changements d'état sont pris en compte.

Des valeurs usuelles d'écart de températures sont utilisés pour caractériser (conditions de fonctionnement, diagnostic...) les condenseurs.

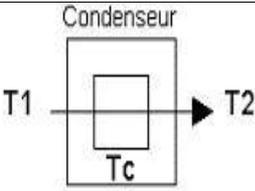
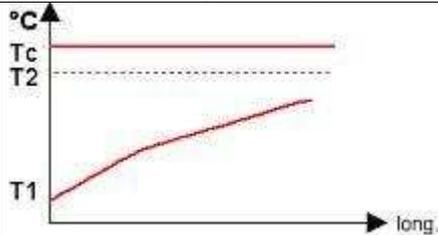
En désignant par :

T1 : la température d'entrée au condenseur du fluide (air ou eau) de refroidissement des vapeurs de FF

T2 : la température de sortie du condenseur du fluide (air ou eau) de refroidissement des vapeurs de FF

Tc : la température de condensation des vapeurs de FF dans le condenseur

On définit :

Ecart de température sur le fluide	
Température moyenne du fluide	$T_{fm} = \frac{T1 + T2}{2}$
Ecart de température moyen arithmétique	
Ecart de température maximum	
Ecart de température minimum (pincement)	
Ecart de température moyen logarithmique (ln : logarithme népérien)	$\Delta T_{ln} = \frac{(Tc - T1) - (Tc - T2)}{\ln\left(\frac{Tc - T1}{Tc - T2}\right)}$
	

Les valeurs de référence des écarts de températures sont les suivantes :

pour les condenseurs à air

Ecart de température sur l'air : 3 à 8°C

Ecart de température entre la condensation et l'entrée d'air : 12 à 15°C

pour les condenseurs à eau perdue (l'eau sortant du condenseur est rejetée)

Ecart de température sur l'eau : 10 à 15°C

Ecart de température entre la condensation et la sortie d'eau : 5°C

pour les condenseurs à eau recyclée (tour ouverte)

Ecart de température sur l'eau : 5°C

Ecart de température entre la condensation et la sortie d'eau : 5°C

Ecart de température entre l'entrée d'eau au condenseur et la température humide de l'air extérieur (approche) : 3 à 7°C

pour les condenseurs à eau recyclée (tour fermée)

Ecart de température sur l'eau : 5°C

Ecart de température entre la condensation et la sortie d'eau : 5°C

Ecart de température entre l'entrée d'eau au condenseur et la température humide de l'air extérieur : 7 à 15°C

La puissance thermique échangée entre le FF et le fluide de refroidissement d'écrit :

: puissance thermique échangée (en kW)

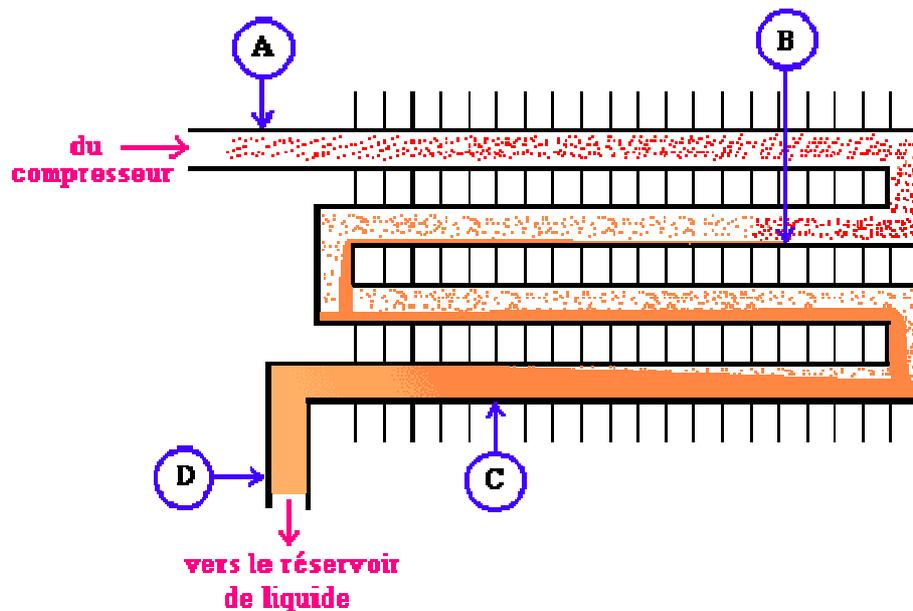
: coefficient global d'échange du condenseur (kW/m².°C)

: surface d'échange du condenseur (m²)

: écart de température moyen logarithmique (°C)

Exemple d'un condenseur à air ventilé d'une installation au R404A:

Le schéma ci-dessous représente un condenseur à air ventilé :



L'installation qui utilise ce condenseur fonctionne avec du R404A.

Point A : Les vapeurs de R404A surchauffés entrent dans le condenseur, la pression est de 17 bar.

Entre A et B, les vapeurs se désurchauffent pour atteindre la température de condensation

Point B : la molécule de R404A liquide apparaît, la température du R404A est désormais de 39°C. C'est le début de la condensation.

Entre B et C, c'est le changement d'état (condensation). La température du R404A reste constante et égale à 39°C. Il y a de moins en moins de vapeurs saturées et de plus en plus de liquide.

Point C : la dernière molécule de vapeur s'est condensée, il ne reste que du liquide de fluide frigorigène et la température est de 39°C. C'est la fin de la condensation.

Entre C et D : grâce à l'air qui circule sur le condenseur on sous refroidit légèrement le liquide, la température baisse progressivement.

Point D : à la sortie du condenseur il ne reste que du R404A liquide, ce liquide a été sous refroidi et sa température est de 34°C. La pression reste toujours à 17 bar.

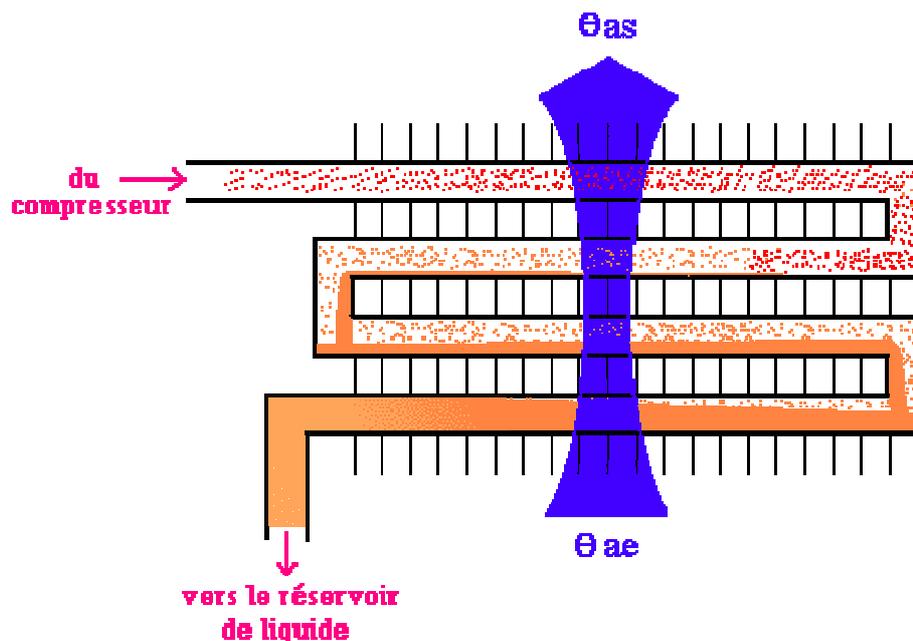
Sous refroidissement = température de condensation - température de sortie de condenseur

$$= q [BC] - q D$$

$$= 39 - 34 = 5^{\circ}\text{C}$$

Un sous refroidissement du liquide HP est la certitude que la condensation soit terminée. C'est donc la garantie d'alimenter le détendeur en 100% liquide.

Que se passe t'il pour l'air qui passe sur le condenseur ?



gas : température de l'air en sortie de condenseur
 qae : température de l'air à l'entrée du condenseur
 qk : température condensation lue au manomètre HP

Dans l'exemple ci-dessus, l'air arrive sur le condenseur à une température de 25°C et il se réchauffe jusqu'à 31°C en prenant de la chaleur au fluide frigorigène :

$$\text{Le } Dq \text{ sur l'air} = q_{\text{as}} - q_{\text{ae}} = 31 - 25 = 6^{\circ}\text{C}$$

La pression de condensation est de 17 bar, ce qui équivaut pour le R404A à une température de condensation de 39°C:

$$\text{Le } Dq \text{ total} = q_{\text{k}} - q_{\text{ae}} = 39 - 25 = 14^{\circ}\text{C}$$

3.5 LES DETENDEURS

3.5.1 Technologie des détendeurs

Les détendeurs sont destinés à l'alimentation des évaporateurs en fluide frigorigène.

Suivant le principe de fonctionnement des évaporateurs, on distinguera :

- les dispositifs alimentant les évaporateurs à détente sèche
- les dispositifs alimentant les évaporateurs noyés

Les dispositifs alimentant les évaporateurs à détente sèche communément appelés détendeurs seront abordés dans cette partie.

Quant aux autres dispositifs, il s'agit de systèmes de détection de niveau.

Les détendeurs pour évaporateurs à détente sèche se regroupent en trois types :

- les tubes capillaires ou détendeurs capillaires
- les détendeurs thermostatiques
- les détendeurs électroniques

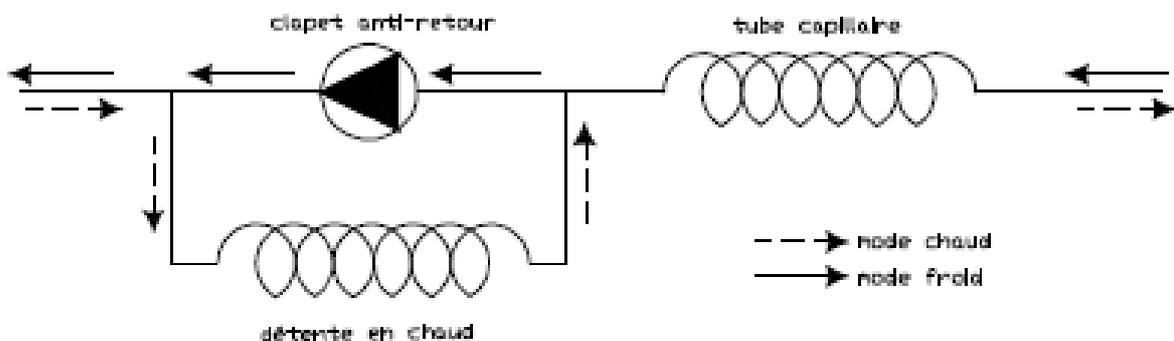
3.5.2 Les tubes capillaires

Ce sont des tubes de cuivre de longueur variable (de 1 à 7 m environ) et dont le diamètre intérieur varie entre de 0.6 à 2 mm. C'est un restricteur non réglable dont la résistance d'écoulement représente la perte de charge désirée entre le condenseur et l'évaporateur, ses dimensions sont déterminées expérimentalement (cf. figure 3.3).

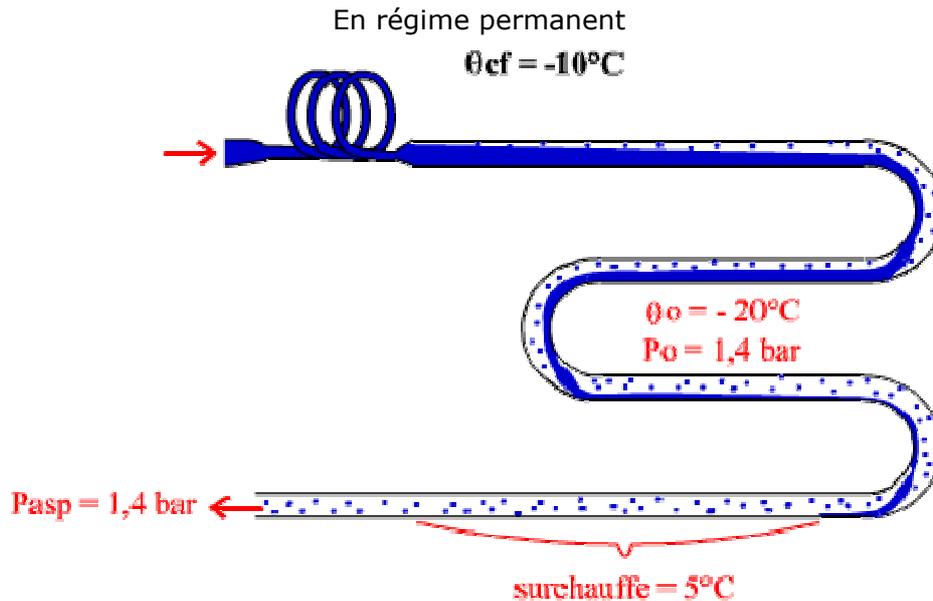
Ils conviennent pour des installations de faible puissance thermiques et peu variables.

Ce type de détente est présent sur tous les groupes extérieurs de faible puissance (en dessous de 32000 Btu/h)

- Sur les modèles réversibles la détente est faite en froid de la même façon mais en chaud, nous avons ce que l'on appelle une « **rampe de capillaire** », composée de deux capillaires et d'un clapet anti-retour. Le schéma est le suivant :

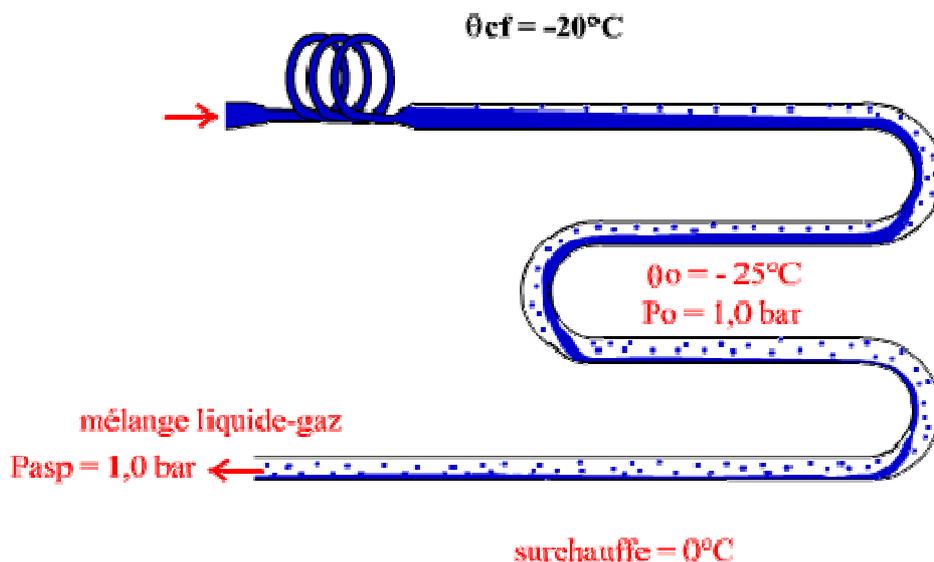


Fonctionnement :



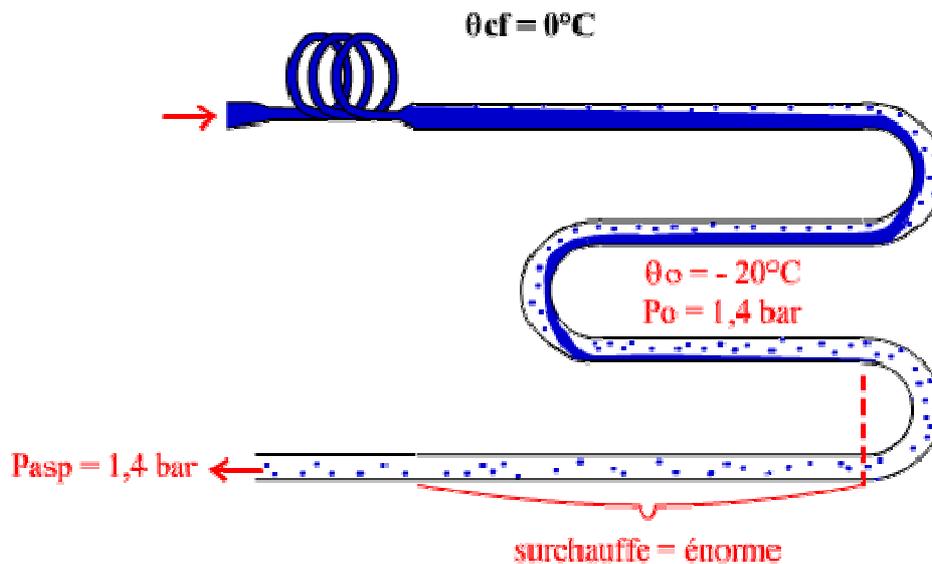
Nous avons choisit un capillaire qui maintien une surchauffe à l'évaporateur de 5°C . La température de chambre froide est de -10°C . La température d'évaporation est de -20°C . nous avons donc un Dq_{total} de 10°C . D'après la relation pression température, une température d'évaporation $q_o = -20^{\circ}\text{C}$ nous donne $P_o = 1,4 \text{ bar}$. On suppose qu'a ce moment le détendeur injecte 1 kg/h de liquide dans l'évaporateur. Cette quantité de liquide injectée assure un remplissage correct et donc une bonne puissance frigorifique : $F_o(-10^{\circ}\text{C})$. $P_{asp} = 1,4 \text{ bar}$.

Déplacement de la consigne du thermostat pour maintenir $q_{cf} = -20^{\circ}\text{C}$



Ce capillaire a été calibré pour injecter 1 kg/h de liquide dans l'évaporateur dans les conditions précédentes. Comme son DP a augmenté, il va injecter légèrement plus. Imaginons qu'il injecte $1,2 \text{ kg/h}$ dans ces nouvelles conditions de fonctionnement. Ces $1,2 \text{ kg/h}$ s'évaporent moins bien car la température d'entrée d'air est plus basse. Le capillaire injecte plus alors que la capacité d'évaporation a diminuée. C'est donc un mélange liquide gaz qui arrive dans la ligne d'aspiration. Le compresseur subit donc des coups de liquide ! Ce fonctionnement est dangereux. Il ne faut jamais utiliser un capillaire en dehors de la plage de fonctionnement pour laquelle il a été calibré !

Déplacement de la consigne du thermostat pour maintenir $q_{cf}=0^{\circ}\text{C}$

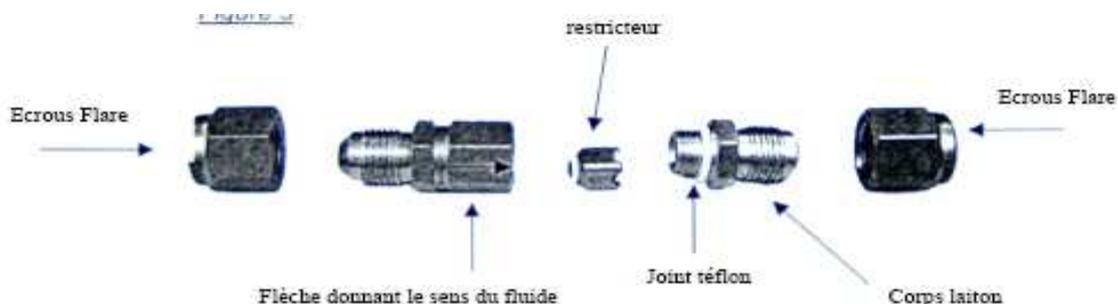


Cette fois le DP du capillaire a diminué, le capillaire injecte donc moins de fluide. Imaginons qu'il injecte désormais 0,8kg/h de liquide dans l'évaporateur. Ces 0.8kg/h s'évaporent plus vite car la température d'entrée d'air est plus élevée. Le capillaire injecte moins de fluide alors que la capacité d'évaporation de l'évaporateur a augmentée. C'est donc des gaz trop surchauffés qui arrivent dans la ligne d'aspiration. La température de refoulement augmente dangereusement. On risque de détériorer la culasse du compresseur, l'huile et le fluide frigorigène. Il ne faut jamais utiliser un capillaire en dehors de la plage de fonctionnement pour laquelle il a été calibré !

Le restricteur

- Ce type de détente a la même fonction que le détendeur capillaire, mais la détente se fait à l'aide de la petite buse (restricteur) placée entre deux écrous spéciaux.
- Le paramètre de sélection de la buse est son diamètre.
- Cette détente est présente sur la majorité des GC/GCP de moyenne et grosse puissance. (GC/GCP32AV-42AV-52AV-61AV), le reste étant des capillaires.
- En mode froid, la détente par restricteur se fait dans l'unité intérieure (UI) et en mode chaud, le restricteur est placé en entrée de l'échangeur extérieur.

- Vue du restricteur :



3.5.3 Les détendeurs thermostatiques

Ce sont les organes d'alimentation des évaporateurs les plus utilisés.

Ils assurent à la sortie de l'évaporateur une surchauffe des vapeurs de fluide frigorigène (FF).

La surchauffe des vapeurs de FF à la sortie de l'évaporateur est la différence entre la température des vapeurs sortant de l'évaporateur et la température d'ébullition du fluide frigorigène (correspondant à la pression d'évaporation) à la sortie de l'évaporateur.

On distingue trois types de détendeurs thermostatiques :

- les détendeurs thermostatiques à égalisation de pression interne

- les détendeurs thermostatiques à égalisation de pression externe

- les détendeurs thermostatiques MOP

3.5.3.1 Les détendeurs thermostatiques à égalisation de pression interne

Ils régulent la surchauffe des vapeurs de FF à la sortie de l'évaporateur en réglant le débit de FF admis à l'évaporateur quelque soit sa charge thermique.

La valeur de la surchauffe généralement admise pour assurer un remplissage correct de l'évaporateur et la protection du compresseur (vapeurs surchauffées) est comprise entre 4 et 8°C.

Le détendeur thermostatique à égalisation de pression interne comprend :

- le corps du détendeur dans lequel sont renfermés :

 - le filtre à tamis placé à l'entrée (arrivée du FF dans le détendeur)

 - la membrane (soufflet) qui est solidaire d'un pointeau et d'un ressort de réglage muni d'une vis de réglage accessible

- le bulbe situé à la sortie de l'évaporateur et solidaire de la tuyauterie, il mesure la température du FF à la sortie de l'évaporateur, sa fixation doit être solide et sa position doit suivre certaines règles (ne pas être positionné en bas de tuyauterie)

- le tube capillaire qui transmet la mesure du bulbe au corps du détendeur, l'ensemble tube capillaire et bulbe est appelé train thermostatique

Le fonctionnement de ce détendeur résulte de l'équilibre des forces entre :

- la pression du fluide contenue dans le train thermostatique (force descendante sur la membrane)

- la pression d'évaporation dans l'évaporateur (force ascendante sur la membrane)

- la pression exercée par le ressort de réglage (force ascendante sur la membrane).

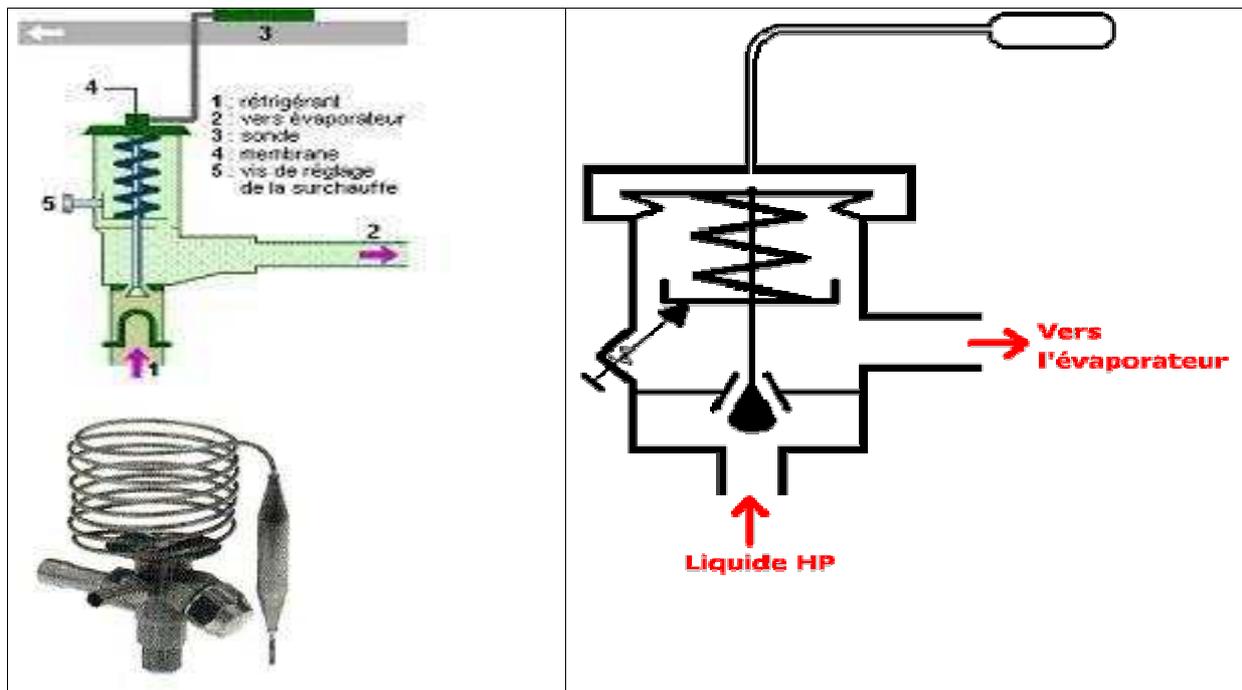


Figure 3.23 : Détendeur thermostatique à égalisation de pression interne.

A partir d'une position d'équilibre donnée correspondant à une position précise du pointeau :

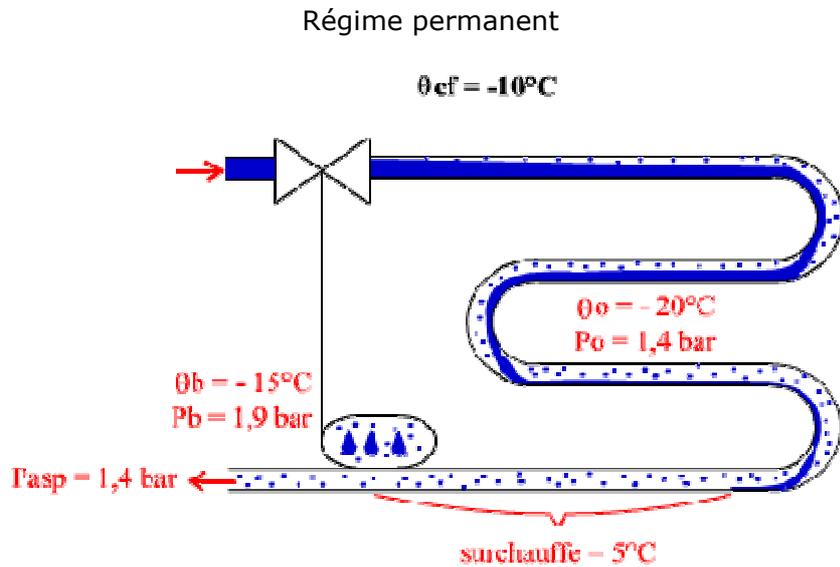
lorsque la charge thermique au niveau de l'évaporateur augmente, la zone de surchauffe va augmenter puisque le FF liquide présent dans l'évaporateur va s'évaporer plus rapidement ce qui va entraîner une pression exercée sur la membrane plus grande (force descendante) et par suite la descente du pointeau autorisant une alimentation en FF liquide plus important dans l'évaporateur

de même lorsque la charge thermique baisse, la zone de surchauffe diminue, la pression exercée sur la membrane (descendante) baisse, ce qui entraîne une montée du pointeau et par suite une réduction de l'alimentation en fluide frigorigène de l'évaporateur.

Le pointeau oscille donc en permanence sans position d'ouvertures sauf s'il est sélectionné trop petit. Le détendeur ne doit pas être non plus trop puissant à cause du phénomène de pompage (surchauffes excessives entraînant des ouvertures et fermetures complètes du détendeur et une mauvaise alimentation de l'évaporateur).

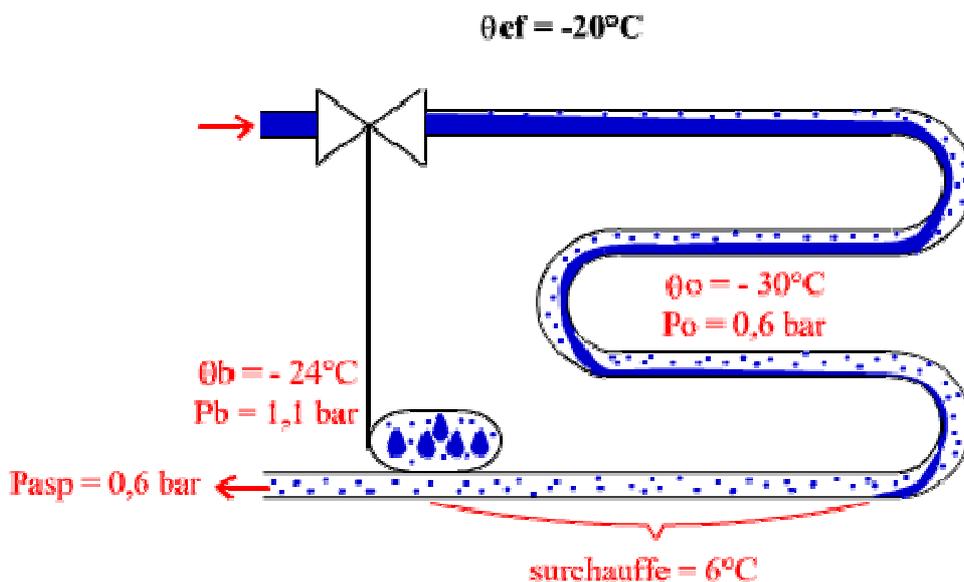
Comparaison de fonctionnement :

Dans tout ce cours, nous prendrons comme support une installation au R22 qui utilise une régulation thermostatique et dont le réglage en régime permanent assure une température moyenne de chambre froide de -10°C .
 Fonctionnement du détendeur thermostatique classique.



Nous avons réglé le détendeur afin qu'il maintienne une surchauffe à l'évaporateur de 5°C . La température de chambre froide est de -10°C . La température d'évaporation est de -20°C . Nous avons donc un Dq_{total} de 10°C . D'après la relation pression température, une température d'évaporation $q_o = -20^{\circ}\text{C}$ nous donne $P_o = 1,4\text{bar}$. La surchauffe étant de 5°C , nous avons donc une température au bulbe de -15°C . Dans le bulbe du détendeur, nous avons un mélange liquide gaz de R22 à -15°C , nous avons donc une pression $P_b = 1,9\text{bar}$. Nous sommes en régime permanent, le détendeur est en équilibre. nous avons donc $P_b = P_o + P_r$. La pression de réglage $P_r = P_b - P_o = 0,5\text{bar}$. Durant cette démonstration, nous garderons cette valeur de réglage. Nous supposons qu'à ce moment le détendeur injecte 1kg/h de liquide dans l'évaporateur. Cette quantité de liquide injectée assure un remplissage correct et donc une bonne puissance frigorifique : $F_o(-10^{\circ}\text{C})$. $P_{asp} = 1,4\text{bar}$.

Déplacement de la consigne du thermostat pour maintenir $q_{cf} = -20^{\circ}\text{C}$



La température de chambre froide a chuté. Comme le Dq_{total} reste constant, nous avons à

présent une température d'évaporation $q_0 = -30^\circ\text{C}$. Cette température d'évaporation nous donne une pression d'évaporation $P_0 = 0,6\text{bar}$. Le détendeur trouve un nouveau point d'équilibre, et nous pouvons encore appliquer $P_b = P_0 + P_r$. N'ayant pas touché au réglage, la pression dans le train thermostatique est désormais de $P_b = 0,6 + 0,5 = 1,1\text{bar}$. Des gaz se sont condensés dans le bulbe, nous avons donc moins de gaz et plus de liquide. Ce mélange liquide-gaz à une pression $P_b = 1,1\text{bar}$ a une température de $q_b = -24^\circ\text{C}$. La surchauffe est désormais de $-24 - (-30) = 6^\circ\text{C}$. Le détendeur s'est fermé légèrement. Comme la zone de surchauffe est plus grande à cause de la fermeture du détendeur, nous avons moins de place pour le liquide. nous avons donc une puissance frigorifique $F_0(-20^\circ\text{C}) < F_0(-10^\circ\text{C})$. De plus le débit massique à l'évaporateur a chuté, nous avons à présent une quantité de liquide dans l'évaporateur inférieure (0,8kg/h par exemple). Ayant moins de liquide nous fournissons moins de vapeurs, et la BP diminue. $P_{asp} = 0,6\text{bar}$. L'évaporateur encore une fois est utilisé de manière correcte.

3.5.3.2 Les détendeurs thermostatiques à égalisation de pression externe

Lorsque les pertes de charge de l'évaporateur sont élevées, le détendeur thermostatique à égalisation de pression interne ne peut plus bien régler la surchauffe des vapeurs à la sortie de l'évaporateur (surchauffe élevée), on utilise alors des détendeurs thermostatiques à égalisation de pression externe. (DTEPE)

Pour ce type de détendeur, ce n'est plus la pression régnant à l'entrée de l'évaporateur qui appuie sous la membrane donc participe à l'équilibre des forces agissant sous le pointeau mais plutôt la pression disponible à la sortie de l'évaporateur.

Du point de vue de la constitution, ce détendeur est similaire au détendeur à égalisation de pression interne avec en plus un piquage réalisé entre la sortie de l'évaporateur et le détendeur, il s'agit du tube à égalisation de pression externe.

Avec cet artifice, l'effet des pertes de charge élevées de l'évaporateur est neutralisé.

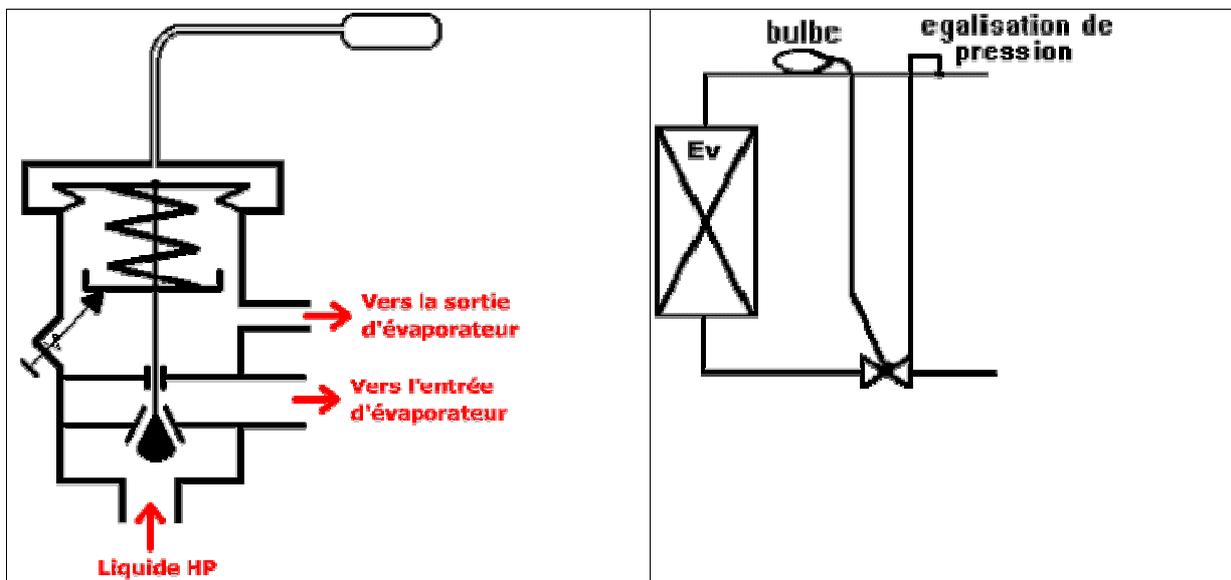


Figure 3.24 : Détendeur thermostatique à égalisation de pression externe.

Dans certains évaporateurs de puissances relativement élevées, les fabricants scindent l'évaporateurs en plusieurs sections (circuits) parallèles et leur alimentation en FF est

généralement réalisée par des DTEPE. Dans ce cas de figure, la répartition du FF entre les différentes sections (circuits) se fait grâce à un **distributeur de liquide**.

C'est un raccord de forme conique ayant sur la grande base un nombre d'orifices égal au nombre de circuits que comporte l'évaporateur à alimenter, des tubes capillaires de même diamètre et de même longueur relient le distributeur de liquide aux circuits de l'évaporateur. La tête du distributeur devra être montée verticalement. Au montage des capillaires, il faut éviter les poches de liquide. Pour obtenir une répartition satisfaisante du liquide, les chutes de pressions dans les différents capillaires et serpentins de l'évaporateur doivent être égaux.

Surchauffe importante > 8°C

La dernière molécule de gaz s'évapore trop tôt. C'est le cas d'un manque de charge.

Surchauffe trop faible < 5°C

Ce régime de fonctionnement est particulièrement dangereux car le compresseur prend des "coups de liquide" et risque d'être sérieusement endommagé. Cela peut-être le cas d'un mauvais réglage du détendeur. La pratique montre qu'après une modification de réglage thermostatique, il faut parfois plus de 20 minutes pour que l'installation se stabilise à nouveau.

Influence de la surchauffe sur la puissance frigorifique :

Plus il y a du liquide dans l'évaporateur, plus la puissance frigorifique sera importante, attendu qu'il n'y a pas de liquide dans la zone de surchauffe. Cela revient à dire que la surchauffe doit être la plus faible possible sans toutefois risquer de coups de liquide au compresseur. Régler sa surchauffe entre 5°C et 8°C est un bon compromis entre bonne puissance frigorifique et risque minimum de coup de liquide.

Surchauffe trop importante

Le détendeur est fermé, il ne laisse passer que peu de liquide, d'où la puissance frigorifique est faible. Le Dq sur l'air est faible. La BP est faible. On assiste à un givrage à la sortie du détendeur.

Surchauffe trop faible

Le détendeur est grand ouvert, il laisse passer du liquide. La puissance frigorifique est bonne, le Dq sur l'air est bon mais le compresseur risque les coups de liquide.

Influence de la température de l'air :

Plus la température de chambre froide baisse et plus il faut une longueur importante de tube pour maintenir la surchauffe, on a donc moins de liquide dans l'évaporateur et le détendeur s'est fermé. La BP a chuté et la puissance frigorifique aussi. Le [Dqtotal](#) de l'évaporateur reste constant ainsi que %HR.

Pompage du détendeur :

Le détendeur est réglé initialement pour assurer une surchauffe de 7°C.

-On ouvre le détendeur d'un tour, il se met à pomper. La surchauffe varie de 2 à 14°C.

-On ouvre le détendeur d'un tour, la surchauffe varie maintenant de 0°C à 12°C, en posant la main sur la conduite d'aspiration on sent distinctement les coups de liquide périodiques au compresseur.

En fait, à chaque tour de vis, on a augmenté la puissance du détendeur. Quand le détendeur pompe, c'est l'indice que sa capacité est plus importante que la puissance frigorifique de l'évaporateur.

Montage du détendeur thermostatique :

Montage du bulbe :

Le bulbe doit toujours être monté immédiatement en aval de l'évaporateur sur la partie horizontale de la conduite; pour l'installer, il faut tenir compte de la conduite d'aspiration dans une position comprise entre 4 et 8 heures.

En effet, le signal du bulbe peut se trouver gêné par le retour de l'huile venant de l'évaporateur.

Le bulbe se monte à contre courant. Ne jamais le monter trop près d'un piège à liquide.

Montage de l'égalisation de pression :

L'égalisation de pression doit toujours être montée en aval du bulbe.

3.5.3.3 Les détendeurs MOP

Il est généralement utilisé lorsque le compresseur risque une surcharge à la mise en route de l'installation. Il est souvent utilisé pour les chambres froides à très basses températures. Cette charge s'obtient en réduisant la masse de fluide dans les bulbes. En dessous du point MOP, le détendeur MOP régule comme un détendeur traditionnel. Au dessus de la pression MOP, la surchauffe n'est plus contrôlée, le détendeur MOP se ferme. Il reste fermé jusqu'à ce que la pression d'évaporation redescende sous la pression MOP. Une fois cette condition satisfaite, il régulera à nouveau comme un détendeur traditionnel.

Réglage :

Matériel nécessaire :

En plus d'un manomètre usuel, il faut disposer d'un thermomètre de préférence électronique dont on fixera la sonde au niveau du bulbe du détendeur.

Réglage :

Si le détendeur à été correctement sélectionné, son réglage d'usine maintient une surchauffe de 5°C. (la selection dans les tables danfoss a donné $Q \text{ nom détendeur} = F_o$). Si on a sous-dimensionné dans les valeurs acceptables par danfoss ($Q \text{ nominale détendeur} < F_o < Q \text{ max détendeur} = Q \text{ nominale} \times 1.2$), il faudra légèrement ouvrir le détendeur.

Pour que le réglage soit stable, la température du local à refroidir doit être proche de la température de coupure du thermostat.

La technique consiste à mettre d'abord le détendeur à la limite du pompage, en conséquence:

- si la surchauffe est stable, ouvrir le détendeur jusqu'à l'obtention du pompage
- s'il pompe, le fermer.

Ne jamais manoeuvrer le détendeur de plus d'un demi tour à la fois. La limite du pompage peut se jouer au quart voir au 1/8 de tour près. Attendre au moins 15 minutes entre chaque modification du réglage.

Lorsque l'installation sera à la limite du pompage, il suffit de refermer le détendeur légèrement jusqu'à l'élimination du pompage.

Le détendeur sera ainsi réglé à la plus petite surchauffe qu'il est possible d'obtenir sur l'installation tout en assurant le remplissage optimum de l'évaporateur et cela sans aucun pompage. Durant le réglage, la HP doit être la plus stable possible car la capacité du détendeur en dépend.

Problème de réglage

impossibilité d'obtenir le pompage, le détendeur est sous dimensionné même ouvert à fond.

- dû à la base du détendeur (cartouche d'orifice trop petite)
- manque de charge
- vaporisation partielle dans la conduite liquide

Impossibilité d'éliminer le pompage, le détendeur est surdimensionné même fermé à fond

- dû à la base du détendeur (cartouche d'orifice trop grand)
- évaporateur trop petit

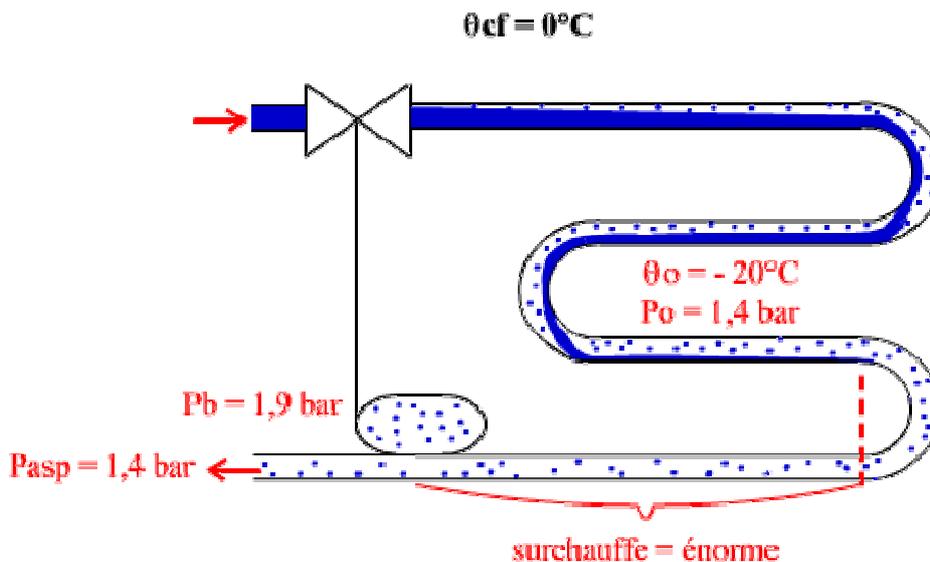
Conclusion

Le réglage du détendeur peut-être long, ne jamais le modifier sans raison. En outre, il conviendra de repérer le réglage initial.

Pour ouvrir le détendeur sans toucher au réglage il suffit de chauffer son bulbe en le prenant dans la main.

Des gaz se sont condensés dans le bulbe, nous avons donc moins de gaz et plus de liquide. Ce mélange liquide-gaz à une pression $P_b=1,1\text{bar}$ a une température de $\theta_b=-24^\circ\text{C}$. La surchauffe est désormais de $-24-(-30)=6^\circ\text{C}$. Le détendeur s'est fermé légèrement. Comme la zone de surchauffe est plus grande à cause de la fermeture du détendeur, nous avons moins de place pour le liquide. nous avons donc une puissance frigorifique $F_o(-20^\circ\text{C}) < F_o(-10^\circ\text{C})$. De plus le débit massique à l'évaporateur a chuté, on a à présent une quantité de liquide dans l'évaporateur inférieure ($0,8\text{kg/h}$ par exemple). Ayant moins de liquide nous fournissons moins de vapeurs, et la BP diminue. $P_{asp}=0,6\text{bar}$. L'évaporateur encore une fois est utilisé de manière correcte.

Déplacement de la consigne du thermostat pour maintenir $q_{cf}=0^\circ\text{C}$



La température de chambre froide a augmenté. C'est donc de l'air à 0°C qui arrive sur la zone de surchauffe. Cette augmentation de température a permis l'évaporation de la seule molécule de liquide du bulbe. Dans le train thermostatique, il ne nous reste que des vapeurs de fluide frigorigène, ces vapeurs ne permettent plus d'augmentation significative de la pression du bulbe P_b . C'est pourquoi on peut dire que P_b reste constante et égale à la pression si les vapeurs avaient été saturées. $P_b=1,9\text{bar}$. N'ayant pas touché au réglage nous avons toujours $P_r=0,5\text{bar}$. Le détendeur trouve un point d'équilibre et nous pouvons appliquer la formule $P_b=P_o+P_r$. On trouve $P_o=1,4\text{bar}$. La pression d'évaporation est donc limitée à une valeur maximale qui correspond à celle du point MOP. L'ouverture du détendeur à été bridée. Il injecte donc la même quantité de liquide qu'à -10°C . Les 1kg/h de liquide injecté s'évaporent beaucoup plus vite car l'air d'entrée d'évaporateur est plus chaud. La zone de surchauffe est grande et la surchauffe énorme. $F_o(0^\circ\text{C})=F_o(-10^\circ\text{C})$. L'évaporateur piège beaucoup d'eau car le Dq_{total} est élevé (20°C). La pression d'aspiration se trouve limitée et cela permet sur les chambres froides à basse température de ne pas couper au relais thermique du moteur du compresseur après un dégivrage. Ne jamais utiliser un détendeur MOP pour un fonctionnement au-dessus de son point MOP, sinon la surchauffe d'aspiration sera énorme et donc celle de refoulement aussi. On risquera donc de détériorer les joints de plaques à cause d'un problème de refroidissement de culasse.

3.5.4 Les détendeurs électroniques

Il s'agit de dispositifs qui régulent la différence de température entre la température des vapeurs à la sortie de l'évaporateur et la température du fluide frigorigène à l'entrée de l'évaporateur en réglant le débit de FF en fonction de la charge thermique à l'évaporateur.

Un détendeur électronique comporte trois parties principales :

un régulateur

une électrovanne (vanne électromagnétique ou commandée par un servomoteur)

de sondes de températures (ou capteurs de température)

L'électrovanne est placée juste à l'entrée de l'évaporateur et elle est commandée (ouvertures et fermetures) par le régulateur (calculateur) en fonction :

des écarts de températures mesurées par les sondes de températures placées sur les tuyauteries de FF à l'entrée et à la sortie de l'évaporateur

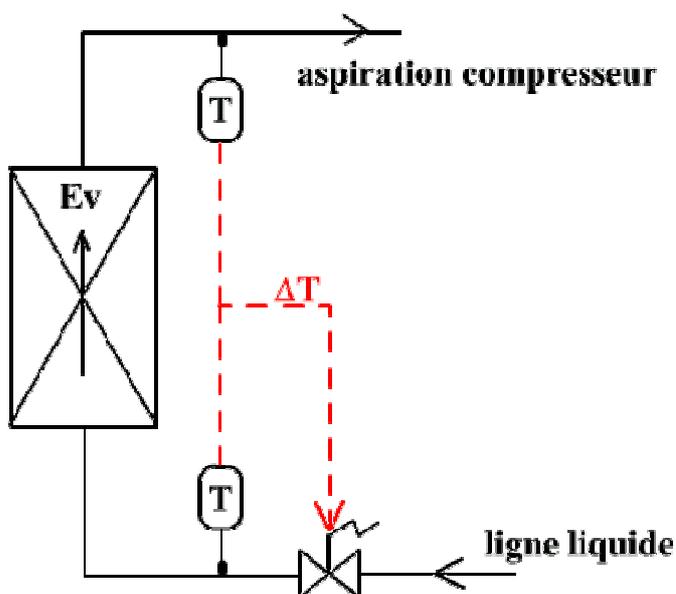
de la valeur de consigne pré réglée (température de consigne)

de la température du milieu à refroidir mesurée par une sonde

Grâce aux fonctions intégrées dans le régulateur (action proportionnelle intégrale « PI » ou action proportionnelle intégrale dérivée « PIID »), la vanne se positionne rapidement et sans pompage pour la régulation de la différence de températures.

On pourrait parler de contrôle de surchauffe également pour ce type de détendeur à la différence que cette surchauffe intègre la chute de pression dans l'évaporateur.

Le détendeur électronique permet des économies d'énergie électrique sur la consommation du compresseur avec un remplissage optimal de l'évaporateur et le maintien d'une surchauffe minimale stable.



Certains modèles intègrent d'autres fonctions telles que :

le contrôle du dégivrage

le report des informations (températures)

fonctions intégrées d'électrovanne et de thermostat

fonction d'alarme

fonction de diagnostic et d'auto surveillance du système frigorifique

Tout régulateur a pour fonction de ramener la valeur mesurée à la valeur de consigne.

On parle de régulateur proportionnel lorsque la position de l'organe de réglage est proportionnel à l'écart entre la grandeur finale réglée et la valeur de la consigne.

Dans un régulateur à action intégrale, c'est la vitesse de réaction de l'organe de réglage qui est proportionnelle à l'écart précédent : d'où une correction plus rapide.

Pour un régulateur à action dérivée, l'action du régulateur est proportionnelle à la vitesse de variation de l'écart et non plus à la valeur de cet écart, son action n'est donc pas visible lorsque les écarts sont constants ou permanents : cette action n'est pas utilisable seule.

Dans la pratique, les régulateurs utilisés sont en réalité à actions combinées et on retrouve des régulateurs PI « Action Proportionnelle Intégrale » et des régulateurs PID « Action Proportionnelle Intégrale Dérivée ».

Exemple chez Danfoss :

La détente séquentielle est assurée par une vanne magnétique type AKV (Danfoss) dont le fonctionnement est chrono-proportionnel. Toutes les 6 secondes la durée d'ouverture de cette vanne sera proportionnelle à la valeur de la surchauffe constatée. Si la surchauffe augmente, la durée d'ouverture augmente pendant ces 6 secondes. Si la surchauffe diminue, la durée d'ouverture de la vanne diminue durant les 6 secondes. Cette variation de durée d'ouverture permet de faire moduler la puissance de ce détendeur.

Avantages de ce type de détente :

- plus de réglages.
- bonne alimentation de l'évaporateur sur installation à HP flottante (plus besoins de régulateur de pression de condensation).
- plus besoins d'électrovanne pour le pump down

3.6 LES EVAPORATEURS

3.6.1 Technologie des évaporateurs

Les évaporateurs sont des échangeurs thermiques entre le fluide frigorigène (FF) et le fluide à refroidir. Le FF absorbe la chaleur du fluide à refroidir ; ce dernier se refroidit tandis que le FF se vaporise.

On distingue deux familles d'évaporateurs suivant le fluide à refroidir :

les évaporateurs à eau

les évaporateurs double tube (évaporateurs coaxiaux)

les évaporateurs du type serpent

les évaporateurs multitubulaires

les évaporateurs du type échangeur à plaques

les évaporateurs à air

les évaporateurs à air à convection naturelle

les évaporateurs à air à convection forcée

Suivant le mode de fonctionnement de l'évaporateur, on distingue :

les évaporateurs à détente sèche ou à surchauffe

les évaporateurs noyés ou évaporateurs à regorgement

3.6.2 Evaporateurs à détente sèche

Dans ce type d'évaporateurs, les vapeurs de FF sont surchauffées, cette surchauffe doit garantir l'admission d'un FF exempt de liquide au compresseur. Ils sont le plus souvent alimentés par un détendeur thermostatique qui ne va laisser passer qu'une quantité de FF liquide correspondante à celle qui sera complètement évaporée dans l'évaporateur en fonction de sa charge thermique.

C'est le principe de fonctionnement de la majorité des évaporateurs à l'exception d'un type particulier des évaporateurs multitubulaires qui fonctionne en évaporateur noyé.

3.6.3 Evaporateurs noyés

Le fonctionnement de ces évaporateurs réside sur le principe que les surfaces d'échange doivent toujours être en contact avec du FF liquide.

Cet objectif est atteint en immergeant les tubes contenant le fluide à refroidir dans le FF liquide en ébullition. Ces évaporateurs sont caractérisés par des coefficients d'échange très élevés et peu variables par rapport à ceux des évaporateurs à détente sèche.

Cependant ce type de fonctionnement présente des inconvénients :

la surchauffe est pratiquement nulle d'où la nécessité de prémunir le système de dispositifs anti-coups de liquide pour la protection des compresseurs

le piégeage de l'huile dans l'évaporateur lorsque celui-ci est miscible avec le FF

Ce type d'évaporateurs n'est pas d'utilisation courante et se rencontre dans l'industrie frigorifique pour des installations comportant des compresseurs centrifuges ou à ammoniac (à cause du problème de piégeage de l'huile dans l'évaporateur).

3.6.4 Les évaporateurs à eau

La congélation de l'eau ou de toute solution aqueuse conduit à une augmentation du volume qui peut endommager l'évaporateur ; d'où la nécessité de se prémunir contre cette congélation (utilisation de saumures, contrôleur de débit...)

3.6.4.1 Les évaporateurs double tube

Ils sont également appelés évaporateurs coaxiaux.

Ils sont constitués de deux tubes coaxiaux, le plus souvent enroulés en hélice.

Dans le tube central circule le FF qui se vaporise en refroidissant le fluide circulant dans l'espace annulaire compris entre les deux tubes, la circulation s'effectuant de préférence à contre-courant.

Cet évaporateur convient pour les petites et moyennes puissances et le coefficient global d'échange est compris entre 500 et 800 W/m.°C.

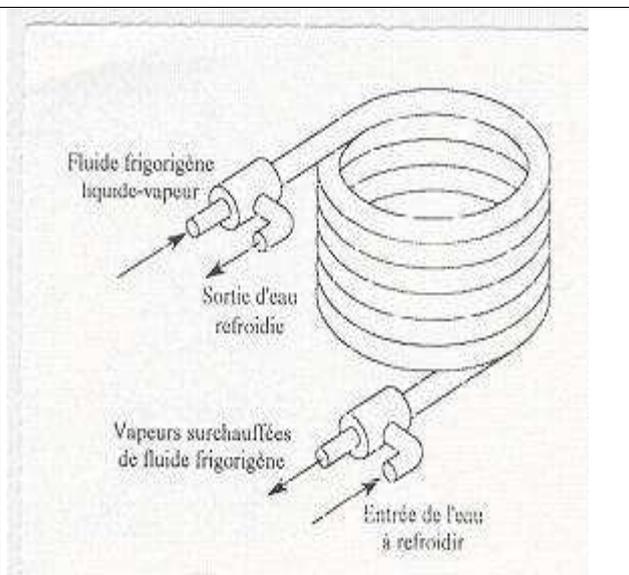


Figure 3.25 : Evaporateur double tube.

3.6.4.2 Les évaporateurs du type serpent

Ils sont constitués de tubes (la plus souvent en cuivre) enroulé dans un bac ou dans un réservoir contenant le fluide à refroidir. Ils sont enroulés en hélice ou suivant la forme du bac et dans certains cas ils sont disposés en nappes parallèles avec des collecteurs d'entrée et de sortie du FF. Ils sont également appelés évaporateurs immergés.

3.6.4.3 Les évaporateurs multitubulaires

Ils sont constitués d'un grand nombre de tubes qui sont proches entre eux et qui sont disposés en parallèle dans un corps cylindrique. Ces tubes sont associés pour former des

passes (passages). Deux types d'évaporateurs sont disponibles suivant que le FF circule dans les tubes ou à l'extérieur des tubes.

3.6.4.3.1 Les évaporateurs multitubulaires noyés

Le FF circule à l'extérieur des tubes tandis que le fluide à refroidir (l'eau glacée par exemple) circule dans les tubes.

Le faisceau tubulaire est dudgeonné ou soudé sur les plaques tubulaires, elles-mêmes soudées à la calandre.

La calandre est alimentée en FF liquide par sa partie inférieure et la conduite d'aspiration placée à sa partie supérieure permet l'évacuation des vapeurs de FF produites. Cette partie supérieure est munie d'un séparateur de gouttelettes pour éviter d'entraîner des gouttes de liquide vers le compresseur mais le risque est présent d'où la nécessité de prémunir le compresseur de dispositif anti-coups de liquide.

Le fluide à refroidir est guidé dans son parcours dans l'évaporateur par des fonds portant des cloisons, ces fonds sont démontables pour permettre l'inspection et le nettoyage des tubes.

Ces évaporateurs sont de véritables pièges à huile et ils ne sont utilisés que pour des installations exemptes d'huile telles que les installations avec compresseurs centrifuges ou celles utilisant de l'ammoniac (la grande partie de l'huile reste dans le carter des compresseurs dans ces installations).

3.6.4.3.2 Les évaporateurs multitubulaires à détente sèche

Ces évaporateurs sont également appelés évaporateurs à surchauffe.

Le FF circule à l'intérieur des tubes et la vitesse d'écoulement est telle que l'huile entraînée par le FF retourne vers le carter du compresseur par la conduite d'aspiration.

L'évaporateur est alimenté par un détendeur thermostatique qui permet de régler la surchauffe des vapeurs à sa sortie en réglant le débit de FF admis dans l'évaporateur.

Ces évaporateurs ont leur faisceau tubulaire en forme d'épingle dont les tubes sont fixés sur une plaque tubulaire. Des ailettes sont disposées à l'intérieur des tubes pour accroître les échanges thermiques.

Le coefficient global d'échange de ces évaporateurs est compris entre 800 et 1200 W/m.°C.

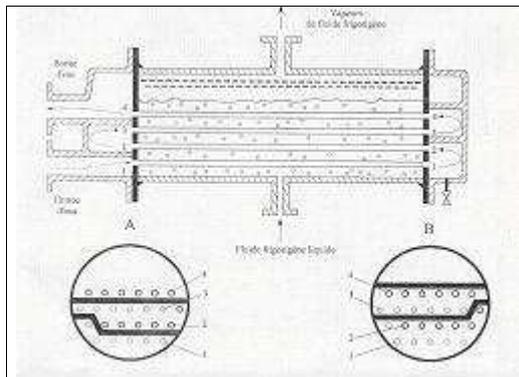


Figure 3.26 : Evaporateur multitubulaire du type noyé.

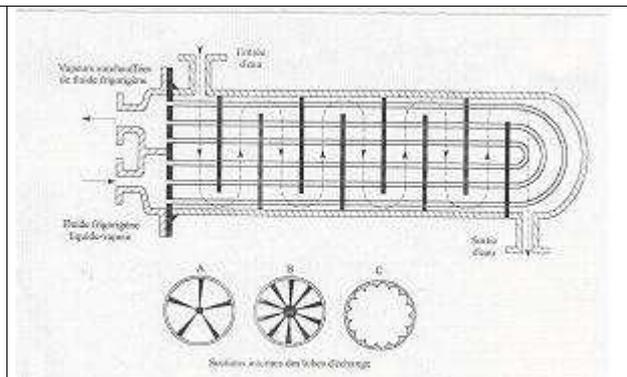


Figure 3.27 : Evaporateur multitubulaire du type détente sèche.

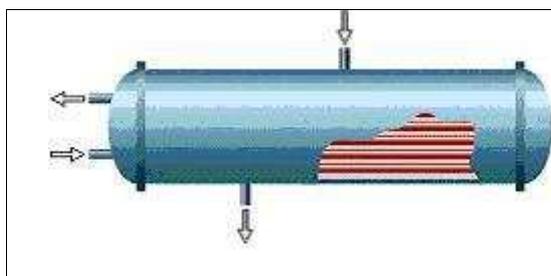


Figure 3.28 : Vues d'évaporateurs multitubulaire du type détente sèche.

3.6.4.4 Les évaporateurs du type échangeur à plaques

On peut retenir trois types d'échangeurs à plaques :

- les échangeurs à plaques à joints démontables
- les échangeurs à plaques brasées
- les échangeurs à plaques spirales brasées

Les échangeurs à plaques à joints démontables sont constitués par un ensemble de plaques embouties maintenues serrées entre deux plateaux au moyens de tirants de serrage, chaque plaque est muni d'un joint d'étanchéité qui assure la séparation entre les fluides, la séparation entre les fluides et l'extérieur et la répartition des fluides dans l'échangeur.

Le coefficient global d'échange est élevé ($>$ à $5000 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$) cependant son étanchéité n'est pas suffisante pour être utilisé avec du FF.

Les échangeurs à plaques brasées sont une variante de l'échangeur à plaques démontables ; ils sont constitués d'une série de plaques métalliques embouties mais sans joints, sans tirants, sans barre et sans bâti. Ils se composent en fait de plaques intermédiaires (généralement en acier inoxydable) et de deux plaques extérieures.

Les plaques sont assemblées par brasure. Elles sont brasées sur le pourtour et aux points de contact entre deux plaques successives, c'est une disposition qui assure une étanchéité convenable aux FF.

Les échangeurs à plaques spiralées brasées sont une variantes des échangeurs à plaques brasées. Ils sont plus résistants aux différences de pression, les plaques sont enroulées et brasées.

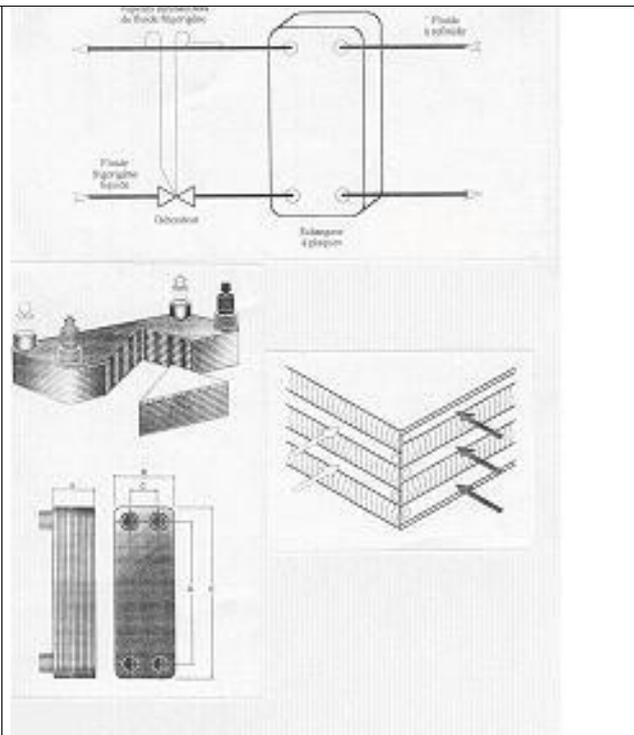


Figure 3.29 : Evaporateur du type échangeur à plaques brasées.

3.6.5 Les évaporateurs à air

3.6.5.1 Les évaporateurs à convection naturelle

On distingue les évaporateurs à tubes lisses et les évaporateurs constitués de tubes à ailettes. Leurs coefficients globaux d'échanges thermiques sont généralement faibles (inférieurs à $15 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$) et ils sont utilisés pour des puissances frigorifiques relativement faibles (froid ménager : réfrigérateurs, congélateurs).

3.6.5.2 Les évaporateurs à convection forcée

C'est le type d'évaporateur le plus rencontré dans plusieurs applications (conservation des denrées « chambres froides », climatisation).

Ils sont constitués de tubes à ailettes et sont munis d'un (ou plusieurs) ventilateur(s) pour assurer la circulation de l'air à travers les surfaces d'échanges.

Les tubes comportent des ailettes de forme rectangulaire, ils sont disposés en série formant une nappe et les différentes nappes sont associées en parallèle.

Deux configurations sont généralement admises :

les nappes sont assemblées en parallèle aussi bien à l'entrée qu'à la sortie, le collecteur d'entrée est alors alimenté par le détendeur

les nappes sont assemblées en parallèle seulement à la sortie, chaque entrée de nappe reçoit une fraction du FF injecté par l'intermédiaire du distributeur de liquide et d'un tube capillaire d'alimentation

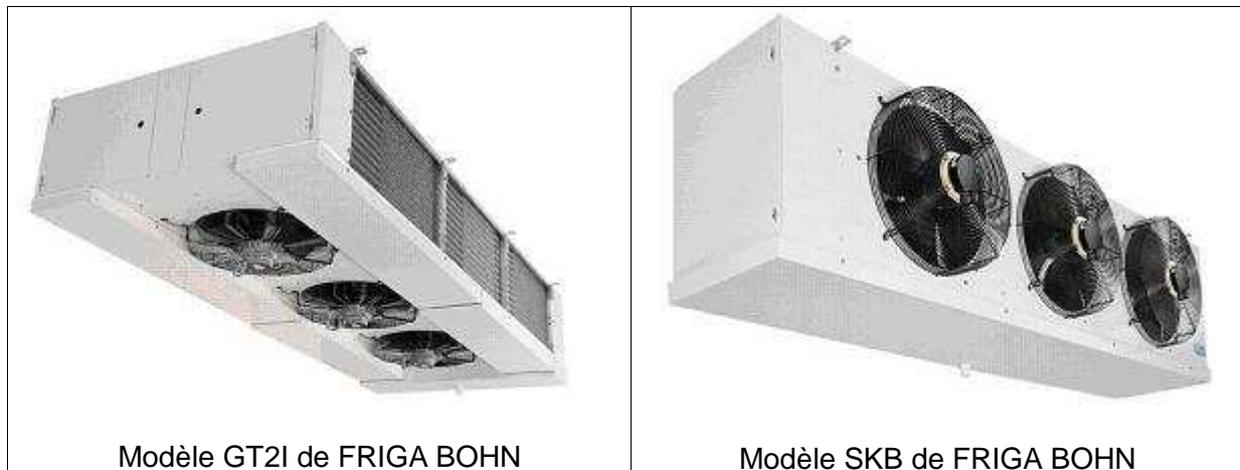


Figure 3.30 : Evaporateurs à air – constructeur FRIGA BOHN.

Le coefficient global d'échange de ce type d'évaporateur est compris entre 15 et 50 W/m².°C.

La température de rosée de l'air circulant à travers la section d'échange constitué des tubes et d'ailettes est généralement inférieure à la température d'évaporation du FF en ébullition dans les tubes d'où la condensation des vapeurs d'eau contenues dans cet air : ce sont les condensats qui sont recueillis dans un bac (bac de condensats) pour être évacués à l'extérieur par l'intermédiaire d'un raccord ou d'un tuyau.

Lorsque la température d'évaporation est négative (température superficielle de la section d'échange inférieure ou égale à 0 °C : cas rencontrés pour les chambres froides), ces condensats se transforment en givre.

Pour éviter d'obstruer rapidement la section de passage de l'air de l'évaporateur, les ailettes sont très écartées pour les applications de chambres froides par rapport aux ailettes pour les applications de climatisation (température du local autour de 24°C).

Pour les évaporateurs des chambres froides, l'écartement des ailettes va de 4 à 12 mm et pour ceux des locaux à climatiser, il va de 1 à 2 mm ; c'est pourquoi les évaporateurs utilisés en climatisation sont plus petits que ceux utilisés en froid (chambres froides) à puissance frigorifique égale.

La formation de givre diminue les performances de l'évaporateur (réduction importante de la section de passage de l'air donc des échanges thermiques), aussi il est prévu des opérations pour enlever régulièrement ce givre : c'est le dégivrage.

3.6.6 Surchauffe des évaporateurs

La surchauffe (SH) représente la différence entre la température des vapeurs de FF (T_s) à la sortie de l'évaporateur et la température d'évaporation (T_o) du FF liquide (dernière goutte liquide) dans l'évaporateur.

La température T_s du FF à la sortie de l'évaporateur se mesure avec un thermomètre de contact.

La température d'évaporation T_o se déduit de la pression d'évaporation à la sortie de l'évaporateur et de la nature du FF ; le manomètre placé à l'aspiration du compresseur (manomètre BP) donne la pression d'évaporation de la dernière goutte de liquide (pertes de charges négligeables sur la conduite d'aspiration).

Lorsque les pertes de charge dans la conduite d'aspiration ne sont pas négligeables, il est nécessaire de mesurer la pression à la sortie de l'évaporateur (utilisation d'une prise shradet) pour avoir la pression d'évaporation de la dernière goutte de liquide dans l'évaporateur.

La valeur de la SH est comprise en général entre 4 et 8°C.

La SH est effectuée à la sortie de l'évaporateur BC – cf. figure 3.4).

3.6.7 Echanges thermiques dans les évaporateurs

Les évolutions de FF dans les évaporateurs sont considérées sans perte de charge et seuls les changements d'état sont pris en compte.

Des valeurs usuelles d'écart de températures sont utilisés pour caractériser (conditions de fonctionnement, diagnostic...) les évaporateurs.

En désignant par :

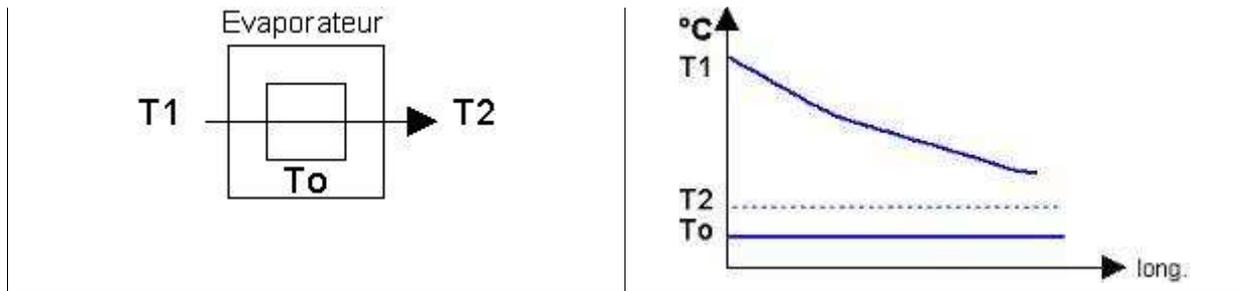
T_1 : la température d'entrée à l'évaporateur du fluide (air ou eau) à refroidir

T_2 : la température de sortie de l'évaporateur du fluide refroidi (air ou eau)

T_o : la température d'évaporation du FF dans l'évaporateur

On définit :

Ecart de température sur le fluide	
Température moyenne du fluide	$T_{fm} = \frac{T_1 + T_2}{2}$
Ecart de température moyen arithmétique	
Ecart de température maximum	
Ecart de température minimum (pincement)	
Ecart de température moyen logarithmique (ln : logarithme népérien)	$\Delta T_{ln} = \frac{(T_1 - T_o) - (T_2 - T_o)}{\ln \left(\frac{T_1 - T_o}{T_2 - T_o} \right)}$



Les valeurs de référence des écarts de températures sont les suivantes :

Pour les évaporateurs à air

Ecart de température sur l'air : 2 à 5°C

Ecart de température entre l'entrée d'air et l'évaporation : 6 à 10°C

Pour les évaporateurs à eau (refroidisseurs d'eau)

Ecart de température sur l'eau : 5°C

Ecart de température entre la sortie d'eau et l'évaporation : 4 à 6°C

La puissance thermique échangée entre le FF et le fluide à refroidir s'écrit :

: puissance thermique échangée (en kW)

: coefficient global d'échange de l'évaporateur
(kW/m².°C)

: surface d'échange de l'évaporateur (m²)

: écart de température moyen logarithmique (°C)

Exemple d'un évaporateur à détente directe :

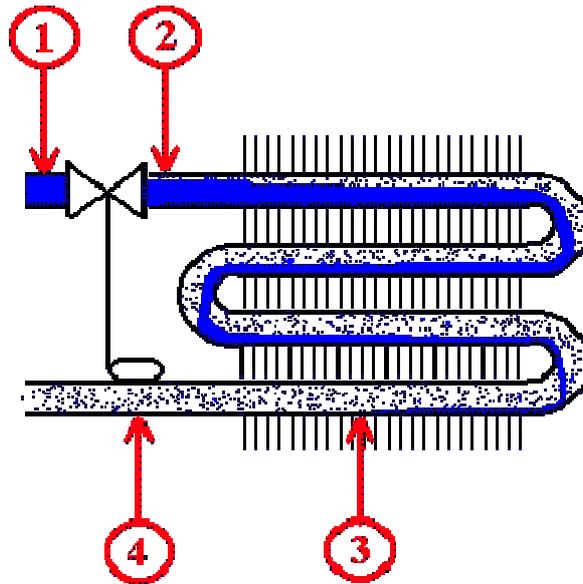
Le schéma ci-dessous représente un évaporateur à détente directe. On suppose :

Fluide R404A

HP = 14 bar

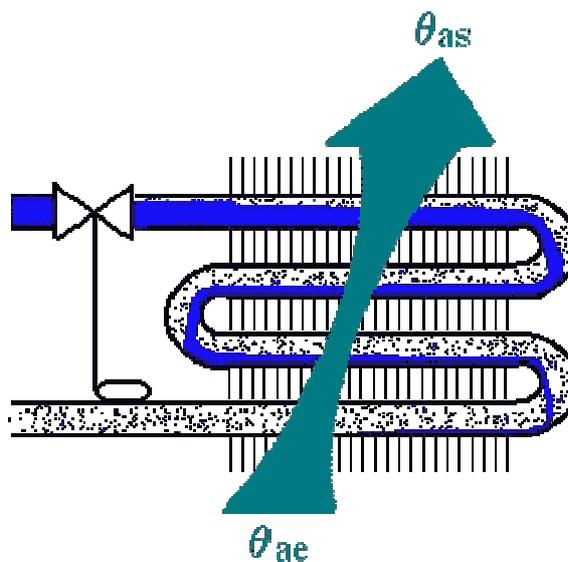
BP = 4 bar

Sous refroidissement = 5°C



Au point 1, le liquide frigorigène à 14 bar et sous refroidi 5°C arrive au détendeur thermostatique. Sa température est environ de 30°C, l'entrée du détendeur est tiède.
 Au point 2, le liquide s'est détendu grâce au détendeur. La pression a chuté à environ 5 bar. Une partie du liquide s'est vaporisée. La température du mélange liquide vapeur est de 0°C.
 Entre 2 et 3 : le mélange liquide vapeurs avance dans l'évaporateur en absorbant de la chaleur. Il y a de plus en plus de vapeurs et de moins en moins de liquide. La pression et la température sont constantes à 5 bar et 0°C, selon la relation pression température du R404A.
 Au point 3, la dernière molécule de liquide se vaporise. Il y a donc à ce point 100% de vapeurs à 0°C.
 Entre 3 et 4, les vapeurs étant toujours en contact avec l'air à refroidir, leurs températures augmentent. La pression est toujours de 5 bar.
 Au point 4, la température au bulbe du détendeur est de 6°C. Les vapeurs sont donc surchauffées de 6°C - 0°C = 6°C.

Que se passe t'il pour l'air qui passe sur l'évaporateur ?



gas : température de l'air en sortie d'évaporateur
 qae : température de l'air à l'entrée évaporateur
 qo : température d'évaporation lue au manomètre BP

Dans l'exemple ci-dessus, l'air arrive sur l'évaporateur à une température de 8°C et il se refroidi jusqu'à 4 °C en cédant de la chaleur au fluide frigorigène :

Le Dq sur l'air = $t_{ae} - t_{as} = 8 - 4 = 4^\circ\text{C}$

La pression d'évaporation est de 5 bar, ce qui équivaut pour le R404A à une température d'évaporation de 0 °C:

Le Dq total = $t_{ae} - t_o = 8 - 0 = 8^\circ\text{C}$

Il est difficile de fixer des valeurs usuelles de Dq , à cause des problèmes liés à la déshumidification (en climatisation) ou au givrage (en froid commercial).

Cependant, pour les applications courantes, on rencontre généralement sur les évaporateurs refroidisseurs d'air :

En climatisation :

Un Dq sur l'air ($t_{ae} - t_{as}$) de 6 à 10°C et un Dq total ($t_{ae} - t_o$) de 16 à 20°C

En froid commercial :

Un Dq sur l'air de 3 à 5°C et un Dq total de 6 à 10°C

3.6.8 Dégivrage des évaporateurs

Lorsque la température superficielle de la section d'échange (tubes à ailettes) des évaporateurs est inférieure ou égale à 0°C, il y'a formation de givre qui va entraîner une diminution importantes des échanges thermiques d'où la nécessité des opérations de dégivrage.

Il existe plusieurs techniques de dégivrage :

dégivrage par circulation d'air ambiant

dégivrage à l'eau

dégivrage à la saumure

dégivrage par résistances électriques

dégivrage par gaz chauds

3.6.8.1 Dégivrage par circulation d'air ambiant

Cette technique consiste à arrêter le compresseur tout en gardant le (ou les) ventilateurs de l'évaporateur en fonctionnement (commande par thermostats d'ambiance), un thermostat d'évaporateur (ou un pressostat) permet de renseigner que la température superficielle de la section d'échange est remontée au dessus de 0°C et que la glace est fondue.

Cette technique n'est utilisable que lorsque la température de la chambre froide est supérieure à 4°C, son utilisation est limitée à cause du temps de dégivrage généralement long. Il est conseillé que pour des installations frigorifiques qui ne fonctionnent pas continuellement.

3.6.8.2 Dégivrage à l'eau

Ce dégivrage consiste à pulvériser de l'eau qui va ruisseler sur l'évaporateur. Les dispositifs de pulvérisation et de répartition de l'eau doivent être conçus de façon que le ruissellement s'effectue uniformément sur l'ensemble de l'évaporateur et qu'il soit possible de vidanger l'installation de toute l'eau présente une fois le dégivrage terminé.

Pendant l'opération tout le système frigorifique est à l'arrêt.

C'est une technique rapide et le processus peut être accéléré en utilisant de l'eau chaude.

Cependant les problèmes d'évacuation d'eau et les raisons hygiéniques et sanitaires limitent son utilisation.

3.6.8.3 Dégivrage à la saumure

Le principe est identique au dégivrage à l'eau à la différence que l'eau est remplacée par de la saumure. Lorsque le point de congélation de cette saumure est suffisamment bas, la séquence de dégivrage peut s'effectuer en arrêtant simplement les ventilateurs de

l'évaporateur sans qu'il ne soit nécessaire d'interrompre la circulation du FF d'où de moindres frais de régulation.

Néanmoins, le coût de régénération de la saumure (la concentration diminue à chaque séquence de dégivrage) n'est pas négligeable, ce qui limite considérablement son utilisation.

3.6.8.4 Dégivrage par résistances électriques

C'est la technique de dégivrage la plus utilisée pour les petites et moyennes puissances.

Les résistances électriques sont placées au niveau de la section d'échange de l'évaporateur (les épingles chauffantes sont fixées parallèlement aux tubes généralement) et la mise en route de la séquence de dégivrage est généralement pilotée par une horloge et son arrêt commandé par un thermostat d'évaporateur (sonde placée entre les ailettes de l'évaporateur) ou lorsque le temps de dégivrage prévu est épuisé.

La remise en route s'effectue normalement par le redémarrage du compresseur et seulement après quelques temps la remise en marche des ventilateurs de l'évaporateur pour éviter d'envoyer de l'humidité dans l'air ambiant.

Les puissances calorifiques couramment utilisées sont de 1200 à 1800 W/m² de surface d'évaporateur.

Dans les chambres froides négatives (température inférieure ou égale à 0), les résistances électriques sont aussi utilisées pour le dégivrage de la glace dans :

les bacs de rétention (bacs de condensats)

les tuyaux d'évacuation des condensats (épingle chauffante insérée dans la tuyauterie).

Les puissances calorifiques couramment utilisées sont de 1200 à 1800 W/m² de bac et de 50 à 100 W/m de tuyauterie.

3.6.8.5 Dégivrage par gaz chauds

Ce procédé de dégivrage par les gaz chauds (vapeurs chaudes de FF au refoulement) sont utilisées généralement pour les installations industrielles de puissance importante.

Il s'agit d'installation frigorifique comportant plusieurs évaporateurs que l'on peut dégivrer individuellement ou en groupe pendant que les autres fonctionnent.

Afin d'avoir suffisamment de gaz chauds, il ne faut pas dégivrer simultanément plus de 1/4 à 1/3 de la surface d'évaporation d'une installation.

Le système de commande et de contrôle de ce type de dégivrage est quelque fois complexe et est généralement assuré par automate programmable.

Une installation comportant un seul évaporateur peut être également dégivrer par des gaz chauds, la séquence de dégivrage est alors assurée au moyen d'une vanne d'inversion 4 voies ou robinet 4 voies d'inversion de cycle échangeant les rôles de l'évaporateur et du condenseur.

4.1 LE RESERVOIR DE LIQUIDE

Il est placé à la sortie du condenseur et sert à stocker le FF liquide à la mise en d'arrêt de l'appareil ou lors des opérations de maintenance.

Il permet d'alimenter le détendeur en liquide de façon permanente à l'aide de son tube plongeur.

Il joue également un rôle important dans la régulation du système frigorifique lorsque les variations de charges thermiques sont importantes.

Le réservoir de liquide aussi bouteille liquide, bouteille accumulatrice ou « receiver » peut être quelque fois dimensionnée pour stocker toute la charge en FF de l'installation.

Son utilisation est préconisée sur les installations frigorifiques ; dans le cas de grandes installations avec condenseurs à air, il est fortement recommandé de le placer dans le circuit frigorifique.

Dimensionnement :

Pour connaître la capacité nécessaire du réservoir de liquide, il faut procéder de la façon suivante:

Capacité = 25% S Vint évaporateurs + 50% S Vint condenseurs + quantité de fluide se trouvant dans la ligne liquide

On tiendra compte de la quantité de fluide se trouvant dans la ligne liquide lorsque le diamètre de celle-ci et sa longueur seront important.

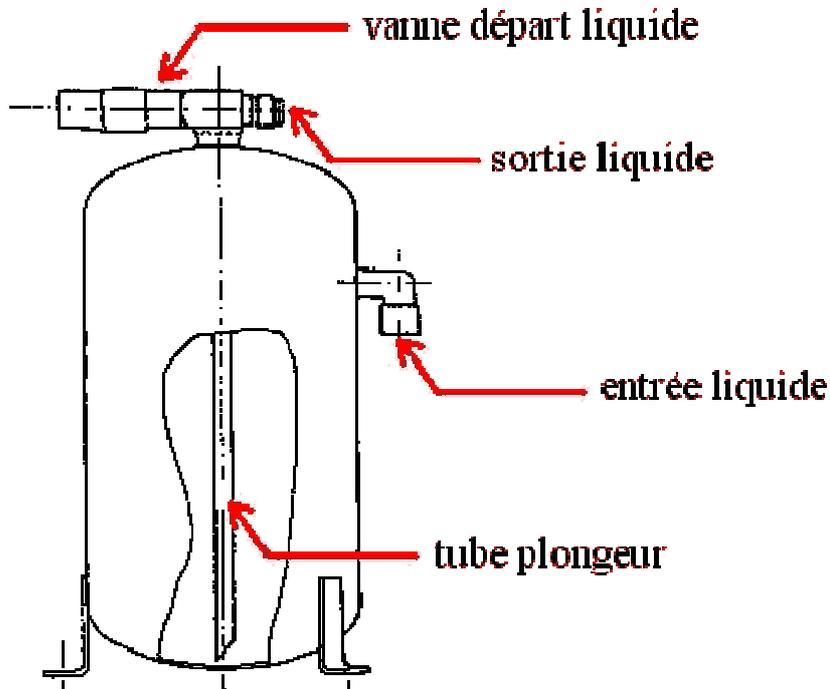
On choisira le réservoir de liquide capable de contenir au moins la capacité ainsi déterminée.

NB: Dans le cas de l'utilisation d'un régulateur de pression de condensation, cette capacité pourra atteindre jusqu'à deux fois la valeur initialement trouvée.

Il est le plus souvent formé d'une virole en acier de forte épaisseur fermée à ses deux extrémités par des fonds bombés et des vannes d'arrivée (liaison vers le condenseur) et de départ (liaison vers le détendeur) sont généralement associées.



Figure 4.1 : Réservoir de liquide – type RLHCY de CARLY.

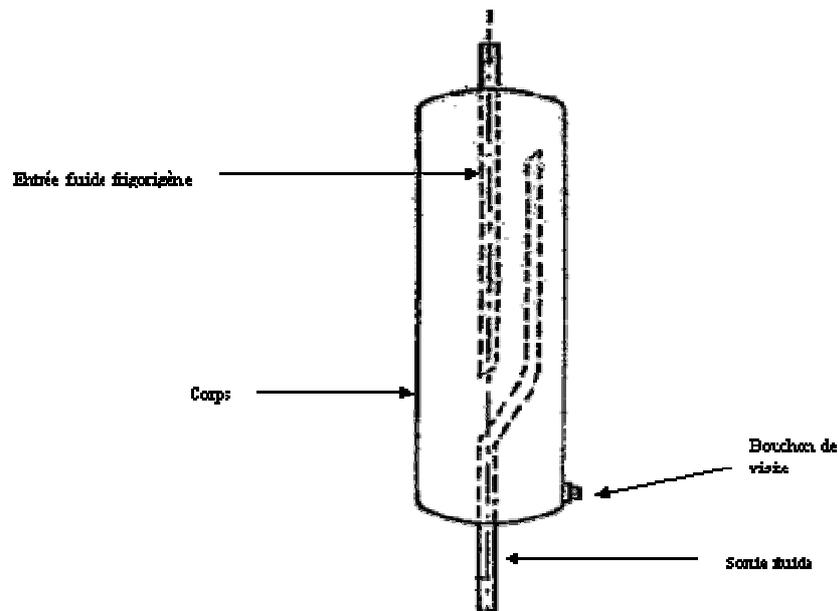


4.2 LA BOUTEILLE ANTI-COUPS DE LIQUIDE

Elle est placée entre l'évaporateur et le compresseur (à proximité du compresseur) et son rôle est d'éviter l'aspiration éventuelle de FF liquide par le compresseur : prévention des coups de liquide.

Elle est également appelée bouteille d'aspiration, bouteille de surchauffe ou séparateur de liquide. Le principe de fonctionnement est basé sur la séparation des phases vapeur et liquide du FF.

Schéma de principe :



Rôle :

Le rôle de la bouteille anti-coup de liquide est de protéger le compresseur contre l'aspiration accidentel de fluide frigorigène liquide.
Il sépare la phase liquide de la phase vapeur du fluide frigorigène.

Causes d'accumulation de liquide à l'évaporateur

En marche normale

Le détendeur est trop ouvert ou mal réglé

Mauvaise conception de l'évaporateur

A la mise en service de l'installation il y a une présence trop importante de liquide dans l'évaporateur (pendant l'arrêt) provoquée par :

Fuite au niveau du détendeur (il n'est pas étanche)

Fuite de l'électrovanne

Inconvénients d'un coup de liquide

Casse du compresseur

Bris des clapets

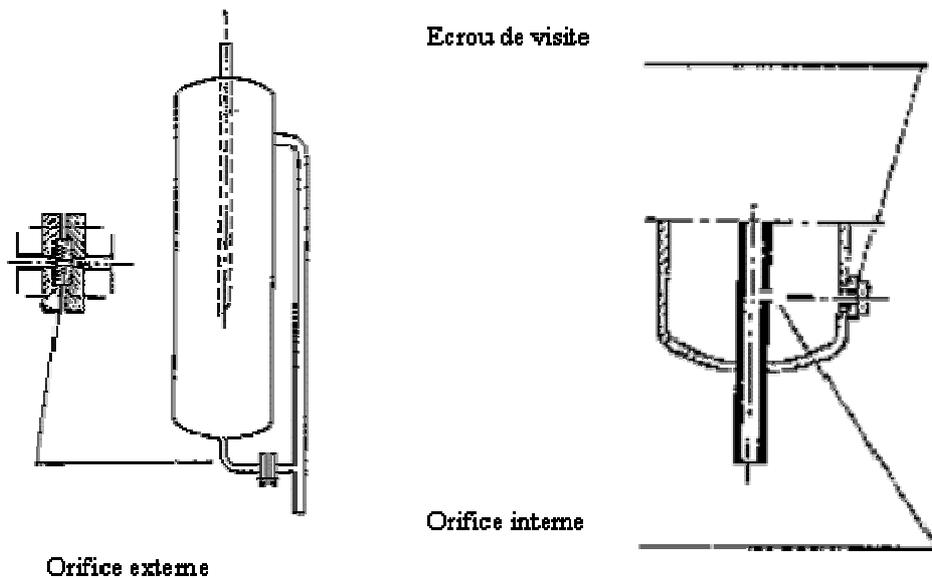
Déformation des clapets

Séparation et ré-évaporation :

Séparation par : Réduction brusque de la vitesse par augmentation de la section

Ré-évaporation par : Passage dans un orifice calibré qui assure la vaporisation du fluide et le retour de l'huile

Réalisation de l'orifice de retour d'huile :



Le système à canne d'aspiration :

La bouteille possède une canne d'aspiration qui est percée à son extrémité basse. Le trou réalisé est appelé "orifice de retour d'huile". En passant par cet orifice, le fluide frigorigène est détendu et se transforme en vapeur, l'huile quant à elle reste liquide et peut donc revenir vers l'aspiration du compresseur. Le fluide frigorigène liquide qui tombe dans le fond de la bouteille par l'entrée va être vaporisé par apport de chaleur de l'extérieur.



photo CARLY

4.3 LE SEPARATEUR D'HUILE

Son utilisation est obligatoire pour les installations où le FF est non miscible avec l'huile (par exemple le R717). Il est également présent dans les installations de grande puissance même avec des FF miscibles avec l'huile.

Afin d'empêcher au maximum la circulation de cette huile dans le circuit frigorifique, on va la piéger et la renvoyer au carter du compresseur à l'aide d'un séparateur d'huile.
Description :

Il est raccordé par une conduite d'entrée de fluide frigorigène qui est reliée au refoulement du compresseur, par une sortie fluide frigorigène qui est reliée au condenseur et par une conduite de retour d'huile qui regagne le carter du compresseur. Le séparateur se décompose en deux parties :

- la partie haute sert à séparer l'huile du fluide frigorigène.
- la partie basse sert de réservoir d'huile.

Pour séparer l'huile et le fluide, diverses méthodes peuvent être utilisées : réduction de vitesse, chicanes...

La partie réservoir est équipée d'un flotteur qui dégage un pointeau quand le niveau d'huile monte. Le pointeau dégagé, l'huile revient au carter du compresseur où elle est nécessaire pour assurer une bonne lubrification.

Même si vous utilisez un séparateur d'huile, vous devrez réaliser une tuyauterie sur l'installation qui assure un retour correct de l'huile qui n'a pas été séparée...



Figure 4.3 : Séparateur d'huile – type TURBOIL de CARLY.

4.4 L'ÉCHANGEUR DE CHALEUR LIQUIDE VAPEUR

Il assure simultanément le sous refroidissement (SR) du FF liquide en amont du détendeur ainsi que la surchauffe (SH) des vapeurs de FF en amont du compresseur.

Il permet d'augmenter le coefficient de performance (COP) de l'installation dans certains cas en évitant le phénomène de « flash gaz » (bulles de vapeur sur la ligne liquide) en accentuant le SR du FF liquide.

Par contre, il diminue le COP de l'installation dans d'autres cas où il augmente le volume massique des vapeurs de FF (amélioration de la SH) à l'aspiration du compresseur ainsi le débit massique en circulation et par conséquent la puissance frigorifique, il faut noter que la température des vapeurs de FF refoulées est augmentée également.

Il est généralement disposé à proximité de l'évaporateur.

L'enceinte extérieure spiroïdale conduit le FF liquide chaud à contre courant des vapeurs froides qui circulent dans l'enceinte interne.

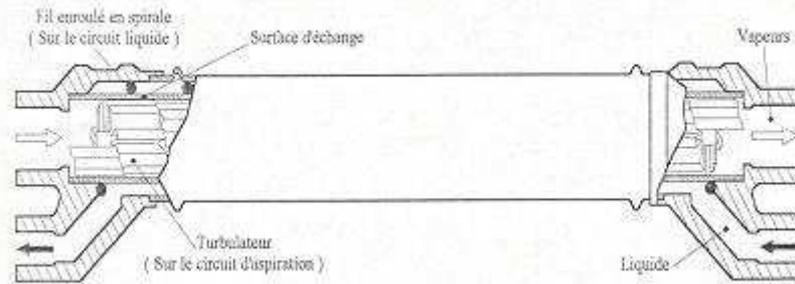


Figure 4.4: Echangeur de chaleur liquide vapeur.

4.5 LES POMPES

Dans les installations frigorifiques, les pompes (ou circulateurs) sont utilisées pour :

- assurer la circulation de l'eau de refroidissement des condenseurs
- assurer la circulation d'un médium frigopporteur (eau glacée, eau glycolée...)
- assurer la circulation du FF; il s'agit alors de pompes à FF.

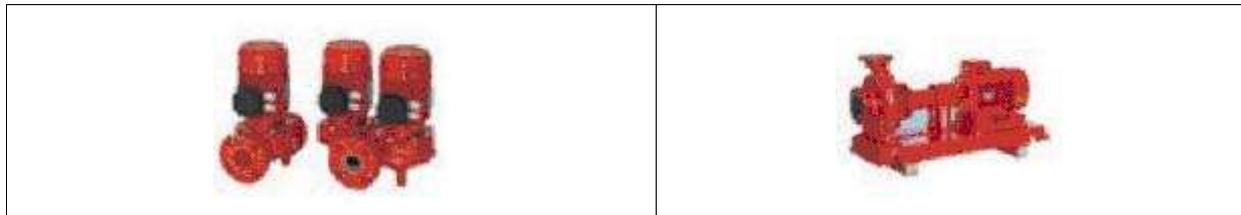


Figure 4.5: Pompe in line simple et double du type LRL/JRL de SALMSON.

Figure 4.5: Pompe horizontale du type NO de SALMSON.

Pompes à Fluide Frigorigène

Elles sont utilisées surtout pour les installations desservant plusieurs évaporateurs avec une circulation du FF liquide entre un réservoir liquide détendu et les évaporateurs.

Il s'agit en général de pompes de type centrifuge.

La puissance électrique absorbée par une pompe à FF varie en fonction du FF et du taux de circulation (débit de FF en circulation) entre 0.2 et 1.5% de la puissance frigorifique, elle est donc négligeable dans la plupart des cas.

4.6 LES VENTILATEURS

Dans les installations frigorifiques, les ventilateurs se rencontrent sur :

- les évaporateurs à air à convection forcée
- les condenseurs à air à convection forcée

les tours de refroidissement, les aérorefroidisseurs et les condenseurs évaporatifs.

Deux types de ventilateurs sont généralement rencontrés :

les ventilateurs hélicoïdes, surtout utilisés pour les gros débits sous de faibles pertes de charge (PDC)

les ventilateurs centrifuges utilisés lorsque les PDC sont importantes.

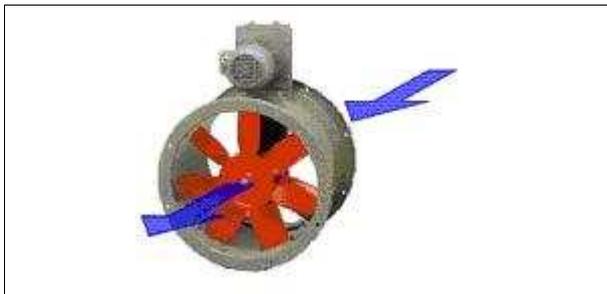


Figure 4.7: Ventilateur axial ou hélicoïdal.

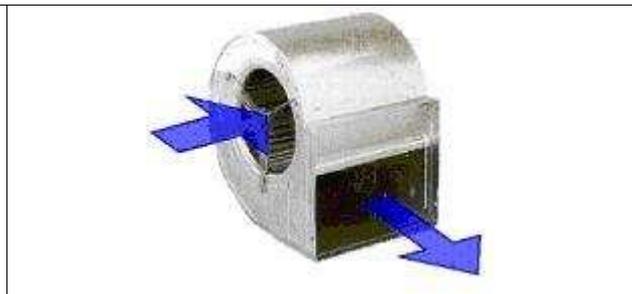


Figure 4.8: Ventilateur centrifuge.

Le choix d'un ventilateur s'effectue principalement sur la base de deux paramètres :

le débit d'air à véhiculer

la perte de charge du réseau aéroulique dans lequel transite ce débit d'air.

Les courbes caractéristiques des ventilateurs permettent de déterminer le point d'un fonctionnement d'un ventilateur (cf. figure 4.9).

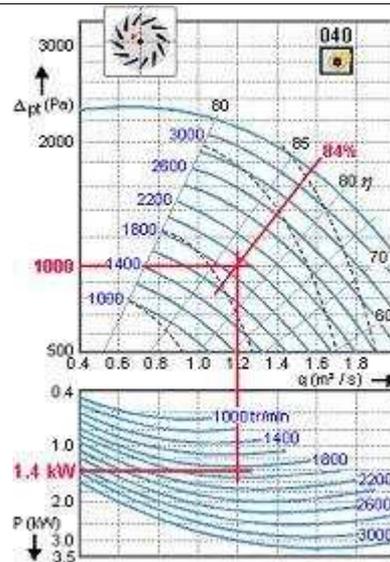


Figure 4.9: Echangeur de chaleur liquide vapeur.

4.7 LE FILTRE DESHYDRATEUR

Il convient de distinguer :

le filtre qui sert à piéger les impuretés contenues dans le circuit frigorifique

le déshydrateur qui permet l'élimination de l'humidité contenue dans le circuit frigorifique

le filtre déshydrateur qui rassemble dans le même appareil les fonction de filtre et de déshydrateur.

Les filtres destinés aux FF sont à toile métallique à mailles très serrées en bronze, en laiton ou en acier inoxydable.

Le filtre est caractérisé par sa surface filtrante et par la chute de pression correspondant au passage d'un débit donné de fluide propre traversant le fluide non colmaté.

Lorsqu'il se colmate, la chute de pression augmente, le filtre doit alors être remplacé.

Les filtres de FF se retrouvent à l'entrée des compresseurs (généralement intégrés aux compresseurs), en amont des pompes de circulation de FF et des pompes à huile et à l'entrée des organes d'alimentation des évaporateurs (détendeurs).

Le déshydrateur maintient à un niveau acceptable la teneur en eau du FF contenu dans un circuit frigorifique.

La concentration maximale en eau soluble dans les FF décroît par baisse de la température et varie suivant le FF :

concentration maximale à +20°C : 1120 ppm pour le R 22

concentration maximale à -20°C : 280 ppm pour le R2 2

Au delà de ces concentrations, l'humidité excédentaire peut se trouver en fonction des températures dans le circuit frigorifique à l'état vapeur, à l'état liquide ou être prise en glace.

Le déshydrateur se monte sur la ligne liquide après le condenseur (ou après la bouteille liquide si elle existe).

Le déshydrateur à un diamètre relativement grand évitant ainsi une grande perte de charge. Il peut être monté dans n'importe quelle position, une flèche indique le sens de passage du fluide. Il faut tenir le déshydrateur obturé jusqu'au moment du montage.

Le filtre déshydrateur assure une fonction secondaire de filtre et quelque fois une fonction supplémentaire anti-acide (en fixant les acides qui apparaissent lors des diverses réactions nuisibles).

Les déshydrateurs ou les filtres déshydrateurs peuvent être à cartouches solides remplaçables ou non remplaçables.

La cartouche solide a une composition particulière de silicagel (SiO_2), de tamis moléculaire et d'oxyde d'alumine activé (Al_2O_3), le tamis moléculaire et le silicagel absorbent l'humidité et l'oxyde d'alumine activé retient l'eau et l'acide.



Figure 4.7 : Filtre déshydrateur monobloc type DCY de CARLY.

4.8 LES VOYANTS

Il faut distinguer parmi les voyants :

les voyants simples

les voyants indicateurs d'humidité

Le voyant simple (verre épais serti dans une embase métallique) est un organe placé juste avant le détendeur et après le filtre déshydrateur.

Il permet de contrôler la présence éventuelle de bulles donc de FF à l'état vapeur, indice d'anomalie (charge insuffisante en FF, filtre déshydrateur bouché, SR insuffisant...).

Le voyant indicateur d'humidité est un voyant simple avec une double fonction, celle de l'indication de l'état de saturation (humidité) du circuit frigorifique.

Il s'agit d'un voyant avec une couronne indicatrice (sel chimique) qui change de couleur en fonction de la quantité d'eau contenue dans le FF.

Le vert indique généralement un circuit sec (parfaitement déshydraté) et le jaune un circuit humide ; le vert clair indique que le filtre déshydrateur est en train de se saturer.



Figure 4.8 : Voyant liquide- type VCYL de CARLY.

4.9 ELIMINATEUR DE VIBRATIONS

Il permet de réduire les vibrations transmises au circuit frigorifique par une machine en mouvement (compresseur) et d'absorber les tensions dues aux dilatations et aux contractions des conduits.

Il se monte le plus près possible de l'organe qui produit ces vibrations (refoulement compresseur, aspiration compresseur...).

Il est constitué d'un tuyau flexible ondulé réalisé en inox ou en cuivre et revêtu d'une tresse en fil d'acier galvanisé ou en cuivre.



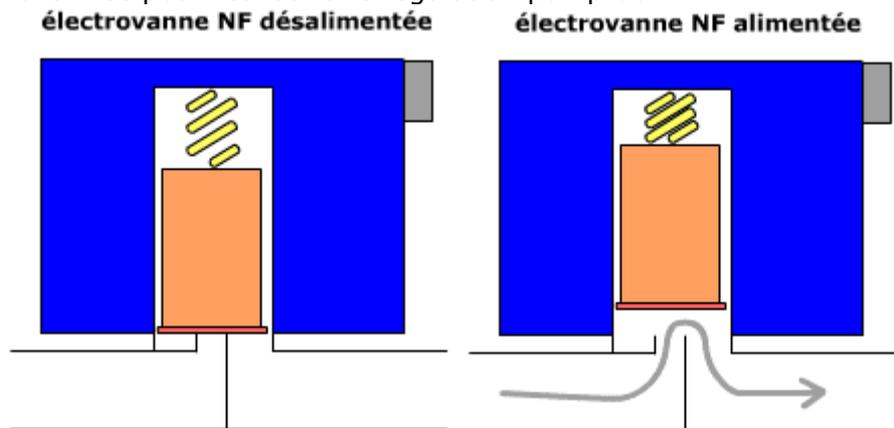
Figure 4.9 : Eliminateur de vibration type EVCYAC - CARLYFLEX de CARLY.

4.10 ELECTROVANNE

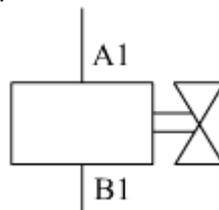
Ce sont des appareils qui réalisent l'isolement des circuits fluidiques par une commande électrique. Il existe deux familles d'électrovannes : les normalement fermées (NF) et les normalement ouvertes (NO). Pour savoir quel type d'électrovanne choisir, il convient de se demander : "en cas de problème, est-il préférable que l'électrovanne soit ouverte ou fermée ?".

Exemple : Sur une régulation pump-down, la ligne liquide comporte une électrovanne juste avant le détendeur, dois-je choisir une NF ou une NO ?

Si la bobine grille, une NO reste ouverte, et le fluide frigorigène continue à alimenter l'évaporateur, la température de chambre froide diminue et la production de froid devient permanente... Si la chambre froide est à température positive, les denrées vont geler et être perdues ! De plus l'évaporateur va prendre en glace ! En cas de problème sur la bobine de l'électrovanne, on doit arrêter la production de froid, il faut donc choisir une normalement fermée pour réaliser une régulation pump-down.



Le symbole électrique de l'électrovanne est le suivant :



4.11 ORGANES DIVERS

4.11.1 Le désurchauffeur

C'est un échangeur de chaleur qui permet la désurchauffe des vapeurs de FF.

Il est placé entre le compresseur et le condenseur (juste avant le condenseur).

Il est du type multitubulaire (condenseur multitubulaire) ou du type échangeur à plaques et il assure le transfert de la chaleur de surchauffe à de l'eau qui se trouve ainsi réchauffée et donc valorisée à diverses fins (eau chaude sanitaire...).

4.11.2 Le silencieux de refoulement

<p>Il est monté entre le compresseur et le condenseur juste après l'éliminateur de vibrations s'il existe, son rôle est de réduire considérablement les bruits causés par les vibrations et la pulsation des vapeurs de FF dans la conduite de refoulement. Il est surtout rencontré sur les installations de grande puissance.</p>	
	<p>Figure 4.11 : Silencieux de refoulement - type SCY de CARLY.</p>

4.11.3 Les purgeurs d'incondensables

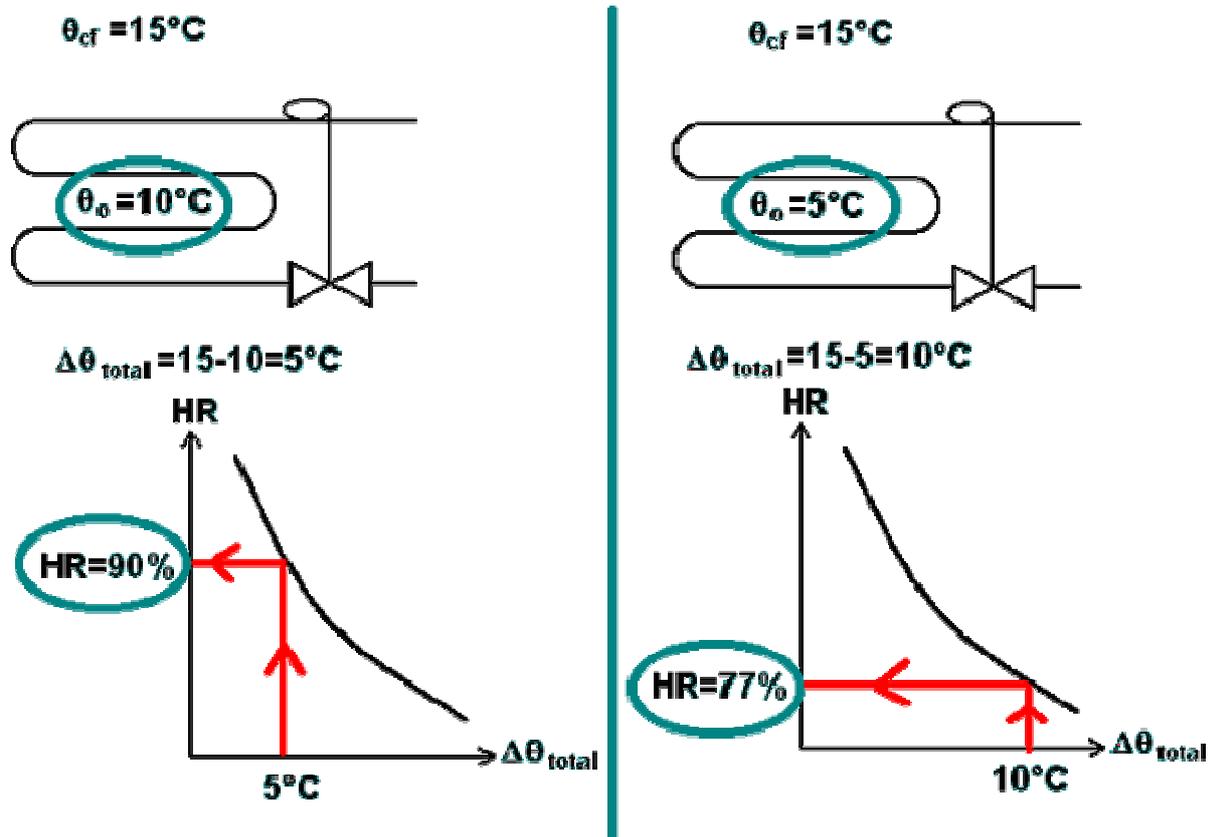
Aussi appelés désaérateurs, ils permettent l'évacuation des gaz non condensables du circuit frigorifique. Le « dégazage » peut être manuel ou automatique.

Les principaux incondensables du circuit frigorifique sont l'air, l'hydrogène, l'azote et les hydrocarbures pouvant provenir de la décomposition de l'huile.

4.12 Le régulateur de pression d'évaporation

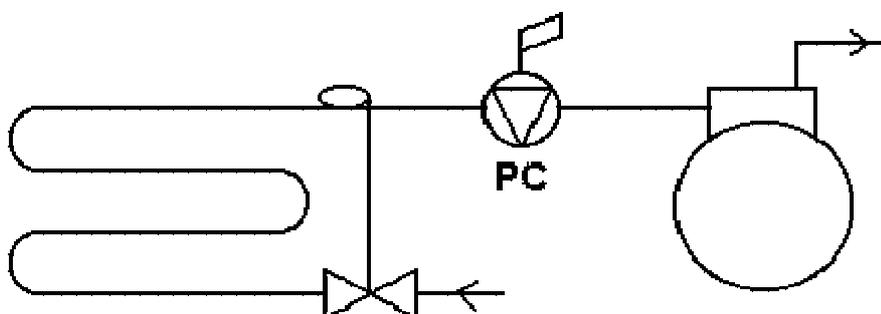
Rôle :

Il sert à maintenir une pression d'évaporation minimale prédéterminée par son réglage. Il protège par conséquent aussi contre une température d'évaporation trop basse (relation P/T). Il sera utilisé dans des refroidisseurs de liquide afin d'éviter le givre sur les tubes de l'évaporateur. En garantissant une pression d'évaporation minimale, on obtient un meilleur contrôle sur l'humidité relative et on évite ainsi la déshydratation de denrées sensibles (comme les fleurs) en cas de problème BP.



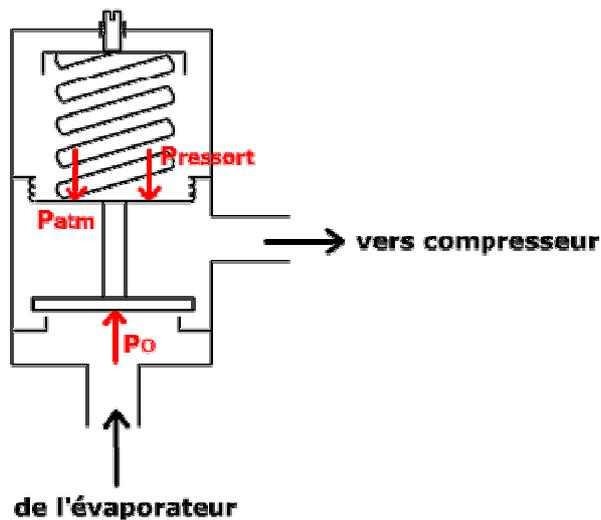
A l'aide de l'exemple ci-dessus, on remarque qu'une diminution de 5°C de la température d'évaporation a considérablement fait chuter le taux d'hygrométrie de la chambre froide même si sa température est restée constante (15°C).

Symbole fluide :



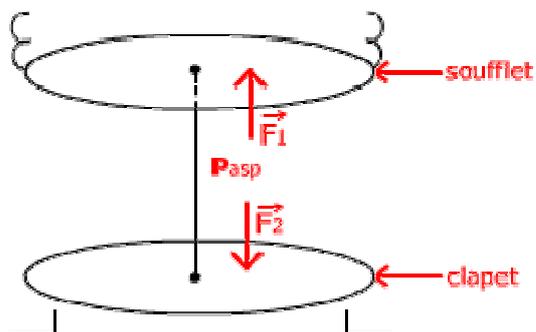
On monte le régulateur de pression d'évaporation entre la sortie de l'évaporateur et l'aspiration du compresseur.

Principe de fonctionnement :



Le régulateur se schématise comme ci-dessus.

Il est équipé d'un clapet dont la surface est égale à celle du soufflet dit "égalisateur". Grâce à cet astucieux système, la force exercée par la pression d'aspiration n'agit ni sur l'ouverture, ni sur la fermeture. Effectivement cette pression donne naissance à deux forces F_1 et F_2 de même valeur mais opposées en sens. La somme de ces deux vecteurs forces est donc égale au vecteur nul.



Bilan de forces :

Force de fermeture F_f :

F_{f1} = force exercée par la pression atmosphérique sur la surface du soufflet égalisateur

F_{f2} = force exercée par la pression du ressort sur la surface du soufflet égalisateur

$F_f = F_{f1} + F_{f2}$

La pression du ressort est ajustable à l'aide le vis de réglage du régulateur, une fois le réglage effectué, elle reste constante. La pression atmosphérique varie dans des proportions très relative. On peut donc dire que F_f reste constante une fois réglée. C'est pourquoi, on appellera cette force F_f la force de réglage.

Force d'ouverture F_o :

F_o = force exercée par la pression d'évaporation P_o sur la surface du clapet

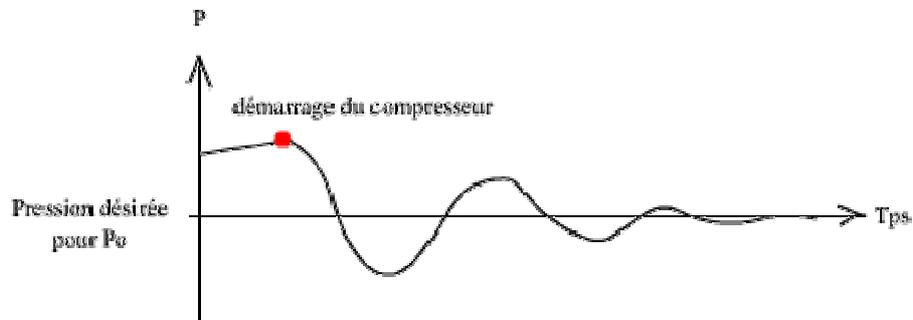
Si $F_o > F_f$, le régulateur s'ouvre.

Si $F_f > F_o$, le régulateur se ferme.

Si $F_f = F_o$, le clapet du régulateur est en équilibre.

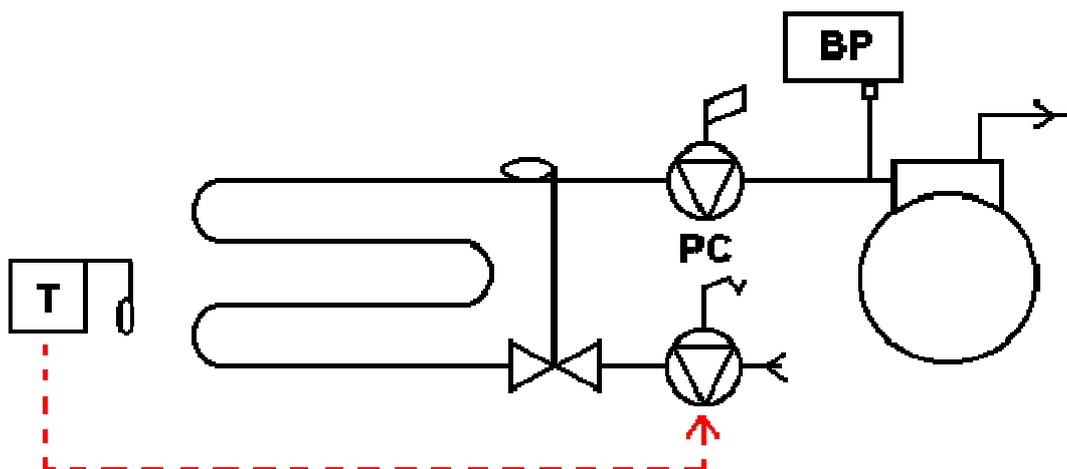
Fonctionnement en régime permanent :

Au moment du redémarrage du compresseur, la pression d'évaporation est supérieure à la pression de réglage. Le régulateur est donc ouvert. Le compresseur aspire donc dans l'évaporateur et provoque une diminution de P_o . La pression de réglage devient supérieure à P_o et le régulateur se referme lentement permettant à l'évaporateur de fournir de nouvelles vapeurs qui permettent une remontée de P_o et une réouverture du régulateur... Dans un premier temps, le clapet du régulateur est donc sujet à une oscillation amortie puis il va trouver une position d'équilibre jusqu'au prochain arrêt du compresseur. (voir schéma ci-dessous)



Problèmes causés par le régulateur sur une régulation Pump-down :

Risque de courts cycles :



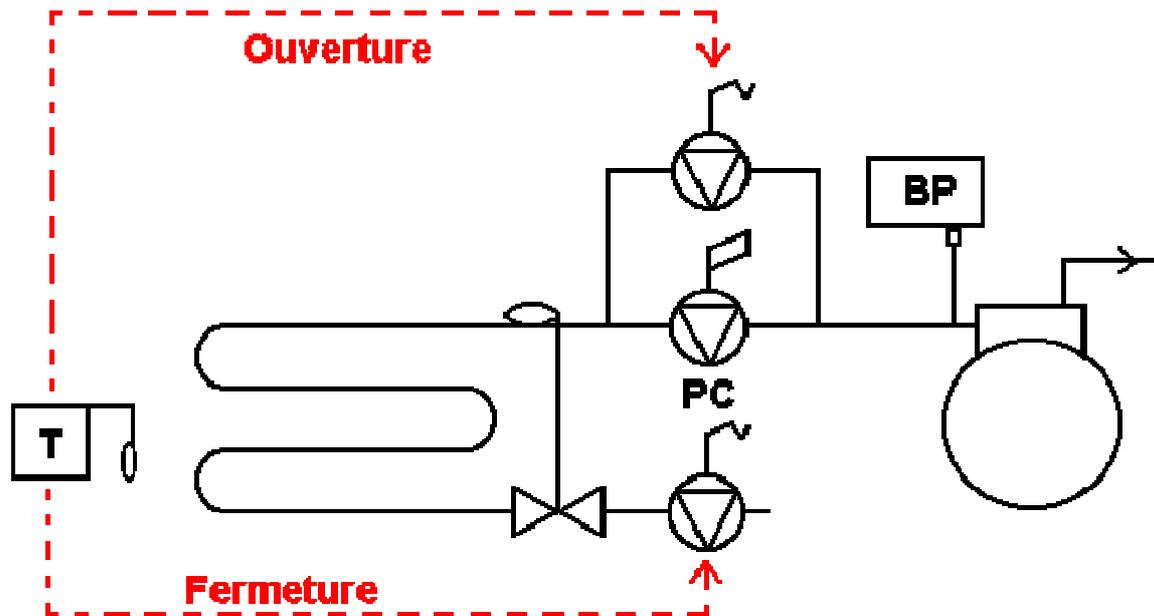
Après l'arrêt de l'installation par Pump-down, seule la ligne d'aspiration est vidée puisque le régulateur s'est fermé pour maintenir P_o dans l'évaporateur. L'enclenchement du pressostat BP est réglé sur P_o lui aussi. Alors à chaque ouverture du régulateur, le compresseur va redémarrer et vider à nouveau que la ligne d'aspiration en un temps très réduit... COURTS CYCLES. La solution consiste à utiliser une régulation single pump-down.

Risque de migrations de fluide frigorigène vers l'aspiration du compresseur :

Comme vu précédemment, l'évaporateur n'est pas vidé, quel-que soit la régulation utilisée.

En hiver, si on utilise un groupe de condensation situé à l'extérieur, sa température peut devenir inférieure à celle de l'évaporateur. Du liquide va migrer et provoquer un dangereux coups de liquide au redémarrage du compresseur.

Dans ce cas, il faut donc impérativement vider l'évaporateur de son fluide frigorigène.



La solution consiste à utiliser une électrovanne en by-pass sur le régulateur. Cette électrovanne doit être du type normalement fermée pour ne pas perturber le fonctionnement de l'installation en cas de grillage de sa bobine. En ce qui concerne le branchement électrique de cette électrovanne supplémentaire, il suffit d'utiliser le contact inverseur du thermostat de régulation pour l'alimentation de sa bobine.

Réglage du régulateur :

Le régulateur est équipé d'une prise manométrique qui donne la pression P_0 . Sa vis de réglage est du type 6 pans diamètre 8mm.

Le matériel nécessaire à son réglage se résume donc à un mano simple BP + une clef BTR Ø8mm.

Dans un premier temps, vous devrez ouvrir le régulateur à fond (en le dévissant), vérifier les paramètres de bon fonctionnement (surchauffe, sous-refroidissement) en régime permanent.

Il suffira ensuite de le refermer jusqu'à la pression P_0 désirée.

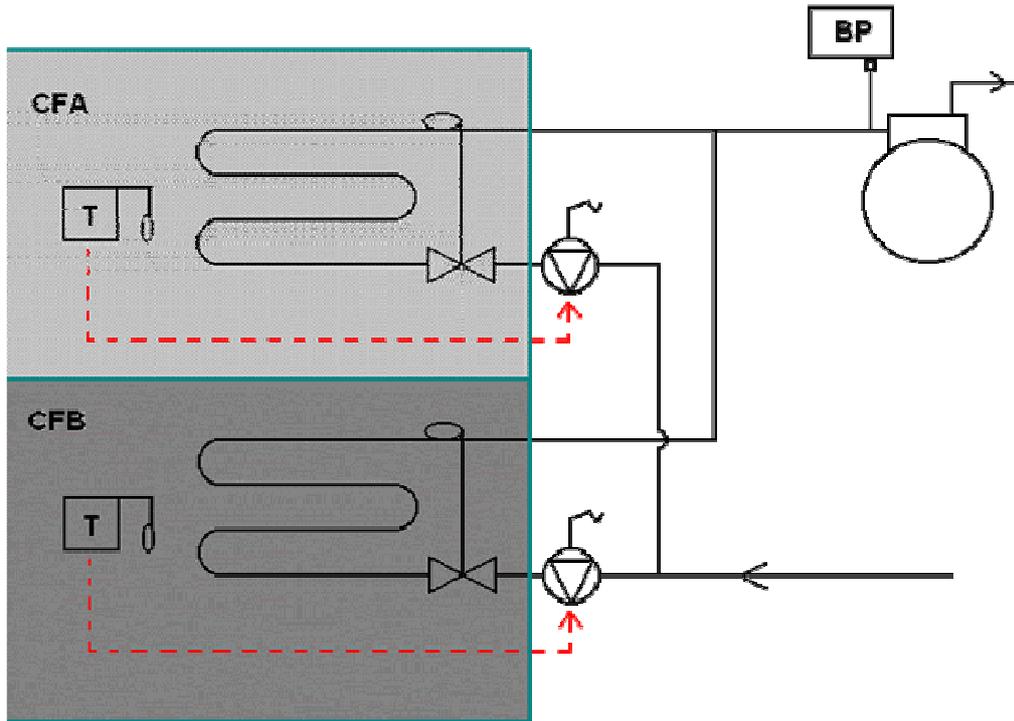
Autres précautions pour les installations équipées de ce régulateur :

Lors de la première mise en service, penser à ouvrir le régulateur pour tirer au vide tout le circuit. D'après DANFOSS, la prise manométrique qui équipe le régulateur n'est pas adaptée aux opérations de charge et de tirage au vide. Si vous devez modifier le réglage initial du régulateur en vue d'une ouverture sur une installation qui fonctionne, pensez à compter le nombre de tour effectué qui sépare la position déjà réglée à la position ouverture. Ainsi pour rétablir le réglage, il suffira de refaire le même nombre de tour de l'autre sens. Ne pas confondre vis de réglage et capuchon de protection. Lors du montage, respecter la flèche de sens de passage du fluide sous peine de non-fonctionnement de l'installation. Ne pas se servir du régulateur comme d'une vanne d'arrêt, il n'est pas sûr qu'il soit 100% étanche.

Cas des installations à plusieurs étages de températures et à un seul compresseur :

Je désire réaliser une installation comportant deux chambres froides dont les conditions intérieures sont différentes en vue de stocker deux types de denrées. Par souci d'économie, cette installation utiliserait un seul compresseur. Chambre A : salle de découpe d'un boucher $q_{CFA}=7^{\circ}\text{C}$; $\text{HRA}=90\%$ => $q_{oA}=2^{\circ}\text{C}$

Chambre B : salle de conservation de viande $q_{CFB} = -20^{\circ}\text{C}$; $HR_B = 90\%$ $\Rightarrow q_{oB} = -25^{\circ}\text{C}$
 Nous utiliserons une régulation Pump-down. Schéma fluïdique initial prévu :

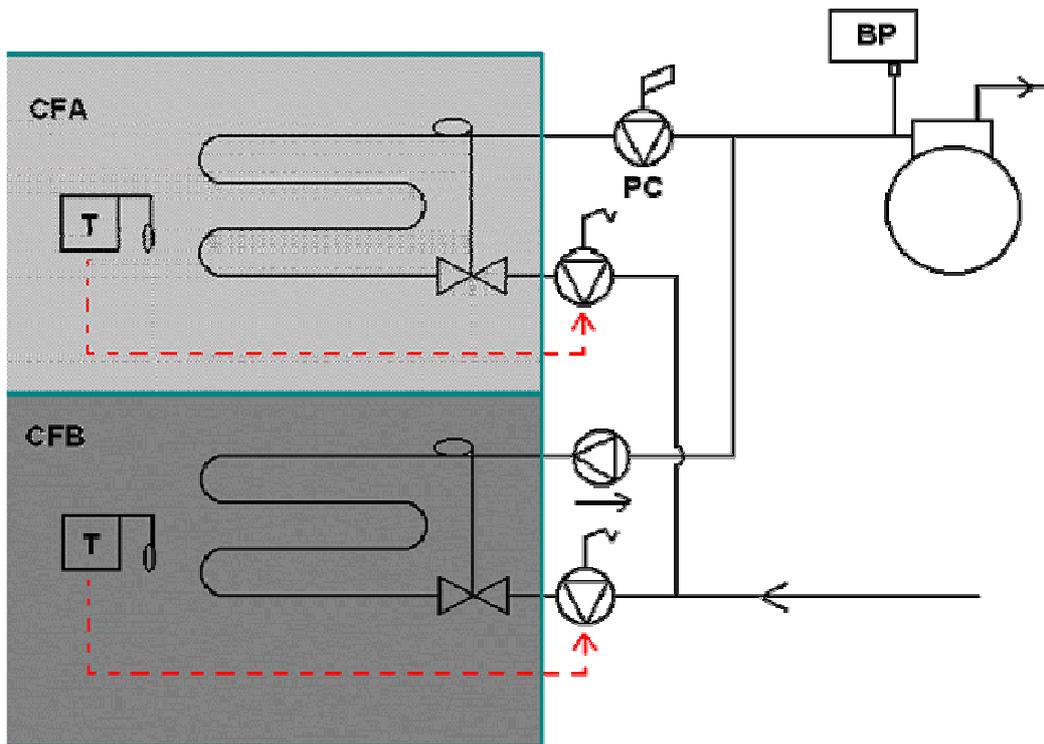


Les deux évaporateurs étant reliés par un tuyaux, il est évident qu'ils vont être environ à la même pression.

Pour pouvoir maintenir la température de la chambre B, nous allons évaporer à -25°C ; La température d'évaporation de l'étage A sera par conséquent aussi de -25°C .

De ce fait, le Dq_{total} de l'évaporateur A devient $7 - (-25) = 32^{\circ}\text{C}$. Avec un tel Dq_{total} , il sera impossible de maintenir le taux d'hygrométrie désiré.

C'est pourquoi les étages hautes températures seront équipés de régulateur de pression d'évaporation.

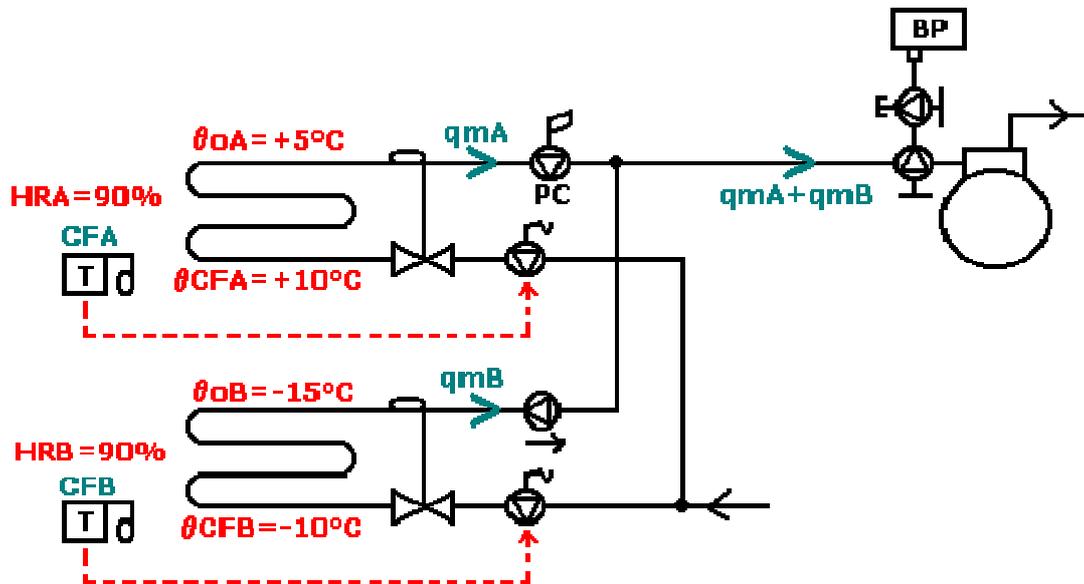


Sur l'étage basse température, on mettra un clapet anti-retour pour éviter des migrations de fluides frigorigènes intempestives.

4.13 Le régulateur de capacité

Introduction

Prenons comme exemple une installation à deux étages de température et à un seul compresseur.



En régime permanent, l'étage A fournit q_{mA} et l'étage B fournit q_{mB} . Le compresseur a donc été sélectionné pour aspirer $q_{mA} + q_{mB}$.

Si l'étage A arrive en température, le thermostat ordonne la fermeture de l'électrovanne, l'évaporateur ne fournit plus assez de vapeurs et le régulateur de pression d'évaporation se ferme. A l'aspiration du compresseur, on a plus que q_{mB} . Mais le compresseur cherche à aspirer $q_{mA} + q_{mB}$...

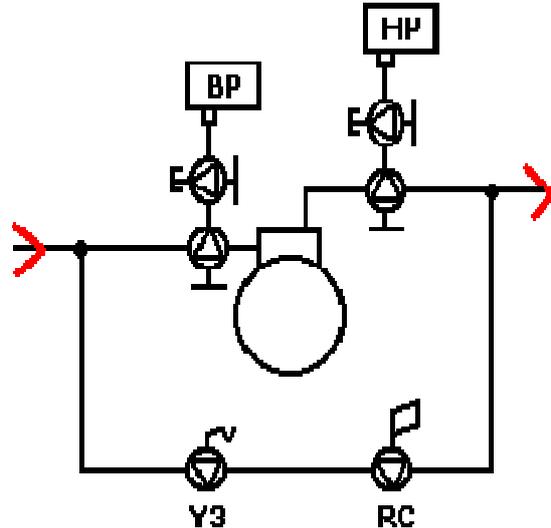
- La pression d'aspiration diminue, dès qu'elle atteint 0,2 bar, le pressostat BP arrête le compresseur. Pourtant, l'étage B reste en demande de froid et son électrovanne reste ouverte. La pression remonte et devient suffisante pour enclencher le pressostat BP, qui redémarre le compresseur.....COURTS CYCLES...
- La pression d'aspiration diminue. Cette diminution de pression entraîne une augmentation du DP du détendeur de la chambre B. De ce fait la puissance du détendeur de l'étage B augmente, ainsi que q_{mB} . Alors, l'installation trouve un compromis de fonctionnement à une pression comprise entre P_{oB} initiale et 0,2 bar. Par exemple, elle se stabilise à 0,4 bar qui correspond à -20°C de température d'évaporation pour du R134a. On arrive alors à maintenir la température de la chambre froide mais pas l'humidité relative...Effectivement le Dq_{total} passe à $-10 - (-20) = 10^{\circ}\text{C}$, et HR devient donc égal à 77%. Les denrées risquent la déshydratation et l'évaporateur va prendre en glace plus rapidement...

Si l'étage B arrive en température, le thermostat ordonne la fermeture de l'électrovanne, l'évaporateur entame son pump-down puis il ne fournit plus de vapeurs. Le régulateur de pression d'évaporation se ferme pour maintenir P_{oA} . Le compresseur tire au vide la ligne d'aspiration. A 0,2 bar

le pressostat BP arrête le compresseur. La chambre A étant toujours alimentée, le régulateur se décharge dans la ligne d'aspiration et le pressostat BP redémarre le compresseur...COURTS CYCLES...

Quel que soit l'étage qui coupe, on assiste à un mauvais fonctionnement et l'installation ou les denrées risquent des dégradations...Il est donc nécessaire d'apporter la charge complémentaire à l'aspiration du compresseur afin de lui garantir un débit masse aspiré constant en régime permanent. Pour cela nous utiliserons un régulateur de capacité.

Régulateur de capacité injectant à l'aspiration
symbole fluidique

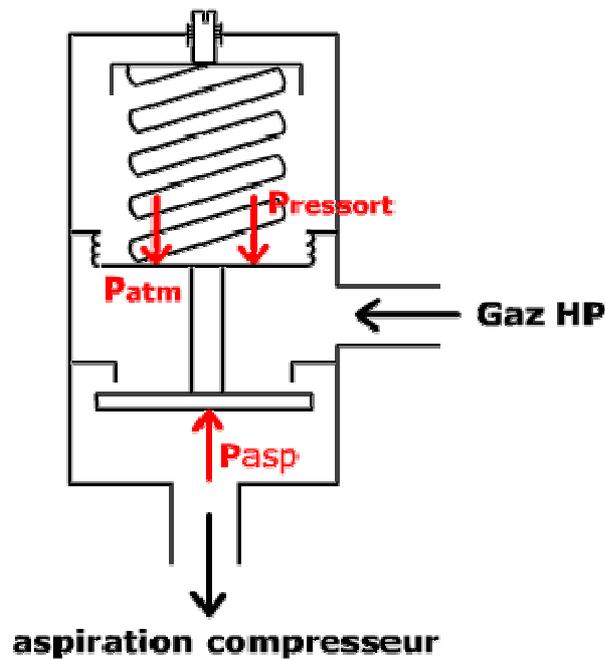


On trouve le régulateur de capacité sur un by-pass entre une conduite gaz HP et l'aspiration. Sur ce by-pass on ajoute une électrovanne qui va être nécessaire pour le pump-down...

Fonctionnement

Dès que la pression d'aspiration diminue, c'est le signal que le compresseur devient surpuissant. Il faut donc que le régulateur s'ouvre. Celui-ci apporte la charge complémentaire à l'aspiration en puisant des gaz HP et en les injectant dans la ligne d'aspiration.

Principe de fonctionnement



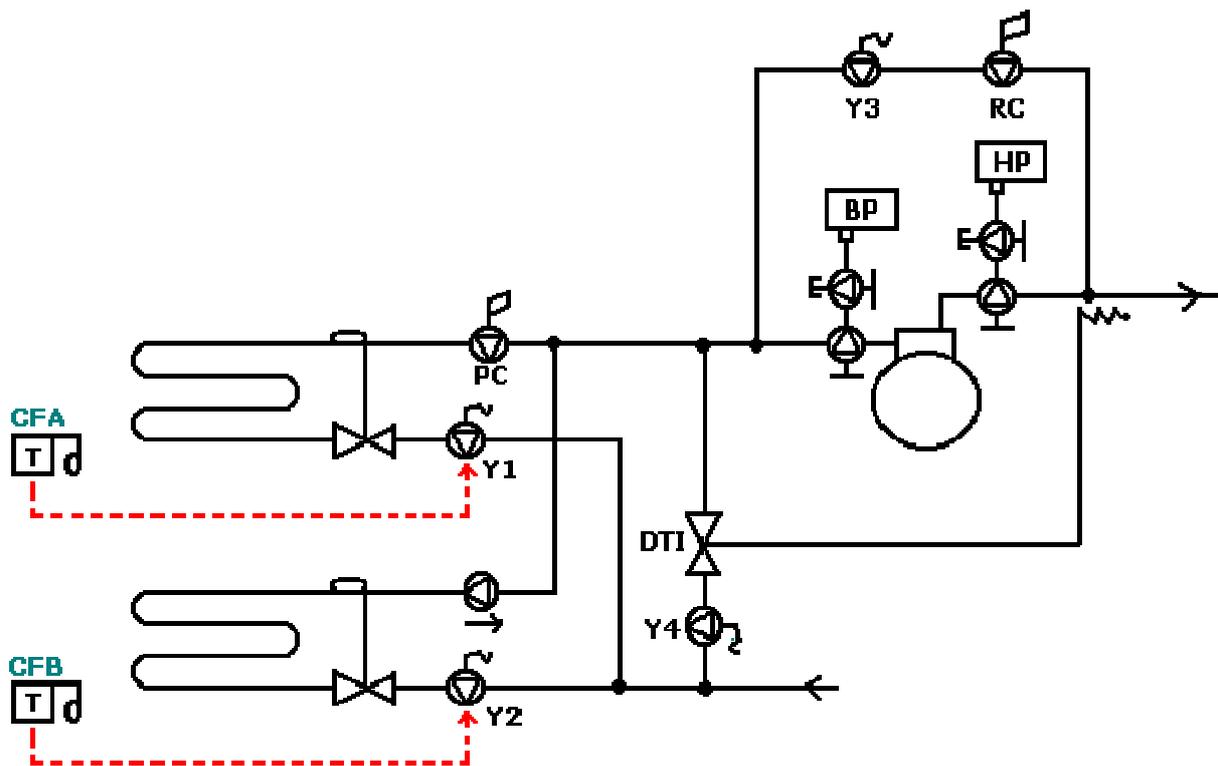
La pression à contrôler est la pression d'aspiration. La pression indésirable est la HP. On applique donc la pression d'aspiration P_a sur le dessous du clapet. La HP est appliquée simultanément sur le soufflet égalisateur et le dessus du clapet, les forces engendrées par cette pression s'annulent car elles sont de même norme mais de sens contraire. Le siège du clapet quant à lui doit être placé au-dessus du clapet pour assurer l'ouverture en cas de diminution de la pression d'aspiration.

Influence du régulateur sur le circuit

Le régulateur injecte des gaz issus du refoulement du compresseur. Ces gaz sont des gaz chauds et leur température est très élevée. En passant par le régulateur une petite quantité de gaz est détendue et arrive dans la ligne d'aspiration. Ces gaz chauds se mélangent avec les gaz frais qui arrivent des évaporateurs. La température des gaz aspirés augmente donc sensiblement de quelques degrés. Comme la température d'aspiration augmente, la température de refoulement augmente aussi et dans des proportions plus grandes... Le régulateur étant ouvert, ce sera des gaz encore plus chauds qui vont se mélanger avec les gaz frais provenant des évaporateurs et la température d'aspiration va encore augmenter et par conséquent celle de refoulement aussi !!!

Risque de température trop élevée au refoulement (détérioration du fluide de l'huile et des joints...)

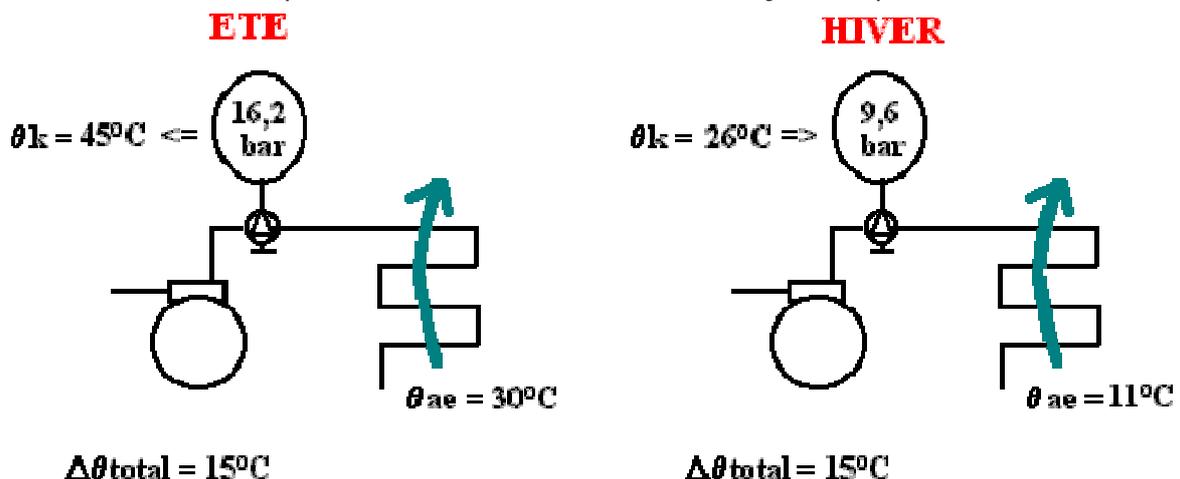
Il faut donc limiter la température des gaz refoulés... Pour cela on utilisera un Détendeur Thermostatique d'Injection. On place le bulbe de ce détendeur au refoulement du compresseur pour contrôler la surchauffe de refoulement. On ajoute une électrovanne sur la ligne du DTI qui servira pour le pump-down.



4.14 Le régulateur de pression de condensation

Introduction:

La température de condensation et par conséquent aussi la pression de condensation varient dans des proportions importantes en fonction de la température d'entrée d'air du condenseur. Toutefois pour un condenseur donné on a toujours $Dq_{total} = \text{constante}$.



D'après le schéma ci-dessus, on a l'été une température d'entrée d'air au condenseur de 30°C et une pression de condensation de 16,2bar au R22 qui nous donne une température de condensation de 45°C . Le Dq_{total} du condenseur est donc de 15°C .

En hiver, température d'entrée d'air chute à 11°C par exemple. Comme le Dq_{total} du condenseur est constant, la température de condensation devient 26°C et par conséquent la HP a chuté à 9,6bar.

Comme la HP chute, le DP du détendeur chute aussi. On injecte donc moins de liquide dans l'évaporateur et

celui-ci va fournir moins de vapeurs. Le compresseur devient surpuissant et la BP diminue. L'installation s'arrête par coupure au pressostat BP.

L'hiver, il faut donc essayer de maintenir la HP à une valeur moyenne annuelle.

Différents procédés de régulation :

Régulation directe sur le fluide frigorigène.

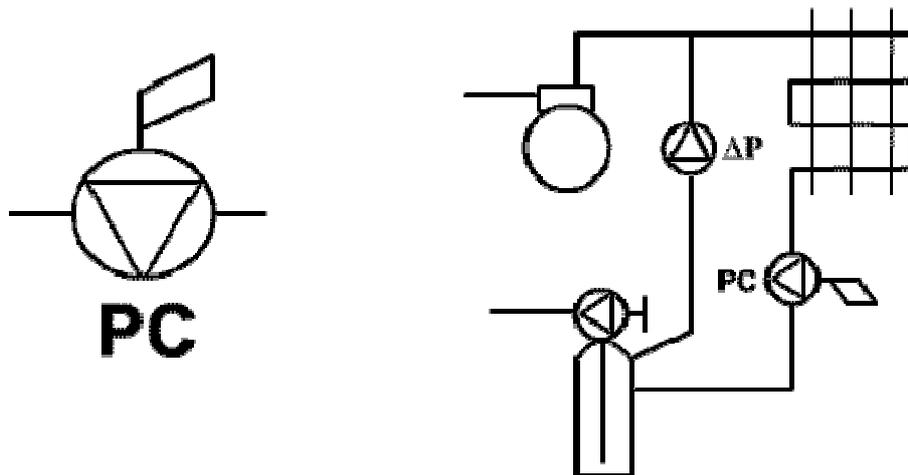
Variation du débit d'air par arrêt des ventilateurs de condenseur.

Variation de la vitesse de rotation de l'hélice du condenseur.

La solution de M. [Van Eeckhout Francis](#).

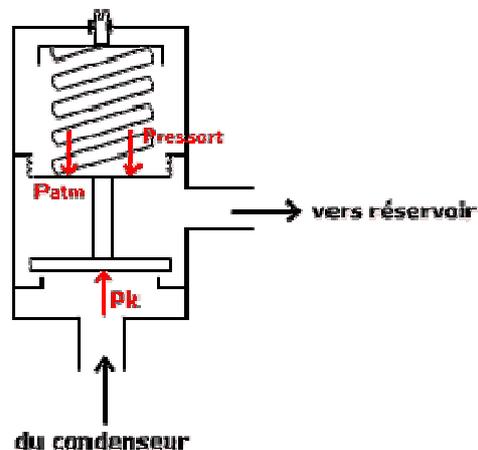
Régulateur de pression de condensation :

Symbole fluide :



On trouve le régulateur de pression de condensation en sortie de condenseur. On doit aussi ajouter un clapet différentiel ou un régulateur de pression de bouteille.

Schéma de principe de fonctionnement du régulateur :



Fonctionnement du dispositif régulateur+clapet diff :

- En été, la pression de condensation est supérieure à la pression de réglage, le régulateur est donc ouvert. La pression de condensation est égale à la pression du réservoir et le clapet différentiel est fermé. Tout fonctionne comme si le dispositif était absent.
- En hiver, la pression de réglage devient supérieure à la pression de condensation, le régulateur se ferme et engorge partiellement le condenseur de liquide. Comme la surface d'échange du condenseur diminue, la HP remonte. Quand le régulateur se ferme, le liquide ne peut plus tomber dans le réservoir de liquide et donc la pression de bouteille diminue. Dès que le clapet différentiel détecte une différence de pression (pression de condensation-pression de bouteille) supérieure à 1,4bar

il s'ouvre et permet donc de maintenir la pression de bouteille constante en y injectant des vapeurs.

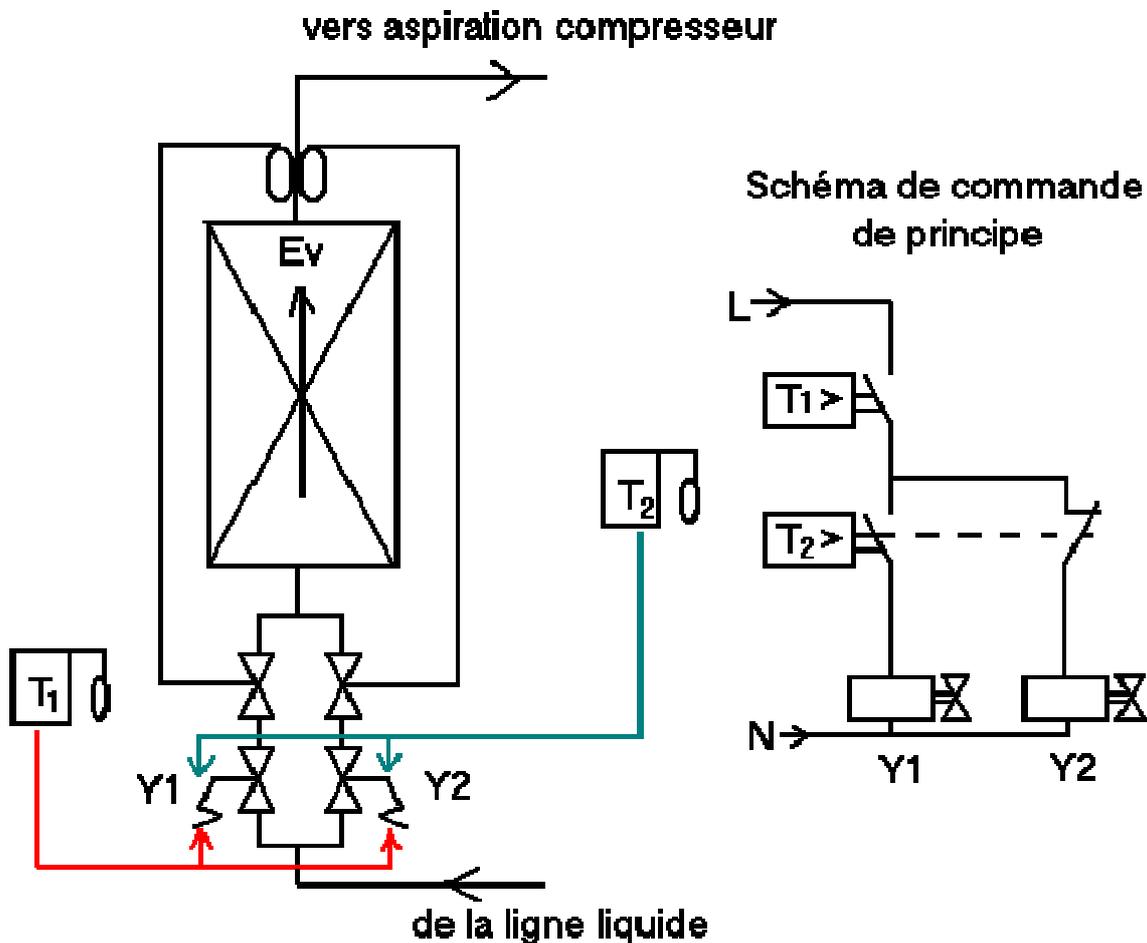
Charge en fluide et dimensionnement du réservoir de liquide :

Afin que l'installation fonctionne de manière optimale quel que soit la saison, il faut veiller à choisir un réservoir qui sera capable de recueillir toute la charge de l'installation. Il faut donc penser que l'hiver, du fluide est "coincé" dans le condenseur. La bouteille HP doit pouvoir le recevoir en été. Pour cela il sera nécessaire de choisir une capacité de bouteille jusqu'à deux fois supérieure par rapport à la normale.

En ce qui concerne le fluide frigorigène, si on effectue la charge de l'installation l'été, nous devons réaliser un appoint de charge l'hiver.

La solution de M. Van Eeckhout Francis :

Comme nous l'avons vu au départ, la HP flottante pose des problèmes au niveau du DP du détendeur et donc au niveau de sa puissance. Au lieu de réguler cette HP, nous pourrions agir sur la puissance du détendeur. Pour cela, il suffira d'équiper notre installation de deux détendeurs montés en parallèles. Un sera dimensionné pour le fonctionnement été et l'autre pour le fonctionnement hiver. Un thermostat dont le bulbe sera placé à l'entrée d'air du condenseur, commandera l'un ou l'autre en agissant sur des électrovannes.



- légende :* T1 thermostat de régulation de température de chambre froide
T2 thermostat de régulation de saison
Y1 électrovanne fonctionnement été
Y2 électrovanne fonctionnement hiver

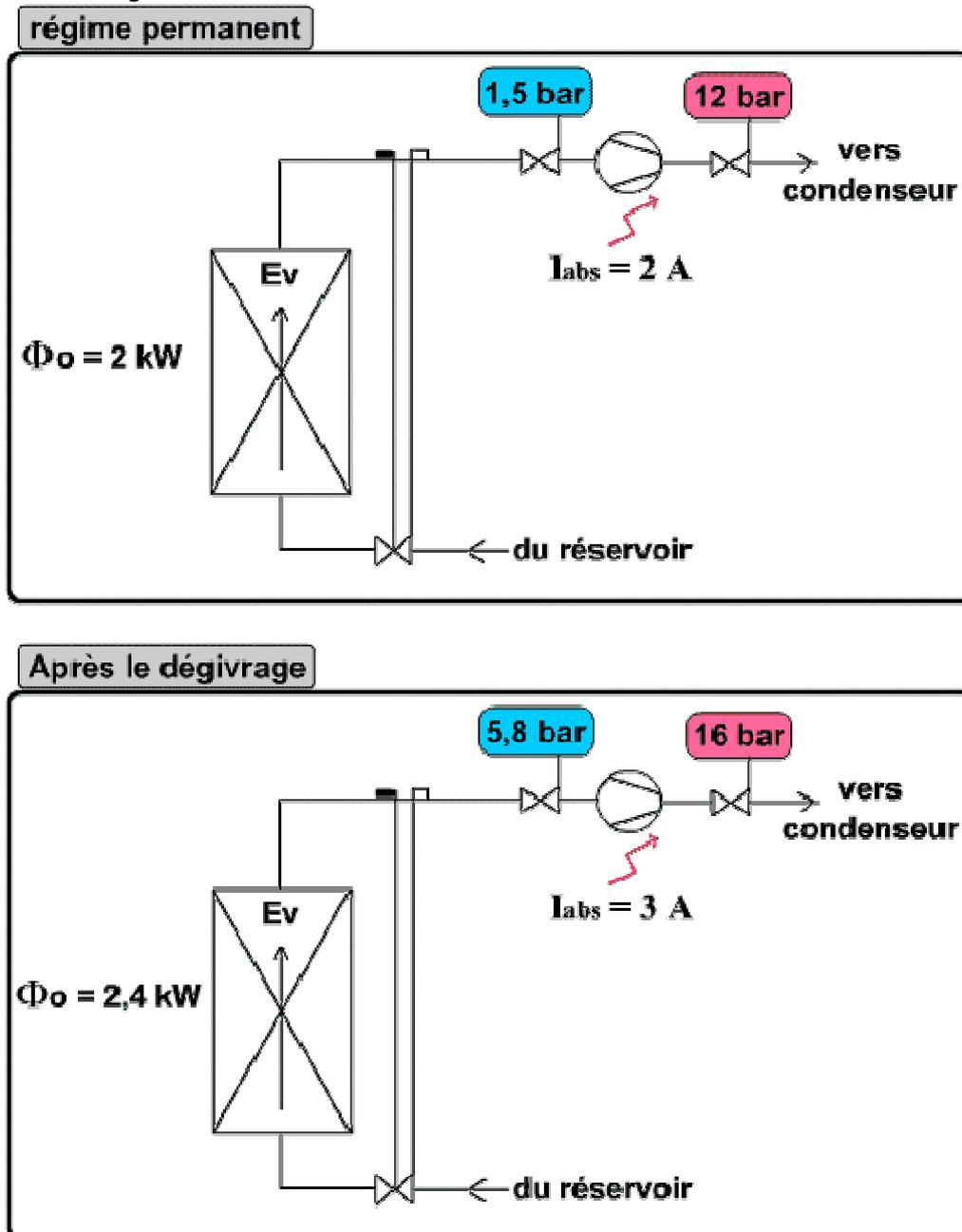
4.15 Le régulateur de démarrage

Introduction

Prenons comme exemple une installation équipée d'un dégivrage électrique. Cette installation au R22 est prévue pour une température d'évaporation de -20°C , ce qui correspond à $P_o=1,5$ bar. Le thermostat de fin de dégivrage redémarre la production de froid à $+10^{\circ}\text{C}$, après un dégivrage. A ce moment précis, $q_o=10^{\circ}\text{C}$ et donc $P_o=5,8$ bar. La puissance frigorifique a considérablement augmentée : $+120\%$ environ (voir cours détenteur).

Le condenseur va se retrouver sous-dimensionné (son dimensionnement se fait par rapport au régime permanent).

La HP va donc augmenter.



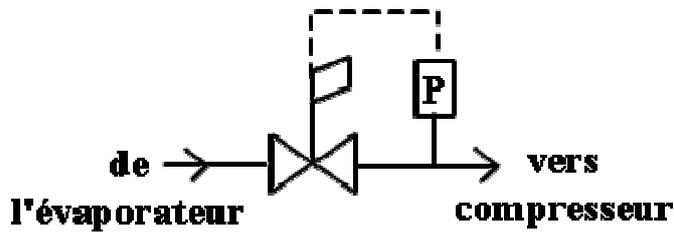
Cela risque d'entraîner soit une coupure au pressostat HP ou une coupure au relais thermique du compresseur. Pour éviter cela, il faudra garder une pression d'aspiration Pasp constante et égale à celle du régime permanent (ici on doit maintenir $P_{asp}=1,5$

bar).

On peut utiliser un détendeur MOP ou un régulateur de démarrage.

Symbolisation fluïdique

Symbolisation normalisée



Symbolisation Rapin

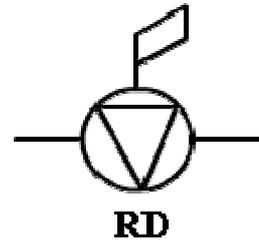
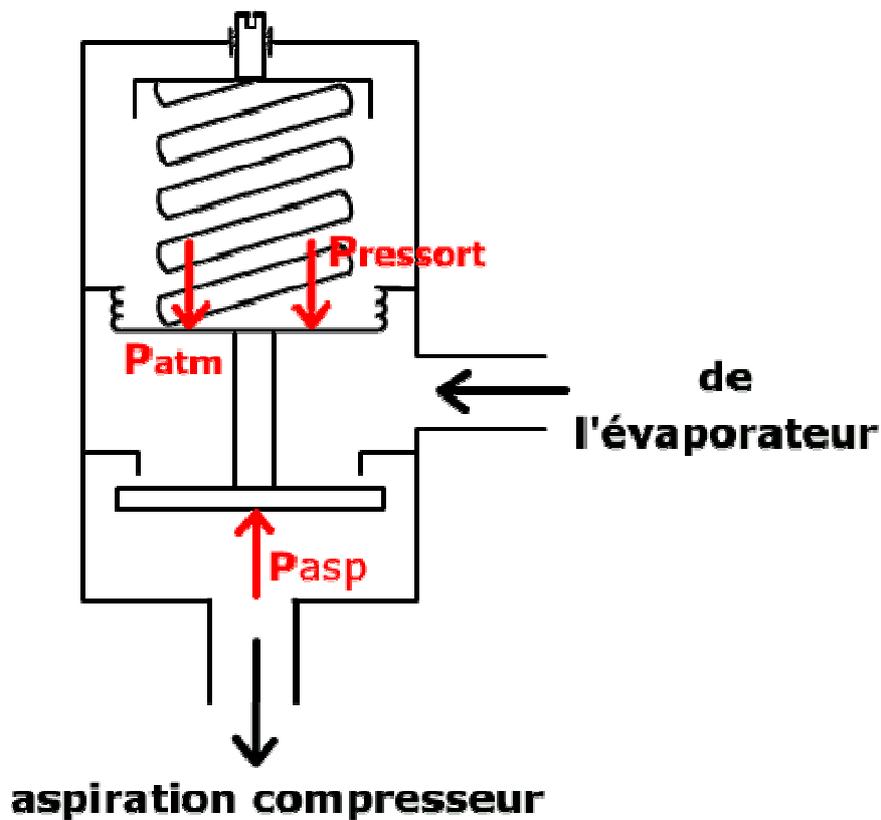


Schéma de principe de fonctionnement du régulateur



Si la pression d'aspiration devient supérieure à la pression de réglage, le régulateur se ferme ce qui ne permet plus au flux de vapeurs BP d'arriver dans la ligne d'aspiration, le compresseur se retrouve donc isolé de l'évaporateur, la pression d'aspiration diminue et entraîne une réouverture du régulateur... Ce régulateur joue donc un rôle de bridage de la quantité de vapeur admise à l'aspiration. En régime permanent, il est entre-ouvert et n'influence pas sur le fonctionnement du système. Il ne sera actif qu'après un dégivrage, ou lors de l'introduction dans la chambre froide d'une charge thermique supplémentaire

4.16 Les régulateurs RDK

Ces régulateurs appartiennent à la gamme Klimo de Stäfa Control. Ils sont très utilisés pour des applications de climatisations industrielles.

Régulateurs type Rdk... :

Ils sont distingués par un code chiffré qui suit la référence Rdk et qui correspond à la particularité de ses sorties.

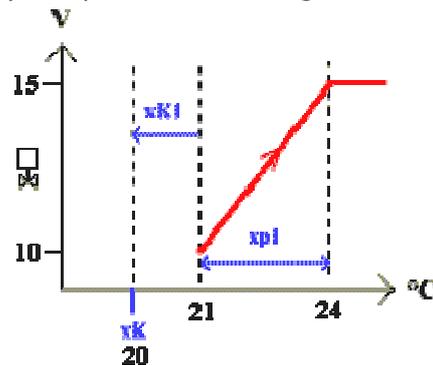
En effet les chiffres 2 désignent des sorties Tout ou Rien

Les chiffres 9 des sorties Progressives

Ainsi un Rdk 22 possède deux sorties tout ou rien et un Rdk 9 une progressive. Un Rdk 992, deux progressives et une tout ou rien.

Paramétrage d'un régulateur Rdk 9 :

Pour ce type de régulateur, il y a 4 paramètres à régler.



La consigne :

Elle est désignée par xK . Elle correspond à la grandeur désirée dans le local. Elle peut être par exemple une température ou une humidité relative. C'est la sonde branchée sur l'entrée principale du régulateur qui donne cette information.

$xK = 20^{\circ}\text{C}$

La bande proportionnelle :

Elle est désignée par $xP1$. Sur le diagramme de tension de sortie (diagramme séquentiel), elle est représentée par une droite dont on peut déterminer le coefficient directeur (ici $a = (15-10) / (24-21) = 1,67 \text{ V} / ^{\circ}\text{C}$).

A 24°C , la tension de sortie est de 15V et la vanne de régulation est 100% ouverte. Pour 21°C , la tension de sortie du régulateur est de 10V et la vanne est complètement fermée. A $22,5^{\circ}\text{C}$, nous serons donc à la moitié de la bande proportionnelle et la tension de sortie délivrée sera donc de 12,5V, la vanne sera à moitié ouverte.

Pour un écart de température donné, la valeur de la tension de sortie varie de façon proportionnelle.

$xP1 = 24 - 21 = 3^{\circ}\text{C}$

Après 24°C , toute augmentation de température ne permet d'ouvrir la vanne. C'est la valeur de saturation du dispositif.

La zone neutre :

Elle est désignée par $xK1$. C'est l'intervalle pendant lequel le régulateur ne va pas réagir à une augmentation ou une diminution de température.

$xK1 = 21 - 20 = 1^{\circ}\text{C}$

Dans le cas d'un régulateur utilisé pour le chauffage ou l'humidification, la zone neutre est négative.

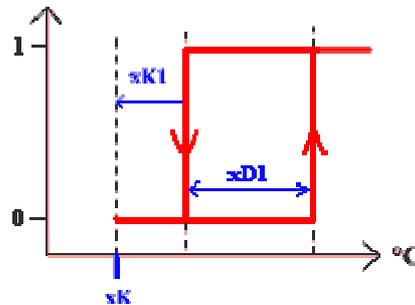
Le sens d'action :

On le règle à l'aide du commutateur A-B. Il permet de choisir entre une action de chauffage ou humidification et refroidissement ou déshumidification.

A :
chauffage ou humidification
B :
refroidissement ou déshumidification

Paramétrage d'un Rdk 2 :

Certains paramètres de réglages sont les mêmes que pour un Rdk 9. On a toujours 4 paramètres à régler.



La consigne :

Elle est représentée par xK et ne présente aucune différence avec celle du Rdk9.

La zone neutre :

Elle est représentée par $xK1$, elle reste identique à celle d'un Rdk9

Le différentiel de commutation :

Il est représenté par $xD1$, il remplace la bande proportionnelle du Rdk9. C'est lui qui détermine l'état du contact de sortie et qui décide de l'alimentation (1) ou de la désalimentation (0) du récepteur.

Le sens d'action :

Idem que pour Rdk9.

4.17 Régulation de protection minimum

On appelle protection minimum une régulation pour laquelle une électrovanne est asservie au fonctionnement du compresseur.

Sur une base de pressostatique ou de thermostatique il suffit d'ajouter une électrovanne qui est commandée par un contact du contacteur du groupe de condensation ou du compresseur.

Cette électrovanne se situe en pratique sur la ligne liquide, le plus près possible du détendeur. Elle évite ainsi les migrations importantes de fluide frigorigène à l'arrêt du compresseur.

5.1 LES ORGANES DE ROBINETTERIE

Les organes de robinetterie suivants peuvent se retrouver sur le circuit frigorifique :

- les robinets manuels d'isolement

- les robinets 3 voies

- le clapet de non retour

- les robinets manuels de réglage et de purge d'huile

Le terme vanne est également utilisé à la place de robinet.

Outre ces vannes qui sont à commande manuelle, on rencontre des vannes à commande directe ou vannes (robinets) commandées.

Il s'agit de robinets (ou vannes) commandés (ouverture et fermeture) automatiquement soit par l'action d'un champ magnétique, soit par l'action d'une pression ou soit par l'action d'un servomoteur électrique.

L'action pouvant être déclenchée par ordre d'un régulateur ou sous l'effet d'un signal électrique.

Pour les circuits frigorifiques, l'organe le plus rencontré est la vanne électromagnétique (voir électrovannes cf. 4.10) aussi appelée électrovanne ou vanne solénoïde.

Le robinet 4 voies d'inversion de cycle est une vanne pilotée utilisée sur les machines frigorifiques réversibles (fonctionnement mode froid et mode chaud).

Pour les circuits d'eau, on rencontre généralement des vannes commandés par servomoteurs. Il faut distinguer :

- les vannes à régulation tout ou rien (vanne ouverte ou vanne fermée)

- les vannes à régulation progressive (vanne à ouverture variable)

Suivant le nombre de voies de la vanne, on distingue :

- les vannes 2 voies

- les vannes 3 voies (utilisées surtout pour la régulation)

- les vannes 4 voies (utilisées par exemple sur un appareil alimenté par 2 circuits de fluides différents, en fonctionnement normal seul un fluide alimente l'appareil)

5.1.1 Les robinets manuels d'isolement

Ils autorisent le passage ou pas du FF à un point précis du circuit frigorifique. Ils permettent ainsi l'isolement des circuits et des organes.

Il s'agit d'appareil à obturateur commandé de l'extérieur, on distingue :

les robinets à soupape (l'obturateur se déplace perpendiculairement à son siège)

les robinets à tournant; l'obturateur appelé boisseau est percé d'orifices appelés lumières et se déplace par rotation autour de son axe de révolution dans un corps.

5.1.2 Les robinets 3 voies

Il s'agit de vanne à 3 orifices avec un réglage manuel à 3 positions

Ils sont disposés généralement à l'aspiration et au refoulement du compresseur, ils sont alors appelés robinets de service ou robinets de compresseurs.

La bouteille liquide est quelque fois équipée de ce robinet au niveau du départ de liquide vers le détenteur.

Au niveau du montage de ces robinets sur un compresseur (aspiration et refoulement), on nomme

T : l'orifice de liaison à la tuyauterie d'aspiration (ou de refoulement)

C : l'orifice de liaison au compresseur à proprement parlé à l'aspiration (ou au refoulement)

P : l'orifice de pression (en effet la 3^{ème} sert de prise de pression « manomètre »)

Lorsque le pointeau est :

tourné à fond vers l'extérieur : T et C sont en communication, P est isolé

tourné à fond vers l'intérieur : C et P sont en communication, T est isolé

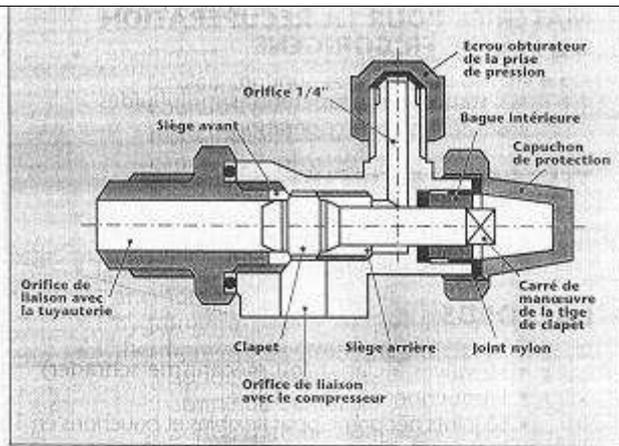
en position intermédiaire : T, C et P sont en communication

La prise de pression est prévue pour mesurer la pression du FF à ce niveau.

Elle peut être également raccordée à un dispositif pour des opérations de mise en service telles que le tirage au vide, la charge de FF ou la récupération de FF.

En aucun cas, elle ne peut être utilisée pour le montage d'un appareil de sécurité (pressostat de sécurité par exemple).

Il existe des robinets 3 voies avec 2 orifices de prise de pression, l'orifice supplémentaire P1 est disposée de manière à être toujours en communication avec l'orifice C c'est à dire avec le compresseur, cet orifice est destiné à être équipé par un pressostat de sécurité.



P : orifice de prise de pression

T : tuyauterie

C : compresseur

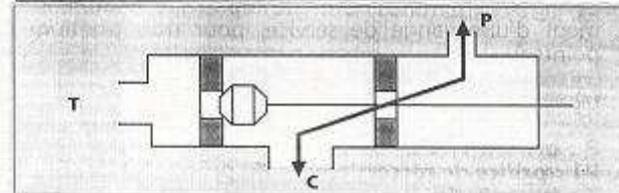
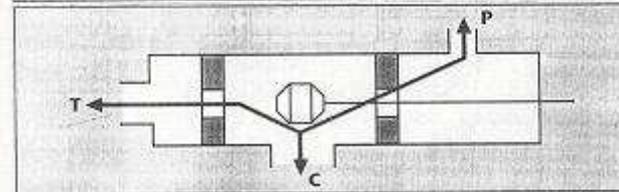
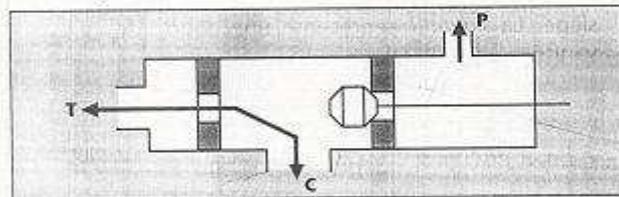


Figure 5.0 : Schéma robinet 3 voies de service.

5.1.3 Le clapet de non retour

Aussi appelé clapet de retenue, il autorise la circulation du FF dans un seul sens.

Il est constitué par un obturateur (clapet) appuyé sur son siège par un léger ressort. Le clapet s'ouvre que lorsqu'il y'a une différence de pression entre l'amont et l'aval.

Dans les installations frigorifiques comportant plusieurs évaporateurs en parallèle fonctionnant à des températures différentes, il est placé des clapets anti retour sur les tuyauteries d'aspiration en aval des évaporateurs les plus froids ; ils évitent ainsi la migration du FF vers ces évaporateurs à l'arrêt du compresseur.



Figure 5.1 : Clapet de retenue

5.1.4 Les robinets manuels de réglage

Ils permettent un réglage manuel du débit de FF qui les traverse.

5.1.5 Les robinets manuels de purge d'huile

Ils se rencontrent surtout sur les installations sous pression fonctionnant au R717.

5.1.6 La vanne 4 voies d'inversion de cycle

Il est utilisé pour effectuer un changement du sens de passage du FF.

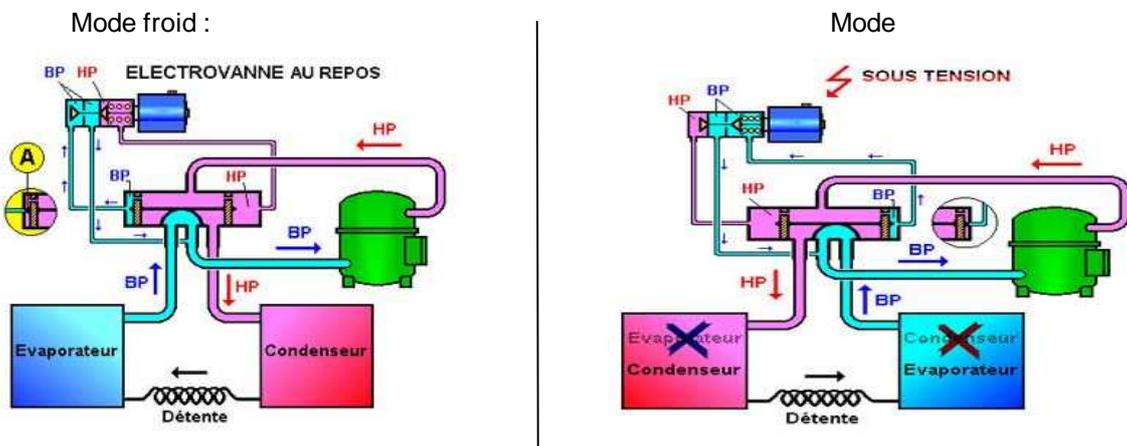
Il peut être utilisé pour :

le dégivrage d'un évaporateur en envoyant les vapeurs chaudes du refoulement non plus dans le condenseur mais dans l'évaporateur

le fonctionnement en pompe de chaleur (chauffage) d'un appareil de climatisation

C'est un organe bidirectionnel à 2 positions comportant un cylindre à 4 compartiments qui

Schéma simplifié et explication des changements d'état et l'évolution des



permet une inversion des 4 voies à l'aide d'un clapet pilote.

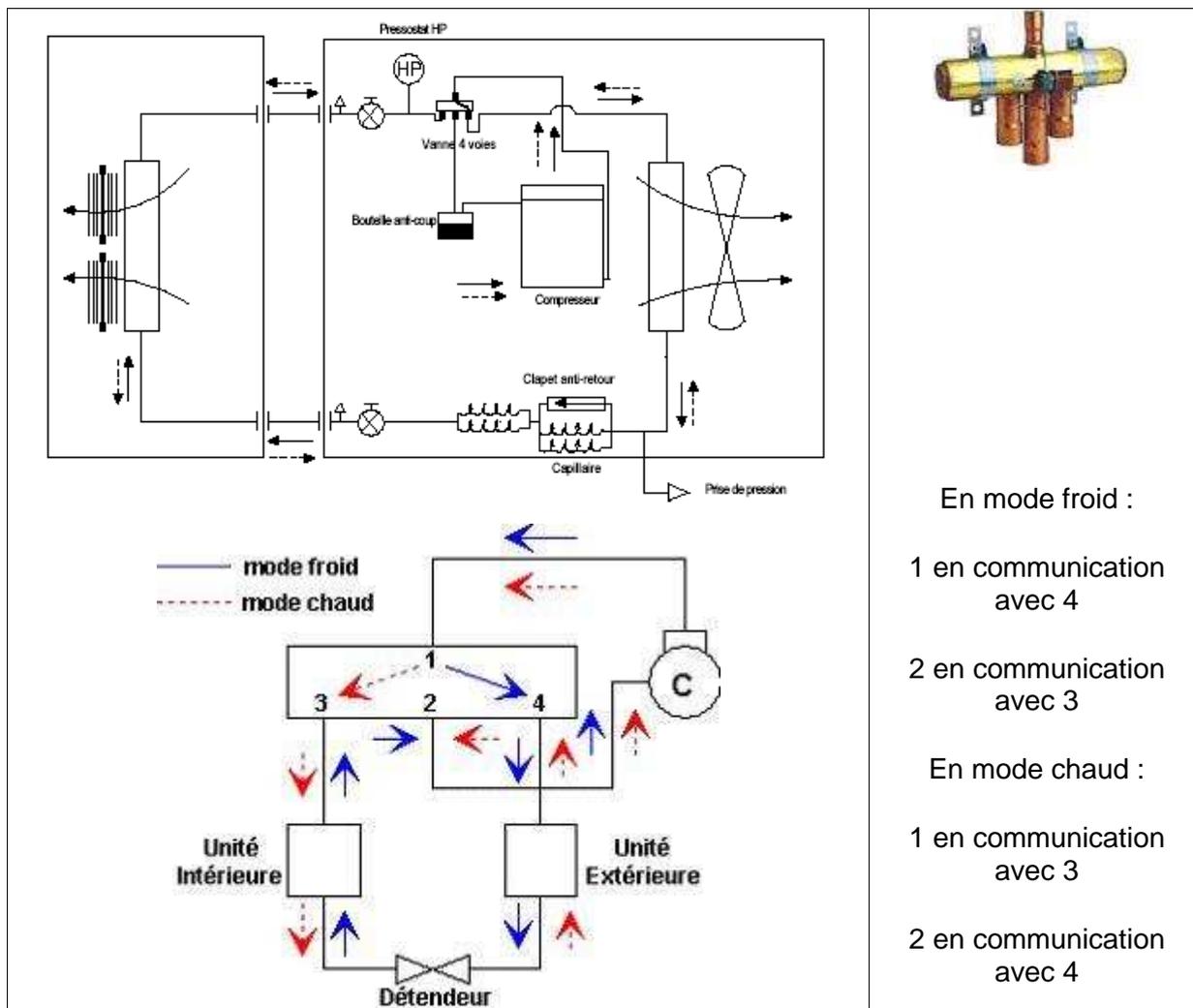


Figure 5.2 : Principe de fonctionnement Vanne 4 Voies.

Il convient de noter que dans les installations frigorifiques, les organes dédiés à la commande et à la régulation sont quelques fois les même utilisés pour la protection et la sécurité de l'installation (par exemple on parle de thermostats de régulation et de thermostat de sécurité, idem pour les pressostats).

Il ne faut pas perdre de vue que les fonctions de régulation et de sécurité dans les systèmes frigorifiques sont intimement liées.

5.2 LES THERMOSTATS

Un thermostat est un organe capable de placer un contact dans une certaine position (rôle d'interrupteur électrique) sous l'effet d'une détection de température

Le thermostat le plus rencontré est le thermostat mécanique qui comprend :

- un bulbe qui plonge dans le milieu à refroidir ou qui est placé dans ce milieu
- un train thermostatique composé d'un tube capillaire et d'un soufflet

Cet ensemble est rempli d'un gaz et d'une petite quantité de liquide en équilibre avec sa vapeur, la variation de température se traduit par une variation de pression qui est transmise au soufflet puis au mécanisme.



Figure 5.3 : Thermostat –type KP/KPC de DANFOSS.

Suivant le milieu ou l'ambiance à contrôler, on distingue plusieurs types de bulbes :

- bulbe cylindrique à distance
- bulbe d'ambiance
- bulbe de gaine
- bulbe de tube capillaire
- bulbe pour thermostat différentiel

Les thermostats peuvent assurer des fonctions

- de régulation (par exemple, l'arrêt du compresseur d'un installation lorsque la température désirée dans l'enceinte est atteinte)
- de sécurité (par exemple, l'arrêt de l'alimentation des résistances électriques de dégivrage d'un évaporateur lorsque la température d'évaporation est trop élevée ou l'arrêt du compresseur lorsque la température de refoulement est élevée)

Le réglage des thermostats s'effectue sur deux paramètres par l'intermédiaire de vis de réglage :

- la température de consigne (T_{CONS})
- le différentiel de température (DIFF)

Les thermostats sont en général muni d'un contact inverseur.

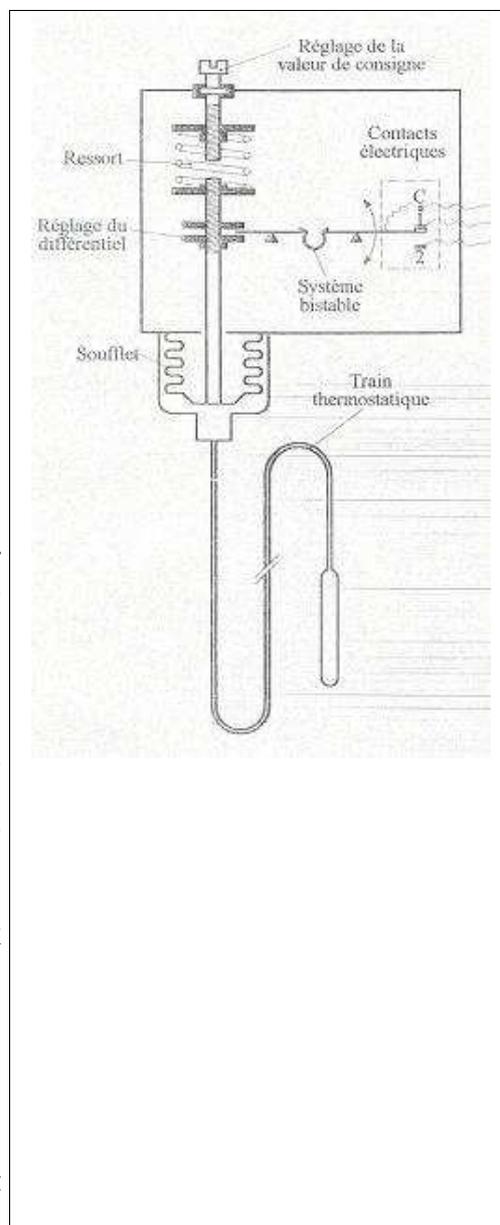


Figure 5.4 : Schéma d'un thermostat.

Suivant les constructeurs et le type de thermostat, la température de consigne réglable sur le thermostat peut être :

la température en dessous de laquelle le contact électrique s'ouvre (cas 1)

la température au dessus de laquelle le contact électrique s'ouvre (cas 2)

la température moyenne désirée dans l'enceinte à contrôler (cas 3)

Le tableau suivant donne les conditions d'ouverture et de fermeture du contact (normal) des thermostats ainsi que les fonctions assurées.

	Cas 1	Cas 2	Cas 3
Fonction assurée	Régulation	Sécurité	Régulation
Ouverture du contact électrique du thermostat	Lorsque la température descend à T_{CONS}	Lorsque la température monte à T_{CONS}	Lorsque la température descend à $T_{CONS} - DIFF$
Fermeture du contact électrique du thermostat	Lorsque la température remonte à $T_{CONS} + DIFF$	Lorsque la température redescend à $T_{CONS} - DIFF$	Lorsque la température remonte à $T_{CONS} + DIFF$

Dans le cas 1, le thermostat assure une fonction de régulation, le contact électrique va se refermer alors lorsque la température contrôlée remonte à la température d'enclenchement soit $T_{CONS} + DIFF$.

Il existe des thermostats à différentiel pré-réglé et fixe notamment pour les thermostats placés dans les locaux à traiter (en climatisation par exemple).

Il existe aussi des thermostats électroniques, les capteurs de température sont alors :

soit des thermocouples

soit des thermistances (on distingue les CTN « coefficient de température négative » pour lesquels la résistance diminue lorsque la température augmente et les CTP « coefficient de température positif » pour lesquels la résistance augmente lorsque la température augmente

soit des résistances métalliques telles que le nickel ou le platine (par exemple pour le platine 100, les résistances sont de 100Ω et de 138.5Ω respectivement à 0°C et à 100°C)

On peut également citer le cas du « klixon » qui est assimilable à un thermostat, on parle alors de thermostat à bilame ; il s'agit d'une bilame (2 lames métalliques formant un contact « électrique » fermé) qui s'ouvre lorsque la température augmente.

Il est monté en série avec les enroulements moteurs des groupes moto compresseurs, il assure alors la protection des enroulements du moteur.

5.3 LES PRESSOSTAT

Un pressostat est un organe capable de placer un contact dans une certaine position (rôle d'interrupteur électrique) sous l'effet d'une détection de pression de FF.

Le pressostat est un organe mécanique qui comprend un tube capillaire et un soufflet, le tube capillaire étant raccordé à un piquage de prise de pression placée sur la tuyauterie.



**Figure 5.5 : Pressostat –
type KP/KPU de DANFOSS.**

Il existe plusieurs types de pressostat :

- les pressostats basse pression (PBP)
- les pressostats haute pression (PHP)
- les pressostats combinés
- les pressostats différentiels d'huile

Les pressostats basse pression (PBP)

Ces pressostats (tubes capillaires) sont raccordés à l'aspiration du compresseur et ils assurent généralement :

- la protection du compresseur contre toute baisse anormale de la pression d'aspiration : **c'est une fonction de sécurité**
- le contrôle du fonctionnement de l'évaporateur par l'arrêt du compresseur lorsque la pression d'évaporation descend à une valeur de consigne pré réglée : **c'est une fonction de régulation**

Les pressostats haute pression (PHP)

Ces pressostats (tubes capillaires) sont raccordés au refoulement du compresseur et ils assurent généralement une **fonction de sécurité** : par exemple l'arrêt du compresseur en cas de pression de refoulement trop élevée.

Les pressostats combinés (PCO)

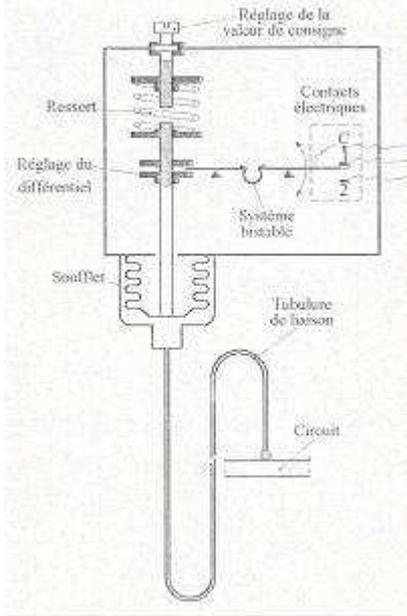
Ces pressostats renferment dans le même boîtier les fonctions dévolues à chacun des pressostats séparés (PBP et PHP).

Les fonctions jouées par les différents pressostats sont obtenues par le (les) contact (s) électrique (s) qui insérés dans un circuit électrique de commande va commander l'arrêt ou la marche des différents appareils (par exemple : insertion du contact électrique du pressostat dans la ligne d'alimentation d'un compresseur).

Les PBP, les PHP et les PCO peuvent s'utiliser soit en régulation, soit en sécurité.

Ils diffèrent alors par le réglage et par le type de réarmement.

D'une manière générale, les pressostats utilisés en sécurité sont à réarmement manuel et ceux utilisés en régulation sont à réarmement automatique.

<p>Le réglage d'un pressostat s'effectue sur deux paramètres par l'intermédiaire de vis de réglage :</p> <ul style="list-style-type: none">la pression de consignele différentiel de pression <p>Le réarmement d'un pressostat signifie la manière par laquelle le contact électrique se remet en position initiale après une action de détection.</p> <p>Aussi, on distingue :</p> <ul style="list-style-type: none">les pressostats à réarmement automatiqueles pressostats à réarmement manuel <p>On parle de pressostats convertibles pour désigner les pressostats réglables pour un réarmement soit automatique, soit manuel.</p>	 <p>Figure 5.6 : Schéma d'un pressostat.</p> <p>Le schéma illustre la structure interne d'un pressostat. On y voit un ressort qui agit sur un piston, permettant de régler la valeur de consigne. Un autre réglage permet de définir le différentiel de pression. Le système est équipé d'un soufflet et d'un système instable pour maintenir le contact électrique dans sa position. La tubulure de liaison est connectée à un circuit.</p>
---	---

Réglage des pressostats

En désignant par :

CUT_IN : la pression d'enclenchement (fermeture du contact électrique)

CUT_OUT : la pression de déclenchement (ouverture du contact électrique)

DIFF : le différentiel réglé sur le pressostat

Les pressostats sont en général munis de deux contacts :

un contact normal (ouverture et fermeture suivant le fonctionnement du pressostat)

un contact inverseur (pouvant être utilisé pour la signalisation)

	Pressostat BP de régulation	Pressostat BP de régulation	Pressostat HP de sécurité
Valeur de consigne réglable sur le pressostat	CUT_IN	CUT_OUT	CUT_OUT
Ouverture du contact électrique du pressostat	Lorsque la pression atteint le CUT_OUT soit CUT_IN - DIFF	Lorsque la pression atteint le CUT_OUT soit CUT_IN - DIFF	Lorsque la pression atteint le CUT_OUT
Fermeture du contact électrique du pressostat	De manière automatique lorsque la pression remonte à la valeur de CUT_IN	Lorsque la pression remonte à CUT_IN et que l'opérateur effectue le réarmement	Lorsque la pression retombe à CUT_IN soit CUT_OUT – DIFF et que l'opérateur effectue le réarmement

Les pressostats différentiels d'huile (PDH)

Egalement appelés Pressostats de sécurité d'huile, ils évitent les dommages liés à une pression insuffisante de l'huile pour les compresseurs comportant une pompe à huile.

Il mesure en permanence la différence de pression existant entre la pression du circuit de lubrification et la pression à l'aspiration de la pompe, c'est-à-dire la pression dans le carter.

Le PDH arrête le compresseur au bout d'un certain temps si la différence de pression est inférieure à la valeur pré réglée. Il est à réarmement manuel.

5.4 AUTRES DISPOSITIFS

5.4.1 Contrôleur de débit

Le contrôleur de débit ou Flow – Switch est un interrupteur électrique qui établit un contact sous l'effet de la circulation de l'eau (lorsque le débit d'eau est suffisant), il se monte sur les tuyauteries d'eau et il est le plus souvent du type à palettes.

Il empêche ainsi le démarrage du compresseur tant que le débit au niveau du condenseur à eau ou au niveau de l'évaporateur à eau est insuffisant.



Figure 5.7 : Contrôleur de débit FQS de DANFOSS.

5.4.2 Soupapes de sûreté

La norme NF E29-410 définit une soupape de sûreté comme suit :

Un organe de sûreté de pression qui s'ouvre automatiquement à une valeur prédéterminée supérieure à la pression atmosphérique sous la pression du fluide sans intervention d'aucune autre source d'énergie et qui évacue un débit de fluide suffisant pour empêcher de dépasser la valeur maximale en service d'une quantité déterminée.

Les soupapes de sûreté se montent généralement sur les récipients sous pression (bouteille liquide par exemple).

Elles sont contrôlées, tarées et plombées en usine à la pression de tarage souhaité.

Les récipients équipés de soupapes de sûreté sont sous le contrôle des services de Mines.

5.4.3 Protections électriques

Les protections électriques (fusibles, relais thermiques, disjoncteurs magnéto-thermiques...) occupent une grande place dans la protection des équipements électriques (moteurs des compresseurs, des ventilateurs et des pompes) des installations frigorifiques

6.1 SCHEMA TYPE D'UNE INSTALLATION FRIGORIFIQUE

Le schéma ci-dessous est une configuration généralement rencontrée pour les installations frigorifiques de chambres froides.

L'installation est composée de :

d'un groupe de condensation (ensemble compresseur et condenseur à air) alimentée par l'intermédiaire d'un contacteur électrique désignée KM1

d'un évaporateur à air dont le moteur d'entraînement du ventilateur est alimenté par l'intermédiaire d'un contacteur KM2

d'un thermostat de régulation désignée par B1 et placée dans la chambre froide

d'un pressostat BP (Basse Pression) désignée par B3

d'un pressostat de sécurité HP (Haute Pression) désignée par B2

d'une électrovanne placée sur la ligne liquide désignée par EV

d'une bouteille liquide BL, d'un filtre déshydrateur FD, d'un voyant indicateur d'humidité V et d'un détendeur thermostatique à égalisation de pression interne D.

Le pressostat BP désigné par B3 est :

un pressostat de sécurité pour le type de régulation par action directe (cf. fig. 6.2)

un pressostat de régulation pour le type de régulation par « Pump Down » (cf. fig. 6.4).

Les vannes de services du compresseur et la vanne de départ de la bouteille liquide ne sont pas représentées.

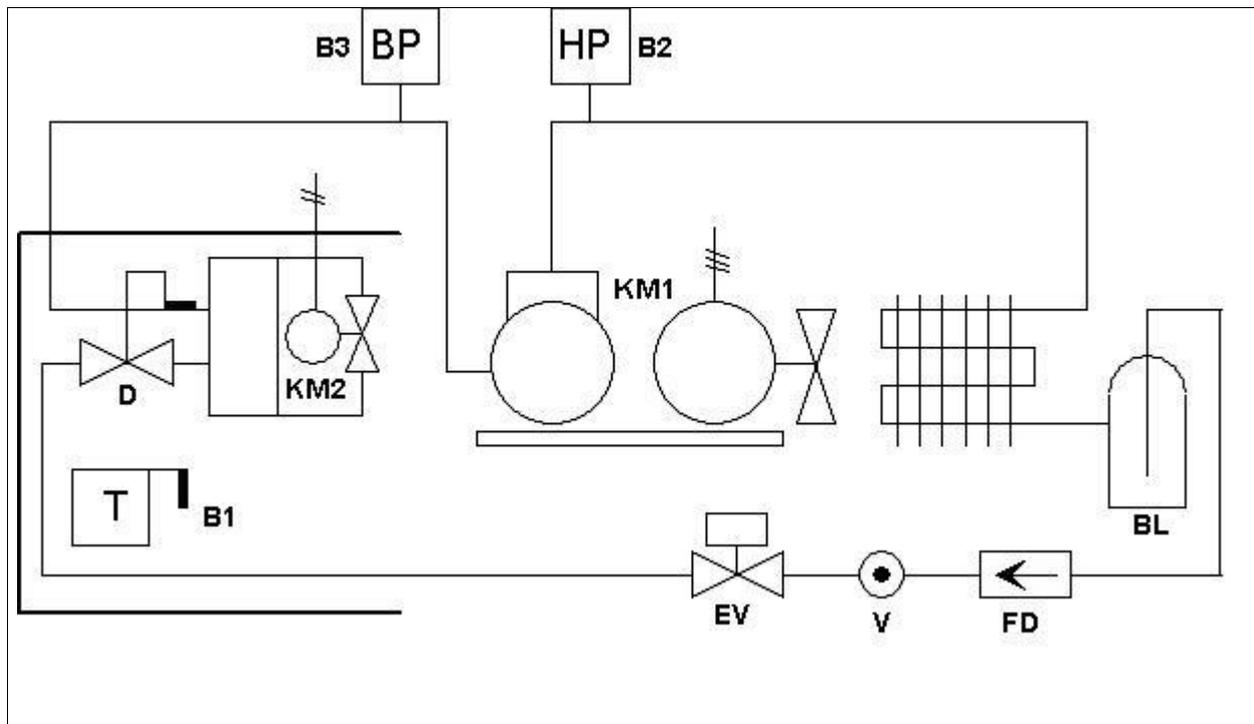


Figure 6.1 : Schéma type d'une installation frigorifique

6.2 REGULATION PAR ACTION DIRECTE

Ce type de régulation est appelé également « **automaticité par thermostat d'ambiance** » ou **régulation TOR (Tout Ou Rien)**.

Le thermostat assure seul la mise en service et l'arrêt du groupe frigorifique.

Les organes de sécurité (PBP, PHP, F1) coupent l'alimentation du groupe frigorifique en cas d'anomalie.

C'est un mode de régulation très employé. Il est simple et assure une température régulière de l'ambiance ou du fluide à contrôler.

L'électrovanne n'est pas indispensable mais sa présence permet un meilleur fonctionnement de l'installation en évitant la migration du FF contenu dans la bouteille liquide vers l'évaporateur à l'arrêt de l'installation. Il faut noter tout de même que lorsque le détendeur thermostatique est correctement réglé, il est fermé quand l'installation frigorifique est à l'arrêt.

La régulation intégrant la commande de l'électrovanne est aussi une régulation du type Tout ou Rien (TOR) communément appelée « **Régulation par Protection Minimum** ».

L'électrovanne évite la libre circulation du FF dans l'installation pendant les périodes d'arrêt, ce qui permet de prévenir les coups de liquide.

Le type de régulation décrit provoque l'arrêt de la circulation de l'air dans la chambre froide. Il est souhaitable que cette circulation d'air sur les denrées continue même en cas d'arrêt du groupe de condensation.

Cette régulation s'opère par :

la mise en marche du moteur du ventilateur de l'évaporateur par le commutateur de mise en marche

l'asservissement du groupe de condensation par un contact auxiliaire du ventilateur de l'évaporateur et par le thermostat d'ambiance.

6.3 REGULATION PAR TIRAGE AU VIDE AUTOMATIQUE

Dans ce mode de régulation appelé également « PUMP DOWN », le thermostat commande l'alimentation de l'électrovanne (obligatoire) qui est placée sur la ligne liquide.

Le pressostat basse pression de régulation (PBP) assure la mise en service et l'arrêt du groupe frigorifique.

Les organes de sécurité coupent l'alimentation du groupe frigorifique (et éventuellement de l'électrovanne) en cas d'anomalie.

S'il existe un pressostat PBP de sécurité (PBPsecu), sa consigne (CUT_OUT) doit être en dessous de celle du PBP de sécurité.

La régulation proposée assure la circulation de l'air (fonctionnement du moteur du ventilateur de l'évaporateur) même en cas d'arrêt du groupe de condensation.

Cette régulation intègre une horloge de dégivrage dont un contact est placé dans la ligne d'alimentation de la bobine de l'électrovanne.

Lorsque l'heure de début de dégivrage est atteinte, ce contact s'ouvre et la bobine de l'électrovanne n'est plus alimentée. Tout se passe alors comme si la consigne dans la chambre froide est atteinte (fonctionnement en Pump Down).

De même quand la période de dégivrage est épuisée, ce contact se referme et tout se passe également comme si la température de fermeture du contact du thermostat d'ambiance est détectée

Ce type de régulation présente plusieurs avantages :

en vidant l'évaporateur du FF qu'il contient à l'arrêt du motocompresseur, on se prémunit contre un coup de liquide au redémarrage du compresseur

en abaissant la pression dans le carter du compresseur, on abaisse la concentration du FF dissous dans l'huile, le redémarrage du compresseur n'entraînera alors que peu d'émulsion d'huile.

7.1 REGIME DE FONCTIONNEMENT

Le calcul d'une machine frigorifique s'effectue sur la base du tracé du cycle frigorifique de la dite machine.

Les principaux paramètres permettant d'effectuer le tracé de ce cycle frigorifique sont les suivants :

- la température de condensation (pression de condensation)
- la température d'évaporation (pression d'évaporation)
- la surchauffe des vapeurs de FF à la sortie de l'évaporateur
- le sous refroidissement du FF liquide à la sortie du condenseur.

Le régime de fonctionnement d'une machine frigorifique définit ses conditions de fonctionnement principalement par:

- la température de condensation
- la température d'évaporation.

Ces températures sont déterminées à partir des températures des médiums à savoir :

- la température de l'air extérieur pour les condenseurs à air
- la température de l'eau disponible pour les condenseurs à eau
- la température à obtenir dans l'enceinte à refroidir pour les évaporateurs à air
- la température de refroidissement du fluide pour les évaporateurs à eau.

Le tableau 7.0 donne les méthodes de détermination du régime de fonctionnement.

Le régime de fonctionnement d'une machine frigorifique est une donnée fondamentale.

La puissance frigorifique d'une machine est liée à son régime fonctionnement et partant la consommation électrique du compresseur de la machine considérée.

Une puissance frigorifique est donnée pour un régime de fonctionnement bien précis. Les puissances frigorifiques d'une machine frigorifique donnée sont généralement consignées dans un tableau suivant différents régimes de fonctionnement.

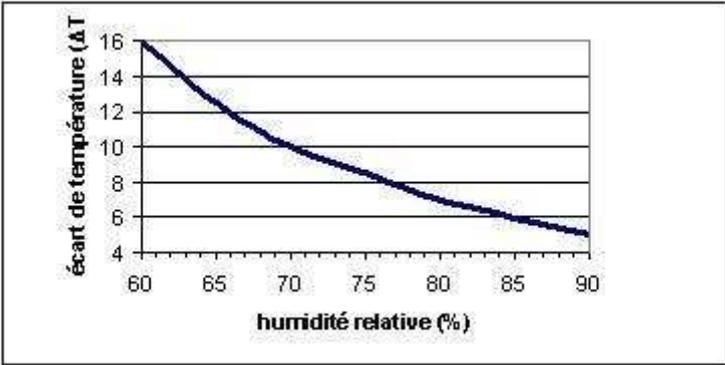
On estime que :

- une augmentation de la température de condensation de 1°C entraîne une surconsommation électrique de 3%
- une baisse de la température d'évaporation de 1°C entraîne une surconsommation électrique de 3%.

Les tables de saturation des fluides frigorigènes ou les diagrammes enthalpiques permettent la détermination des pressions d'évaporation et de condensation à partir des températures d'évaporation et de condensation.

Tableau 7.0 : Détermination du régime de fonctionnement des machines frigorifiques.

ΔT		Pour les évaporateurs :	Remarques
Ecart de température en °C		$\Delta T = T_{medium} - T_{evaporation}$	
		Pour les condenseurs :	
		$\Delta T = T_{condensation} - T_{medium}$	
CONDENSEUR			
A AIR		12 à 15°C avec un débit d'air tel que $1 \leq V \leq 3$ m/s	Convection naturelle ou convection forcée V : vitesse de l'air à travers le condenseur
A EAU	avec tour de refroidissement (circuit ouvert)	4 à 6°C avec : $T_{set} = T_{eec}$ $T_{medium} = \frac{T_{sec} + T_{set}}{2}$ $T_{set} = T_h + a$ $T_{sec} = T_{set} + e$ $T_{cond} = T_h + a + \frac{e}{2} + \Delta T$	a : approche de la tour e : échauffement de l'eau dans le condenseur Tsec : température de l'eau à la sortie du condenseur
	avec tour de refroidissement (circuit fermé)	4 à 6°C avec : $T_{set} = T_{eec}$ $T_{medium} = \frac{T_{sec} + T_{eec}}{2}$ $T_{eec} = T_h + a + \Delta T_{ech}$ $T_{sec} = T_{eec} + e$ $T_{cond} = T_h + a + \frac{e}{2} + \Delta T + \Delta T_{ech}$	Tsec : température de l'eau à l'entrée du condenseur Tset : température de l'eau à la sortie de la tour Th : température humide de l'air extérieur ΔT_{ech} : pincement de l'échangeur de la tour en circuit fermé
	sans tour de refroidissement	8 à 10°C avec échauffement de l'eau de 4 à 8°C	
EVAPORATEUR			
A AIR		ΔT imposé par l'humidité relative (HR) de l'enceinte ou de l'ambiance à refroidir suivant les couples caractéristiques (HR, ΔT) : (90,5) (85,6) (80,7) (75,8.5) (70,10) Pour HR > 90% : $\Delta T = 5^\circ C$	

	
A EAU	5 à 8°C avec $\text{mini}(T_{\text{sortie_eau_evaporateur}} - T_{\text{evaporation}}) = 3^{\circ}\text{C}$

7.2 LE CYCLE FRIGORIFIQUE

7.2.1 Le cycle frigorifique de référence

Le cycle frigorifique d'une machine frigorifique est habituellement représenté dans le diagramme thermodynamique enthalpie (h) - pression (Log P) appelé diagramme enthalpique ou diagramme de Mollier des frigoristes.

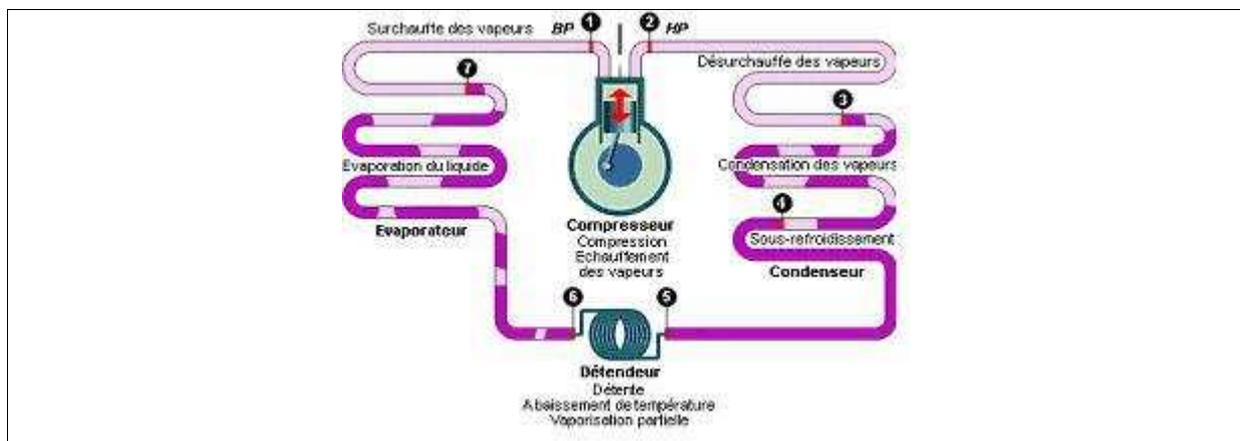


Figure 7.0 : Schéma de la machine frigorifique de base.

Suivant le schéma de la machine frigorifique de la figure 7.0, le fluide frigorigène (FF) circulant dans le circuit frigorifique suit les évolutions suivantes :

- entre 1 et 2 : compression des vapeurs de FF qui passent d'un niveau de basse pression (BP) à un niveau de haute pression (HP)
- entre 2 et 3 : désurchauffe des vapeurs de FF HP
- entre 3 et 4 : condensation des vapeurs de FF HP qui deviennent du FF liquide HP
- entre 4 et 5 : sous refroidissement du FF liquide HP

entre 5 et 6 : détente du FF liquide HP qui devient un mélange de liquide BP et d'une faible quantité de vapeurs BP

entre 6 et 7 : évaporation du FF liquide BP qui devient des vapeurs de FF BP

entre 7 et 1 : surchauffe des vapeurs de FF BP

Les différentes évolutions du FF de la machine frigorifique sont représentées sur le diagramme enthalpique, il s'agit du cycle frigorifique de la machine communément appelée cycle de référence ou cycle pratique par les frigoristes.

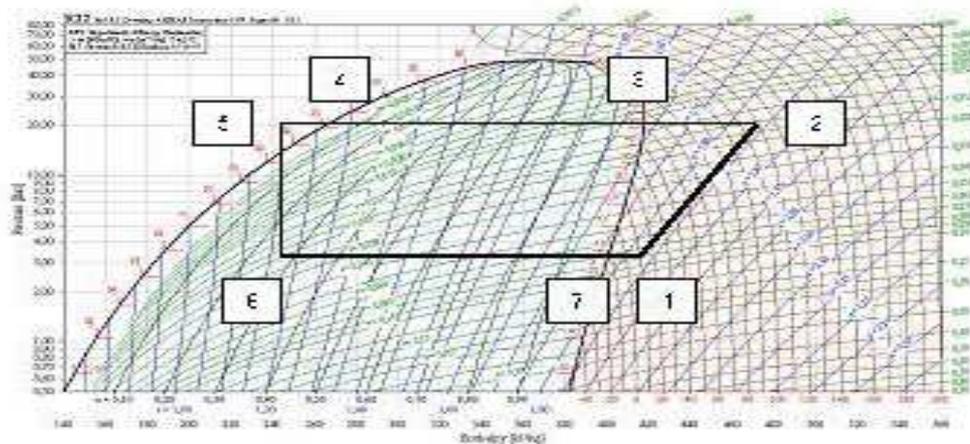


Figure 7.1 : cycle frigorifique de référence.

Le cycle frigorifique de référence (cycle pratique) est un compromis qui permet d'effectuer l'étude et le dimensionnement des machines frigorifiques avec une précision acceptable.

En pratique, ce cycle est tracé sur les bases suivantes :

compression isentropique

détente isenthalpe

surchauffe de 5°C (pour étude de conception) ou SH mesurée

sous-refroidissement de 5°C (pour étude de conception) ou SR mesuré

Le cycle frigorifique de référence (cycle pratique) permet de s'affranchir des cycles frigorifiques proposées par la théorie de la thermodynamique appliquée à savoir :

le cycle théorique

le cycle parfait

le cycle réel.

Néanmoins, ces cycles présentent un grand intérêt pour l'étude théorique des systèmes thermodynamiques.

7.2.2 Le cycle théorique

Ce cycle qui est représenté par le diagramme **1-2-3-4** (cf. figure 7.2) est établi sur la base suivante :

pas de perte de charges dans les tubulures

pas de SH au niveau de l'évaporateur

pas de SR au niveau du condenseur.

Les transformations thermodynamiques subies par le FF à l'intérieur de la machine sont les suivantes :

compression isentropique du FF vapeur entre les points 1 et 2

condensation isothermique entre les points 2 et 3

détente isenthalpe entre les points 3 et 4

évaporation isothermique entre les points 4 et 1

7.2.3 Le cycle parfait

Ce cycle qui est représenté par le diagramme **1'-2'-3'-4'** (cf. figure 7.2) est établi sur la base suivante :

pas de perte de charges dans les tubulures

SH au niveau de l'évaporateur

SR au niveau du condenseur

Les transformations thermodynamiques subies par le FF à l'intérieur de la machine sont les suivantes :

compression isentropique entre les points 1' et 2'

condensation isothermique entre les points 2' et 3

SR du FF à la sortie du condenseur entre les points 3 et 3'

détente isenthalpe entre les points 3' et 4'

évaporation isothermique entre les points 4' et 1

SH du FF à la sortie de l'évaporateur entre les points 1 et 1'

7.2.4 Le cycle réel

Ce cycle qui est représenté par le diagramme $1''-2'''-3'-4'$ (cf. figure 7.2) est établi sur la base suivante :

la compression est polytropique, le point $1'$ se translate au point $1''$ (l'intégralité du travail de compression n'est pas transmise au FF à cause des échanges thermiques entre le système et le milieu extérieur)

le point $2'$ devient $2'''$ pour tenir compte :

de l'énergie perdue (notion de rendement indiqué)

des pertes mécaniques

des PDC au refoulement du compresseur

En réalité aucun des trois cycles précités ne sont véritablement utilisés par les frigoristes qui utilise le **cycle frigorifique de référence**.

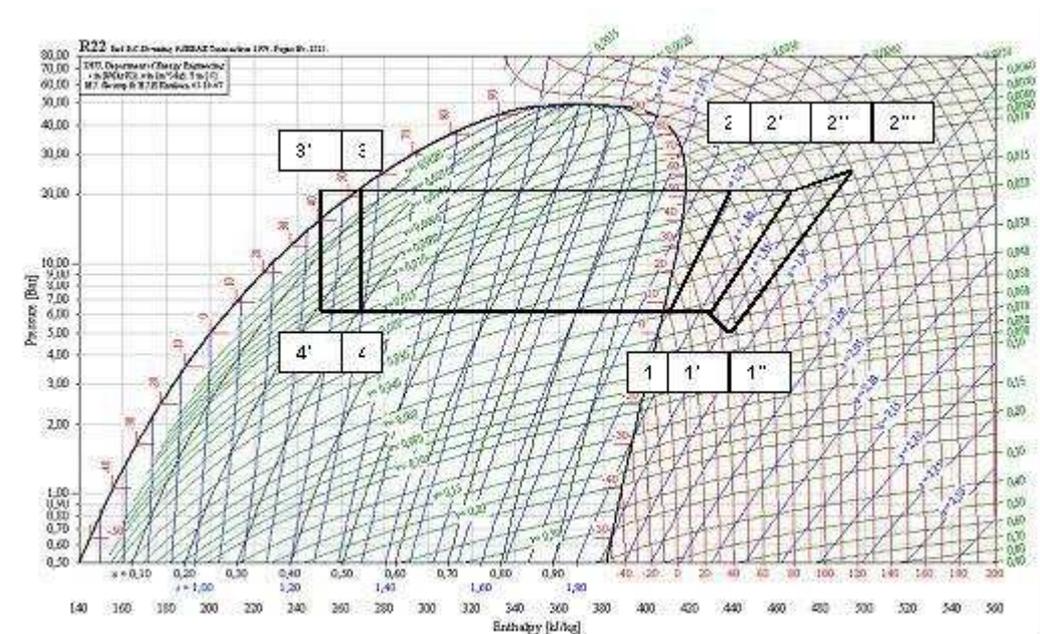


Figure 7.2 : Les cycles frigorifiques.

7.3 LE DIAGRAMME ENTHALPIQUE

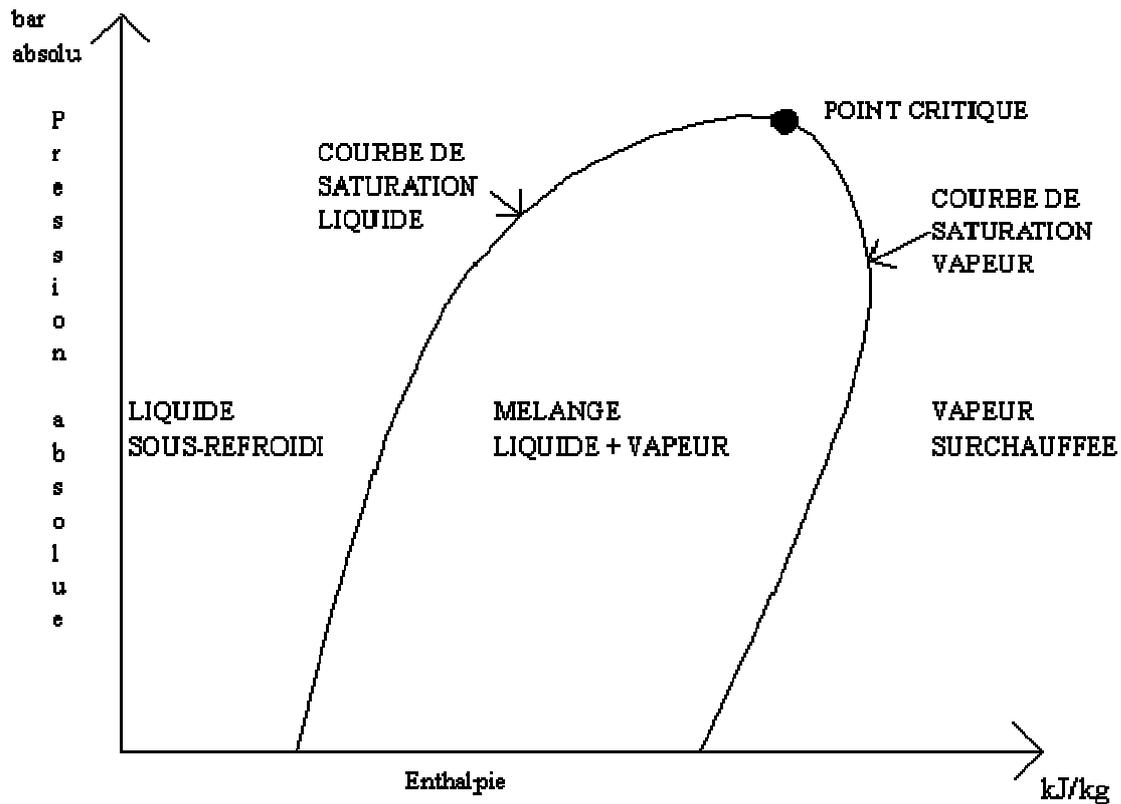
7.3.1 Définitions

Le diagramme enthalpique permet de suivre l'évolution de la pression, de la température, de l'enthalpie, de l'entropie, du volume massique, du mélange liquide-vapeur d'un fluide frigorigène dans un système frigorifique.

Il existe un diagramme enthalpique pour chaque fluide frigorigène.

Sur le diagramme enthalpique, on peut suivre les différents changements d'état du fluide.

7.3.2 Présentation générale :



Le diagramme est délimité en abscisse par l'échelle des enthalpies et en ordonnée par l'échelle des pressions. Les courbes de saturation se rejoignent au point critique et divisent le diagramme en trois parties :

- zone de liquide sous-refroidi
- zone de mélange liquide +vapeur
- zone de vapeur surchauffée

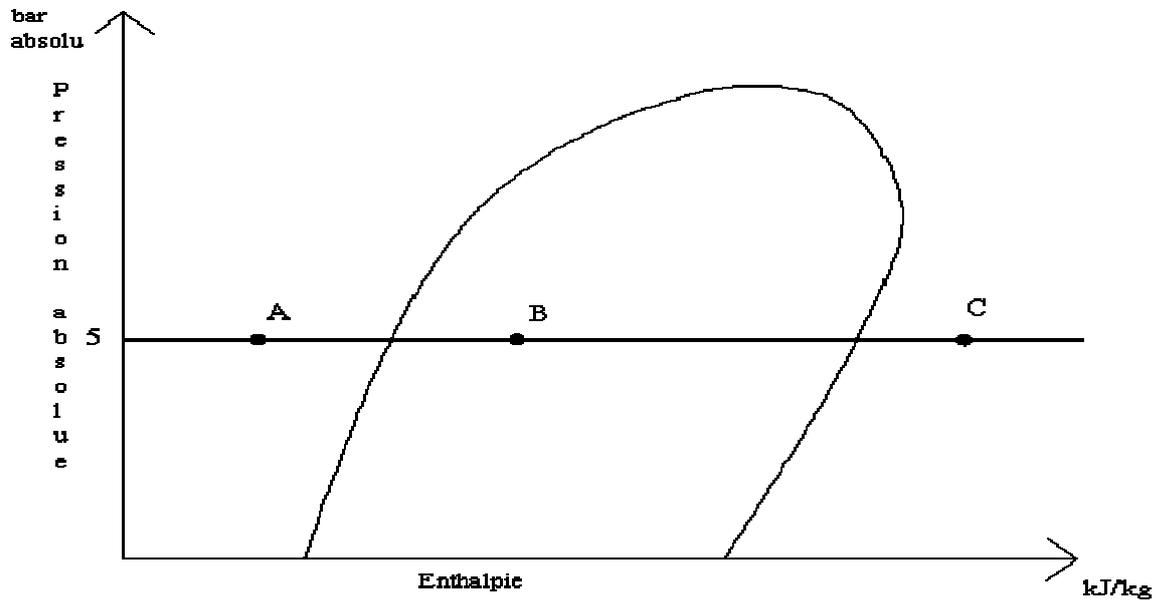
Ces trois zones correspondent aux différents états du fluide frigorigène dans un système frigorigère.

Au dessus, du point critique un changement d'état n'est plus possible.

7.3.3 Evolution des différents paramètres :

La pression

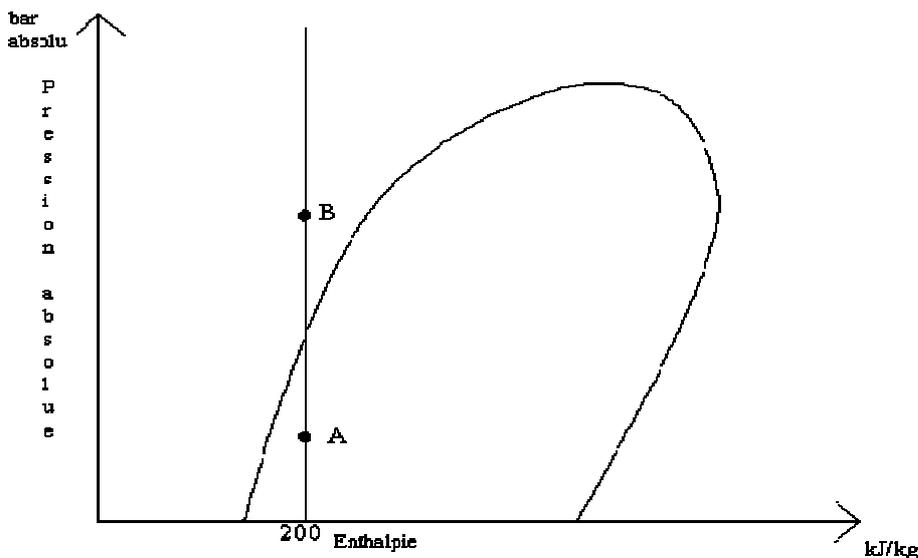
L'échelle des pressions évolue parallèlement à l'axe des enthalpies. Une transformation qui s'effectue à pression constante est une transformation ISOBARE.



Pression en A = Pression en B = Pression en C = 5 bar absolus
Symbole de la pression : P ; Unité de la pression : bar

L'enthalpie

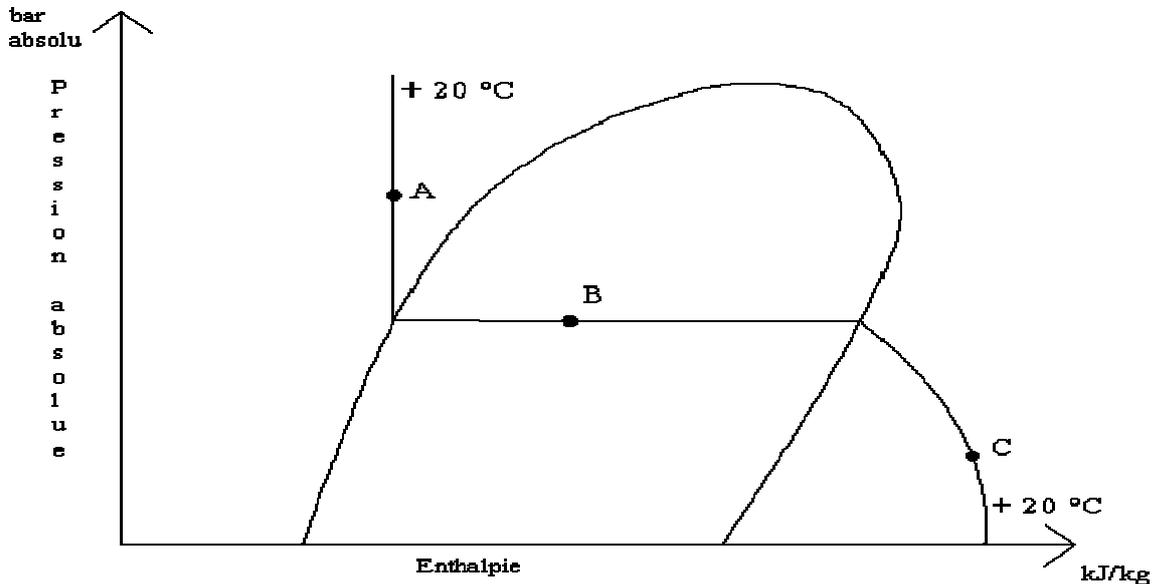
L'échelle des enthalpies évolue parallèlement à l'axe des pressions. L'enthalpie représente l'énergie totale emmagasinée par 1 kg de fluide frigorigène pour une pression et une température donnée. Une transformation qui s'effectue à enthalpie constante est une transformation ISENTHALPE.



enthalpie en A = enthalpie en B = 200 kJ/kg
Symbole de l'enthalpie : h ; Unité de l'enthalpie : kJ / kg

La température

Dans la zone de mélange liquide + vapeur, la température et la pression sont liées (relation Pression / Température). Dans les autres zones la température et la pression ne sont pas liées. Une transformation qui s'effectue à température constante est une transformation ISOTHERME.

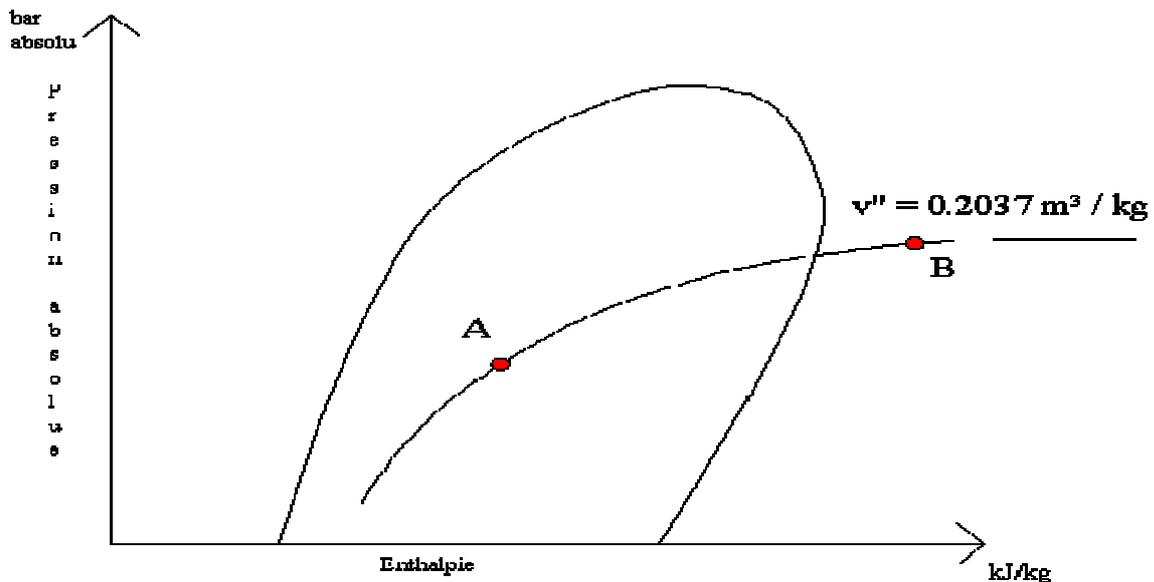


température en A = température en B = température en C = + 20 °C

Symbole de la température : t ; Unité de température : °C

Le volume massique

Le volume massique représente le volume occupé par 1 kilogramme de fluide frigorigène. Une transformation qui s'effectue à volume massique constant est une transformation ISOCHORE.

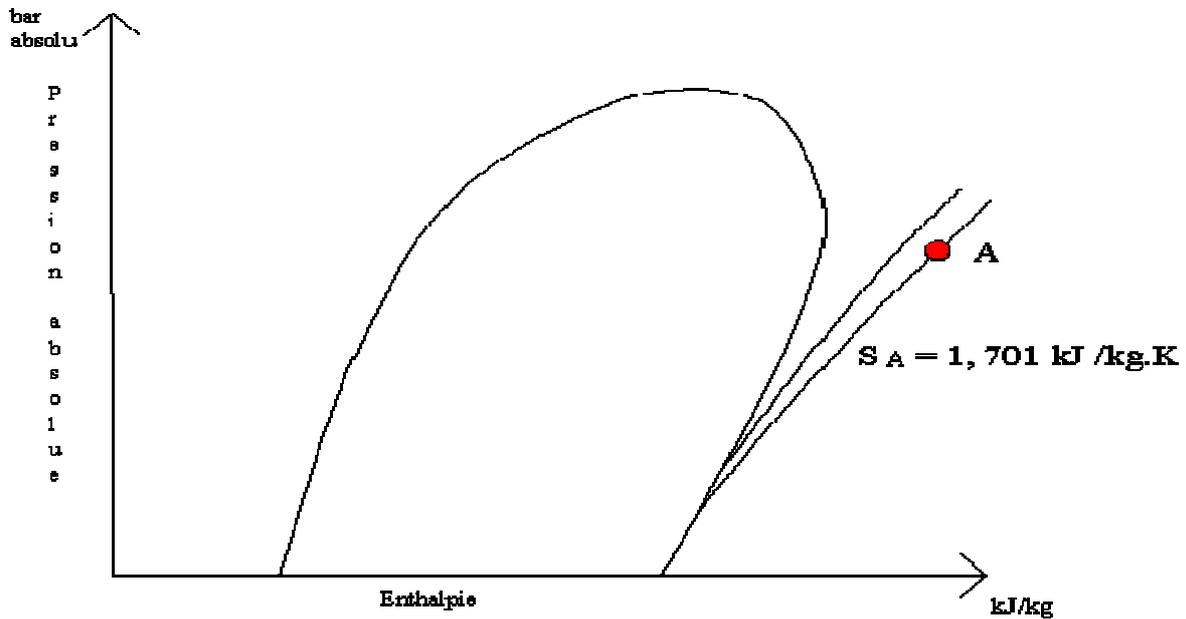


volume massique en A = volume massique en B = 0,2037 m³/kg

Symbole du volume massique : v'' ; Unité du volume massique : m³ / kg

L'entropie

L'entropie représente l'énergie interne emmagasinée par 1 kg de fluide frigorigène et par Kelvin. Une transformation qui s'effectue à entropie constante est une transformation ISENTROPE.

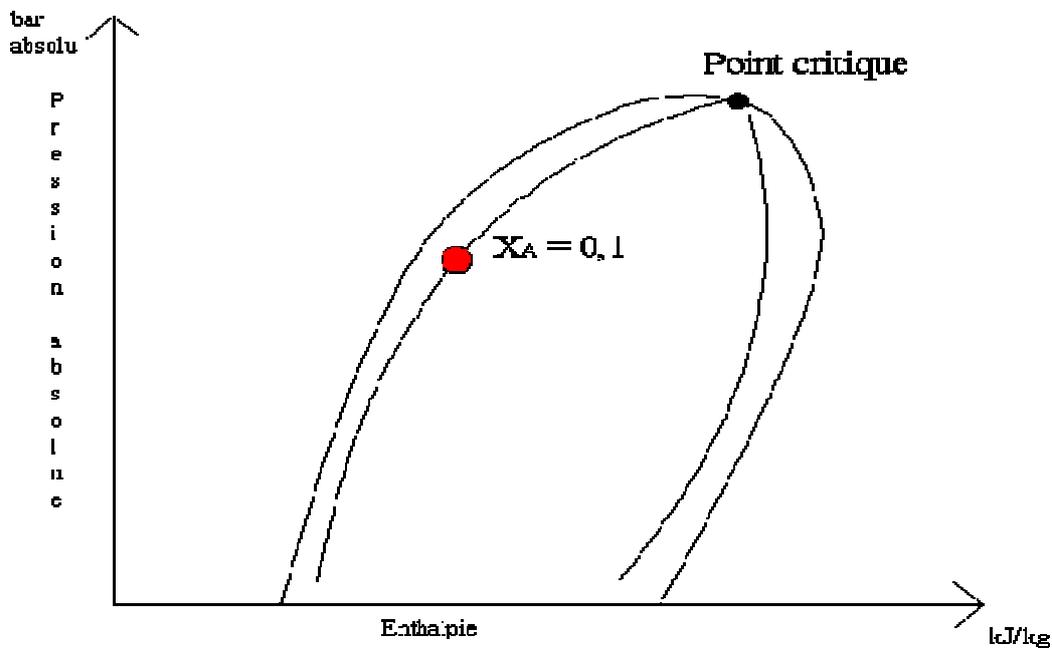


entropie en A = 1,701 kJ / kg.K

Symbole de l'entropie : s ; Unité de l'entropie : kJ / kg.K

Le titre

Le titre représente le pourcentage de vapeur par rapport au liquide. Si le titre reste constant, on parle de ISOTITRE.



titre en A = 0,1 (10 % de vapeur et 90 % de liquide)

symbole du titre : x ; Unité : %

7.4 Utilisation du diagramme enthalpique

Un système frigorifique se définit toujours par rapport à ces températures de fonctionnement. La température de condensation qui dépend de la température du médium de condensation de l'air ou de l'eau. La température d'évaporation qui dépend de la température de conservation et de l'humidité relative.

Détermination de la température de condensation

La température de l'air extérieur est de + 20 °C

Le Dq total du condenseur est de 10 °C (donnée constructeur issue de la sélection du condenseur).

Il est impératif de choisir un condenseur avec un Dq total le plus faible possible pour avoir une consommation énergétique la plus faible possible.

Pour déterminer la température de condensation (qk) il suffit d'appliquer la formule suivante :

Température de condensation (qk) = Température de l'air extérieure + Dq total du condenseur

$$q_k = (+ 20) + 10 = + 30 \text{ °C}$$

Détermination de la température d'évaporation

La température intérieure de la chambre froide est de - 5 °C

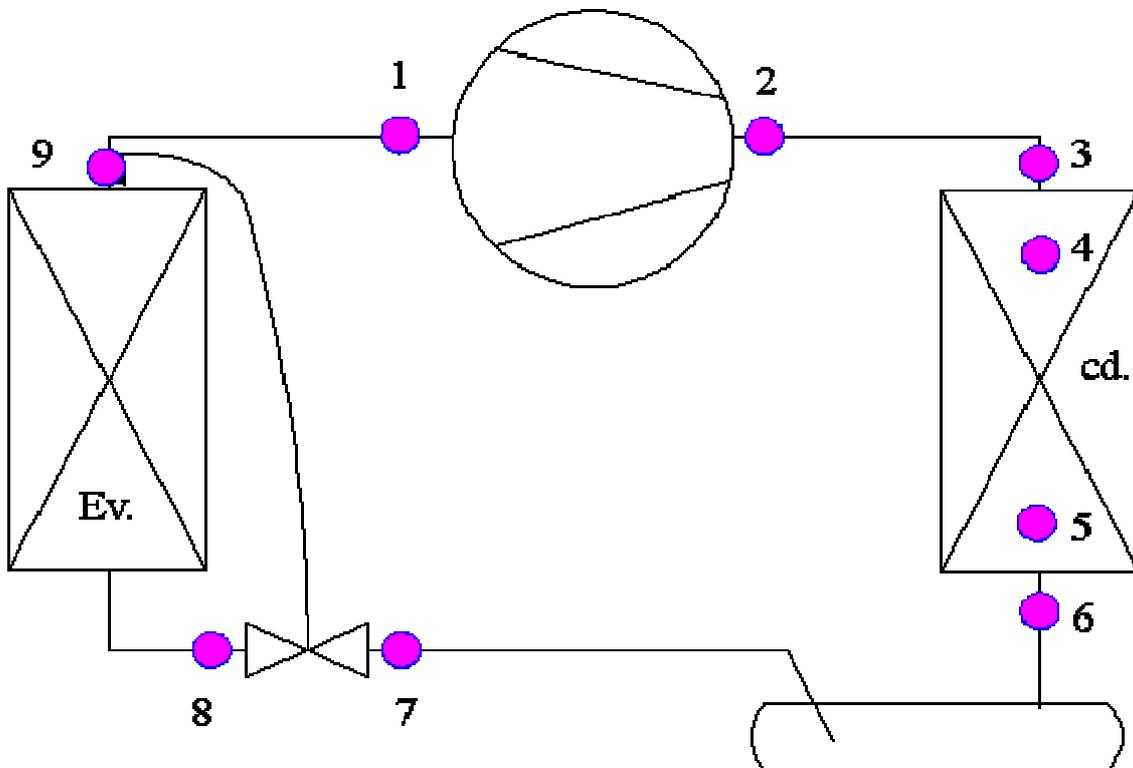
L'humidité relative de la chambre froide à maintenir est de 90 % ce qui correspond à un Dq total de 5 °C. Pour la sélection de l'évaporateur, il faudra choisir ce Dq total afin de maintenir la bonne humidité relative.

La température d'évaporation (qo) sera donc de :

Température d'évaporation (qo) = Température de la chambre froide - Dq total à l'évaporateur

$$q_o = (- 5) - 5 = - 10 \text{ °C}$$

Schéma fluide de l'installation et points caractéristiques



La surchauffe des vapeurs à la sortie de l'évaporation

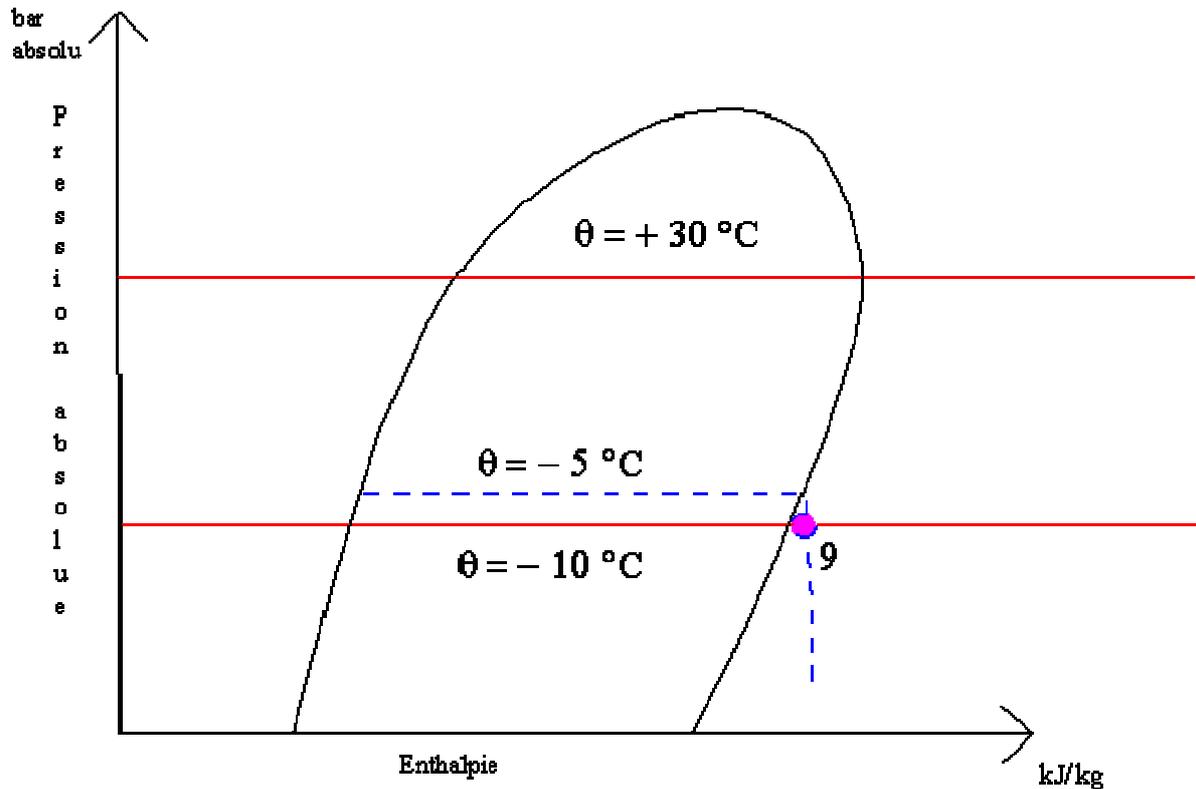
Les vapeurs saturées, en fin d'évaporation, sont surchauffées pour garantir 100 % de vapeurs à l'entrée du compresseur et éviter ainsi des coups de liquide. Cette surchauffe est assurée par le détendeur thermostatique. On l'appelle surchauffe fonctionnelle au détendeur.

La surchauffe est de 5 °C (valeur usuelle généralement mesurée)

La température au point 9 sera donc de :

$$q_9 = q_0 + 5 \text{ °C}$$

$$q_9 = (- 10) + 5 = - 5 \text{ °C}$$



La surchauffe des vapeurs dans la ligne d'aspiration

Les vapeurs surchauffées sortant de l'évaporateur se dirigent vers le compresseur. Ces vapeurs reçoivent de la chaleur du milieu extérieur. Donc, la température des vapeurs surchauffées augmente.

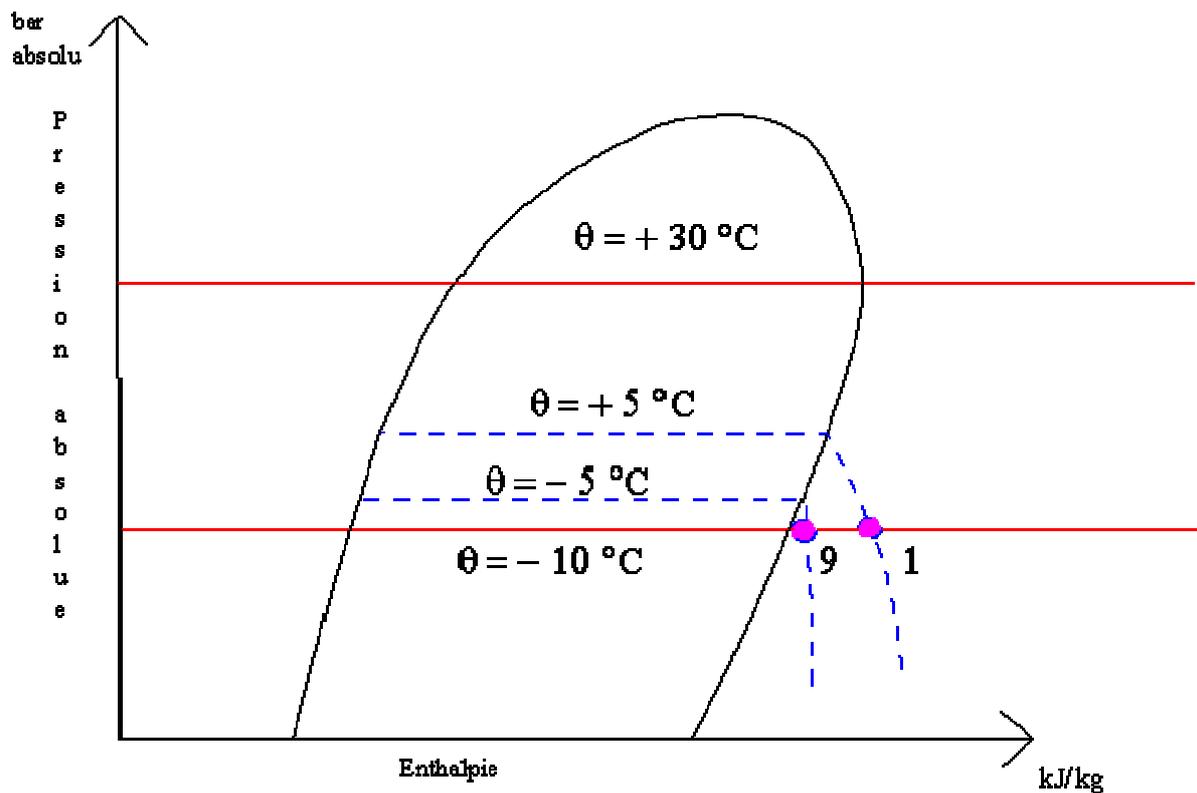
La surchauffe des vapeurs dans la ligne d'aspiration est de : 10 °C. Cette valeur correspond à une moyenne généralement relevée sur les installation dont la ligne d'aspiration est calorifugée.

La température au point 1 sera donc de :

$$q_1 = q_9 + 10 \text{ °C}$$

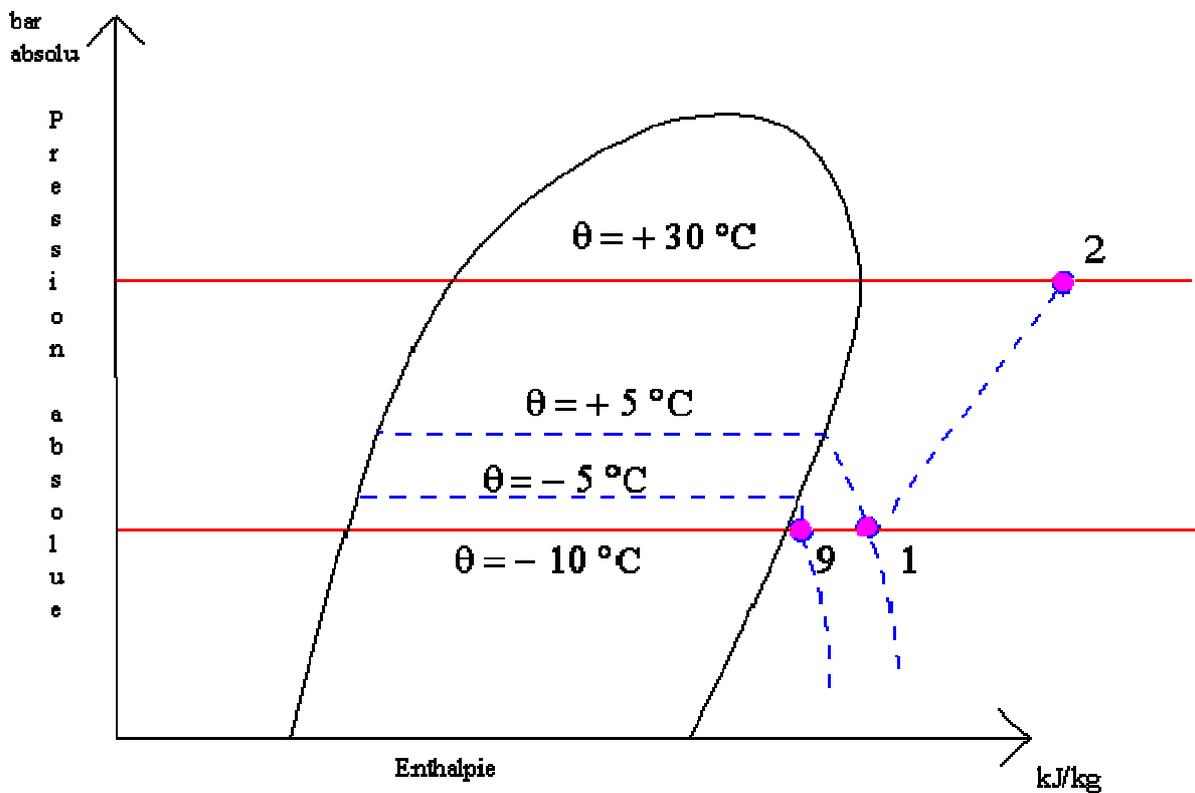
$$q_1 = (- 5) + 10 = + 5 \text{ °C}$$

Si on additionne la surchauffe fonctionnelle et la surchauffe de la ligne d'aspiration, on trouve la surchauffe totale de la machine frigorifique. (ici surchauffe totale = 15°C)



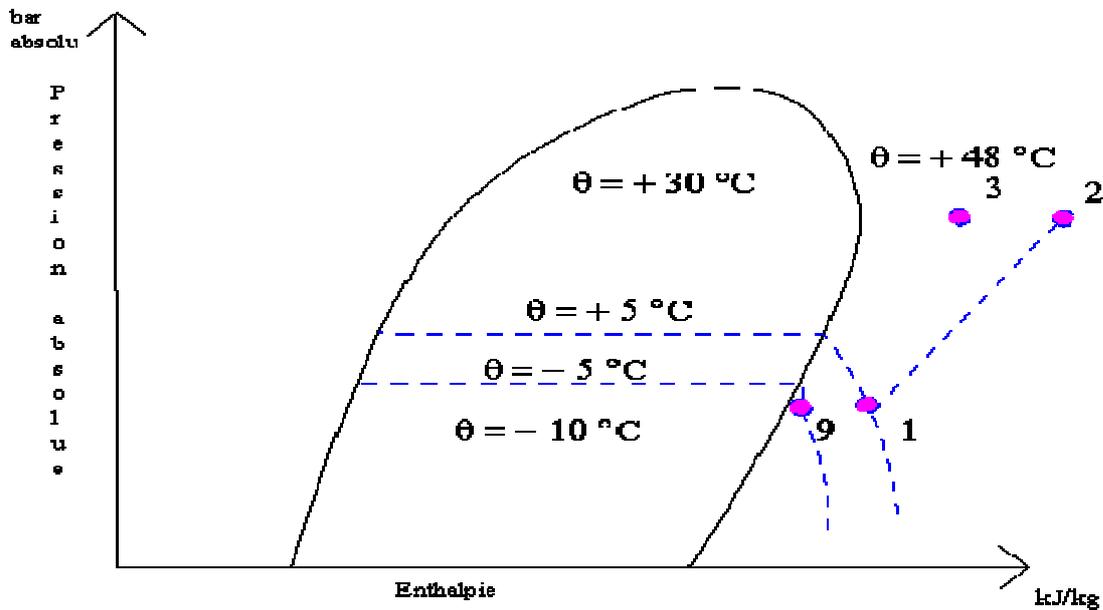
La compression

Pour simplifier, nous supposons le compresseur isentropique, c'est à dire que les vapeurs surchauffées suivent pendant la compression les courbes d'entropie. Le point 2 se situe à l'intersection de la courbe d'entropie et de l'isobare passant par $+30\text{ }^{\circ}\text{C}$ qui correspond à la température de condensation q_k déterminée toute à l'heure.



La désurchauffe des vapeurs dans la tuyauterie de refoulement

Les vapeurs surchauffées sortant du compresseur se dirigent vers le condenseur et en contact avec le milieu extérieur les vapeurs subissent une désurchauffe. Cette désurchauffe est importante puisque le refoulement n'est pas calorifugé. Effectivement, avoir une désurchauffe importante dans le refoulement permet d'avoir une zone de désurchauffe dans le condenseur moins importante...



La température au point 3 est de :
 $q_3 = +48\text{ °C}$

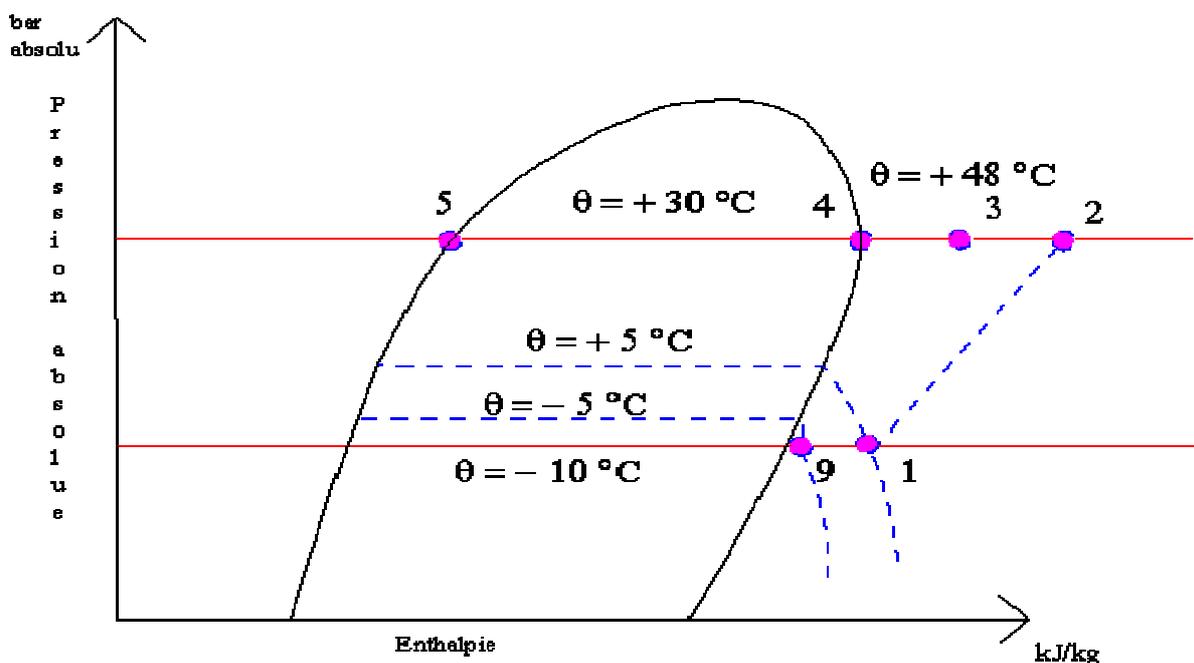
La condensation

Les vapeurs surchauffées entrent dans le condenseur qui se scinde en trois zones...

La zone de désurchauffe du point 3 vers le point 4.

La zone de condensation du point 4 vers le point 5.

$q_4 = q_5 = +30\text{ °C}$

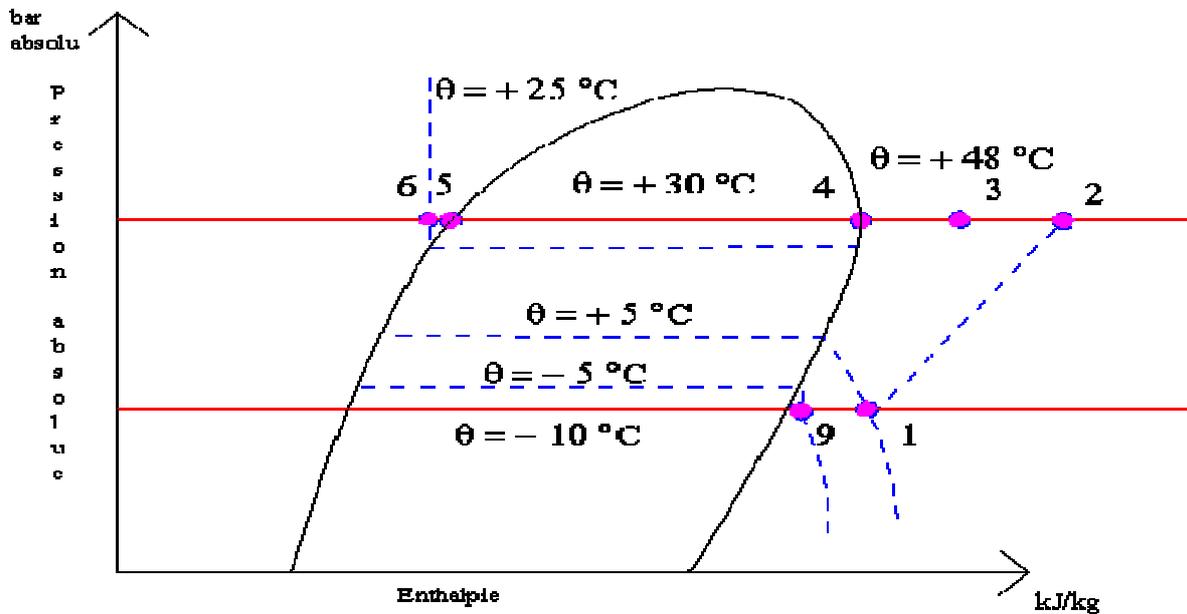


Le sous refroidissement du liquide

La troisième zone du condenseur est la zone de sous refroidissement.
 Le sous refroidissement peut être plus ou moins important et il est très utile au fonctionnement du système et permet d'alimenter le détendeur en 100% liquide.
 Le sous refroidissement est généralement fixé à 5 °C. Cette valeur permet en effet un fonctionnement correct pour la plus part des systèmes.

$$q_6 = q_5 - 5 \text{ °C}$$

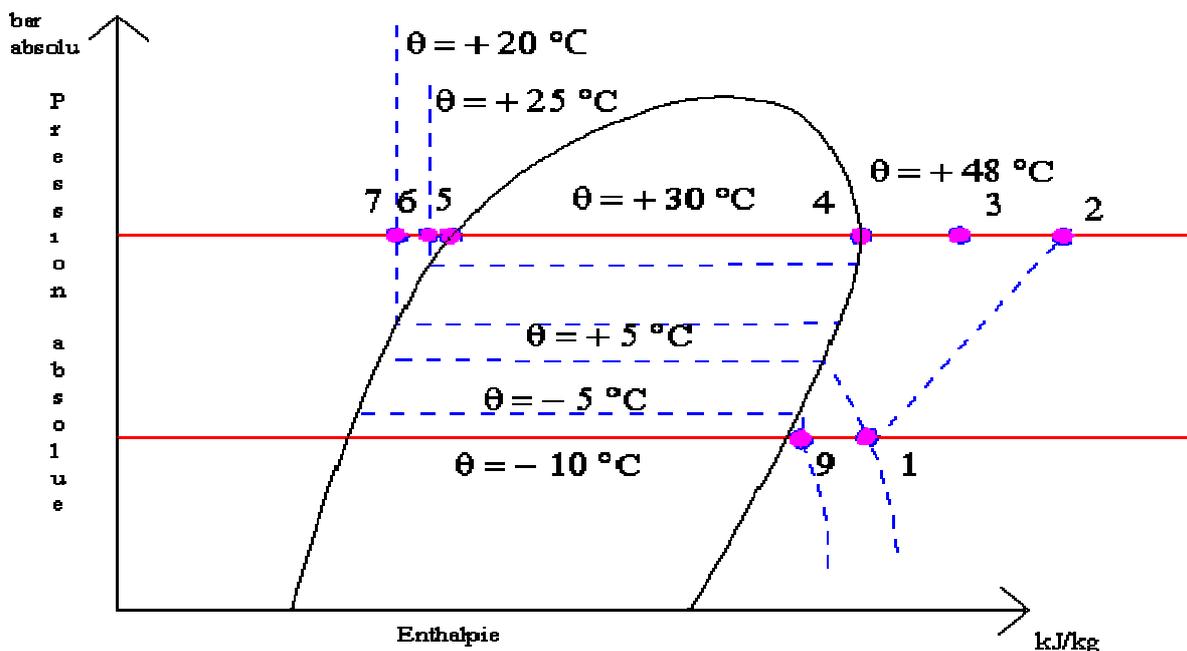
$$q_6 = (+ 30) - 5 = + 25 \text{ °C}$$



Le sous refroidissement dans la ligne liquide

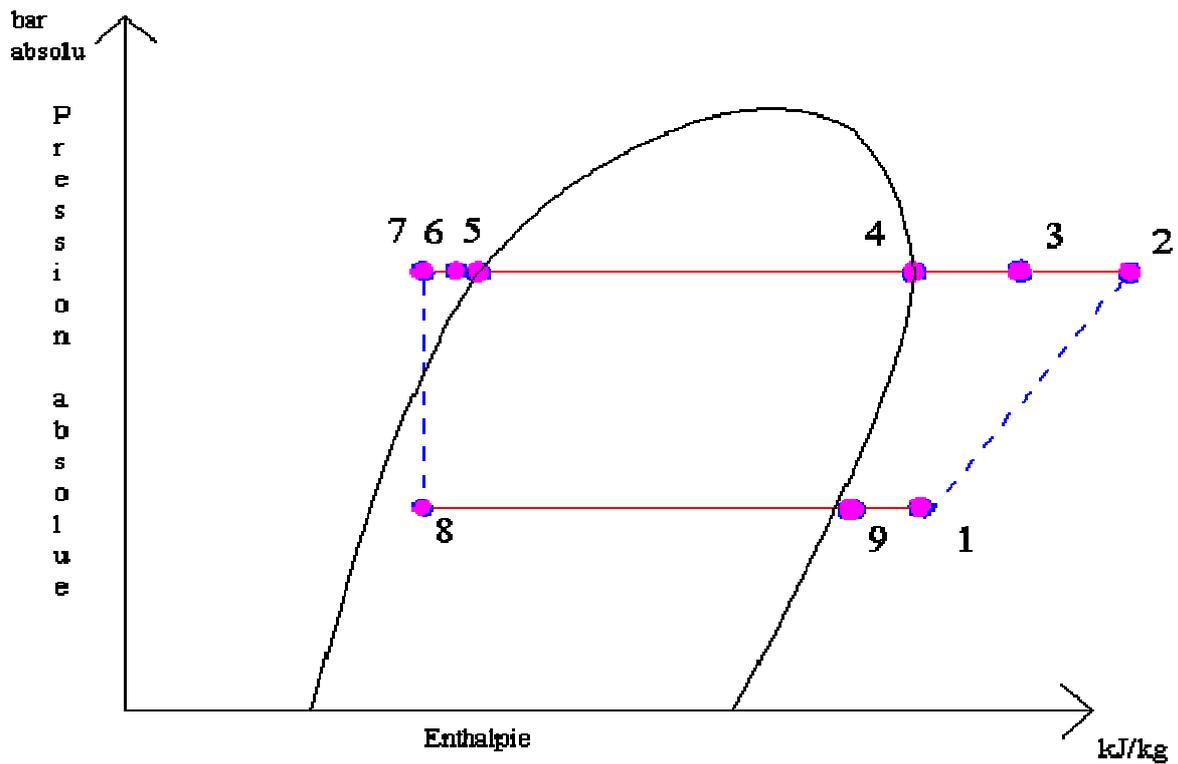
Le liquide sortant du condenseur subit un refroidissement entre la sortie du condenseur et l'entrée du détendeur. La ligne liquide n'est pas calorifugée car ce sous-refroidissement est bénéfique pour le système frigorifique.

le refroidissement généralement relevé est de 5 °C.

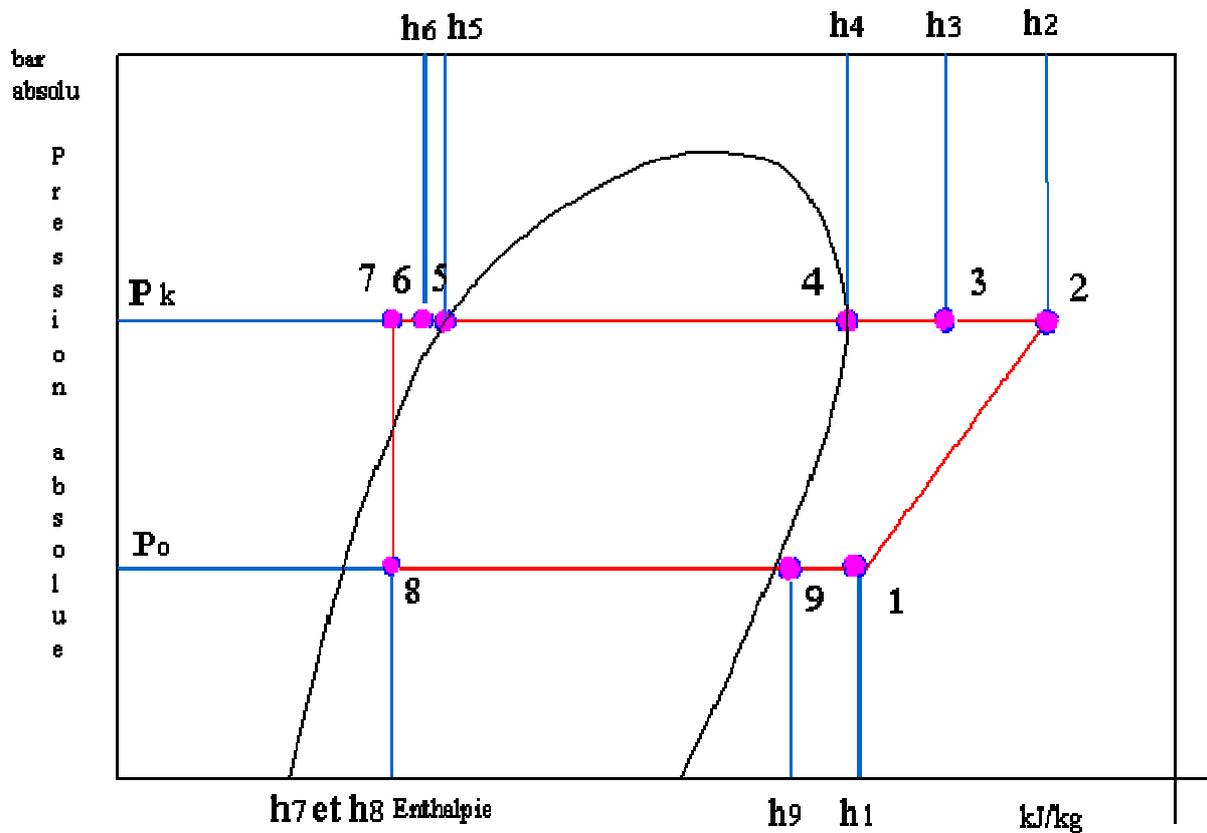


.Le cycle

On obtient ainsi le cycle frigorifique.



Maintenant, on peut déterminer les caractéristiques de tous les points.



7.5 Exploitation du cycle frigorifique.

Débit masse de fluide frigorigène en circulation

$$q_m = f_o / D_{ho}$$

q_m = Débit masse de fluide frigorigène en circulation en kg / s

f_o = Puissance frigorifique en kW

D_{ho} = Variation d'enthalpie entre l'entrée et la sortie de l'évaporateur en kJ / kg

Volume de fluide aspiré par le compresseur

$$V_a = q_m \cdot v'' \cdot 3600$$

V_a = Volume de fluide aspiré par le compresseur en m³/ h

q_m = Débit masse de fluide frigorigène en circulation en kg / s

v'' = Volume massique en m³/ kg

Taux de compression

$$t = P_{ref.} / P_{asp.}$$

t = Taux de compression

$P_{ref.}$ = Pression de refoulement en bar absolu

$P_{asp.}$ = Pression d'aspiration en bar absolu

Dans le cas où les pertes de charge sont négligeables, la formule devient :

$$t = P_k / P_o$$

t = Taux de compression

P_k = Pression de condensation en bar absolu

P_o = Pression d'évaporation en bar absolu

Rendement volumétrique

$$h_v = 1 - 0,05t$$

h_v = Rendement volumétrique

t = Taux de compression

Volume de fluide balayé par le compresseur

$$V_b = V_a / h_v$$

V_b = Volume de fluide balayé par le compresseur en m³/ h

V_a = Volume de fluide aspiré par le compresseur en m³/ h

h_v = Rendement volumétrique

Puissance à fournir sur l'arbre du compresseur

$$P = q_m \cdot D_{hc} / h_i \cdot h_m$$

P = Puissance à fournir sur l'arbre du compresseur en kW

q_m = Débit masse de fluide frigorigène en circulation en kg / s

D_{hc} = Variation d'enthalpie entre l'entrée et la sortie du compresseur en kJ / kg

h_i Rendement indiqué (égal au rendement volumétrique)

h_m Rendement mécanique

Puissance utile du moteur électrique

$$P_u = P / h_{tr}$$

P_u = Puissance utile du moteur électrique en kW

P = Puissance à fournir sur l'arbre du compresseur en kW

h_{tr} = Rendement de transmission

Arbre direct 1

Manchon d'accouplement 0,95

Accouplement par courroie 0,90 à 0,70

Puissance absorbée par le moteur électrique

$$P_a = P_u / h_{el}$$

P_a = Puissance absorbée par le moteur électrique en kW

P_u = Puissance utile du moteur électrique en kW

h_{el} = Rendement électrique

Coefficient de performance frigorifique

$$e_f = f_o / P_a$$

e_f = Coefficient de performance frigorifique

f_o = Puissance frigorifique en kW

P_a = Puissance absorbée par le moteur électrique en kW

Coefficient de performance de Carnot

$$e_c = T_o / (T_k - T_o)$$

e_c = Coefficient de performance de Carnot

T_o = Température d'évaporation en degré K

T_k = Température de condensation en degré K

Rendement de l'installation

$$h = e_f / e_c$$

h = Rendement de l'installation

e_f = Coefficient de performance frigorifique

e_c = Coefficient de performance de Carnot

Puissance rejeté au condenseur

$$f_k = q_m \cdot D_{hk}$$

f_k = Puissance rejeté au condenseur en kW

q_m = Débit masse de fluide frigorigène en circulation en kg / s

D_{hk} Variation d'enthalpie entre l'entrée et la sortie du condenseur en kJ / kg

Exemple :

Fluide frigorigène : R 134a

Température d'évaporation : - 15°C

Température de condensation : + 30°C

Surchauffe fonctionnelle : 5°C

Surchauffe dans la ligne d'aspiration : 10°C

Température du fluide à l'entrée du condenseur : + 40°C

Température du fluide à la sortie du condenseur : + 30°C

Sous refroidissement dans la ligne liquide : 5°C

Température entrée d'eau condenseur : +24°C

Température sortie d'eau condenseur : +35°C

Température entrée d'eau évaporateur : -5°C

Température sortie d'eau évaporateur : -10°C

Compression isentropique

Puissance frigorifique : 10 kW

Rendement indiqué : 0.80

Rendement mécanique : 0.85

Rendement de transmission : 0.90

Rendement électrique : 0.85

Enoncé

On vous demande de trouver les valeurs des paramètres suivants :

Débit masse de fluide frigorigène en circulation

Volume de fluide aspiré par le compresseur

Volume de fluide balayé par le compresseur

Puissance à fournir sur l'arbre du compresseur

Puissance utile du moteur électrique

Puissance absorbée par le moteur électrique

Coefficient de performance frigorifique

Coefficient de performance de Carnot

Rendement de l'installation

Puissance rejeté au condenseur

Résolution

Points	P bar ABS	θ °C	h kJ/kg	v " m ³ /kg
1	2,007	+ 5	404,45	0,1064
2	8,868	+ 54,65	437,66	
3	8,868	+ 40	421,56	
4	8,868	+ 35	248,76	
5	8,868	+ 30	241,47	
6	8,868	+25	234,32	
7	2,007	- 10	234,32	
8	2,007	- 5	395,69	
9				
10				

Le débit masse de fluide frigorigène en circulation :

$$q_m = \dot{m} / D_{ho}$$

$$q_m = 10 / (395,69 - 234,32)$$

$$q_m = 0,062 \text{ kg / s}$$

Le volume de fluide aspiré par le compresseur :

$$V_a = q_m \cdot v'' \cdot 3600$$

$$V_a = 0,062 \cdot 0,1064 \cdot 3600$$

$$V_a = 23,74 \text{ m}^3/\text{h}$$

Le volume de fluide balayé par le compresseur

$$t = P_k / P_o$$

$$t = 3,86$$

$$h_v = 1 - 0,05t$$

$$h_v = 1 - 0,05 \cdot 3,86 = 0,806$$

$$V_b = V_a / h_v$$

$$V_b = 23,74 / 0,806$$

$$V_b = 29,45 \text{ m}^3/\text{h}$$

La puissance à fournir sur l'arbre du compresseur :

$$P = q_m \cdot D_{hc} / h_i \cdot h_m$$

$$P = 0,079 (382,00 - 356,35) / 0,80 \cdot 0,85$$

$$P = 2,98 \text{ kW}$$

La puissance utile du moteur électrique :

$$P_u = P / h_{tr}$$

$$P_u = 2,98 / 0,90$$

$$P_u = 3,31 \text{ kW}$$

La puissance absorbée par le moteur électrique :

$$P_a = P_u / h_{el}$$

$$P_a = 3,31 / 0,85$$

$$P_a = 3,89 \text{ kW}$$

Le coefficient de performance frigorifique :

$$e_f = \dot{m} / P_a$$

$$e_f = 10 / 3,89$$

$$e_f = 2,56$$

Le coefficient de performance de Carnot :

$$ec = T_o / T_k - T_o$$

$$ec = 263 / (308 - 263)$$

$$ec = 5,84$$

Le rendement de l'installation :

$$h = ef / ec$$

$$h = 2,56 / 5.84$$

$$h = 0,438$$

La puissance rejeté au condenseur :

$$f k = qm \cdot Dhk$$

$$f k = 0,079 \cdot (369,18 - 228,56)$$

$$f k = 11,11 \text{ kW}$$

8.1 GENERALITES

8.1.1 Processus d'altérations des aliments

Des estimations ont montrées que dans certaines régions du monde, la moitié des denrées alimentaires disponibles est perdue entre le moment de la production et celui de la consommation.

Les agents destructeurs les plus importants sont les rongeurs, les insectes, les microorganismes (champignons et bactéries) et l'homme par des manipulations inadéquates (par méconnaissance ou négligence) qui place les produits dans des endroits favorisant diverses altérations.

L'entreposage frigorifique est une technique de conservation des denrées ou des aliments permettant leur consommation ultérieure.

On distingue deux grands groupes d'aliments suivant leur origine :

les produits d'origine végétale

les produits d'origine animale.

Les premiers sont des produits vivants (avant et même pendant la période d'entreposage) tandis que les seconds sont des produits qui sont tués préalablement à leur utilisation.

Ils sont tous périssables et présentent une grande diversité aussi bien au niveau de leurs propriétés physiques que de leurs compositions chimiques.

Ils contiennent en général tous de l'eau, des glucides, des protéines, des sels minéraux et des vitamines. L'eau est en général le constituant majeur et est le principal facteur de l'altérabilité des produits.

L'altération provient :

du métabolisme (respiration, fermentation, hydrolyses, oxydations...) des produits

du processus d'autolyse ou de putréfaction.

Les agents responsables de ces réactions sont des enzymes endogènes (présentes naturellement dans les produits) ou exogènes (apportées par les microorganismes qui contaminent l'aliment).

La perte en eau subie par les aliments avant, pendant et après la conservation constitue également un facteur de dépréciation des aliments.

8.1.2 Agents responsables de l'altération des aliments

8.1.2.1 Les enzymes

Ce sont des biocatalyseurs protéiques solubles dans l'eau et fabriqués par les cellules vivantes qui contrôlent les réactions biochimiques de dégradation ou de synthèse.

Elles agissent chacune sur une réaction bien précise portant sur une substance de composition et de configuration moléculaire prédéterminées.

Certaines enzymes restent actives après la mort des tissus et peuvent entraîner une dégradation plus ou moins profonde de la qualité des produits alimentaires.

Les réactions enzymatiques sont considérablement ralenties par l'action du froid, cependant les enzymes ne sont pas détruites, elles redeviennent actives si la température s'élève.

La température en dessous de laquelle une activité enzymatique est annulée varie d'une enzyme à l'autre, elle peut être très inférieure à 0°C. Certaines réactions enzymatiques indésirables peuvent encore se produire à des températures autour de -18°C (congélation) et il faut en tenir compte dans les conservations à longue durée.

8.1.2.2 Les microorganismes

Ce sont les bactéries et/ou les champignons qui sont présents à la surface ou dans les cavités (ou replis) des organes constituant les végétaux et les animaux.

D'autres microorganismes peuvent être apportés par les manipulations subies par les produits.

Les microorganismes peuvent détériorer les aliments en se développant à leurs dépens et en décomposant leurs substances constitutives.

Les décompositions peuvent devenir nocives pour la santé du consommateur (microorganismes pathogènes ou synthèse de toxines microbiennes ou mycotoxines).

Les facteurs influant le développement des microorganismes sont :

la température :

les températures inférieures à +3°C empêchent la multiplication de certaines bactéries (bactéries pathogènes)

il existe des bactéries (psychrophiles ou psychrotrophes) qui contaminent les aliments d'origine animale et peuvent les altérer à des températures comprises entre -2 et +3°C

le développement des microorganismes est complètement arrêté au dessous de -12°C

les températures comprise entre 0 et 1.5°C pour les produits d'origine animale assurent une inhibition suffisante du développement microbien pour une commercialisation à court et moyen terme.

Dans le cas des fruits et légumes et pour des températures comprises entre -1°C et $+5^{\circ}\text{C}$, des champignons (moisissures) peuvent se développer et occasionner des pertes importantes

l'oxygène : les moisissures sont aérobies (besoin de l'oxygène de l'air pour se développer) mais d'autres champignons (levures) sont aérobies ou anaérobies. Les bactéries peuvent être aérobies et/ou anaérobies.

Le pH : le développement des champignons s'effectue dans des milieux dont le pH se situe entre 2 et 8.5 (optimum entre 4 et 6 : milieux acides); pour les bactéries l'optimum est voisin de la neutralité (entre 6 et 7).

l'humidité : les bactéries et les champignons ne peuvent se développer que si **l'activité de l'eau** est comprise entre 0.91 et 0.98, pour les champignons, elle doit être supérieure à 0.80

L'activité de l'eau A_w est le rapport entre la pression à l'équilibre de vapeur d'eau à la surface du produit alimentaire P et la pression de vapeur saturante de l'eau pure à la même température P_w :

Il existe des techniques de préservation des aliments basés spécifiquement sur l'abaissement de l'activité de l'eau telles que le séchage, le salage et le confisage qui ne font pas l'objet de ce cours qui traite de la préservation par abaissement de la température.

8.1.3 Chaîne du froid

Cette expression est utilisée pour désigner les différents maillons imbriqués les uns aux autres qui permettent le maintien à la température optimum des denrées alimentaires depuis leur production jusqu'à leur consommation.

Les conditions de respect de cette « chaîne du froid » ont une influence primordiale sur la qualité des aliments distribués et la protection des consommateurs.

La chaîne du froid peut être divisée suivant les maillons suivants :

réfrigération (ou congélation) au niveau de la production

réfrigération (ou stockage en produits congelés) au niveau de l'entreposage

transports sous températures dirigées en fonction de la nature des produits transportés (réfrigérés ou congelés)

le froid au stade de la distribution (vitrines réfrigérées ou congelées)

le froid chez le consommateur (réfrigérateur ménager)

Les conditions fondamentales d'obtention d'un produit de qualité sont :

utilisation d'un produit sain

application du froid aussitôt que possible

maintien de l'action du froid de manière constante et dans des conditions adéquates jusqu'à l'utilisation du produit

Ces conditions sont imagées par ce qui est appelé le « trépied frigorifique ».

8.1.4 Réfrigération

La réfrigération consiste au maintien artificiel en dessous de la température ambiante à une température optimum pour sa conservation et ce au dessus de son point de congélation (température supérieure à la température de congélation commerciale ou température cryoscopique). Pratiquement la température minimale en réfrigération est de 0°C.

La durée de conservation est toujours limitée, elle est fonction de la nature du produit et de la température à laquelle elle est conservée.

La réfrigération freine les phénomènes vitaux des tissus vivants, tels que ceux des fruits et légumes et des tissus morts (viandes, poissons) en ralentissant les métabolismes biochimiques.

Elle va ralentir considérablement l'évolution microbienne et les conséquences de celle-ci (putréfaction, toxines,...).

Pour les produits morts tels que les viandes et les poissons, la durée pratique de conservation est d'une à quatre semaines à une température de 0°C (température assurant la conservation la plus prolongée en réfrigération) quelque soit le produit. Pour éviter le développement de bactéries pathogènes, la température doit rester inférieure à 4°C.

Pour les fruits et légumes, un compromis doit être observé entre une température basse de conservation (mais supérieure à la température de congélation) et une température assurant l'équilibre des réactions biochimiques qui sont ralenties.

Une température basse augmente la durée de conservation mais le déséquilibre des réactions biochimiques (différence de ralentissement des activités métaboliques) qui sont responsables de la vie peut entraîner des véritables maladies conduisant à la mort des organes : ce sont les maladies du froid.

Les conditions de conservation de ces produits sont données par groupes d'aliments en fonction de leur sensibilité au froid (voir tableaux 8.0 et 8.1).

**Tableau 8.0 : Conditions de conservation des produits réfrigérés
pour produits non ou très peu sensibles au froid.**

<i>Produits animaux</i>				<i>Légumes</i>					°C	HR %
	°C	HR %	D.P.C.		°C	HR %	D.P.C.		°C	HR %
Abats	-1.5 à 0	85-95	7 jours	Ail	0	65-70	6-7 m	Abricots	0	90
Agneau	-1.5 à 0	85-95	3-4 s	Carotte	0	95	2-3 s	Cerise	0	90-95
Beurre	0 à 4		2-4 s	Céleri	0	95	4-12 j	Citron	0 à 4.5	85-90
Bœuf	-1.5 à 0	85-95	3-5 s	Champignon	0	90-95	5-7 j	Datte (fraîche)	0	85
Crème	-2 à 0		15 j	Chou	0	95	1-3 m	Fraise	0	90-95
Crustacés	0		4-6 j	Chou fleur	0	95	2-3 s	Framboise	0	90-95
Fromage	5		1-2 s	Épinard	0	95	1-2 s	Noix de coco	0	80-90
Lait cru	0 à 4		2 j	Laitue	0	95	1-2 s	Orange	0 à 4	85-90
Lait pasteurisé	4 à 6		7 j	Mais doux	0	95	1 s	Pêche	0	90
Œuf (coquilles)	-1 à 0	90	6-7 m	Navet	0	95	4-5 m	Poire	0	90-95
Poisson	0		6-14 j	Oignon (sec)	0	65-70	6-8 m	Pomme	0 à 4	90-95
Porc	-1.5 à 0	85-95	3 s	Poireau	0	95	1-3 m	Prune	0	90-95
Veau	-1.5 à 0	85-95	3 s	Pomme de terres (semence)	2 à 3	90-95	5-8 m	Raisin	-1 à 0	90-95
Viande hachée	4	85-95	1 j	Radis	0	90-95	1-2 s			
Volaille éviscérées	-1 à 0	85-95	1-2 s							
Volaille non évisc.	0	60-70	3 s							
Yoghourt	2 à 5		2-3 s							

**Tableau 8.1 : Conditions de conservation des produits réfrigérés
pour produits très sensibles et moyennement sensibles au froid.**

	Produits très sensibles au froid				Produits moyennement sensibles au froid		
	°C	HR %	D.P.C.		°C	HR %	D.P.C.
<i>Fruits</i>				<i>Fruits</i>			
Ananas (vert)	10 à 13	85-90	2-4 s	Mandarine	4 à 6	85-90	4-6 s
Ananas (mur)	7 à 8	90	2-4 s	Mangoustan	4 à 5.5	85-90	6-7 s
Banane (verte)	12 à 13	85-90	10-20 j	Pastèque	5 à 10	85-90	2-3 s
Citron (vert)	10 à 14	85-90	1-4 m	<i>Légumes</i>			
Goyave	8 à 10	90	2-3 s	Haricot vert	7 à 8	92-95	1-2 s
Mangue	7 à 12	90	3-7 s	Pomme de terre (consom.)	4 à 6	90-95	4-8 m
Melon	7 à 10	85-90	1-12 s	Pomme de terre (industrie)	7 à 10	90-95	2-5 m
Pamplemousse	10	85-90	2-3 m	HR : Humidité relative D.P.C. : Durée pratique de conservation Jour : j Semaine : s Mois : m NB : Les conditions de conservations peuvent varier pour un même produit suivant sa classe et selon son origine et sa variété.			
Papaye	7 à 10		1-3 s				
<i>Légumes</i>							
Aubergines	7 à 10	90-95	10 j				
Concombre	9 à 12	95	1-2 s				
Cornichon	13	90-95	5-8 j				
Gingembre	13	90-95	6 m				
Gombo	7.5 à 10	90-95	1-2 s				
Igname	16	85-90	3-5 m				
Patate douce	13 à 16	85-90	4-7 m				
Poivron doux	7 à 10	90-95	1-3 s				
Tomate (verte)	12 à 13	185-90	1-2 s				
Tomate (mure)	8 à 10	85-90	1 s				
<i>Fromages</i>							
Hollande	12 à 15	85					
Emmenthal	10 à 12	80					
Gruyère de Comté	10 à 12	80-85					

8.1.5 Congélation

La congélation est le procédé qui consiste à abaisser la température d'une denrée à un niveau tel que la majeure partie de son eau de constitution soit transformée en cristaux de glace plus ou moins gros.

Les températures de conservation des produits congelés sont comprises entre -10 et -30 °C et la durée de conservation est fonction de la température de stockage et de la nature des denrées (voir tableau 8.2).

En mode congélation, les enzymes ne sont pas détruites mais la majorité des réactions enzymatiques est annulée. Les caractéristiques organoleptiques évoluent lentement à cause de l'activité de certaines enzymes.

Les microorganismes ne sont pas tués mais le développement des germes bactériens est arrêté au dessous de -10°C et celui des moisissures (germes fongiques) à partir de -18°C.

Les parasites tels que les larves de ténia, de mouches et d'acariens sont tués après un certain temps à basse température (2 semaines à -30°C ou 1 mois à -15°C pour les ténias).

8.1.6 Surgélation

La surgélation, encore appelée congélation rapide, consiste à soumettre une denrée à l'action du froid à basse température de façon à provoquer rapidement la cristallisation de l'eau (plage de -1°C à -5°C) de la denrée et à abaisser sa température à une valeur suffisamment faible pour que la proportion d'eau non congelée soit très faible.

La température recherchée est de l'ordre de -18°C à -20°C .

Les produits surgelés connaissent une forte expansion due entre autres à la diversification très grande des produits disponibles sur le marché.

Un des procédés utilisés en surgélation est le tunnel de congélation. Ce procédé consiste à disposer la denrée dans un courant d'air maintenu aux environs de -30°C à -40°C et à une vitesse de l'ordre de 3m/s.

Les produits surgelés sont généralement protégés par un emballage spécial approprié au produit et aux conditions d'utilisation et le produit est destiné dans la plupart des cas à la vente en l'état au consommateur.

8.1.7 Atmosphères contrôlées

La conservation des produits végétaux peut être améliorée en associant à la réfrigération l'emploi d'atmosphères convenablement appauvries en oxygène (O_2) et/ou enrichies en dioxyde de carbone (CO_2) : c'est la technique de « l'atmosphère contrôlée ».

Cette technique permet d'allonger la durée de conservation par rapport à la réfrigération en « air normal ». Elle permet également d'obtenir des produits de qualité supérieure en maintenant l' O_2 , le CO_2 et l'éthylène à des niveaux prédéterminés en fonction du type de fruit ou de légume entreposé.

Tableau 8.2 : Durées pratiques de conservation des produits congelés.

Produits	Durée pratique de conservations (en mois)		
	-18°C	-25°C	-30°C
<i>Fruits</i>			
Pêches, abricots ou cerises (douces ou acides) dans le sucre	12	18	24
Pêches dans le sucre, avec acide ascorbique	18	24	>24
Framboises et fraises, sans sucre	12	18	24
Framboises et fraises, avec sucre	18	>24	>24
<i>Jus de fruits</i>			
Concentré d'agrumes et d'autres fruits	24	>24	>24
<i>Légumes</i>			
Asperges	15	24	>24
Brocolis	15	24	>24
Choux	15	24	>24
Carotte	18	24	>24
Choux fleurs	15	24	>24
Haricots verts	15	24	>24
Haricots en grains	18	>24	>24
Mais en épis	12	18	24
Pois	18	>24	>24
Pommes de terre frites	24	>24	>24
Epinards	18	>24	>24
<i>Viandes et produits carnés crus</i>			
Bœuf (carcasses)	12	18	24
Rôtis et steaks emballés	12	18	24
Viande hachée emballée (non salée)	10	>12	>12
Veau (carcasses)	9	12	24
Rôtis et côtelettes	9	10-12	12
Agneau (carcasses)	9	12	24
Rôtis et côtelettes	10	12	24
Porcs (carcasses)	6	12	15
Rôtis et côtelettes	6	12	15
Saucisses	6	10	
Lard (bacon non fumé)	2-4	6	12
Volaille (poulet et dinde) éviscérée et convenablement emballée	12	24	12
Poulets frits	6	9	24
Abats	4		12
<i>Pulpe d'œuf</i>	12	24	>24
<i>Produits de la mer</i>			
Poissons gras	4	8	12
Poissons maigres	8	18	24
Poissons plats	10	24	>24
Homards et crabes	6	12	15
Crevettes	6	12	12
Crevettes emballées sous vide	12	15	18
Palourdes, huîtres	4	10	12
<i>Produits laitiers</i>			
Beurre (de crème pasteurisée et maturée)	8	12	15
Crème	6	12	18
Crème glacée	6	12	18
<i>Produits de boulangerie et pâtisserie</i>			
Gâteaux (au fromage, mousseline, au chocolat, aux fruits, etc.)	12	24	>24

8.1.8 Opérations préliminaires et complémentaires

8.1.8.1 Le refroidissement initial ou prérefrigération

Il s'agit d'un refroidissement effectué en général avant l'introduction des produits dans la chambre froide pour éviter la perte en eau des produits sur le lieu de production ou pour éviter qu'ils évoluent vers la maturation (fruits) ou la sénescence (légumes).

Pour les produits végétaux, on parle de prérefrigération et de ressuage frigorifique pour les carcasses d'animaux.

Ce refroidissement initial se fait suivant diverses techniques en fonction de la nature du produit et de sa destination :

à l'air froid, dans un tunnel ou dans une chambre froide avec circulation forcée d'air

à l'eau glacée (à l'eau de mer refroidie), par aspersion ou par immersion pour certains fruits et la volaille (poissons)

par glaçage à savoir la répartition de glace divisée en petits morceaux (ou de la glace en écailles) dans des lots de produits (poissons) ou sur les denrées (végétaux)

par procédé mixte, par exemple l'utilisation de l'air froid combiné à l'eau glacée (fruits).

8.1.8.2 La maturation complémentaire

Il s'agit d'une technique destinée à rendre matures les fruits entreposés qui sont restés immatures. Il s'agit bien sûr de produits cueillis avant maturité (bananes, avocats) par contre d'autres produits même cueillis avant maturité (pommes, tomates) sont capables de mûrir dans la chambre froide.

La maturité complémentaire est effectuée à la sortie de la chambre froide en portant les fruits à une température plus élevée et une humidité relative suffisante pour limiter la dessiccation sans favoriser pour autant la pourriture.

L'apport d'éthylène peut être utile pour accélérer le processus de maturation (bananes) ou assurer un déverdissement complet (citrons).

En ce qui concerne les viandes, la maturation est utilisée pour les rendre « tendres ». En effet, les viandes de bœuf et de mouton sont fermes si elles sont consommées très tôt après l'abattage.

Cette maturation est faite en atmosphère humide et au froid, elle dure une dizaine de jours à une température de l'ordre de 4°C, deux semaines à 2°C et 16 jours à 0°C).

Entre 2°C et 4°C en milieu humide (humidité relative voisine de 90%), cette maturation demande quelques heures pour la volaille et quelques jours pour les porcs et les veaux, en fait cette maturation s'effectue pendant la distribution.

8.1.8.3 Autres techniques

Il existe d'autres opérations préliminaires qui peuvent être bénéfiques :

les enveloppes plastiques : il s'agit le plus souvent de films plastiques souples peu perméables à la vapeur d'eau sous forme de sacs ou de doublures de caisses ou de cartons utilisés pour limiter les pertes d'eau, elles doivent assurer un bon échange entre les gaz échangés et c'est pour cela qu'elles sont quelques fois perforées. Il existe des films plastiques fins appliqués individuellement sur les organes végétaux pour éviter la perte en eau sans entraver la respiration. Pour les denrées animales telles que les produits de charcuterie, il est souvent mis en œuvre des films plastiques rétractibles (enveloppes étanches)

les enduits superficiels : ils sont utilisés pour ralentir la dessiccation de certains fruits ou légumes, leur utilisation doit répondre à la législation et doit s'effectuer avec précaution

les traitements chimiques : ils sont appliqués pour prévenir certains accidents d'origine microbienne ou physiologique. L'emploi d'antiseptiques dont l'innocuité doit être certifiée permet de lutter contre les attaques fongicides des végétaux. Il existe d'autres traitements tels que l'utilisation d'antioxydants, de régulateurs de croissance et d'inhibition de croissance des bourgeons. Ces traitements sont effectués sur la base de connaissances précises (nature, doses à respecter, innocuité) des produits utilisés et doivent respecter la législation en la matière.

L'opération primordiale à tout entreposage est la qualité du produit initial. Le froid n'est pas appliqué pour « réparer » un produit altéré mais pour assurer la conservation d'un produit dans des conditions qui permettent son utilisation ultérieure sans risque pour la consommation. L'amélioration de la qualité d'un produit par le froid est exceptionnelle.

Aussi il convient de conserver par le froid :

des fruits et légumes fraîchement recueillis dans de bonnes conditions hygiéniques (un nettoyage complémentaire à l'eau avec des adjuvants est souvent utilisé)

des viandes sortant de l'abattage réalisé dans d'excellentes conditions d'hygiène

des œufs récemment pondus

des produits exempts de meurtrissures et de signes visibles d'altération

des poissons et animaux éviscérés sitôt après leur mort pour éviter la diffusion des enzymes contenues dans le tube digestif

8.1.9 Incompatibilités d'entreposage

Dans les pays en développement les chambres froides sont souvent amenées à entreposer différents produits. Il faut alors tenir compte des « incompatibilités de conservation » qui peuvent avoir pour origines :

une différence de température de conservation des divers produits entreposés

un transfert d'odeurs d'un produit à un autre

l'effet nocif de l'éthylène émis par certains végétaux

8.1.9.1 Incompatibilités thermiques

Les produits alimentaires de grande consommation sont divisées en trois catégories suivant leur sensibilité au froid :

les produits non sensibles ou très peu sensibles au froid, c'est la plupart des produits d'origine animal ; ces produits sont conservés entre -2°C ou -1°C et $+4$ à $+5^{\circ}\text{C}$ (en réfrigération)

les produits moyennement sensibles au froid que sont les fruits et légumes qui doivent être conservés à des températures moins basses $+4$ à $+10^{\circ}\text{C}$ (selon l'espèce)

les produits très sensibles au froid exigent une température supérieure à 7 ou 8°C , il s'agit de certains produits végétaux d'origine tropicale.

Les recommandations suivantes peuvent être appliquées lorsqu'il s'agit d'entreposer des produits divers ensemble :

choisir la température minimale correspondante au produit le plus sensible au froid pour des produits ayant des exigences thermiques différentes

choisir la température le plus proche de l'optimum de la majorité des produits pour une même catégorie de produits entreposés

une surveillance accrue des différents produits s'avère nécessaire pour permettre d'apprécier à quel moment la conservation est terminée pour chaque type de produit

8.1.9.2 Incompatibilités dues aux odeurs et à l'éthylène

Les composés volatils responsables de l'arôme de certains produits peuvent être fixés par d'autres produits voisins et leur conférer une odeur ou un goût indésirable.

Par exemple, il faut éviter de conserver des pommes avec de la pomme de terre ou bien des agrumes avec d'autres produits. L'odeur des pommes et des agrumes est facilement fixée par le beurre, la viande et les œufs. Les pommes prennent une couleur et une odeur désagréables lorsqu'ils sont conservés avec de la pomme de terre.

Les organes végétaux « vivants » sont capables de produire de l'éthylène à différents niveaux. Ce gaz inodore, même en faible quantité, écourte la vie des organes qui le synthétisent ou de ceux qui sont dans leur voisinage en accélérant leur sénescence ou leur maturation pour les fruits.

Le tableau 8.3 donne les incompatibilités les plus rencontrées.

Tableau 8.3 : Incompatibilités de conservation entre différents produits.

	Bananes	Beurre	Boeuf	Chou	Fromage	Langouste	Lard	Mouton	Oeufs	Oranges	Pêches	Pomme	Pommes de terre	Porc	Prunes	Raisins
Bananes	-	O	O	N	O	O	O	O	O	N	N	N	N	O	N	O
Beurre	O	-	O	N	LR	R	LR	O	O	R	LR	N	N	O	O	O
Bœuf	O	O	-	N	LR	LR	LR	O	O	N	O	R	LR	O	O	O
Chou	N	N	N	-	N	N	N	N	N	N	LR	LR	LR	N	LR	LR
Fromage	O	LR	LR	N	-	N	O	LR	N	N	LR	N	LR	LR	LR	LR
Langouste	O	R	LR	N	N	-	LR	LR	LR	N	LR	N	N	LR	LR	O
Lard	O	LR	LR	N	O	LR	-	O	O	N	O	N	O	O	O	O
Mouton	O	O	O	N	LR	LR	O	-	O	N	O	N	LR	O	O	O
Oeufs	O	O	O	N	N	LR	O	O	-	N	LR	N	N	O	LR	O
Oranges	N	N	N	N	N	N	N	N	N	-	O	O	O	N	O	O
Pêches	N	LR	O	LR	LR	LR	O	O	LR	O	-	O	O	O	O	O
Pomme	N	N	R	LR	N	N	N	N	N	O	O	-	LR	N	O	O
Pommes de terre	N	N	LR	LR	LR	N	O	LR	N	O	O	LR	-	LR	O	O
Porc	O	O	O	N	LR	LR	O	O	O	N	O	N	LR	-	O	O
Prunes	N	O	O	LR	LR	LR	O	O	LR	O	O	O	O	O	-	O
Raisin	O	O	O	LR	LR	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	-
O	Peuvent être entreposés ensemble sans risqué de contamination mutuelle															
LR	Léger risqué de contamination mutuelle															
R	Risque de contamination mutuelle															
N	Ne peuvent être entreposés ensemble : contamination mutuelle très probable															

8.1.10 Vitesse de congélation et décongélation

Il est toujours préférable d'effectuer la congélation des produits de manière rapide. Un produit congelé lentement peut faire apparaître lors de son réchauffage une exsudation excessive qui traduit une mauvaise réabsorption de l'eau et entraîne une certaine perte de substances alimentaires. Cela s'explique par le fait que l'eau s'est congelée sous forme de gros cristaux qui ont détruit la structure des tissus, au contraire en congélation rapide, les cristaux de glace sont de petites tailles et leur effet sur la structure cellulaire et l'exsudation est fortement réduit. Un produit décongelé et recongelé perd beaucoup en qualité et la maintien de la température de conservation à basse température est primordiale.

La décongélation, comme la congélation, est une phase critique pour les produits congelés.

Il est préférable que la décongélation soit conduite le plus rapidement chaque fois que cela est possible, en effet une décongélation lente s'accompagne souvent d'une exsudation plus importante.

Il faut néanmoins noter que le risque pour un aliment congelé de porter des germes dangereux est accru lorsqu'il est placé dans l'ambiance (température ambiante).

Il convient de maintenir le produit congelé au dessous des températures dangereuses (au dessous de +5°C), la décongélation de lots de carcasses par exemple peut prendre plusieurs jours (jusqu'à 5). Une autre méthode consiste à atteindre rapidement la zone de pasteurisation dont le seuil est de +65°C.

En pratique, le mode de décongélation lente en chambre froide ou dans un réfrigérateur (utilisation domestique) est très utilisée, la température dans la chambre froide ou dans le réfrigérateur étant maintenue autour de +4°C.

Pour les produits consommés à l'état, ils peuvent être placés à l'état congelé directement dans l'appareil de cuisson (eau bouillante pour les légumes, four, poêle pour les produits animaux...). Il existe bien d'autres techniques de décongélation (à l'eau courante surtout en utilisation domestique et des tunnels de décongélation en industrie).

Les fours à micro-ondes sont très utilisés de nos jours pour le réchauffage des plats cuisinés.

8.2 CONCEPTION DES ENTREPOTS FRIGORIFIQUES

8.2.1 Classification des entrepôts frigorifiques

Les entrepôts frigorifiques (ou complexe de chambres froides) peuvent être classés suivant différents critères tels que la nature du trafic, la forme juridique et la fonction.

Suivant la nature du trafic, on retrouve les entrepôts polyvalents (toutes sortes de denrées) et les entrepôts spécialisés (type précis de denrées).

Suivant la forme juridique, on distingue :

les entrepôts publics (appartenance à plusieurs privés, stockage pour le compte de tiers)

les entrepôts privés (appartenance à des personnes physiques ou morales, stockage propre)

les entrepôts mixtes (privés avec possibilité de stockage par des tiers)

Suivant la fonction, on peut retenir :

les entrepôts de production (par exemple les stations fruitières)

les entrepôts de transit

les entrepôts portuaires

les consignes d'aéroport

les entrepôts de consommation/distribution

Les entrepôts frigorifiques sont associés à un certain nombre d'infrastructures telles que :

les fabriques de glace

les salles de conditionnement

les bureaux,

les services sociaux, les vestiaires et les lavabos

Quant aux chambres froides, elles peuvent être classées suivant :

la température régnant dans la chambre froide

le mode de construction de la chambre froide

Suivant la température à l'intérieure de la chambre, on distingue 3 catégories d'entrepôts frigorifiques :

les chambres froides négatives dans lesquelles la température est maintenue en dessous de 0°C, la plage de température de ces chambres se situe entre -40 et 0°C.

les chambres froides positives dans lesquelles la température est supérieure à 0°C, la plage de température de ces chambres se situe entre +1 et 12°C.

les locaux à ambiance régulée pour les locaux dont la température se situe entre +13 et +40°C ; ces locaux ne sont pas classés comme des chambres froides bien que leur construction obéissent aux mêmes règles

Suivant le mode de construction de la chambre froide, on distingue :

les chambres froides traditionnelles avec une construction en maçonnerie avec isolant (généralement du polystyrène)

les chambres froides à panneaux préfabriqués (ou panneaux sandwich, généralement à âme de polyuréthane) qui sont montés sur des ossatures en acier ou en béton.

8.2.2 Cahier des charges techniques d'un entrepôt frigorifique

La conception d'un entrepôt frigorifique ou d'une chambre froide se fonde sur les spécifications techniques du cahier des charges, ces informations doivent être en principe définies par le maître d'ouvrage suivant ses besoins et ses attentes.

Les principales spécifications concernent :

les produits

la nature

les mouvements

les températures d'entrée des produits

les tonnages quotidiens

les caractéristiques des emballages

les conditions d'entreposage

les températures de consigne

les différentiels de réglage

la durée d'entreposage

le mode de manutention (chariot à main, transpalette, chariot élévateur, rail...)

le mode d'arrimage (hauteur des piles, hauteur d'accrochage des carcasses...)

l'entrepôt

l'entrepôt est à réaliser dans un bâtiment existant ou à construire

le nombre et les principales caractéristiques des chambres froides

la situation de l'entrepôt et de celle de la salle des machines

les moyens d'accès (routes)

les caractéristiques des équipements frigorifiques préexistants (chambres froides, tunnels, congélateurs, machines à glace...)

les servitudes diverses notamment à l'égard de l'environnement

les extensions et évolutions possibles à moyen terme (si possible à cinq ans)

l'environnement

le climat (température extérieure, humidité relative)

les ressources en énergie

les ressources en eau

les tonnages quotidiens

les disponibilités locales en main d'œuvre (personnel technique de conduite et de surveillance, personnel de manutention et d'entretien général)

les autres spécifications

toute information précisant les services attendus (entrepôt intégré dans une laiterie ou dans un abattoir...)

la perte thermique maximale par les parois (optimisation énergétique)

les particularités de construction (résistance de l'isolant au feu, toxicité du FF...)

la nature du site de construction de l'entrepôt (sol sain, sol bien drainé, bonne résistance mécanique du terrain, zone à l'abri des vents dominants et de l'insolation directe), es mouvements

la surface disponible pour l'entrepôt y compris les locaux annexes (bureaux, sanitaires, locaux techniques), l'espace pour les aires de circulation et les parkings, l'espace disponible pour les éventuelles extensions

8.3 DISPOSITIONS CONSTRUCTIVES DES ENTREPOTS FRIGORIFIQUES

8.3.1 Génie civil

8.3.1.1 Plancher

Le plancher des chambres froides doit être dimensionné pour supporter la charge des denrées entreposées d'une part et celle occasionnée par la manutention d'autre part.

Les charges statiques généralement adoptées sont de 4 tonnes / m² (ou 3 tonnes / m²).

Pour les charges roulantes (chariots élévateurs par exemple), il est admis une charge de 1 tonne par roue.

Dans la pratique, il est souvent adopté 5 tonnes / m².

8.3.1.2 Sol

La congélation du sol des chambres froides (surtout les chambres négatives) peut entraîner des soulèvements du sol (surtout sur les terrains mal drainés à structure argileuse fine) si certaines dispositions ne sont pas prises.

Les solutions adoptées sont :

la mise en œuvre d'un vide sanitaire d'au moins 60 cm de hauteur (pour les petites surfaces)

la mise en œuvre de résistances électriques ou de circulation d'eau glycolée réchauffée dans un échangeur alimenté par l'eau de refroidissement du condenseur par exemple (pour les grandes surfaces)

Pour le chauffage électrique, il est adopté une puissance d'installation des résistances de 10W/m^2 .

Pour le chauffage avec de l'eau glycolée, il est mis en œuvre un réseau encastré de 2 à 3 cm dans le béton de fondation.

Le chauffage des sols des chambres froides doit être associé à un dispositif de sécurité par thermostat de sol.

Une disposition généralement admise pour le sol des chambres froides négatives est la mise en œuvre d'une dalle flottante en béton armé coulée sur l'isolant, l'ossature comportant deux couches superposées à mailles carrées (10 cm).

L'ossature métallique des dalles doit être mise à la masse pour des raisons de sécurité électrique.

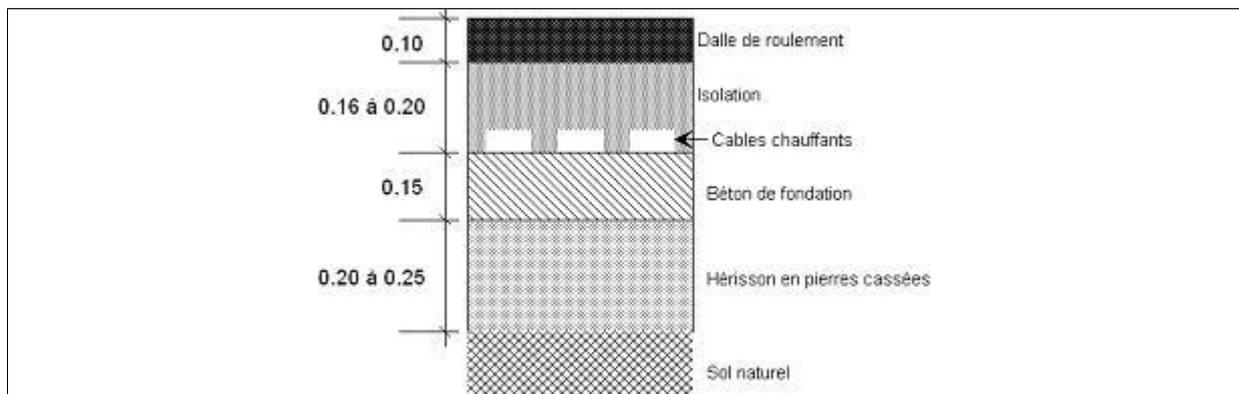


Figure 8.0 : Structure du sol d'une chambre froide négative.

Pour les chambres froides positives, la disposition courante consiste à couler sur un remblai une dalle en béton de 16 à 20 cm.

8.3.1.3 Murs

Pour les entrepôts frigorifiques à un seul niveau, la charpente métallique est la meilleure solution.

Pour les murs, il est utilisé du matériau économique pour remplir les vides entre les poteaux de la charpente métallique (agglomérés de ciment de 0.15 à 0.20 m d'épaisseur avec enduits extérieur et intérieur de 1.5 à 2 cm au ciment).

Tableau 8.4 : Coefficients de convections extérieure et intérieure.

	Extérieur	Intérieur		
		Paroi très ventilée	Paroi peu ventilée	Paroi non ventilée
Coefficient de convection h (kCal/h/m ² °C)	20	15	10	7

Tableau 8.5 : Coefficients de conductibilité thermique des matériaux utilisés pour les murs des chambres froides traditionnelles.

	Béton armé	Agglo ciment	Brique creuse	Brique pleine	Mortier ciment	Asphalte	Bois	Enduit grillagé
Coefficient de conductibilité thermique λ (W/m°C)	1.3	0.6	0.3 à 0.5	0.6 à 0.75	0.8	0.5	0.12 à 0.15	0.9

8.3.1.4 Toiture

Il est conseillé d'utiliser une toiture classique à deux pans avec une couverture en tôle ondulée, le comble sous couverture devant être aéré de manière convenable.

Il est à proscrire la mise en œuvre de terrasses en béton armé à cause des risques de fissuration et d'humidification.

8.3.1.5 Plafond

Il s'agit en général de plafond non porteur. Il s'agit généralement de plafond de type suspendu avec réseau de chevrons supporté par l'aile inférieure des entrants de la charpente ou suspendu aux pièces de charpente.

8.3.2 Isolation

8.3.2.1 Isolation traditionnelle

L'isolant généralement utilisé est le polystyrène (sous forme de plaques ou de feuilles).

Lorsque l'épaisseur de l'isolation est supérieure à 8 cm (voir 10 cm dans certains cas), il est adopté une seule couche d'isolation; dans le cas contraire, il est adopté deux couches d'isolation à joints croisés.

Tableau 8.6 : Coefficients de conductibilité thermique des isolants utilisés pour les murs des chambres froides traditionnelles.

	Fibre de verre	Polystyrène	Polyuréthane
Coefficient de conductibilité thermique λ (W/m°C)	0.03	0.03	0.024

L'isolant doit être protégé contre les chocs, le revêtement classique utilisé est l'enduit grillagé.

Il s'agit de grillage à mailles hexagonales (mailles de 25 mm) fixé contre l'isolant par des étriers et recouvert par un enduit ciment.

Pour les grandes chambres froides, il peut être mis en œuvre de la tôle en acier nervurée.

Le plafond n'est généralement pas protégé à cause du faible risque de chocs.

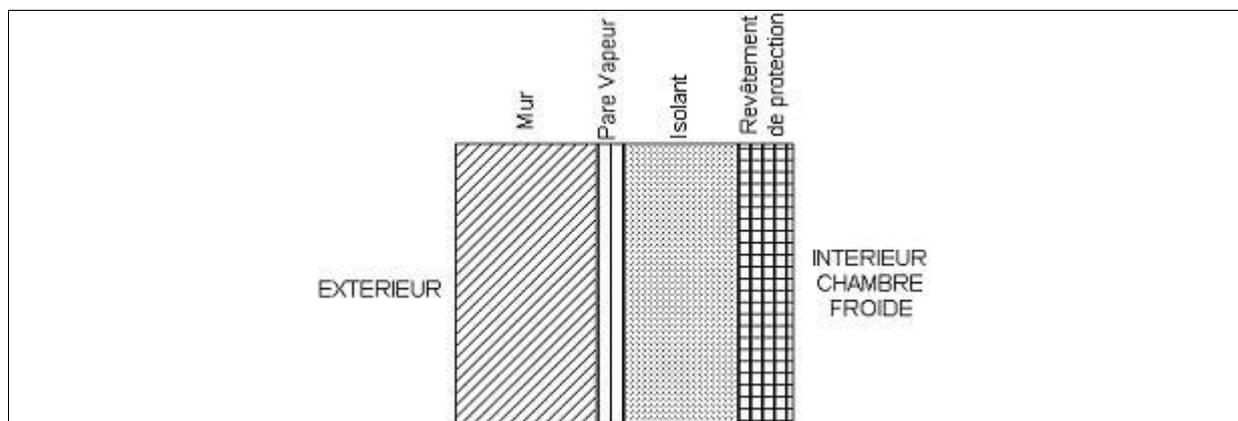


Figure 8.1 : Composition de la paroi d'une chambre froide traditionnelle.

8.3.2.2 Panneaux préfabriqués

Les panneaux préfabriqués utilisés dans les chambres froides sont constitués d'un isolant (polyuréthane) dont les faces sont intimement collées à deux feuilles résistantes :

- tôle en acier galvanisé (1 mm)
- alliage d'aluminium
- acier inoxydable
- stratifié verre - polyester (3 à 4 mm)
- contreplaqué qualité marine (10 mm)

L'assemblage des panneaux pour la constitution de la chambre froide est effectué sur le site.

Les panneaux préfabriqués sont des panneaux sandwich à âme isolante en polyuréthane avec des épaisseurs variant de 60 à 200 mm.

Les hauteurs courantes des chambres froides modulables vont de 2 à 3.20 m.

Les différents types de portes (pivotantes, coulissantes, va et vient,...) s'adaptent sur ces chambres, les portes doivent être équipées d'un système de chauffage de l'hubriserie pour les chambres froides à température négative.

8.3.2.3 Isolation du sol

Les dispositions concernant l'isolation du sol ont été passées en revue dans la partie traitant du sol des chambres froides (cf. 8.3.1.2).

8.3.3 Portes isothermes

Les portes d'accès aux enceintes frigorifiques ou chambres froides sont constitués de panneaux sandwich à âme isolante en polyuréthane expansé avec des parements en tôle d'acier galvanisée (comme pour les panneaux préfabriqués).

L'épaisseur d'isolation de la porte dépend de la température intérieure des chambres froides, aussi on distingue des portes isothermes pour chambres froides positives (de 40 à 100 mm) et des portes pour chambres froides négatives (de 100 à 150 mm).

Les portes isothermes se déclinent en :

portes pivotantes (adaptées pour passage du personnel et petits chariots – largeur de 0.60 à 1.40 m et hauteur de 1.90 à 2.20 m)

portes coulissantes (adaptées pour passage d'engins de grandes dimensions – largeur de 0.95 à 2.40 m et hauteur de 1.85 à 2.50 m)

portes sectionnelles qui sont utilisées en façades des grands entrepôts frigorifiques et qui servent de frontières entre le quai et l'intérieur (ouvertures rapides sur de grandes dimensions – jusqu'à 8 m de largeur et 7 m de hauteur)

Les portes isothermes sont en général munies d'un joint périphérique et d'une raclette qui sont écrasés à la fermeture.

Pour les chambres froides négatives, une résistance électrique basse tension intégrée sur le pourtour de l'hubriserie fonctionne en continu. Ce qui évite le givrage du pourtour et le « collage » du joint.

La commande des portes peut être manuelle (petits entrepôts) ou motorisée. En option, les portes peuvent être équipées de protections en partie inférieure, de serrures à clé, de dispositif anti-effraction...

Cependant, quelque soit le type de verrouillage extérieur, les portes doivent posséder un dispositif de sécurité permettant une ouverture facile « surtout par l'intérieur » (barre anti-panique pour portes pivotantes et sectionnelles, manœuvre manuelle de sécurité, portes de secours intégrée ou indépendante).

8.3.4 Eclairage des chambres froides

L'éclairage des chambres froides obéit à deux missions :

permettre la manutention dans de bonnes conditions

assurer la sécurité du personnel

Il est préférable d'utiliser des tubes fluorescents disposés de préférence dans les allées de service et l'utilisation de luminaires étanches est fortement conseillée.

Les chambres froides doivent obéir à des normes : « Sécurité des personnes dans les chambres froides et climatisées » dont quelques extraits stipulent :

« ...les portes de ces deux types de chambres doivent pouvoir être ouvertes manuellement par toute personne se trouvant à l'intérieur de ces chambres... »

« toute chambre d'une capacité supérieure à 10 m³ doit être munie d'un dispositif d'avertissement sonore simple et robuste permettant à toute personne, qui se trouverait accidentellement enfermée à l'intérieur de cette chambre de donner l'alarme à l'extérieur »

« toute installation neuve de chambre froide ou climatisée, d'une capacité supérieure à 10 m³ doit comporter à l'extérieur et au voisinage immédiat de chacune des portes, un voyant lumineux s'éclairant lorsque la chambre est elle-même éclairée pour permettre au personnel d'y travailler ».

8.3.5 Variation de pressions dans les chambres froides

Les variations de températures et la mise en marche/arrêt des ventilateurs entraînent des variations de pressions à l'intérieur de la chambre froide.

Dans certains cas de figures et surtout dans les chambres froides négatives de grande taille, il est mis en œuvre des dispositifs d'équilibrage des pressions appelés soupapes d'équilibrage pour éviter les surpressions et dépressions importantes à l'intérieur de la chambre froide.

Ces dispositifs, une fois déclenchés permettent de mettre en communication la chambre froide avec le milieu extérieur.

Ces dispositifs doivent être périodiquement visités pour s'assurer de leur bon fonctionnement.

Dans les chambres froides de grande taille disposant de nombreux évaporateurs, il est conseillé de ne pas démarrer tous les ventilateurs simultanément.

8.3.6 Migration d'humidité

Un des phénomènes généralement rencontré est la migration de la vapeur d'eau (tension de vapeur saturante) ambiante vers l'intérieur des chambres froides.

Pour éviter cette migration, il est mis en place :

des isolants étanches par nature (à cellules fermées)

des revêtements pare - vapeur (écran d'étanchéité) sur les parois (faces chaudes : vers l'extérieur) de la chambre froide (enduits visqueux, flinkote, feuilles minces d'aluminium, film plastique)

sur la face interne : mise en place d'un revêtement poreux pour assurer la migration de l'eau vers l'évaporateur

L'humidité peut altérer les isolants tels que le polystyrène diminuant ainsi leur pouvoir isolant.

Exemple de migration de la vapeur d'eau

P désignant la pression de vapeur saturante;

Air extérieur : 30°C-70% $P = 0.7 \times 31.54 = 22$ mm Hg

Intérieur CF : 0°C-90% $P = 0.9 \times 4.60 = 4.14$ mm Hg

Intérieur CF : -20°C-90% $P = 0.9 \times 0.94 = 0.85$ mm Hg

La tension de vapeur saturante de l'air extérieur étant supérieure à celle de l'air intérieure, la vapeur d'eau aura tendance à migrer vers l'intérieur de la chambre froide.

8.3.7 Détermination des dimensions intérieures des chambres froides

Le volume intérieur (volume brut) d'une chambre est obtenu à partir :

du volume utile de la chambre froide, elle même déterminée à partir des densités utiles d'entreposage, des caractéristiques des denrées et du mode de gerbage; les densités utiles d'entreposage sont exprimées en kg de masse nette par m³

des volumes nécessaires pour la circulation de l'air, la manutention, l'installation frigorifique...

Pour un avant projet, le volume intérieur brut peut pris égal à 2 fois le volume utile, pour des produits divers il peut être égal à 160 kg/m³ en réfrigération et 300 kg/m³ en congélation.

Pour déterminer avec précision, il faut tracer les plans de chargement et calculer les espaces réservés à la circulation des marchandises et à la circulation de l'air.

Il peut être fait référence aux densités utiles d'entreposage par m³ de volume brut suivant le produit et le mode de stockage (palettisé ou pas).

Les palettes sont normalisées principalement 1 m x 1.2 m. La hauteur est variable, le plus souvent elle est autour de 1.8 mètres.

La hauteur intérieure est déterminée en fonction des modes de manutention et de gerbage. Elle peut atteindre environ 10 mètres, ce qui correspond à un gerbage de 5 piles de palettes (gerbage maximale le plus utilisé). La manutention est assurée par des chariots élévateurs ou des transpalettes. Il s'agit de chariots électriques ou éventuellement à moteur à gaz liquéfié (butane).

Lorsque la manutention dans la chambre froide est manuelle, la hauteur des piles n'excède pas 3 mètres en général et la hauteur intérieure de la chambre est comprise entre 3.5 et 4 m, l'espace libre étant réservé au passage de l'air soufflé par les frigorifères (évaporateurs).

Le tableau 8.7 donne les densités utiles d'entreposage de différentes marchandises.

Tableau 8.7 : Densité d'entreposage de différentes marchandises.

Marchandise concernée	Densité d'entreposage (kg/m ³)	Conditionnement	Marchandise concernée	Densité d'entreposage (kg/m ³)	Conditionnement
Bananes	250	Régimes	Sucre	750	Sacs
	300	Caisses bois			
Beurre	650	Tonnelets	Viande réfrigérée sur pendoir	350	En vrac
	1000	Cartons			
Bière	600	Fûts	Viande réfrigérée salée	650	Boîtes
	650	Caisses			
Céréales	650	En vrac	Viande réfrigérée séchée	650	Balles
Fromage	500	Caisses	Viande congelée de boeuf	300	En vrac
Fruits exotiques	350	Caisses	Viande congelée de mouton	300	En vrac
Haricots	600	Sacs	Viande congelée de porc	350	En vrac
	700	En vrac			
Huile	650	Tonneaux	Vin	400	Tonneaux
				650	Cubitainers
Lait	800	Caisses	<i>Conserves</i>		
Œufs	350	Caisses	Carottes, en dés	420	Expresso
Oignons	450	Sacs	Chou	610	Expresso
Poisson, en saumure	350	Tonneaux	Haricots verts	370	Expresso
Pommes	350	Caisses	Légumes	420	Expresso
Pommes de terre	400	Sacs	Petits pois	440	Expresso
	700	En vrac			

8.4 BILAN FRIGORIFIQUE D'UNE CHAMBRE FROIDE

8.4.1 Généralités

Le calcul des charges thermiques d'une chambre froide a pour objet la détermination de la puissance frigorifique de l'équipement à mettre en œuvre pour la réfrigération de cette chambre.

Les charges thermiques d'une chambre froide se répartissent en deux catégories :

les charges thermiques externes

les charges thermiques internes

Les charges thermiques externes comprennent :

les charges dues aux apports de chaleur par transmission à travers l'enveloppe de la chambre froide (parois verticales, plancher bas et plancher haut)

les charges dues au renouvellement d'air

les charges dues à l'ouverture des portes

Les charges thermiques internes se divisent en deux catégories que sont les charges dépendantes des produits entreposés et les charges indépendantes des produits entreposés.

Les charges thermiques internes dépendantes des produits entreposés comprennent :

les charges dues aux produits entrants

les charges dues à la respiration des produits (fruits et légumes)

les charges dues à la fermentation des produits (fromages)

Les charges thermiques internes indépendantes des produits entreposés comprennent :

les charges dues à l'éclairage

les charges dues au personnel

les charges dues aux chariots élévateurs et transpalettes

les charges dues à la présence éventuelle d'autres machines

les charges dues à la chaleur dégagée par le moteur de chaque ventilateur d'évaporateur

les charges dues au dégagement de chaleur des résistances électriques des évaporateurs lorsque ces résistances sont mises sous tension en période de dégivrage.

8.4.2 Charges thermiques externes

8.4.2.1 Charge thermique par transmission à travers les parois Q_{tr}

Le calcul s'effectue paroi par paroi à savoir les quatre parois verticales puis le plancher haut (toiture) et enfin le plancher bas lorsqu'il s'agit de chambre froide négative.

La charge thermique par transmission a pour valeur :

$$Q_{tr} = K \times S \times \Delta T$$

Q_{tr} : charge thermique par transmission à travers les parois (en W)

K : coefficient de transmission thermique de la paroi considérée en $W/m^2 \cdot ^\circ C$

S : surface de la paroi considérée en m^2

ΔT : différence de température entre les deux côtés de la paroi considérée en $^\circ C$

Le coefficient de transmission thermique K s'exprime comme suit :

K : coefficient de transmission thermique en $W/m^2\text{C}$

$1/h_i$: résistance thermique superficielle interne en $m^2\text{C}/W$

$\Sigma e_n/\lambda_n$: somme des résistances thermiques des différentes couches de matériaux constituant la paroi en $m^2\text{C}/W$

$1/h_e$: résistance thermique superficielle externe en $m^2\text{C}/W$

e_n : épaisseur de la paroi n en m

λ_n : conductivité thermique de la paroi n en $W/m\text{C}$

Les parois de chambres froides sont en général bien isolées thermiquement si bien que par souci de simplification, on ne tient pas souvent compte dans les calculs que de la résistance thermique de l'isolant.

Le coefficient de transmission thermique K devient Pour le calcul des épaisseurs d'isolation, les flux de chaleur admissibles à travers les parois de la chambre froide sont les suivants :

pour les chambres froides positives : 7 Kcal/h/m² (8 W/m²)

pour les chambres froides négatives : 5 kCal/h/m² (6 W/m²)

Les tableaux 8.5 et 8.6 donnent les coefficients de conductibilité thermique respectivement pour les matériaux et pour les isolants utilisés dans la construction des chambres froides traditionnelles.

Le tableau 8.8 donne les coefficients de transmission thermique des parois du type sandwich utilisés dans la construction des chambres froides en panneaux préfabriqués.

Tableau 8.8 : Coefficients de transmission thermique K d'une paroi type sandwich composée d'une âme en mousse rigide de polyuréthane et de deux revêtements métalliques.

Épaisseur d'isolant (mm)	Coefficient K ($W/m^2\text{C}$)	Ecart de température conseillé ($^{\circ}\text{C}$)	Utilisation jusqu'à environ
50	0.39	20	-4
60	0.32		
75	0.26	34	-10
80	0.24		
100	0.19	45	-20
125	0.15	56	-30
150	0.13	70	-45
160	0.12		
180	0.11		
200	0.10		

8.4.2.2 Charge thermique due au renouvellement d'air Q_{re}

Il est prévu un renouvellement de l'air ambiant dans certaines chambres froides.

Le renouvellement consiste au remplacement d'une partie de l'air de la chambre froide par de l'air extérieur.

La quantité d'air neuf admise doit être refroidie de la température extérieure à la température de la chambre froide et constitue donc une charge thermique.

La charge thermique par renouvellement d'air a pour valeur :

$$Q_{re} = m_{ae} \times \Delta h$$

Q_{re} : charge thermique par renouvellement d'air en W

m_{ae} : débit massique de l'air extérieur admis en kg/s

Δh : différence d'enthalpie entre l'air extérieur et l'air de la chambre froide en J/kg

Le débit massique de l'air extérieur admis peut s'obtenir par la relation suivante :

$$m_{ae} = \frac{V_{ae} \times \rho_{aa}}{86400}$$

m_{ae} : débit massique de l'air extérieur admis en kg/s

V_{ae} : débit volumique d'air extérieur en m³/j

ρ_{aa} : masse volumique de l'air dans la chambre froide en kg/m³

(86 400 = nombre de secondes dans une journée)

Le débit volumique peut être obtenu par la relation suivante :

$$V_{ae} = n \times V$$

V_{ae} : débit volumique en m³/j

V : volume de la chambre froide en m³

n : taux de renouvellement de l'air extérieur

n (en j⁻¹) peut être déterminé par la relation : $n = \frac{70}{\sqrt{V}}$ avec V en m³

Le taux de renouvellement est lié au trafic des produits, des machines et des personnes entre l'extérieur et l'intérieur de la chambre froide.

Plus le trafic est intense, plus le taux de renouvellement est élevé.

Lorsque le trafic est intense, dans la formule exprimant n, 70 peut être remplacé par 100.

D'après ce qui précède, la chaleur due au renouvellement d'air peut s'exprimer :

$$Q_{re} = \frac{n \times V \times \rho_{aa} \times \Delta h}{86400}$$

Q_{re} : chaleur due au renouvellement de l'air en W

n : taux de renouvellement de l'air par jour

V : volume intérieur de la chambre froide en m³

ρ_{aa} : masse volumique de l'air dans la chambre froide en kg/m³

Δh : différence d'enthalpie entre l'air extérieur et l'air ambiant de la CF en J/kg

8.4.2.3 Charge thermique par ouverture des portes Q_{op}

Pour les petites chambres froides, le calcul du renouvellement d'air est suffisant.

Par contre pour les chambres froides de grand volume comportant plusieurs portes, on suppose presque toujours qu'il n'y a que très rarement ouverture simultanée de plusieurs portes et le calcul est effectué pour une seule porte.

La charge thermique par ouverture des portes s'obtient par la relation suivante

$$Q_{op} = 8 + (0.067 \times \Delta T) \times t_{ouv} \times \rho_{aa} \times l \times h \times A \times C_{min}$$

$$A = (h_{ae} - h_{aa}) \times (h \times (1 - \frac{\rho_{ae}}{\rho_{aa}}))^{\frac{1}{2}}$$

A est un facteur qui se calcule comme suit :

Q_{op} : charge thermique par ouverture des portes en W

ΔT : Ecart de température de l'air entre les 2 côtés de la porte en °C

t_{ouv} : temps d'ouverture des portes exprimé en mn/h

ρ_{aa} : masse volumique de l'air dans la chambre froide en kg/m³

ρ_{ae} : masse volumique de l'air de l'autre côté de la porte en kg/m³

h_{aa} : enthalpie de l'air dans la chambre froide en KJ/kg

h_{ae} : enthalpie de l'air de l'autre côté de la porte autre que la chambre froide en KJ/kg

l : largeur de la porte en m

h : hauteur de la porte en m

C_{min} : coefficient de minoration dû à la présence éventuelle d'un rideau d'air

(C = 1 dans le cas d'une porte sans rideau et C = 0.25 en présence d'un rideau)

Détermination du temps d'ouverture des portes d'une chambre froide

Ce calcul débute par la détermination du tonnage entreposable dans la chambre froide.

A partir de cette valeur, une estimation du flux horaire maximal de marchandises entrant ou sortant (stockage ou déstockage).

Le temps moyen pendant lequel la porte d'une chambre froide reste ouverte pour permettre le transit de 1 tonne d'un type de marchandise est donné par l'expérience.

On procède alors au calcul du temps nécessaire (porte ouverte) pour permettre le passage de la marchandise considérée.

Le temps moyen pendant lequel la porte d'une chambre froide reste ouverte pour permettre le transit de 1 tonne d'un type de marchandise donné comprend le temps nécessaire au passage à l'aller (à plein ou à vide) et le temps nécessaire au retour (à vide ou à plein).

$$t_{ouv} = d_t \times \frac{f_j}{24}$$

t_{ouv} : temps d'ouverture en mn/h

d_t : durée moyenne d'ouverture des portes pour permettre le passage des marchandises en minute par tonne (mn/t) - voir tableau 11.9

f_j : flux journalier de marchandises en tonne/jour (t/j)

Tableau 8.9 : Durée moyenne de transit de différents types de marchandises entreposées en chambre froide.

Type de porte	Type de marchandise	d_t (mn/t)
Porte à ouverture manuelle	Cas de la viande animale sur pendoir	15
	Cas des marchandises palettisées	6
Porte automatique commandée	Cas de la viande animale sur pendoir	1
	Cas des marchandises palettisées	0.8

La contenance totale C d'une chambre froide peut être calculée suivant la formule suivante :

$$C = A \times H \times d_e \times \eta_0$$

C : contenance de la chambre froide en Kg

A : surface de la chambre froide en m²

H : hauteur maximale de gerbage en m

d_e : densité d'entreposage en kg/m³ (voir tableau 8.7)

η_0 : coefficient d'occupation au sol des marchandises en % (voir tableau 8.10)

Tableau 8.10 : Coefficients d'occupation du sol d'une chambre froide en fonction du type d'entreposage des marchandises.

Type d'entreposage	η_0
Entreposage de marchandises réfrigérées palettisées à faible rotation	0.65...0.70
Entreposage de marchandises réfrigérées palettisées à rotation rapide	0.45...0.50
Entreposage de marchandises congelées palettisées à faible rotation	0.75...0.80
Entreposage de marchandises congelées palettisées à rotation rapide	0.50...0.60

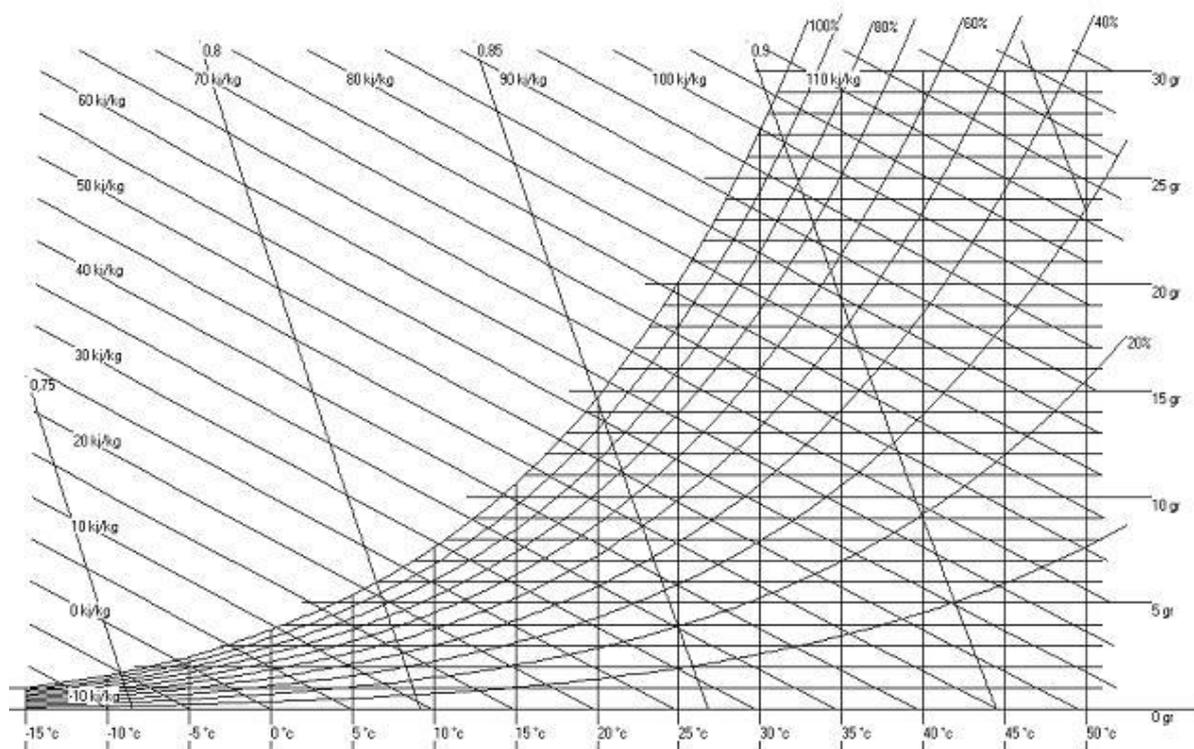


Figure 8.2 : Diagramme de l'air humide.

8.4.3 Charges thermiques internes

8.4.3.1 Charges thermiques internes indépendantes des produits entreposés

8.4.3.1.1 Charge thermique due à l'éclairage

Les luminaires des chambres froides classiques doivent pouvoir résister au froid, à l'humidité, être étanches à l'eau, être protégés des contacts avec tous objets (degré de protection IP 68) et être insensibles aux effets de la poussière.

L'éclairage nominal habituellement prévu oscille entre 60 et 100 lux ce qui fait que l'on peut adopter une charge thermique d'environ **6 W/m²** au sol.

La charge thermique due à l'éclairage se calcule d'après la formule :

$$Q_{ec} = \frac{n \times P \times t}{24}$$

Q_{ec} : charge thermique due à l'éclairage en W

n : nombre de luminaires

P : puissance de chaque luminaire en W

t : durée de fonctionnement des luminaires en h/j

8.4.3.1.2 Charge thermique due aux personnes

La charge thermique due aux personnes se calcule d'après la formule :

$$Q_{pe} = \frac{n \times q_p \times t}{24}$$

Q_{pe} : charge thermique due aux personnes(en W

n : nombre de personnes opérant dans la chambre froide

q_p : quantité de chaleur dégagée par unité de temps par une personne en activité en W

t : durée de présence de chaque personne dans la chambre froide en h/j

Le métabolisme d'une personne en activité dans une chambre froide est liée à la température intérieure de celle-ci.

Le tableau 8.11 donne le métabolisme d'une personne en activité dans une chambre froide en fonction de la température de celle-ci.

Tableau 8.11 : Quantité de chaleur dégagée par unité de temps par une personne en activité moyenne dans une chambre froide.

Température de la chambre froide (°C)	Quantité de chaleur dégagée par personne
20	180
15	200
10	210
5	240
0	270
-5	300
-10	330
-15	360
-20	390
-25	420

8.4.3.1.3 Charge thermique due au matériel roulant

La charge thermique due au matériel roulant (chariots élévateurs et transpalettes) se calcule comme suit :

$$Q_m = \frac{n \times P \times t}{24}$$

Q_m : charge thermique due au matériel roulant en W

n : nombre de matériels roulants d'un type donné

P : puissance totale de chaque type de matériel en W

t : durée de fonctionnement du matériel roulant en h/j

8.4.3.1.4 Charge thermique due à des machines diverses

La charge thermique due aux machines diverses (étuves, cutters, hachoirs...) se calcule comme suit :

$$Q_{md} = \frac{n \times P \times t}{24}$$

Q_{md} : charge thermique due aux machines diverses

n : nombre de personnes opérant dans la chambre froide

P : puissance de chaque type de machine en W

t : durée de fonctionnement de chaque type de machine en h/j

8.4.3.2 Charges thermiques internes dépendantes des denrées entreposées

8.4.3.2.1 Charge thermique due aux denrées entrantes Q_{de}

Les produits introduits se trouvent presque toujours à une température supérieure à la

température de la chambre froide. Ils dégagent une certaine quantité de chaleur aussi longtemps que leur température n'est pas tombée à la température d'entreposage.

La charge due aux produits entrants est donnée par la formule suivante :

$$Q_{de} = \frac{m \times (C1 \times (T1 - T2) + L + C2 \times (T2 - T3))}{86400}$$

Qde : charge thermique due aux denrées entrantes

m : masse de denrée introduite chaque jour en kg

C1 : capacité thermique massique avant congélation des denrées en J/kg°C

C2 : capacité thermique massique après congélation des denrées en J/kg°C

L : chaleur latente de congélation de la denrée introduite en J/kg

T1 : température initiale de la denrée introduite en °C

T2 : température de congélation de la denrée introduite en °C

T3 : température d'entreposage des denrées en °C

Lorsqu'il ne s'agit que de denrées non congelées à réfrigérer, la formule ci dessus se résume à :

$$Q_{de} = \frac{m \times C1 \times (T1 - T2)}{86400}$$

Dans ce cas de figure, T2 est la température d'entreposage des denrées (T2 est supérieure à la température de congélation de la denrée introduite).

Lorsqu'il s'agit de denrées congelées à conserver dans une chambre froide dont la température est inférieure à la température de congélation de ces denrées, la formule ci dessus va s'écrire :

$$Q_{de} = \frac{m \times C2 \times (T2 - T3)}{86400}$$

Dans ce cas de figure, T2 est la température initiale de la denrée introduite et T3 est la température d'entreposage de la chambre froide.

Le tableau 8.14 donne les capacités thermiques massiques de certaines denrées.

La capacité thermique massique d'un produit ou d'une denrée est liée à sa composition surtout à sa teneur en eau. Les formules suivantes donnent avec une bonne approche la capacité thermique connaissant la teneur en eau et la teneur en matière solide du produit :

$$c = \frac{a + 0.46 \times b}{100}$$

Capacité thermique avant congélation :

$$c' = \frac{0.5 \times a + 0.46 \times b}{100}$$

Capacité thermique après congélation :

Avec :

a : teneur en eau

b: teneur en matière solide

c et c' s'expriment en kCal/kg°C

Par exemple pour l'eau : a = 100, b= 0, c = 1 kCal/kg°C, c' = 0.5 kCal/kg°C.

La charge thermique due aux denrées entrantes peut être obtenue également en utilisant les enthalpies des denrées comme suit :

$$Q_{de} = \frac{m \times \Delta h}{86400} \quad \text{avec :}$$

Qde : charge thermique due aux denrées entrantes

m : masse de denrée introduite chaque jour en kg

Δh : différence entre les enthalpies massiques des denrées à l'introduction et à la température de conservation dans la chambre froide en J/kg - voir tableau 8.12

Tableau 8.12 : Enthalpie massique en kJ/kg de quelques denrées entreposables en chambre froide.

Denrée	Températures (°C)												
	-20	-18	-15	-12	-10	-5	0	5	10	15	20	25	30
Beurre	0	4.2	10.9	17.6	22.6	36.8	93	108	126	147	172		
Fruits	0	6.7	17.2	29.7	39.4	83	272	291	309	328	347	366	
Lait, condensé					0	10.9	21.8	32.7	43.5	54.4	65.3	76.2	87
Lait, écrémé					0	37.7	291	310	330	350	370	390	410
Poissons, filets	0	5.4	14.6	25.5	34.7	67	282	300	318	337	355	373	
Poisson, gras	0	5	14.2	24.3	32.7	61.5	249	266	283	301	317	354	
Viande, abats	0	5	13.8	24.3	33.1	62.8	261	279	296	314		349	366

8.4.3.2.2 Charge thermique due à la respiration des denrées Qres

Les produits végétaux (fruits et légumes) dégagent de la chaleur du fait de leur respiration.

Il faut tenir compte de la charge correspondante qui a pour valeur :

$$Q_{res} = \frac{m \times q_{resp}}{86400}$$

Qres : chaleur due à la respiration des denrées en W

m : masse de marchandise considérée en kg

q_{resp} : chaleur de respiration de la marchandise considérée en J/kg/j

**Tableau 8.13 : Chaleur massique de respiration de certaines denrées
(fruits et légumes).**

Denrée	Chaleur massique de respiration			Denrée	Chaleur massique de respiration		
	(kJ/t.h) à				(kJ/t.h) à		
	0°C	10°C	20°C		0°C	10°C	20°C
Ail	54	293	572	Haricots verts	279	663	1 745
Ananas mures	89	229	300	Oignons	250	712	2 195
Bananes mures		337	698	Oranges	31	98	241
Carottes avec fanes	101	168	412	Petits pois	384	768	2 041
Carottes sans fanes	164	318	1 000	Poivre	131	344	463
Champignons	384	820	2 006	Pommes	53	175	356
Chou	213	691	1 727	Pommes de terre	75	91	143
Chou fleur	181	433	1 211	Tomates vertes	28	125	331
Fraises	134	506	865	Tomates mures	58	125	323

8.4.3.2.3 Charge thermique due à la fermentation des denrées Q_{ferm}

Les produits tels que les fromages dégagent de la chaleur du fait de leur fermentation. Il faut tenir compte de la charge correspondante qui a pour valeur :

$$Q_{ferm} = \frac{m \times q_{ferm}}{86400}$$

Q_{ferm} : chaleur due à la fermentation des denrées en W

m : masse de marchandise considérée en kg

q_{ferm} : chaleur de fermentation de la marchandise considérée en J/kg/j

Tableau 8.14 : Teneur en eau, point de congélation, capacité thermique massique et chaleur latente de congélation de certaines denrées.

Denrée	Teneur en eau %	Point de congélation haut °C	Capacité thermique massique		Chaleur latente de congélation kJ/kg
			Avant congélation	Après congélation	
Ail séché	61.3	-2	2.89	1.67	207
Ananas immatures		-1			
Ananas matures	85.3	-1.1	3.68	1.88	283
Aubergines	92.7	-0.78	3.94	2.01	307
Bananes	74.8	-1	3.47	1.76	251
Betteraves	87.6	-1.05	3.85	1.93	293
Beurre	15.5	-5.55	2.3	1.42	197
Bière	90	-2.22	3.81		300
Cacao, en poudre	0.5			2.1	
Café, vert	10		1.26	1	33
Carottes immatures	88.2	-1.39	3.77	1.93	293
Carottes matures	83	-1.35	3.77	1.93	276
Céréales, sèches	0...28		1.26...2.26		
Champignons	91.1	-0.98	3.89	1.97	302
Chou	84.9	-0.83	3.68	1.93	283
Chou fleur	91.7	-1.06	3.89	1.97	307
Citrons	85	-1.45	3.81	1.93	285
Concombres	96	-0.6	4.06	2.05	318
Crème	72.5		2.8	1.59	197
Crème glacée	65		3.27	1.76	242
Crevettes	77		3.39	1.8	260
Dattes	20	-15.7	1.51	1.09	67
Farine	13		1.84		
Fraises	89.9	-1.16	3.89	1.93	300
Fromage à pâte	50...35		2.51...1.88	1.67...1.26	176...109
Fromage blanc	80		2.93	1.88	268
Fruits, en général	84	-2	3.64	1.97	281
Eau	100	0	4.19	2.1	335
Gombo, cosses de	89.8	-1.83	3.85	1.93	297
Goyave	83		3.6		
Haricots verts	88.9	-1	3.85	1.97	297
Huile alimentaire	0		1.67	1.47	
Jambon, frais	54		2.64	1.51	179
Jambon, salé	45		2.34	1.38	149
Jus, en général	89		3.81	1.97	297
Lait entier	88	-0.56	3.85	1.93	293
Lait entier condensé	28		1.76		93
Lait concentré sucré	74		3.01		247
Lait en poudre	2.6		1.46		9
Légumes, en général	88	-1.4	3.77	1.93	295
Levure de boulanger	70.9		3.22	1.72	237
Maïs, immature	73.9	-1	3.31	1.76	246
Mangues	81.4	-0.94	3.56	1.84	272
Miel	18		1.46	1.09	60
Noix de coco	46.9	-0.89	2.43	1.42	156
Œufs	70	-1	3.18	1.67	226
Oranges	84		3.85	1.84	285
Papayes	90.8	-0.89	3.43	1.97	302
Petits pois	74.3	-1.09	3.31	1.76	246
Poisson, maigre à gras	85...62	-2.22	3.6...2.93	1.88...1.59	283...206
Pommes	84.1	-2	3.85	1.88	281
Pommes de terre	81.2	-0.61	3.56	1.84	270
Tomates immatures	93	-0.56	3.98	2.01	311

Tomates mures	94.1	-0.7	3.94	2.05	414
Viande, maigre à gras	77...40	-1.5	3.18...2.1	1.76...1.42	251...167
Foie, congelé	70	-1.7		1.72	232
Volaille, maigre à gras	74	-2.8	3.18...3.1	1.76...1.67	247

8.4.4 Puissances frigorifiques de l'évaporateur

A ce stade du calcul, on détermine la **puissance frigorifique intermédiaire** P_{int} que les évaporateurs devront assurer afin de couvrir la charge thermique intermédiaire Q_{int} .

La charge frigorifique intermédiaire Q_{int} (en W) est la somme des charges thermiques calculées précédemment :

$$Q_{int} = Q_{tr} + Q_{re} + Q_{op} + Q_{ec} + Q_{pe} + Q_m + Q_{m2} + Q_{de} + Q_{resp} + Q_{ferm}$$

En désignant par t_{inst} la durée journalière de fonctionnement de l'installation frigorifique en heures, la puissance frigorifique intermédiaire de l'évaporateur P_{int} (en W) s'écrit :

$$P_{int} = \frac{Q_{int} \times 24}{t_{inst}}$$

En général la durée de marche de l'installation frigorifique (t_{inst}) est de 18 heures par jour pour les produits congelés et de 16 heures par jour dans les autres cas.

Pour les installations industrielles, la durée de fonctionnement de l'installation va de 18 à 20 heures par jour tandis que pour les installations commerciales, cette durée va de 14 à 16 heures par jour.

La puissance effective doit intégrer le calcul des charges dues aux moteurs des ventilateurs et aux résistances de dégivrage.

Ces charges nécessitent de connaître le nombre et le type d'évaporateurs prévus (indications qui seront normalement connues qu'une fois le bilan frigorifique établi).

La détermination provisoire des évaporateurs se fait à partir du calcul de la **puissance frigorifique prévisionnelle** P_{prev} en ajoutant 20% à la puissance frigorifique intermédiaire.

Après le choix de ou des évaporateurs et le calcul des charges dues aux moteurs de ceux-ci et aux résistances électriques de dégivrage, la puissance frigorifique calculée peut être comparée à la puissance frigorifique prévisionnel

8.4.5 Charge thermique due aux moteurs des ventilateurs des évaporateurs

La charge thermique due aux moteurs des ventilateurs des évaporateurs s'écrit :

$$Q_{vent} = \frac{n \times P \times t_{evap}}{24}$$

Q_{vent} : charge thermique due aux moteurs des évaporateurs en W

n : nombre de moteurs de ventilateurs

P : puissance du ventilateur considérée en W

t_{evap} : durée de fonctionnement des ventilateurs en h/j

t_{inst} : durée de marche de l'installation frigorifique en h/j

La charge thermique due aux moteurs des ventilateurs des évaporateurs est aussi appelée charge thermique due au brassage de l'air.

Cette charge peut être déterminée également à partir :

du débit de brassage de l'air (débit de soufflage des ventilateurs des évaporateurs)

de la hauteur manométrique (perte de charges) des ventilateurs

du rendement de transmission entre le moteur et le ventilateur de l'évaporateur

La charge thermique due au brassage de l'air s'écrit :

$$Q_{vent} = \frac{D \times \Delta P \times t_{evap}}{\eta \times 24}$$

D : débit de brassage en m^3/s

ΔP : hauteur manométrique des ventilateurs en Pa

η : rendement de transmission moteur ventilateur

$$J = \frac{m^2 \times kg}{s^2} \quad Pa = \frac{kg}{m \times s^2}$$

8.4.6 Charge thermique due aux résistances de dégivrage

Il existe différents systèmes de dégivrage d'un évaporateur mais il s'agit souvent de résistances électriques.

La charge thermique due aux résistances de dégivrage s'écrit :

$$Q_{deg} = \frac{n \times P \times t_{deg}}{t_{inst}}$$

Q_{deg} : charge thermique due aux résistances de dégivrage en W

n : nombre de résistances électriques

P : puissance calorifique de chaque résistance d'un type donné en W

$t_{dég}$: durée journalière de dégivrage en h/j

t_{inst} : durée de marche de l'installation frigorifique en h/j

Tableau 8.15 : Nombre et durée des périodes de dégivrage à prévoir pour différentes chambres froides et meubles frigorifiques.

Type de chambre froide ou de meuble frigorifique		Nombre et durée des périodes de dégivrage (min/d)
Groupe I	Chambre froide de produits congelés	2 x 60 min/d
	Chambre froide sans chauffage	
	Meuble îlot	
	Armoire frigorifique	
	Présentoir frigorifique à viande en air recyclé sans chauffage	
	Présentoir frigorifique à pâtisserie à ventilation naturelle	
Groupe II	Resserre à viande	4 x 20 min/d
	Séchoir à saucissons	
	Chambre de saumurage	
	Chambre de maturation	
Groupe III	Chambre froide à produits laitiers	3 x 20 min/d
	Chambre froide à fruits et légumes	

8.4.7 Puissance frigorifique effective de l'évaporateur

La puissance frigorifique effective de l'évaporateur s'obtient en ajoutant à la puissance frigorifique intermédiaire de celui-ci, les puissances dues aux charges thermiques des moteurs des ventilateurs et des résistances de dégivrage.

Après le calcul de cette puissance effective, on peut la comparer à la puissance effective prévisionnelle.

En général la différence entre ces deux puissances est faible.

Pour la sélection des évaporateurs, on peut adopter des coefficients de sécurité allant de 20 à 50%.

8.5 CHOIX DES EQUIPEMENTS DE L'INSTALLATION FRIGORIFIQUE

1.5.1 Choix de l'évaporateur

Dans les chambres froides, les évaporateurs sont en général en convection forcée avec les ventilateurs placés sur la face avant.

Ils sont montés en hauteur juste en dessous du plafond de la chambre froide de telle manière que le soufflage de la veine d'air primaire (sortant de l'évaporateur) soit au dessus des denrées stockées, ce qui va induire des mouvements d'air secondaire dans la zone d'entreposage des produits. Une telle circulation de l'air permet à l'évaporateur de jouer efficacement son rôle.

La sélection pratique des évaporateurs s'effectue sur la base des recommandations du constructeur. Un point important de la sélection concerne l'écartement des ailettes.

On rencontre des évaporateurs dont l'écartement entre ailettes (pas) est :

de 4.5 mm, ils conviennent pour les installations dont la température d'évaporation est supérieure ou égale à 0°C

de 7 mm, ils conviennent aux resserres à viande et aux chambres froides de congélation

de 12 mm, ils conviennent pour les installations dont la température d'évaporation est inférieure à -3°C avec des apports en humidité élevés (réfrigération rapide)

La sélection d'une chambre froide est fonction de la destination de la chambre froide projetée.

Elle se base également sur la température d'évaporation et sur la différence entre la température ambiante (température intérieure de la chambre froide) et la température d'évaporation.

Des corrections peuvent être apportées sur cet écart de température en fonction des conditions normales de fonctionnement (température d'évaporation etc

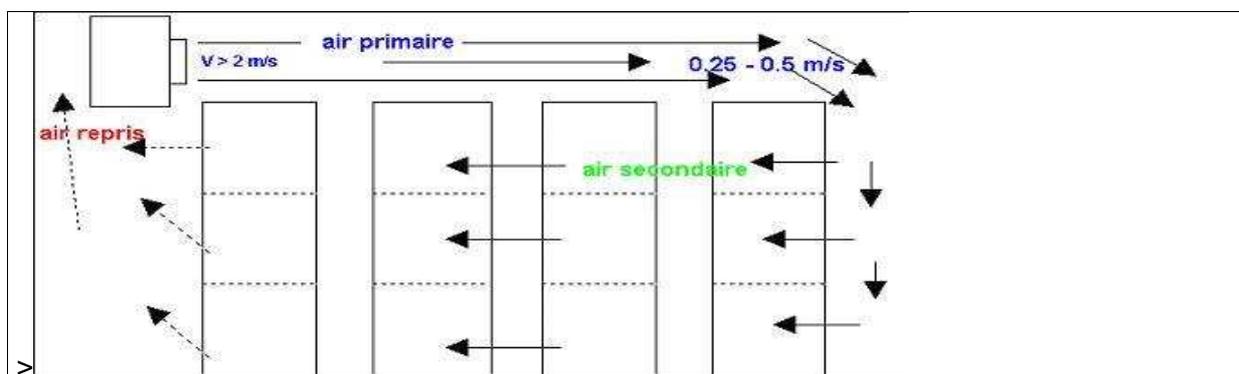


Figure 8.3 : Répartition idéale des veines d'air dans une chambre froide.

8.5.2 Choix du compresseur ou du groupe de condensation

Le compresseur est choisi sur une même base que l'évaporateur, c'est-à-dire pour une même puissance frigorifique et les mêmes conditions de fonctionnement (température d'évaporation, température de condensation).

La sélection pratique du compresseur est effectuée sur la base des tableaux ou diagrammes du constructeur. Les données constructeur sont généralement établies sur la base de la norme internationale ISO DIS 9 309 (température à l'aspiration de 25°C sans sous refroidissement du liquide).

Pour le groupe de condensation (association compresseur condenseur bouteille liquide), la sélection est pratiquement identique à la sélection d'un compresseur. Une des variables d'entrée pour la sélection du groupe est la température d'entrée du fluide de refroidissement (air) et non pas la température de condensation du FF (pour la sélection du compresseur).

8.5.3 Choix du condenseur

La sélection pratique d'un condenseur à air est généralement déterminée sur la base de :

la température d'entrée de l'air au condenseur

la température de condensation

l'écart de température entre la température de condensation et la température d'entrée de l'air au condenseur

Les catalogues (tableaux ou diagrammes) fournisseurs donnent la démarche à suivre pour la sélection de ces équipements.

Des tableaux ou diagrammes annexes permettent de déterminer les coefficients de correction à appliquer s'il y'a lieu.

8.5.4 Choix du détendeur thermostatique

La sélection pratique d'un détendeur s'effectue sur la base de données des catalogues constructeurs.

Dans les catalogues, un détendeur se sélectionne en fonction de sa capacité nominale (puissance frigorifique) aux conditions nominales, c'est-à-dire pour une température d'évaporation donnée, une température donnée du FF à l'entrée du détendeur et une certaine chute de pression entre l'amont et l'aval du détendeur.

Les conditions de fonctionnement étant en général différentes des conditions nominales, des corrections s'imposent. En désignant par Q_0 la puissance frigorifique nécessaire, la capacité nominale Q_n du détendeur thermostatique à sélectionner s'écrit :

$$Q_n = K_{\Delta p} \times K_t \times Q_0$$

Q_n : capacité nominale du détendeur

$K_{\Delta p}$: facteur de correction pour différentes chutes de pression

K_t : facteur de correction pour différentes températures d'évaporation et d'entrée du liquide au détendeur

Q_0 : puissance frigorifique nécessaire

Les différents facteurs de correction sont donnés dans les catalogues constructeurs.

8.5.5 Choix de l'électrovanne

La sélection pratique d'une électrovanne s'effectue sur la base de données des catalogues constructeurs.

Dans les catalogues, une électrovanne se sélectionne en fonction du diamètre de la tuyauterie sur laquelle elle sera montée, de la conduite concernée (liquide, gaz, aspiration) et de sa capacité nominale (puissance frigorifique) aux conditions nominales, c'est-à-dire pour des températures d'évaporation et de condensation données et une certaine chute de pression entre l'amont et l'aval de l'électrovanne.

Les conditions de fonctionnement étant en général différentes des conditions nominales, des corrections s'imposent. En désignant par Q_0 la puissance frigorifique nécessaire, la capacité nominale Q_n de l'électrovanne à sélectionner s'écrit :

$$Q_n = K_{\Delta p} \times K_t \times Q_0$$

Q_n : capacité nominale de l'électrovanne

$K_{\Delta p}$: facteur de correction tenant compte de la chute de pression

K_t : facteur de correction tenant compte des températures réelles de fonctionnement

Q_0 : puissance frigorifique nécessaire

Les différents facteurs de correction sont donnés dans les catalogues constructeurs.

Les mises en service constituent les modes opératoires sur les installations frigorifiques et dans une certaine mesure les opérations liées aux dépannages, à savoir :

la recherche de fuites de FF

le tirage au vide

le cassage du vide

la charge en FF d'une installation frigorifique

le complément de charge en FF d'un installation frigorifique

la vérification du bon fonctionnement et les réglages divers

le brasage

le soutirage et le complément d'huile

la récupération des FF

9. Mise en service

La mise en service

Actions préliminaires à la mise sous tension :

1. Tirage au vide.
2. Casser le vide à l'azote sec et vérifier les fuites au milles-bulles (on peut remplacer l'azote par du fluide frigo et dans ce cas on peut utiliser une lampe haloïde ou un détecteur électronique).
3. Fin du tirage au vide.
4. Préréglage des pressostats (réglages théoriques).
5. Préréglage du thermostat (sauf si électronique).
6. Réglage des relais thermiques des moteurs de ventilateurs (vous trouverez l'intensité absorbé sur la plaque signalétique du moteur).
7. Préréglage du relais thermique du moteur du compresseur (prérégalez le à l'intensité nominale du moteur qui l'entraîne).
8. Vérification du calibre des fusibles du sectionneur.
9. Pré charge (ou charge au cylindre quand nous connaissons la quantité de fluide à mettre dans l'installation).

Évidement, vous pourrez effectuer certaines de ces opérations pendant le tirage au vide.

Actions à réaliser après le démarrage :

1. Préparez les sondes nécessaires à la mesure de la surchauffe, du sous-refroidissement et des D_{qtotal} .
2. Attendre le régime permanent. Vous devrez sûrement ajouter un peu de fluide. Le voyant de liquide et le fonctionnement de l'installation vous guiderons pour cela (sous-refroidissement nul, peu de fluide au voyant, impossibilité de descendre en température).

Actions à réaliser pendant le régime permanent :

1. Appoint de charge si nécessaire jusqu'à avoir un sous-refroidissement compris entre 4 et 7°C.
2. Modification du réglage du détendeur si la surchauffe n'est pas comprise entre 5 et 8°C.
3. Vérification des D_{qtotal} évaporateur et condenseur.
4. Réglage du relais thermique du moteur du compresseur à la pince ampèremétrique (il doit être réglé en prenant l'intensité absorbée par ce moteur quand la température de chambre froide à sa valeur maximale).
5. Réglage final des pressostats BP et HP.
6. Réglage final du thermostat.
7. Remplir un compte rendu de mise en service qui comporte tout les paramètres de fonctionnement de la chambre froide (HP, BP, réglages...) Cela sera utile en cas de panne.

9.1 MATERIEL DE MISE EN SERVICE

Le matériel nécessaire peut se décomposer comme suit :

le matériel fluïdique (bipasse de service avec 3 flexibles : manifold)

l'outillage (clés à cliquet, clés Allen, tournevis pour vis à fente , à empreinte Pozidriv, à empreinte Philipps, pinces, clés mixtes...)

l'outillage pour les tubes (cintreuses, coupe tubes, ébavureurs, dudgeonnières pour tubes, poste de soudure portable, paquet de brasure, boîte de décapant, redresseur d'ailette, évaseur de tube, pince à obturer les tubes, pince à perforer les tubes...)

l'outillage électrique (pince à dénuder, tournevis isolés pour vis, lampe électrique de poche...)

les appareils de mesure (multimètre, pince ampèremétrique, anémomètre, hygromètre, thermomètre électroniques avec sondes d'ambiance, de contact, d'immersion et à piquet)

le matériel pour la détection de fuites (détecteur de fluides électronique, mousse à savon, lampe haloïde)

le matériel pour le remplissage (balance de charge électronique et/ou cylindre de charge, pompe à huile manuelle)

le matériel pour le vide (pompe à vide, vacuomètre)

le matériel pour la récupération de FF (station de récupération, bouteilles de récupération)

le matériel pour le test sur le circuit (test de mesure d'acidité, test de mesure d'humidité)

les raccords (valves à clapet ou valve schrader, bouchons mâles...)

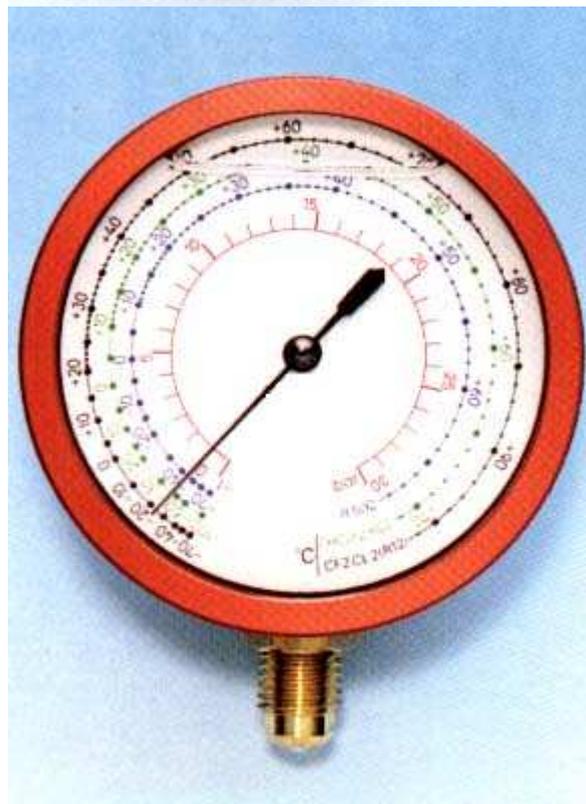
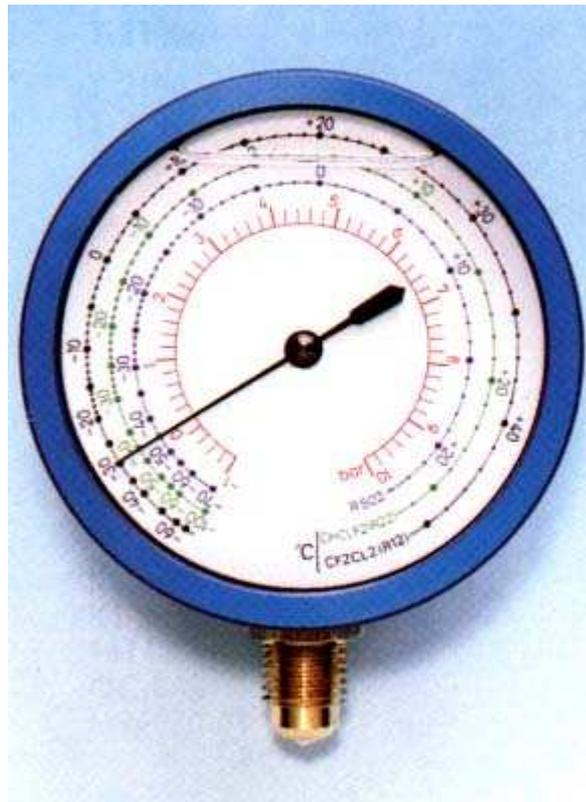


Figure 9.0 : Quelques outillages du frigoriste.

Les manifolds

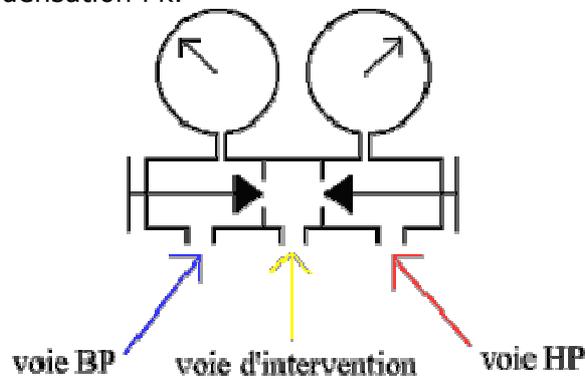
Constitution :

Un jeu de manifolds est composé de deux manomètres : Un BP et un HP

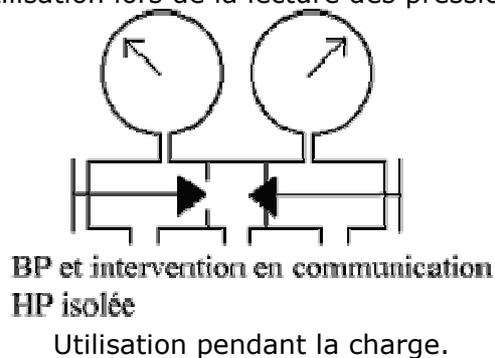
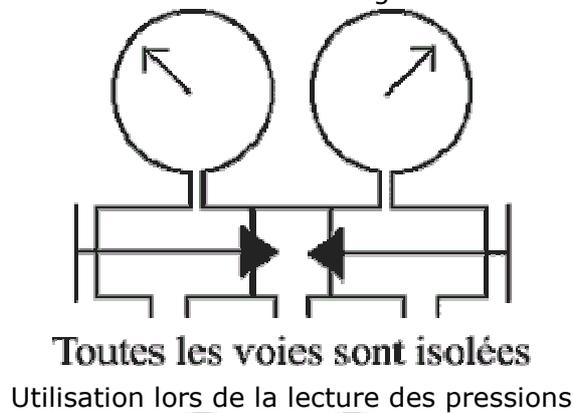
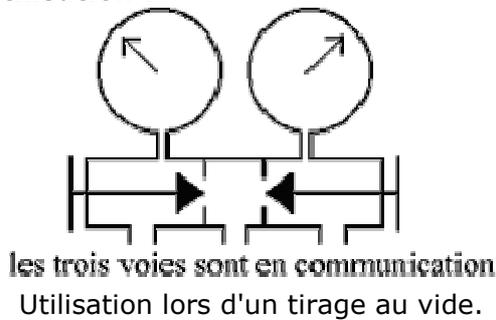


Généralement le manomètre BP est bleu et le HP est rouge. Il en est de même pour les flexibles HP et BP. Chaque manomètre possède une échelle de pression en bar ou psig (ici l'échelle rouge en bar). On distingue aussi des échelles de températures qui correspondent à des températures saturées de fluide frigorigène.

Ces deux manomètres sont compatibles avec le R12 (échelle noire), le R22 (échelle verte) et le R502 (échelle mauve).
 Ces couleurs sont conventionnelles, ce sont aussi celles des emballages de ces fluides frigorigènes.
 Grâce a ces échelles de température on peut appliquer la relation pression température.
 Exemple : Du R22 saturé à 0°C aura une pression de 4 bar.
 On pourra donc considéré (aux pertes de charge près) que le manomètre BP nous donnera la pression d'évaporation P_o et celui HP celle de condensation P_k .



Quelques exemples d'utilisation :



Branchement sur une installation :

On les branche généralement sur les vannes trois voies de service du compresseur.
 Pour cela nous aurons besoin d'une clef a cliquet.



9.2 RECHERCHE DE FUTES

Introduction :

Une fois le montage du circuit frigorifique terminé, il faut rechercher les fuites sur les raccords, les brasures, les joints et tous les éléments qui sont susceptibles de fuir.

Conditions de départ :

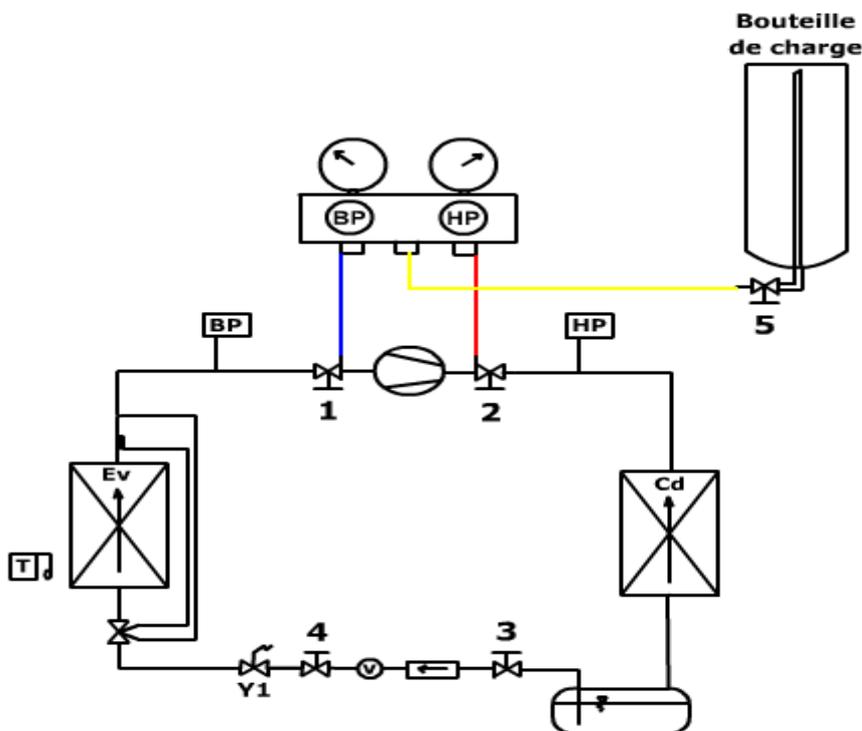
Le montage est terminé, l'installation est remplie d'air. Un déshydrateur usagé est monté sur le circuit. Il faudra le remplacer juste avant le tirage au vide.

Matériel nécessaire :

- Une bouteille de fluide frigorigène.
- Une bouteille d'azote équipée d'un manodétendeur.
- Une clef à cliquet.
- Un détecteur de fuite adapté au fluide frigorigène de l'installation.
- Un jeu de manifolds.

Mode opératoire :

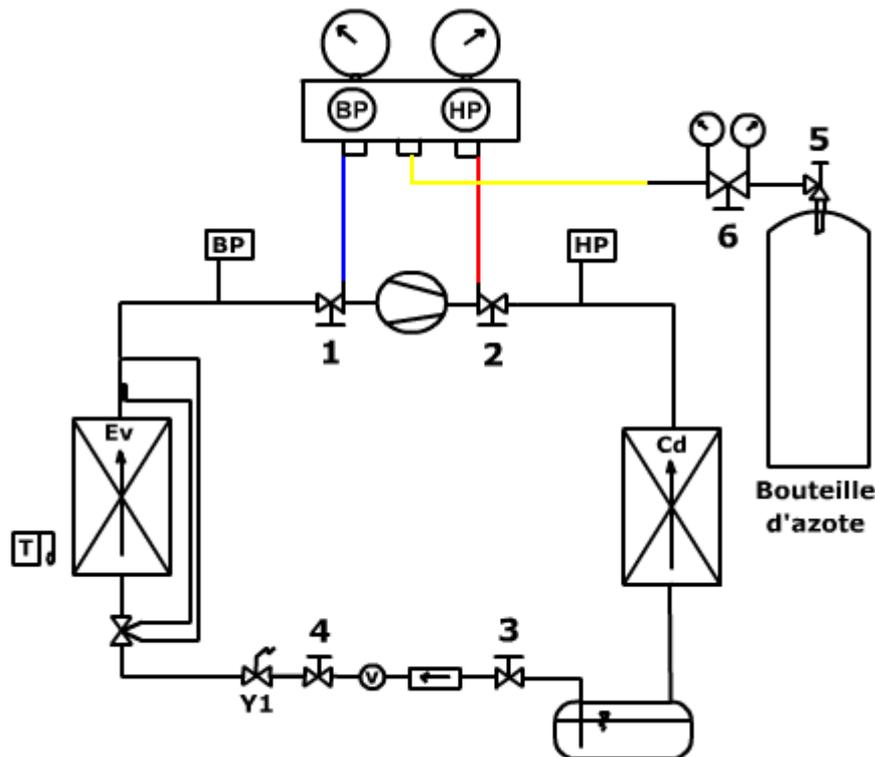
Introduction de fluide frigorigène dans le circuit :



- Raccorder le jeu de manomètre sur l'installation puis la bouteille de charge sur sa voie de service.

- Ouvrir les vannes 3 et 4, les by-pass des manifolds et mettre les vannes 1 et 2 en position intermédiaire.
- Ouvrir la vanne 5 pour introduire un peu de fluide frigorigène dans le circuit. Refermer la vanne 5 et les by-pass des manomètres.
- Débrancher le flexible de la bouteille de charge au niveau de son raccord de vanne 5.

Pressurisation à l'azote :

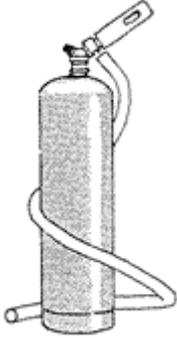


- Raccorder le flexible que vous venez de débrancher sur le raccord du manodétendeur 6. Desserrez le manodétendeur, ouvrez 5 et réglez le manodétendeur pour avoir 10 bar de détente.
- Réouvrez les by-pass des manifolds pour introduire l'azote.
- Rechercher les fuites sur les raccords, les brasures, les joints et tous les éléments susceptibles de fuir en commençant par les parties hautes du circuit frigorifique.
- Une fois la recherche terminée, refermez la vanne 5 et débranchez la bouteille d'azote.
- L'azote et le fluide frigorigène s'échappent de l'installation. Une fois la pression tombée à 0,5 bar, fermez les by-pass des manifolds ainsi que les vannes 3 et 4 et remplacez le déshydrateur par le nouveau. Il faut à présent tirer au vide puis charger le circuit frigorifique.

Technologie de détection de fuites

La détection des fuites sur une installation neuve ou lors d'une intervention sur une installation frigorifique est une chose très importante. Et il faut lui apporter le plus grand soin. Conséquence du Protocole de Montréal, le confinement du fluide frigorigène dans les systèmes est devenu une priorité. *Le décret n°98-560 paru le 30 juin 1998 rend la détection des fuites et leur réparation obligatoires à partir de juin 1999.*

La lampe haloïde :



Une flamme chauffe une plaque de cuivre. En présence de chlore, la flamme devient verdâtre.

Pour fluides chlorés uniquement.

Utilisation inadaptée aux HFC.

Peu fiable pour les fuites de moins de 14 g/ an.

Ne permet pas de quantifier la fuite.

L'eau savonneuse :



Formation de bulles en cas de fuite après pulvérisation d'une solution aqueuse épaisse sur les surfaces ou canalisations à contrôler.

Convient pour la plupart des fluides.

Pas assez précis pour les petites fuites.

Ne permet pas de quantifier la fuite.

La détection électronique à effet Corona :



Lorsqu'un gaz est soumis à un champ électrique, il s'ionise et forme un nuage d'électrons. La présence d'un autre gaz modifie l'ionisation.

Bonne sensibilité aux CFC mais nettement moindre pour les fluides actuels.

La détection électronique à conductivité thermique :

Les oxydes métalliques disposent d'une conductivité thermique qui varie fortement selon les gaz en présence.

Bonne sensibilité aux HFC, mais également pour tous les gaz.

Quantification des fuites possible.
Sensibilité inférieure à 5 g/ an.

Détection électronique à diode chauffée :

Au contact de la surface chaude (> 500°C), l'halogène (Cl-Br-F) est séparé de la molécule et ionisé. Le flux de courant électrique créé est dirigé vers une électrode collectrice. Bonne technologie pour tous les fluides frigorigènes.
Sensibilité inférieure à 5 g/ an.

Détection ultrasonique :

Une fuite émet dans le domaine audible mais aussi dans celui des hautes fréquences. Les fréquences ultrasoniques (20 kHz - 200 kHz) sont converties en sons audibles et s'entendent à l'endroit de la fuite.
Satisfaisant pour tous les fluides frigorigènes.
Sensibilité médiocre à ce jour.

Détection par fluorescence :

On introduit un traceur fluorescent dans l'huile du compresseur. Après homogénéisation, il suffit d'inspecter le circuit avec une lampe émettrice de rayons U.V. Les points luminescents jaune-vert apparaissent à l'endroit des fuites. Satisfaisant pour tous les fluides frigorigènes.
Sensibilité minimale de l'ordre de 7 g/ an.

Détection par coloration :

On introduit un traceur coloré dans l'huile du compresseur. Après homogénéisation, la pression dans le circuit rend la coloration visible à chaque endroit où il y a la fuite. Procédé abandonné en raison de plusieurs risques : nocivité, action sur les joints, problèmes de fonctionnement, etc...

9.3 TIRAGE AU VIDE

Rôle :

Enlever l'air et l'humidité du circuit frigorifique.

Le circuit ne doit pas être sous pression et les fuites ont été recherchées au préalable. Il ne faut jamais laisser un circuit au vide, on doit réaliser au moins une pré charge une fois l'opération terminée.

Conditions de départ :

- La tuyauterie est terminée, les fuites ont été recherchées, le nouveau déshydrateur vient d'être monté.
- Les vannes 3 et 4 sont fermées pour préserver le déshydrateur.

Matériel nécessaire :

- Une pompe à vide.
- Une clef à cliquet.
- Un vacumètre si possible.
- Un jeux de manifolds.

Par exemple, pour une température du circuit frigorifique de 30°C, il faut atteindre une pression de 42.4 mbar (tirer au vide) pour faire passer l'eau de l'état liquide à l'état vapeur (voir figure 9.2).

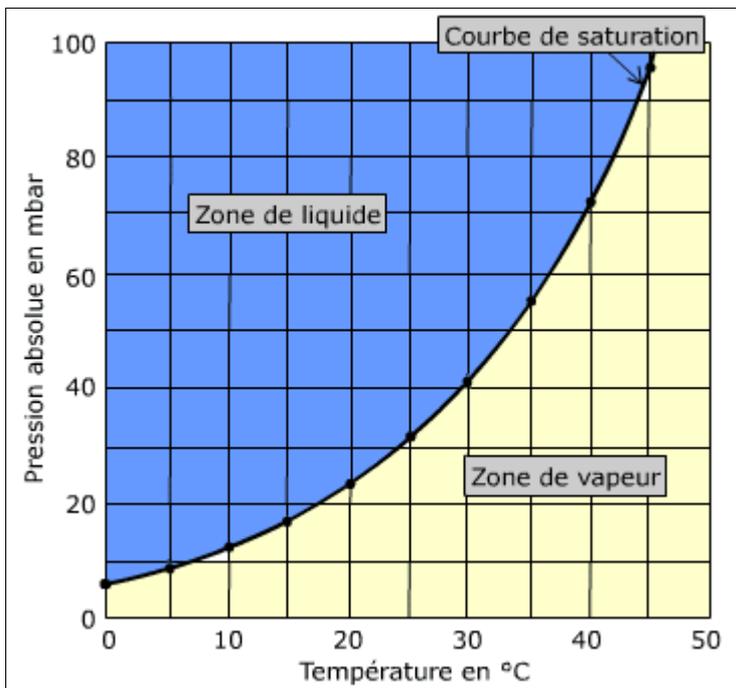
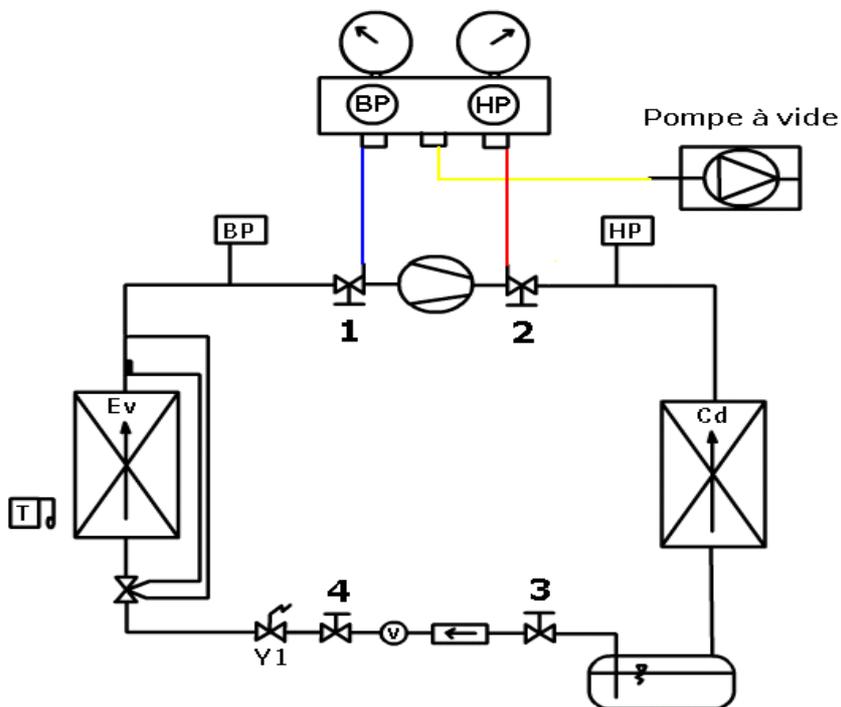


Figure 9.2 : Courbe de saturation de l'eau.

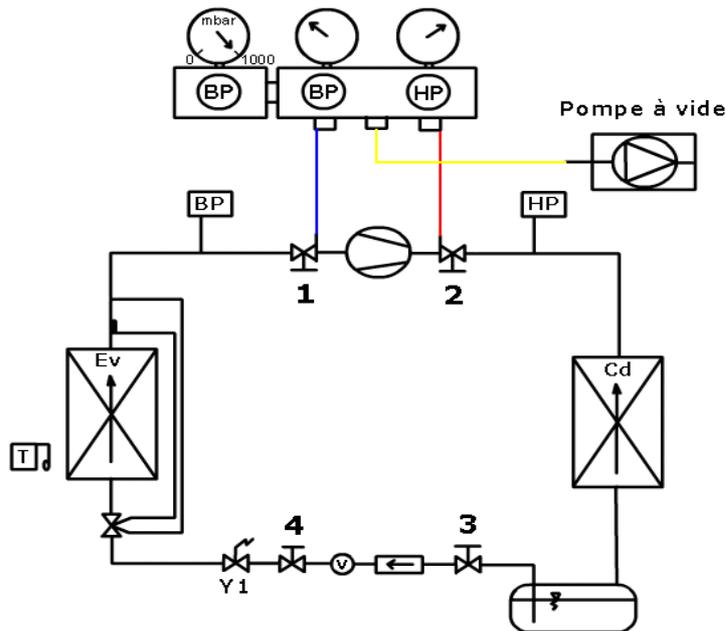
Tirage au vide sans vacumètre :



- Vérifier le niveau d'huile de la pompe à vide puis raccorder la sur la voie d'intervention du jeu de manos.
- Démarrer la pompe à vide.
- Mettre les vannes 1 et 2 en position intermédiaire et vérifier que le circuit ne soit pas sous pression.

- Ouvrir les by-pass du jeux de manifolds, vérifier que la pression diminue sur les aiguilles des manos HP et BP.
- Ouvrir les vannes 3 et 4.
- Au bout d'un moment, refermer les by-pass du jeux de manifolds et vérifier la tenue du vide. Casser le vide à l'azote sec si possible (voir dernier paragraphe du cours).
- Le tirage sera terminé quand les aiguilles des manos HP et BP indiqueront -1 bar.
- A ce moment là, refermer les by-pass HP et BP du jeux de manifolds et arrêter la pompe à vide. Vous réaliserez la charge du système immédiatement.

Tirage au vide avec vacumètre :



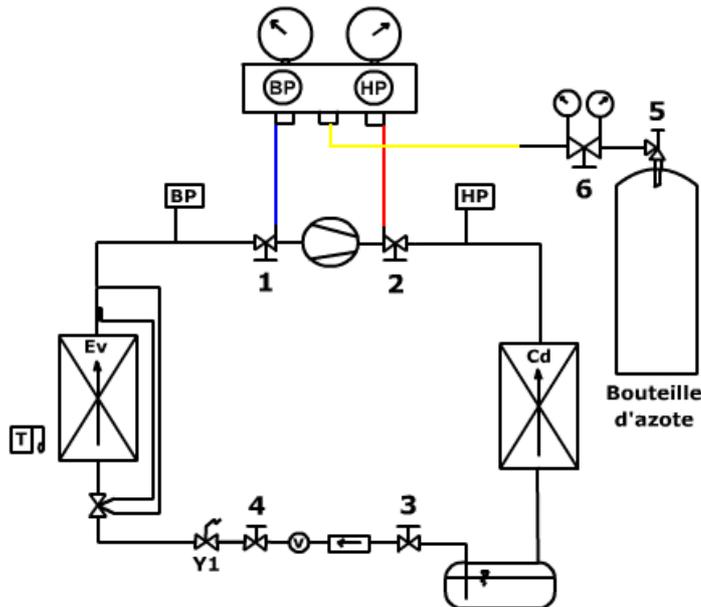
- Utiliser la courbe de relation Pression-Température pour l'eau afin de savoir jusqu'à quelle pression tirer au vide.
- Indiquez votre résultat sur le vacumètre à l'aide de l'aiguille repère.
- Branchez la pompe à vide après avoir vérifié son niveau d'huile et démarrez-la.
- Mettre les vannes 1 et 2 en position intermédiaire et vérifier que le circuit ne soit pas sous pression.
- Ouvrir les by-pass du jeux de manifolds ainsi que la vanne du vacumètre, la pression doit commencer à diminuer sur les aiguilles des manos HP et BP.
- Ouvrir les vannes 3 et 4.
- Au bout d'un moment, refermer les by-pass du jeux de manifolds et vérifier la tenue du vide. Casser le vide à l'azote sec si possible en pensant à refermer le robinet du vacumètre pendant l'opération (voir dernier paragraphe du cours).
- Le tirage sera terminé quand l'aiguille du vacumètre sera sous celle de repère.
- A ce moment là, refermer les by-pass HP et BP du jeux de manifolds ainsi que la vanne du vacumètre et arrêter la pompe à vide. Vous réaliserez la charge du système immédiatement.

9.4 CASSAGE DU VIDE

Il est effectué après un tirage au vide et consiste à introduire dans le circuit de l'azote.

Aussitôt après le tirage au vide (et avant la charge en FF) :

C'est une opération qui peut être répétée (trois tirages au vide et deux cassages de vide), elle permet d'avoir une bonne efficacité du tirage du vide avant la charge en FF.



- Raccorder le flexible sur le raccord du manodétendeur 6. Desserrez le manodétendeur, ouvrez 5 et réglez le manodétendeur pour avoir 10 bar de détente.
- Réouvrez les by-pass des manifolds pour introduire l'azote.
- Refermez la vanne 5 et débranchez la bouteille d'azote.

L'azote s'échappe de l'installation. Une fois la pression tombée à 0,5 bar environ sur les aiguilles des manomètres HP et BP, rebranchez la pompe à vide et redémarrez-la pour continuer le tirage au vide.

9.5 CHARGE EN FLUIDE FRIGORIGÈNE D'UNE INSTALLATION

C'est une opération qui intervient après le tirage au vide et qui consiste à introduire dans le circuit frigorifique une quantité donnée d'un FF donné (indications sur plaque signalétique), l'installation étant à l'arrêt.

D'autres techniques telles que les paramètres de fonctionnement peuvent être utilisées pour s'assurer de la bonne charge en FF de l'installation.

Il existe plusieurs techniques de charge en FF des installations frigorifiques :

charge avec cylindre de charge (capacité préalablement remplie de FF)

charge automatique à l'aide d'une balance électronique commandant une électrovanne

charge utilisant une balance et une bouteille de FF (*c'est cette méthode qui sera décrite*).

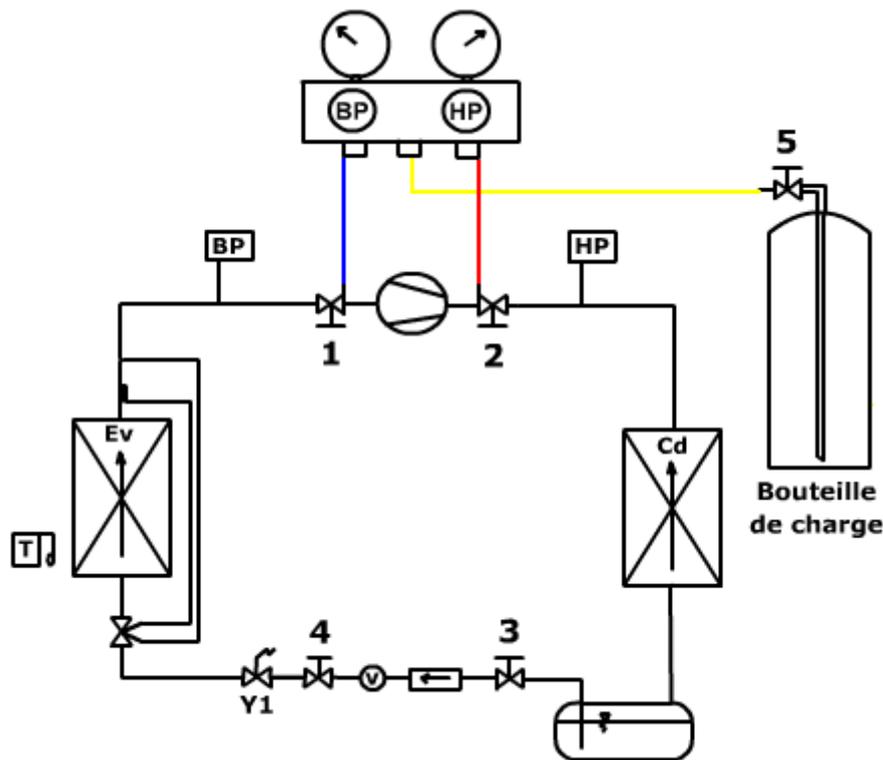


Figure 9.4 : Montage pour charge en fluide frigorigère.

La charge en liquide

Rôle :

Introduire le réfrigérant nécessaire au fonctionnement de l'installation frigorifique. Cette charge est rapide point de vue temps mais risquée pour le compresseur. Cette méthode de charge est compatible avec les nouveaux fluides et les mélanges.

Conditions de départ :

- Une installation tirée au vide et étanche, les appareils de sécurité et de régulations sont pré-réglés.
- Le jeu de manifolds est resté monté sur l'installation, by-pass fermés.

Matériel nécessaire :

- Une bouteille de réfrigérant.
- Une clef à cliquet.
- Un thermomètre équipé d'une sonde de contact.
- Un jeu de manifolds.
- Raccorder la bouteille de charge tête en haut sur la voie d'intervention du jeu de manifolds.

- Ouvrir la vanne 5 et purger le flexible d'intervention sur le jeux de manos.
- Vérifier la tenue du vide et la position des vannes 4 et 3 qui doivent être ouvertes.
- Installation à l'arrêt, introduire du fluide frigorigène dans le circuit BP et HP en ouvrant brièvement les by-pass HP et BP du jeux de manifolds.
- Refermer les by-pass BP et HP du jeux de manos.
- Démarrer l'installation.
- Introduire le réfrigérant en faisant des détentes avec le by-pass BP.
- Dès que les premières bulles apparaissent au voyant de liquide, fermer le by-pass BP du jeux de mano.
- Refermer légèrement la vanne 1 vers l'arrière si l'aiguille BP du mano tremble. (idem pour celle HP avec la vanne 2)
- Si la BP n'est pas stable, réintroduire du fluide par le by-pass BP du jeux de manifolds comme expliqué précédemment jusqu'à stabilisation. Sinon, attendre le régime permanent.
- En régime permanent, ajuster la charge par le by-pass BP du jeux de mano pour avoir un sous-refroidissement compris entre 4 et 7°C.

Une fois le sous-refroidissement bon, fermer la vanne 5, le by-pass BP du jeux de mano et démonter la bouteille de charge. Continuer les opérations de réglages des sécurités et des régulations.

La charge en vapeurs

Rôle :

Introduire le réfrigérant nécessaire au fonctionnement de l'installation frigorifique. Cette de charge est longue point de vue temps mais très sécurisée pour le compresseur. Attention : Cette méthode de charge n'est pas compatible avec les nouveaux fluides et les mélanges.

Conditions de départ :

- Une installation tirée au vide et étanche, les appareils de sécurités et de régulations sont pré-réglés.
- Le jeux de manifolds est resté monté sur l'installation, by-pass fermés.
-

Matériel nécessaire :

- Une bouteille de réfrigérant.
- Une clef à cliquet.
- Un thermomètre équipé d'une sonde de contact.
- Un jeux de manifolds.

Mode opératoire :

- Raccorder la bouteille de charge tête en bas sur la voie d'intervention du jeux de manifolds.
- Ouvrir la vanne 5 et purger le flexible d'intervention sur le jeux de manos.
- Vérifier la tenue du vide et la position des vannes 4 et 3. (elles doivent être ouvertes)
- Installation à l'arrêt, introduire des vapeurs dans le circuit BP et HP en ouvrant les by-pass HP et BP du jeux de manifolds.
- Refermer le by-pass HP du jeux de manos.

- Démarrer l'installation.
- Dès que les premières bulles apparaissent au voyant de liquide, fermer le by-pass BP du jeux de mano.
- Refermer légèrement la vanne 1 vers l'arrière si l'aiguille BP du mano tremble. (idem pour celle HP avec la vanne 2)
- Si la BP n'est pas stable, réintroduire du fluide par le by-pass BP du jeux de manifolds jusqu'à stabilisation. Sinon, attendre le régime permanent.
- En régime permanent, ajuster la charge par le by-pass BP du jeux de mano pour avoir un sous-refroidissement compris entre 4 et 7°C.
- Une fois le sous-refroidissement bon, fermer la vanne 5, le by-pass BP du jeux de mano et démonter la bouteille de charge. Continuer les opérations de réglages des sécurités et des régulations.

9.6 COMPLEMENT DE CHARGE EN FLUIDE FRIGORIGENE

C'est une opération qui intervient après une charge en FF lorsque la quantité de FF introduite est insuffisante.

Le mode opératoire est le suivant :

montage du manifold (flexible bleu sur prise BP et flexible rouge sur prise HP du compresseur - flexible jaune raccordé à la bouteille de FF)

mettre l'installation en marche, ouvrir le robinet BP du manifold et introduire la quantité nécessaire de FF en suivant les indications de la balance

lorsque la charge est terminée, fermer le robinet de la bouteille et l'enlever

Cette méthode n'est pas conseillée avec la famille des mélanges zéotropes (R404A, R410A, R407C...).

9.7 VERIFICATION DU BON FONCTIONNEMENT

Lorsque les opérations de charge sont terminées, une vérification du bon fonctionnement de l'installation s'impose.

En fonctionnement et si possible lorsque la température du milieu à refroidir est atteinte : la vérification du bon fonctionnement peut s'effectuer par :

les constats que :

la conduite de refoulement est chaude

la conduite liquide est tiède

la tuyauterie d'aspiration est froide

il n'y a pas de bulles dans le voyant liquide

la surchauffe (SH) est comprise entre 4 et 8°C

le sous-refroidissement est compris entre 3 et 7°C

la température d'évaporation est inférieure de 5 à 10°C à celle de la chambre froide

la température de condensation est supérieure de 12 à 15°C à celle de l'air extérieur (condenseur à air)

la température de condensation est supérieure de 5°C à celle de la sortie d'eau (condenseur à eau)

les vérifications que :

les intensités électriques absorbées sont inférieures ou égales aux valeurs notées sur les plaques signalétiques

le réglage des appareils de sécurité et de régulation (thermostats, pressostats...) est correct

Les réglages sont effectués en principe à la mise en route des installations.

Ces réglages concernent en particulier :

le détendeur thermostatique

les thermostats de régulation et éventuellement de sécurité

les pressostats BP et HP de sécurité

les pressostats BP de régulation

la vanne à eau pressostatique

9.8 BRASAGE

Le brasage est l'assemblage de pièces métalliques de même nature ou non avec un métal d'apport en fusion (baguette de brasage), la température de fusion de la baguette étant bien inférieure à celle des pièces à braser. Il existe des baguettes argent (6%, 40 %) qui présentent un point de fusion plus bas et une meilleure résistance que les baguettes cuivre/phosphore.

L'utilisation d'une lampe à braser (figure 9.0) constitue la solution la moins chère et la plus raisonnable pour des utilisations occasionnelles. Cependant pour une utilisation régulière par un professionnel, l'emploi d'un poste de soudure «brasage» (figure 9.5) s'impose.

Un poste de soudure comprend :

une bouteille d'oxygène (O_2) munie d'un robinet d'arrêt et d'un manodétendeur, c'est un gaz comburant, la pression dans la bouteille est d'environ 200 bars et la pression d'utilisation est d'environ 1 bar

une bouteille d'acétylène (C_2H_2) munie d'un robinet d'arrêt et d'un manodétendeur, c'est un gaz carburant, la pression dans la bouteille est d'environ 17 bars et la pression d'utilisation d'environ 0.5 bar

un chalumeau qui permet de mélanger le comburant et le carburant afin d'obtenir une flamme qui va faire fondre les baguettes de brasure

un flexible (bleu) muni d'un clapet qui assure la liaison entre la bouteille O_2 et le chalumeau

un flexible (rouge) muni d'un clapet qui assure la liaison entre la bouteille C_2H_2 et le chalumeau

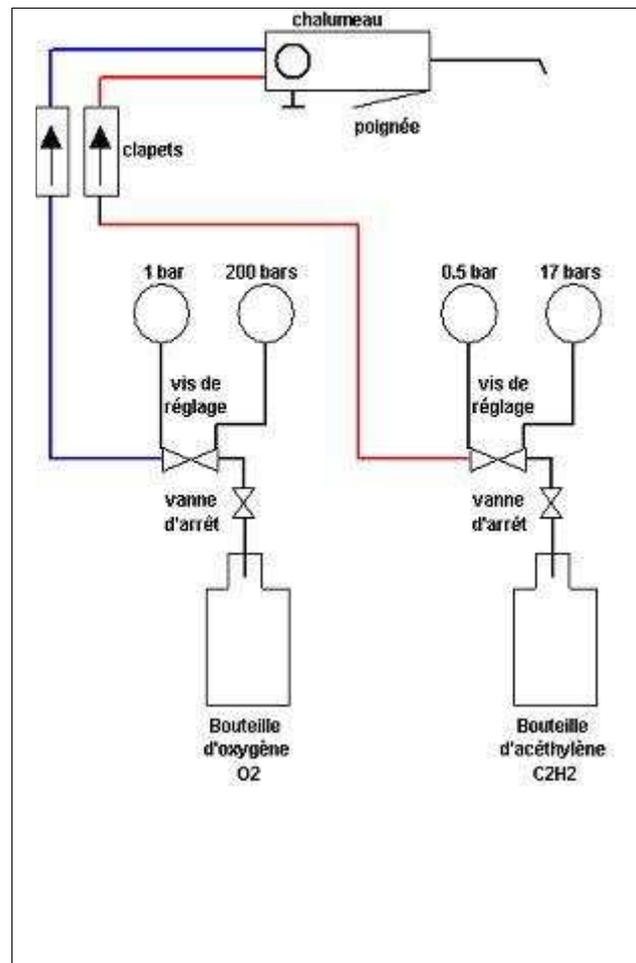


Figure 9.5 : Schéma

d'un poste à braser.

La combustion du mélange se fait à une température de 3070°C.

Suivant les proportions des deux gaz, la flamme obtenue est dite :

réductrice (ou carburante), la proportion de C_2H_2 est importante

oxydante, la proportion de O_2 est importante

neutre : c'est la flamme idéale qui permet de chauffer et de braser correctement

La brasure consiste à utiliser la flamme du chalumeau pour chauffer la zone d'assemblage afin que la température des pièces à braser soit homogène, c'est cette température des pièces qui va faire fondre la brasure par contact, l'alliage se diffuse entre les parois des pièces et une fois cet espace rempli, il est inutile de charger le point de brasure.

Pour un bon brasage, l'alliage ne doit pas être mis en fusion directe avec la flamme.

Bien entendu, le brasage obéit à un mode opératoire précis et cette opération doit être entourée de mesures de sécurité (présence d'extincteur, protection des yeux...).

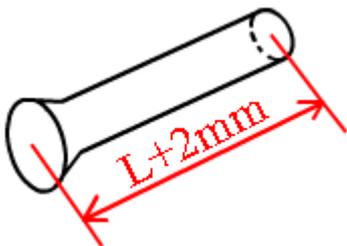
9.8.1 Le travail du cuivre

- *La coupe du tube* s'effectuera à l'aide d'un coupe-tube. Il ne faut jamais utiliser de scie à métaux pour couper le tube, car la coupe ne serait pas d'équerre et les bavures importantes. A l'aide du coupe-tube, on réalise une coupe d'équerre nécessaire pour les opérations de dudgeonnage.



Coupe tube et mini coupe tube

- *L'ébavurage* consiste à retirer les bavures résultantes de la coupe du tube. On doit ébavurer l'intérieur et l'extérieur du tube. Les bavures ne doivent pas pénétrer dans le tube. Pour cela on placera toujours l'ébavureur sous le tube à ébavurer. Il est interdit de souffler dans le tube pour chasser les bavures.
- *Le dudgeonnage* du cuivre consiste à utiliser une petite longueur droite pour réaliser une partie conique sur laquelle on pourra adapter un écrou raccord pour assurer l'étanchéité sur les éléments à visser. La quantité de cuivre à utilisée sera égale à 2mm.



Pour réaliser la pièce ci-contre, on a donc utilisé une longueur développée égale à la longueur L de la pièce + 2mm pour le dudgeon.

Exemple :

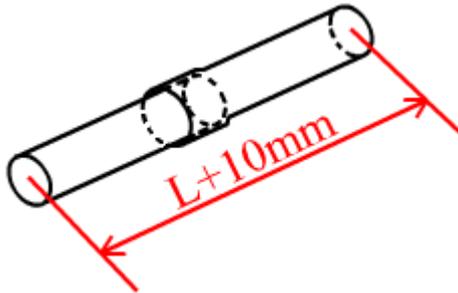
Pour réaliser une pièce droite de 200mm qui comporte un dudgeon à chaque extrémité, on doit couper une longueur droite qui correspond à $200+2 \times 2=204$ mm.



Une dudgeonnière

L'évasement consiste à porter le diamètre intérieur d'un tube à celui de son diamètre extérieur sur une longueur de 10mm, on peut donc ensuite emboîter les tubes qui avaient la même section. Cette opération va donc consommer une longueur droite égale à 10 mm.

- Le jeu entre le tube et le raccord doit être de 0.04mm, ce qui permet d'insérer le tube dans le raccord sans grippage et sans que le raccordement soit trop large. Un jeu trop faible gêne la pénétration de la soudure par capillarité dans le joint et donne une liaison médiocre ou incomplète. Un jeu excessif empêche l'écoulement régulier de la soudure et la cause de joints défectueux.



Pour réaliser la pièce ci-contre, on a utilisé une longueur développée totale de L+10mm. Les 10mm correspondent à la pénétration du cuivre dans l'emboîture.

Exemple :

Pour réaliser une pièce droite de 200mm qui comporte un évasement, on doit couper une longueur droite de 200+10=210mm.



Un coffret composé d'une pince à évaser et de têtes pour les différents diamètres de tuyauterie

- *Le cintrage* est une opération qui consiste à réaliser un changement de direction du tube sans avoir à le couper et à ajouter une pièce supplémentaire. Pour cintrer le tube, on utilise une cintrreuse. Etudions un cintrage pour connaître la quantité de cuivre nécessaire à cette opération...

Soit une pièce de longueur L1 et L2. Les côtes sont données à l'extérieur du tube. Cette pièce peut se décomposer en 3 parties : deux longueurs droites AB et CD, et un cintrage BC. Sur le schéma ci-dessus, Rc représente le rayon de cintrage (donné par la cintrreuse) et Rt le rayon du tube. Le but de l'exercice est de déterminer la longueur développée de cette pièce pour savoir quelle longueur de cuivre il faut couper pour la réaliser.

Commençons par déterminer les longueurs droites AB et CD.

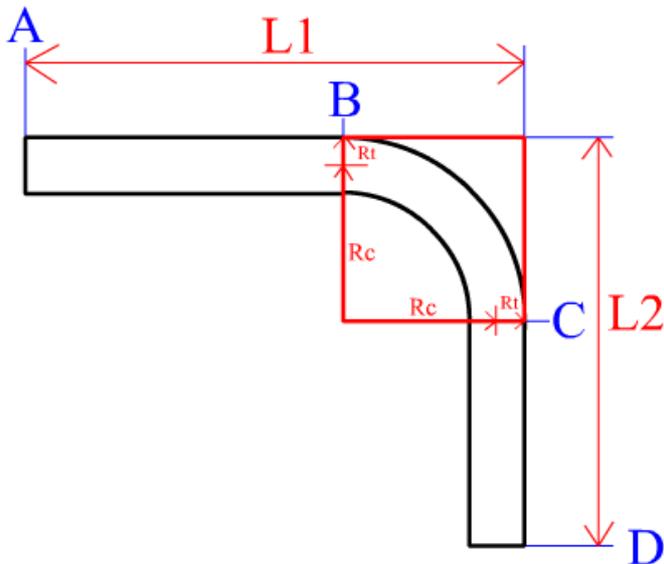
$$AB = L1 - Rc - Rt$$

$$CD = L2 - Rc - Rt$$

Maintenant il faut déterminer la longueur nécessaire au cintrage...

$$BC = \frac{90}{360} \times 2\pi \times Rc$$

La longueur développée totale sera donc égale à AB+BC+CD



9.8.2 La soudure

Purge au gaz inerte

Lorsqu'on chauffe du cuivre en présence d'air, il se forme de l'oxyde de cuivre sur les surfaces intérieures et extérieures du tube. A la mise en marche du système, cet oxyde se détache facilement et circule alors librement dans le circuit avec le réfrigérant et l'huile. Les oxydes en suspension dans l'huile sont inévitablement exposés aux hautes températures régnant au clapet de refoulement du compresseur, où ils risquent de provoquer la décomposition de l'huile et du réfrigérant.

Il est facile et important d'éviter la formation d'oxyde. Il suffit pour cela d'isoler l'élément de conduite sur lequel on travaille et de faire circuler un gaz inerte tel que l'azote sec dans le tube à braser. L'azote déplace l'air et évite ainsi l'oxydation du tube en acier ou en cuivre pendant le soudage ou le brasage.

L'azote doit circuler à une vitesse juste suffisante pour chasser l'air qui se trouve dans le tube, de 30 à 90 l/min sont généralement suffisant.

L'azote est d'habitude assez sec, mais le recours à un déshydrateur est une précaution supplémentaire utile. Il est préférable de disposer d'un système d'alimentation en azote sec dans tous les camions d'entretien. Il évite l'introduction de toute contamination dans les systèmes et garantit un meilleur fonctionnement des installations.

Lorsqu'on travaille avec de l'azote sec, il est indispensable de prendre certaines précautions. La pression à l'intérieur de la bouteille est de l'ordre de 165 bars à la température ambiante. Cette valeur est très supérieure à la pression d'éclatement des bouteilles de réfrigérant et des compresseurs.

C'est pourquoi, il est indispensable de toujours monter un mano-détendeur ou un dispositif de réglage automatique de la pression sur la conduite reliant la bouteille d'azote au système.

Flux.

S'assurer que le flux de soudage employé est du type qui convient. Eviter l'emploi de flux à l'ammoniaque, car celui-ci peut avoir des effets néfastes en présence du cuivre. Certains constituants du flux pouvant se déposer au fond du récipient au repos, surtout par temps chaud dans le cas des pâtes, il faut toujours bien les remuer.

Appliquer le flux au pinceau et non avec les doigts, car certains de ses constituants sont très agressifs. S'il

s'agit d'une pâte, appliquer le flux après avoir légèrement chauffé le tube ainsi que le raccord, pour qu'il s'étale en couche lisse et régulière.

N'employer que la quantité de flux nécessaire pour obtenir un filme mince recouvrant la surface du tube et du raccord. Une quantité insuffisante donne une soudure défectueuse, tandis qu'un excès représente un gaspillage et donne une soudure d'aspect médiocre. Le flux ne doit pas être appliqué trop près de l'extrémité du tube (respecter une distance de 5 mm) ni de celle du raccord.

Il faut absolument éviter que le flux pénètre à l'intérieur de la tubulure, car c'est l'un des plus dangereux contaminants d'un système de réfrigération. Une quantité de flux de 3 gr est insoluble dans un système contenant 25 kg de R22 ou de R502 et peut causer des problèmes au niveau du détendeur ou dans le tube capillaire.

Une méthode recommandée consiste à introduire partiellement l'extrémité du tube dans le raccord avant d'appliquer le flux, pour éviter qu'il pénètre dans la tubulure. Ensuite, pousser le tube à fond et si possible, faire tourner plusieurs fois le tube ou le raccord pour étaler le flux de manière uniforme. Il est en outre important de soutenir l'ensemble, de manière à éviter toute contrainte sur le joint pendant le soudage ET pendant le refroidissement.

Chauffage du joint.

Chauffer le joint de manière aussi uniforme que possible, en dirigeant le chalumeau alternativement vers la partie inférieure du raccord et vers le tube. La partie dont la masse est la plus grande exige le temps de chauffage le plus long.

Eviter d'appliquer la flamme sur le bord où l'on déposera la soudure, parce qu'elle pourrait brûler le flux.

De temps à autre et en continuant de chauffer, passer la soudure sur le métal pour voir si ce dernier est assez chaud pour la faire fondre. Eviter à tout prix une surchauffe, car une température trop élevée peut causer la décomposition du flux et affecter la qualité de la soudure.

Dans certains cas, il est impossible d'appliquer le flux avant d'assembler le joint, déposer alors une petite quantité de flux sur le tube à proximité du joint et chauffer légèrement. Ensuite, chauffer le joint uniformément jusqu'au moment où le flux commence à fondre et pénétrer dans le joint.

Application de la soudure.

Lorsque le tube et le raccord sont suffisamment chauds pour fondre la soudure, toucher le joint en plusieurs endroits avec le fil de soudure. Par capillarité, la soudure à l'état liquide pénètre alors dans le joint, autour du tube. Lorsqu'une bague de soudure s'est formée tout autour du tube, l'opération est terminée et l'on a un joint de bonne qualité et étanche.

Pour obtenir un aspect impeccable du joint avec de la soudure tendre, essuyer le tube avec un linge ou une éponge pendant que la soudure est encore chaude. Ne pas refroidir trop rapidement un joint soudé alors que la soudure est encore proche de son point de fusion.

Le brasage des tubes de gros diamètre doit être fait par sections successives. Pour obtenir un joint brasé de bonne qualité sur un gros tube, passer la flamme du chalumeau alternativement du tube au raccord en faisant fondre la brasure sur une petite longueur du joint. Chaque apport successif d'alliage de brasure doit s'introduire dans le joint par capillarité et fusionner avec l'alliage déjà en place. Un excès de flux peut conduire à un joint défectueux. En effet, le flux prendra dans le joint de la place destinée à la brasure. A la longue, le flux se détachera et le joint présentera alors une fuite à cet endroit. Pour le brasage des tubes de gros diamètre, il existe des chalumeaux à double bec qui donnent un chauffage plus uniforme. Dans certains cas, on peut utiliser deux chalumeaux.

La brasure à l'argent, à bas point de fusion, est facile à utiliser avec différents métaux et elle est spécialement recommandée pour les soudures sur les installations de l'industrie alimentaire. Les alliages à l'argent contenant du

cadmium ne doivent pas être utilisés en raison des risques d'empoisonnement par le cadmium. Ouverture des joints brasés ou soudés

L'entretien des systèmes de réfrigération de tous types nécessite parfois l'ouverture des conduites pour réparer des fuites de réfrigérant aux points de raccordement ou aux joints, ou encore pour remplacer des éléments tels que détendeurs, compresseur ou évaporateurs. Ne jamais chauffer une conduite sous pression de réfrigérant, en raison du risque toujours présent de rupture de la conduite et de projection de la soudure fondue. Ne pas dessouder un joint sous vide parce que de l'air et de l'humidité y entreraient et contamineraient le système. Lors du dessoudage d'un joint, appliquer une très légère pression positive dans le système avant de l'ouvrir.

Nettoyer la surface extérieure du joint et appliquer le flux. Chauffer uniformément le raccord jusqu'à ce que la soudure fonde et que les deux parties puissent être séparées.

Boucher immédiatement toutes les ouvertures du système. Si les conduites sont munies de raccords à collet évasé, utiliser des bouchons ou des capuchons adéquats. Placer un bouchon d'élastomère ou de plastique sur les raccords non soudés.

Il est pratique d'avoir à disposition une petite quantité de produit tel que le « Perganum » ou son équivalent. Il s'agit d'un matériau du genre plastique utilisé pour l'obturation de tubulures. Il convient bien au bouchage temporaire de petits orifices qui ne sont pas soumis à une pression notable de gaz.

La décomposition du réfrigérant provoquant une corrosion localisée, il est indispensable de nettoyer soigneusement les pièces à assembler avant de les ressouder. Assurer une ventilation adéquate afin de chasser toutes les vapeurs de la zone de travail, parce que la flamme peut entrer en contact avec la petite quantité de réfrigérant contenue dans la conduite et la décomposer.

Ces vapeurs sont plus irritantes que dangereuses. Ne jamais appliquer la flamme sur une partie d'un système contenant de la vapeur d'ammoniac.

Les résines époxydes sont compatibles avec les réfrigérants halogénés et on les utilise dans les travaux d'entretien des systèmes de réfrigération. Elles peuvent souvent être utilisées aux endroits où le soudage ou le brasage présenterait des difficultés. Des techniques d'application ont été mises au point et leur fabricant ou leur fournisseur peut donner toutes les indications nécessaires.

Cependant, préciser que leur usage est destiné à un système de réfrigération.

9.9 SOUTIRAGE ET COMPLEMENT D'HUILE

Le **soutirage d'huile** est effectué pour :

le test d'acidité

les analyses d'huile

le remplacement d'huile

Le mode opératoire est le suivant :

montage du manifold et fermeture de la vanne BP du compresseur (sur l'avant)

mise en marche du compresseur et arrêt lorsque la pression BP atteint 0.3 bar

faire une consignation électrique du compresseur

raccordement d'un flexible entre le robinet d'huile et le récipient à huile

soutirer la quantité d'huile nécessaire et refermer le robinet d'huile

ouvrir la vanne BP de service du compresseur (position intermédiaire)

déconsignation électrique et remise en marche de l'installation

Le récipient utilisé pour le soutirage doit être sec et propre, de plus il faut éviter que l'huile récupérée soit en contact avec l'air atmosphérique.

Le **complément d'huile** est nécessaire pour effectuer un remplacement d'huile ou introduire une quantité d'huile manquante.

L'utilisation d'une pompe à huile manuelle est nécessaire. Il faut noter qu'il existe une méthode basée sur l'utilisation d'une pompe à vide.

Le mode opératoire est le suivant :

montage du manifold et fermeture de la vanne BP du compresseur (sur l'avant)

mise en marche du compresseur et arrêt lorsque la pression BP atteint 0.1 bar

faire une consignation électrique du compresseur

raccordement d'un flexible entre le robinet d'huile et le refoulement de la pompe à huile manuelle

plonger l'aspiration de la pompe à huile dans le réservoir d'huile ou raccorder un flexible entre ce réservoir et l'aspiration de la pompe à huile

desserrer l'extrémité du flexible branché sur le robinet d'huile et pomper l'huile du réservoir

resserrer cet extrémité quand l'huile en sort (purge) et ouvrir le robinet d'huile

pomper l'huile du réservoir pour effectuer le complément d'huile

fermer le robinet d'huile à la fin du complément et débrancher les flexibles

ouvrir la vanne BP de service du compresseur (position intermédiaire)

déconsignation électrique et remise en marche de l'installation

vérification du niveau d'huile

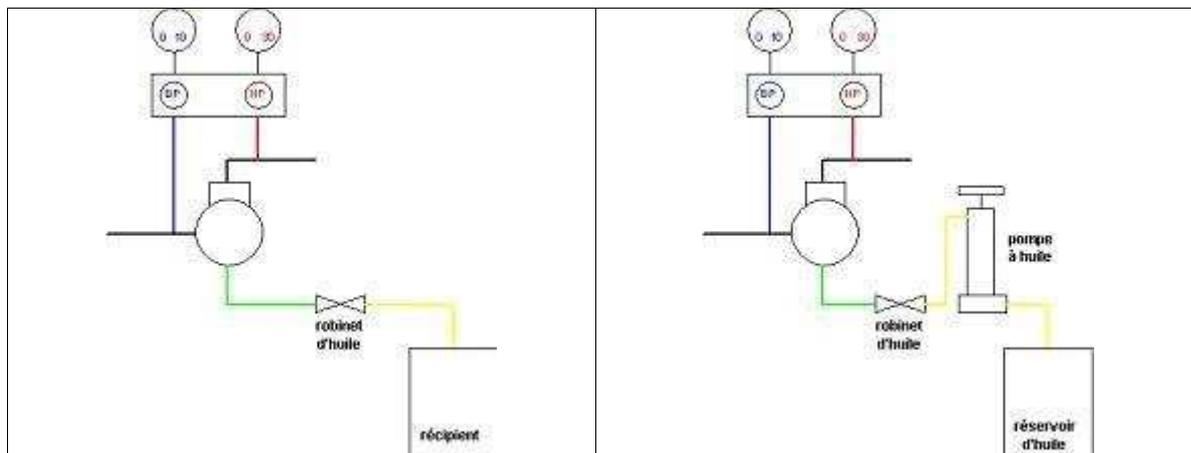


Figure 9.6 : Soutirage d'huile.

Figure 9.7 : Complément d'huile.

9.10 RECUPERATION DE FLUIDE FRIGORIGENE

La récupération est l'opération qui consiste à récupérer le fluide frigorigène contenu dans un système frigorifique pour le stocker dans un réservoir prévu à cet effet en vue de son réutilisation ou de sa destruction.

La réglementation en vigueur à cet effet est spécifique à chaque pays ou groupe de pays.

Par exemple, le règlement européen CE 2037/2000 du 29 juin 2000 rendent obligatoire la récupération des FF du type CFC et HCFC dans toutes les installations et les FF du type HFC dans les installations contenant plus de 2 kg de fluide.

La récupération du FF doit s'effectuer dans les cas suivants : destruction de l'installation, interventions sur les conduites de l'installation, intervention sur une installation ne comportant pas de vanne d'isolement ou de vanne de départ liquide, remplacement d'un FF pollué, mise en place d'un fluide de substitution « retrofit » ou de transition « drop-in ».

Les procédés de récupération les plus utilisés sont :

- la récupération en phase liquide (par dépression, par pompe ou par surpression)

- la récupération en phase vapeur par l'utilisation d'un compresseur

La récupération par phase liquide est plus rapide mais le fluide récupéré contient de l'huile. Cette technique ne permet pas de récupérer la totalité du FF, en particulier le FF à l'état gazeux ne sera pas récupéré (utilisation de la technique de récupération en phase vapeur).

La récupération en phase vapeur est assez lent mais le fluide récupéré ne contient pas d'huile.

Les bouteilles de récupération sont disponibles chez les distributeurs de FF.

Elles sont livrées propres, tirées au vide et sont munies de soupapes de sécurité et d'une fiche d'identification.

Des identifications sur la nature des FF récupérables et la masse maximale de FF récupérables sont également indiquées.

La récupération de certains fluides (pressions élevées) doit être fait dans un emballage spécial, par exemple la récupération du R410A se fait sous emballage de pression d'épreuve de 46.5 bars.

Il existe plusieurs capacités de bouteilles de récupération (26 litres, 30 litres, 88 litres...).

Les bouteilles de récupération ont en général un robinet double phase à savoir un robinet liquide et un robinet vapeur.

La récupération par dépression en phase liquide par dépression et la récupération en phase vapeur par un compresseur sont décrites ci-après.

Récupération en phase liquide par dépression

Le matériel nécessaire est composé d'un manifold, d'un jeu de flexibles en 1/4 ou 3/8 équipés de robinets quart de tour, une bouteille de récupération propre et tirée au vide et d'une balance.

Mode opératoire

Si l'installation est en état de fonctionner, le FF doit être transféré dans la bouteille liquide (ou à défaut dans le condenseur) par un fonctionnement du type « Pump Down ».

Après ces préliminaires, il faut consigner l'installation électriquement et effectuer les opérations suivantes :

raccorder un flexible entre la vanne de départ liquide (3^{ème} voie) de la bouteille liquide (ou à défaut la vanne piquée sur la sortie du condenseur si elle existe) et le robinet liquide de la bouteille de récupération, il est recommandé d'utiliser un flexible 3/8"

purger le flexible, peser la bouteille de récupération

ouvrir les différentes vannes (3^{ème} voie de la vanne départ liquide ou à défaut vanne piquée sur sortie condenseur, vannes des flexibles s'il y'a lieu, vanne liquide de la bouteille)

transvasement du FF liquide vers la bouteille par différence de pressions, lorsque les pressions s'égalisent, le transfert de liquide s'arrête, fermer les différentes vannes ouvertes

remplir la fiche d'identification de la bouteille (nature et quantité du FF, coordonnées entreprise, références de l'installation, date de l'opération...)

Récupération en phase vapeur par un compresseur

Le matériel nécessaire est composé d'un manifold, d'un jeu de flexibles en 1/4 ou 3/8 équipés de robinets quart de tour, une bouteille de récupération propre et tirée au vide, d'une balance et d'un groupe de récupération.

Il faut noter que sur le marché se retrouvent plusieurs modèles d'appareils (groupes) de récupération.

Mode opératoire

Le mode opératoire est décrit comme suit :

consignation électrique de l'installation et montage du manifold

raccorder un flexible (jaune) entre l'orifice central du manifold et l'entrée du groupe de récupération d'une part et d'autre part raccorder un flexible entre la sortie du groupe de récupération et le robinet liquide de la bouteille de récupération

purger les flexibles, peser la bouteille de récupération

ouvrir les vannes BP et HP du manifold ainsi que la vanne de la bouteille liquide

mettre en marche le groupe de récupération suivant les instructions du constructeur

à la fin de la récupération, fermer les vannes du manifold et arrêter le groupe de récupération

fermer le robinet de la bouteille de récupération et remplir la fiche d'identification de la bouteille (nature et quantité du FF, coordonnées entreprise, références de l'installation, date de l'opération...).

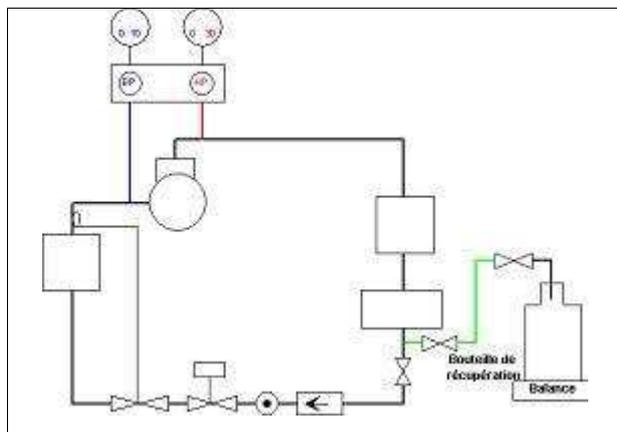


Figure 9.8 : Récupération en phase liquide par dépression.

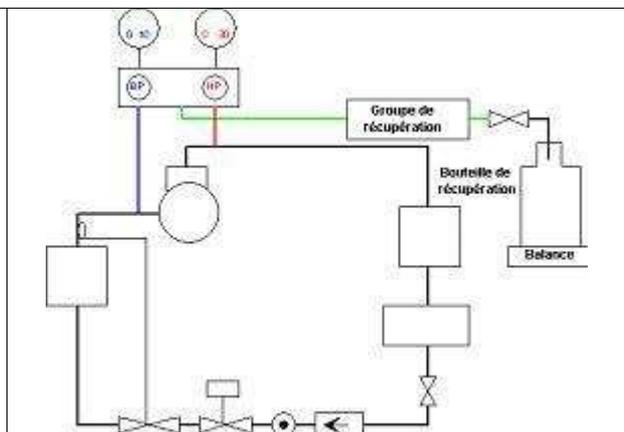
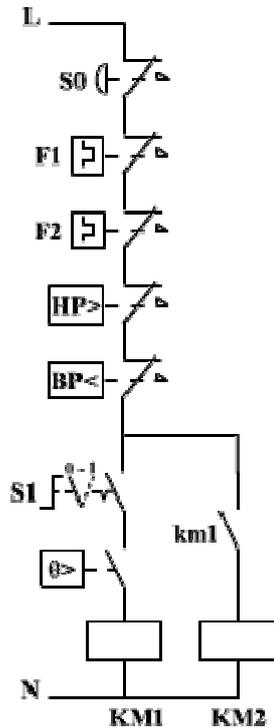


Figure 9.9 : Récupération en phase vapeur par compresseur.

9.10 Dégivrage

9.11.1 Le dégivrage électrique

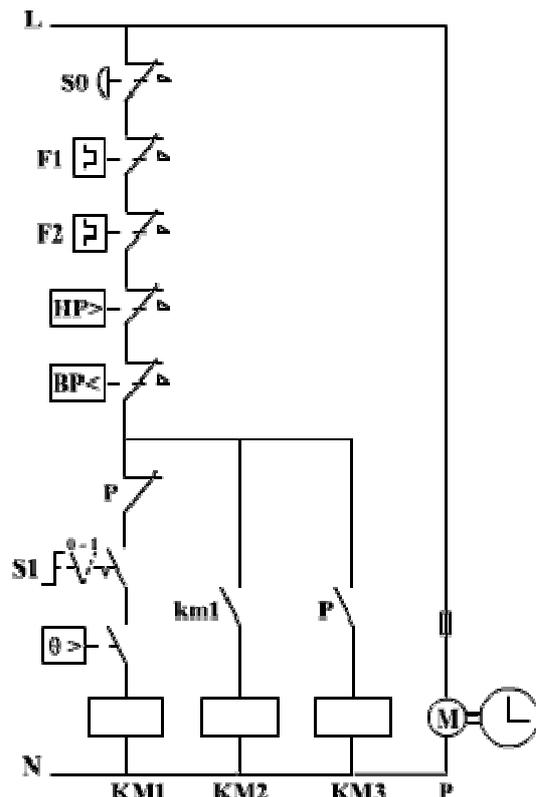


Ce cours a pour but d'élaborer un schéma électrique de commande d'une installation qui utilise un dégivrage électrique. Pour cela, on se propose de commencer notre réflexion à partir du schéma de base d'une régulation thermostatique.

Légende :

- KM1 = groupe de condensation
- KM2 = ventilateur de l'évaporateur
- q > = thermostat de régulation
- S1 = commutateur marche/arrêt
- S0 = arrêt d'urgence
- HP> = pressostat HP
- BP< = pressostat BP
- F1 = relais thermique du groupe de condensation
- F2 = relais thermique du ventilateur d'évaporateur

Ajout de l'horloge de dégivrage :



KM3 = contacteur des résistances de dégivrage

P = horloge de dégivrage

Nous avons ajouté une pendule de dégivrage, cette pendule bascule ses contacts P à un moment M et pendant une durée D. Ces paramètres se règlent sur le programmeur intégré à l'horloge. C'est le bureau d'étude qui les fixe en fonction de l'utilisation de la chambre froide.

Arrivé au moment M, la pendule ferme son contact normalement ouvert de la ligne des résistances ce qui permet de les alimenter, elle ouvre aussi son contact normalement fermé et provoque par conséquent l'arrêt du groupe de condensation et du ventilateur d'évaporateur. La production de froid est arrêtée, nous commençons un cycle de dégivrage pendant toute la durée D programmée. Une fois cette durée écoulée, les contacts P basculent, les résistances sont désalimentés et la production de froid peut repartir...

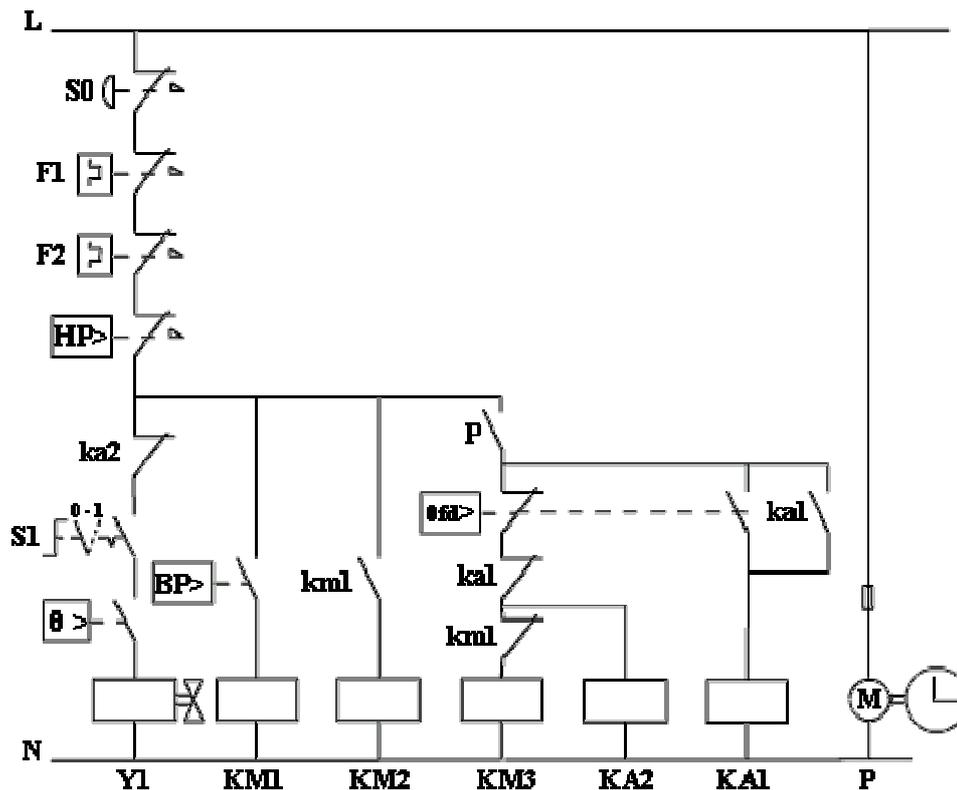
Inconvénients majeurs :

- La chaleur dissipée par les résistances fait monter l'évaporateur en pression puisqu'il reste du liquide (relation Pression-température).
- Si la durée D programmée est de 20 min par exemple et que toute la glace ait fondue en 10 min (parce les ouvertures de portes ont été moins nombreuses), les résistances vont continuer à chauffer pendant encore 10 minutes... Cela va forcément détériorer l'installation car cette chaleur ne pourra plus servir à fondre la glace et elle servira donc à chauffer l'air et surtout le panneau de toit si l'évaporateur est plafonnier. Les parties plastiques vont fondre (carter de protection d'hélice de ventilo, boîte de dérivation,...) et la mousse de polyuréthane des panneaux frigo risque de prendre feu...
- Risques de migrations de fluide frigorigène vers le compresseur

L'horloge ne pourra donc pas servir de commande de fin de dégivrage. La durée D programmée sera une durée maximale d'enclenchement de résistances. Il faudra utiliser un autre appareil pour actionner la fin du dégivrage...

En ce qui concerne la montée en pression de l'évaporateur, il suffira de faire un pump down au minimum pour éliminer le problème.

Modification 3 : Ajout d'un relais de dégivrage



Légende :

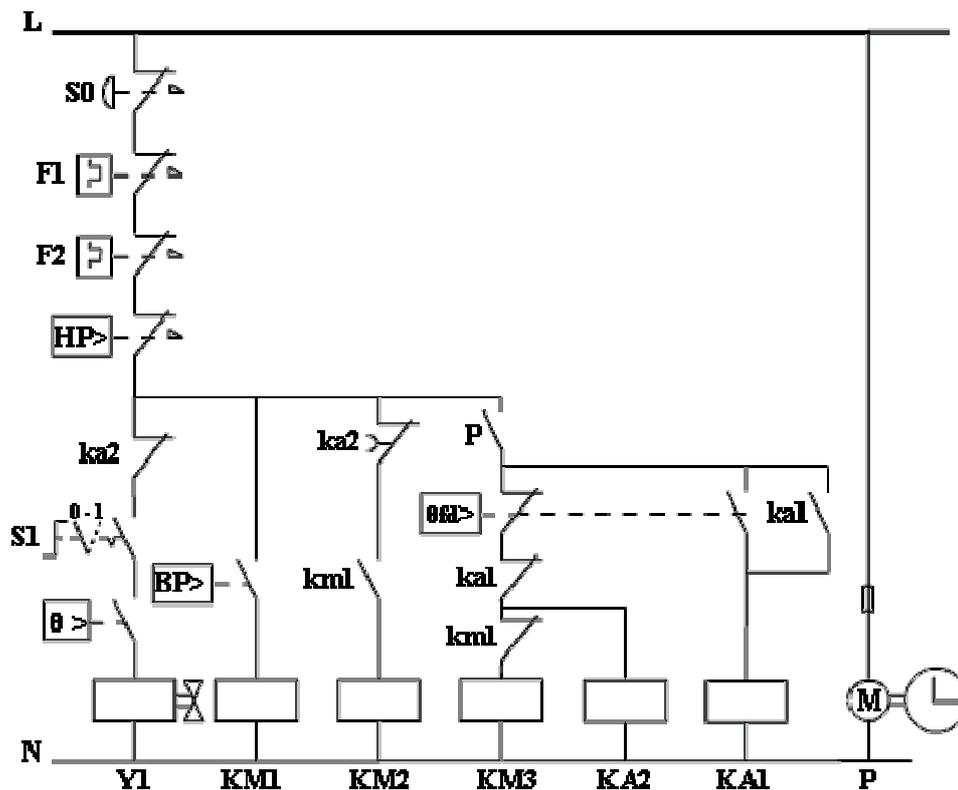
Nous avons ajouté un relais KA2 qui sert à enclencher le dégivrage une fois le pump down terminé. Nous avons aussi mis un contact normalement fermé de KM1 sur la ligne des résistances (KM3). Dès la fin du pump down, il va se fermer et enclencher les résistances.

Inconvénients majeurs :

L'huile de l'évaporateur risque de dégazer ce qui va provoquer des mises en route successives du compresseur (même si l'installation est équipée d'un séparateur d'huile). Si la durée D programmée est de 20 min et que toute la glace ait fondue en 10 min, on repart en production de froid en projetant de l'eau et en faisant circuler l'air chaud dans la chambre froide.

Il faut éviter les projections d'eau et la circulation d'air chaud...

Modification 4 : Ajout d'une temporisation sur la ligne du ventilateur d'évaporateur



Légende :

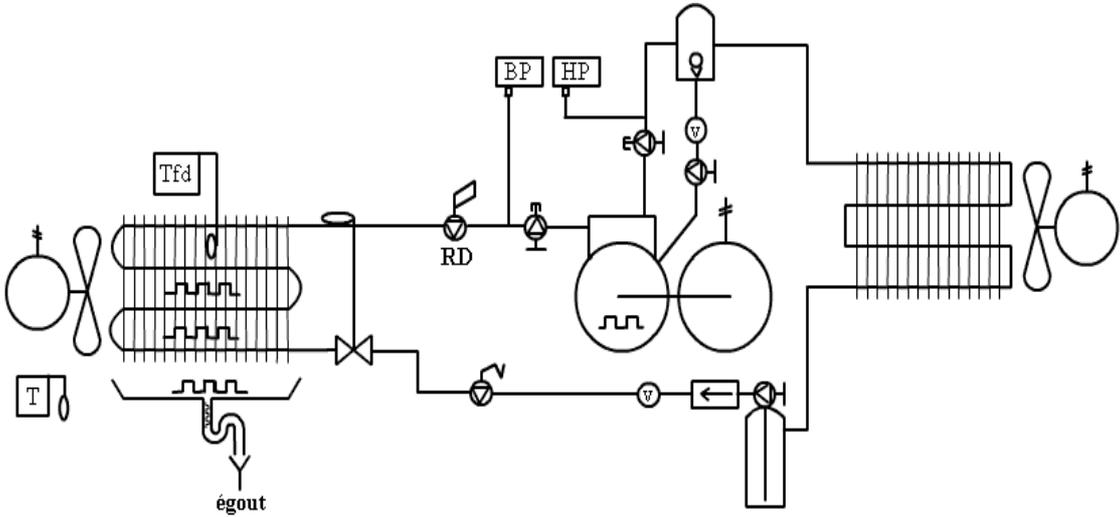
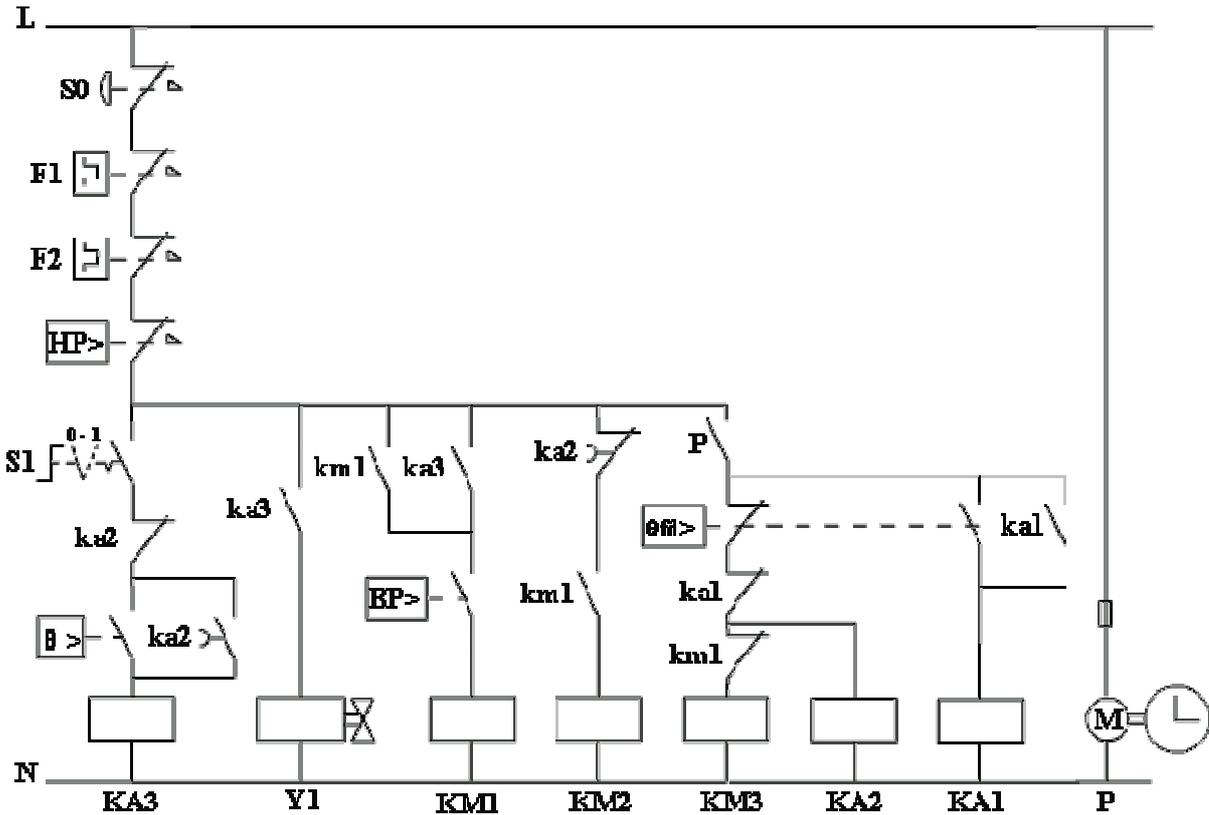
Équiper le relais KA2 d'un additif temporisé repos et régler cette temporisation sur 3 minutes (temps maxi disponible). Ainsi lors du retour marche réfrigération, l'installation va fonctionner 3 minutes en produisant du froid statique (le ventilateur de l'évaporateur est arrêté). Cela va permettre de geler les eaux de condensas et donc d'éviter la projection d'eau. Cela va permettre aussi de refroidir l'air ambiant de l'évaporateur et donc d'empêcher la circulation d'air chaud dans la chambre froide.

Inconvénients majeurs :

L'huile de l'évaporateur risque de dégazer ce qui va provoquer des mises en route successives du compresseur (même si l'installation est équipée d'un séparateur d'huile). Si la durée D programmée est de 20 min et que toute la glace ait fondue en 10 min, et si en plus l'installation n'est pas en demande de froid on redémarre le ventilateur de l'évaporateur au bout de 3 minutes en projetant de l'eau et en faisant circuler l'air chaud dans la chambre froide.

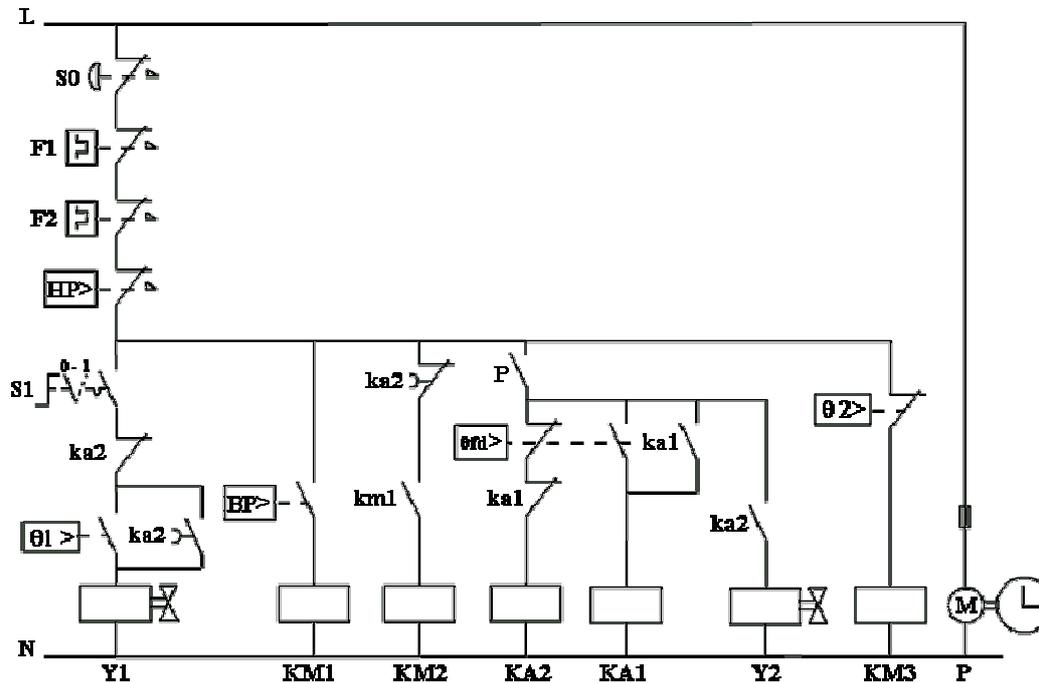
Il faut éviter les projections d'eau et la circulation d'air chaud même si la chambre froide n'est pas en demande de froid après un dégivrage.

Schéma électrique final du dégivrage par résistance :



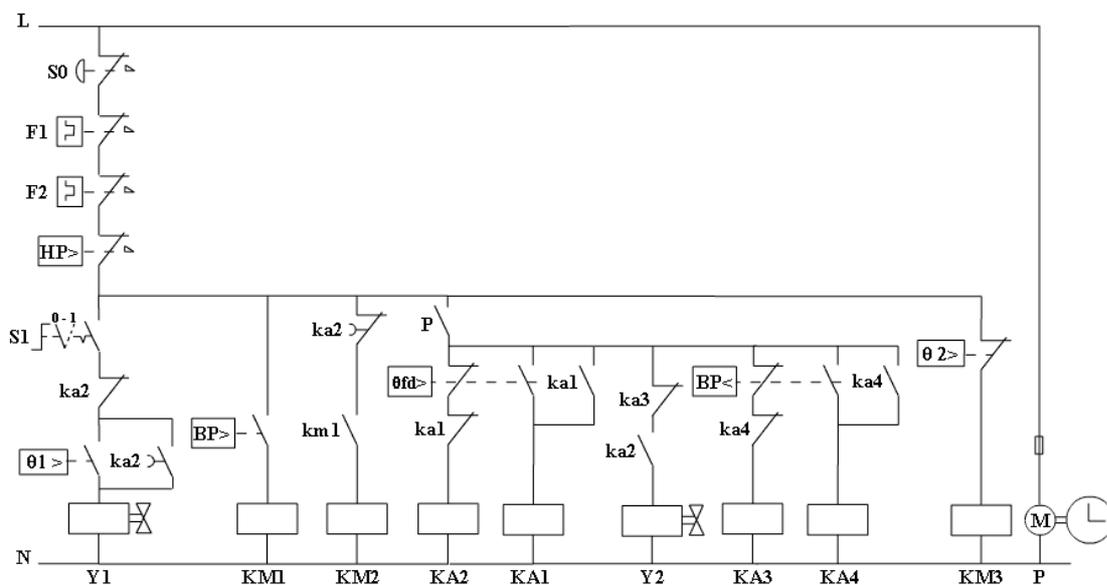
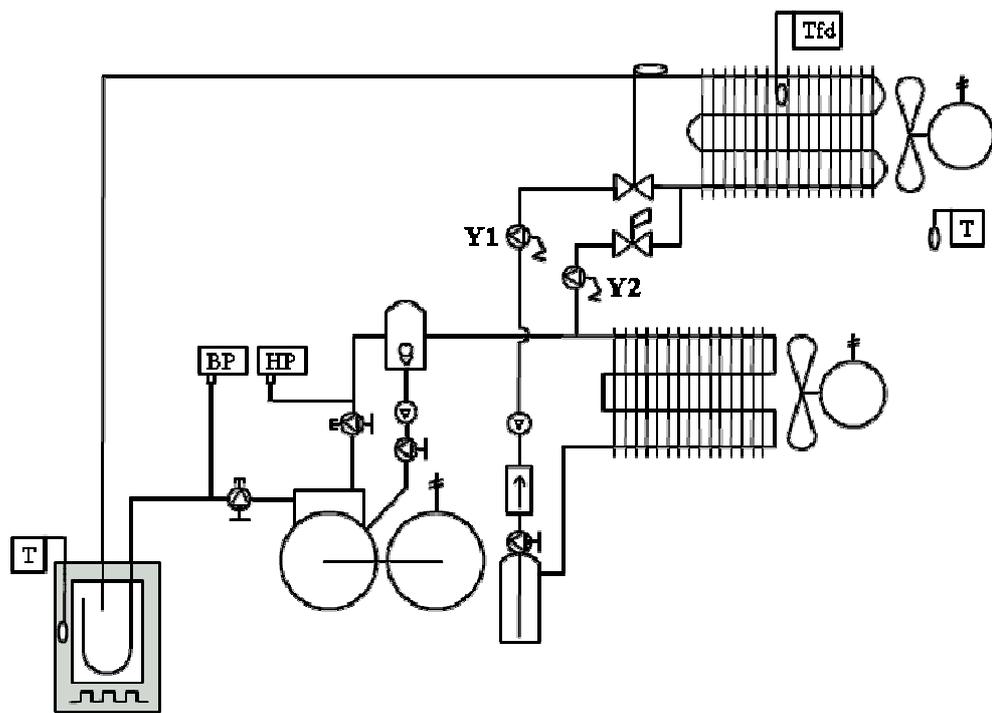
9.11.2 Le dégivrage par gaz chauds

En utilisant la base du schéma électrique de commande du dégivrage par résistances, on arrive au schéma suivant :

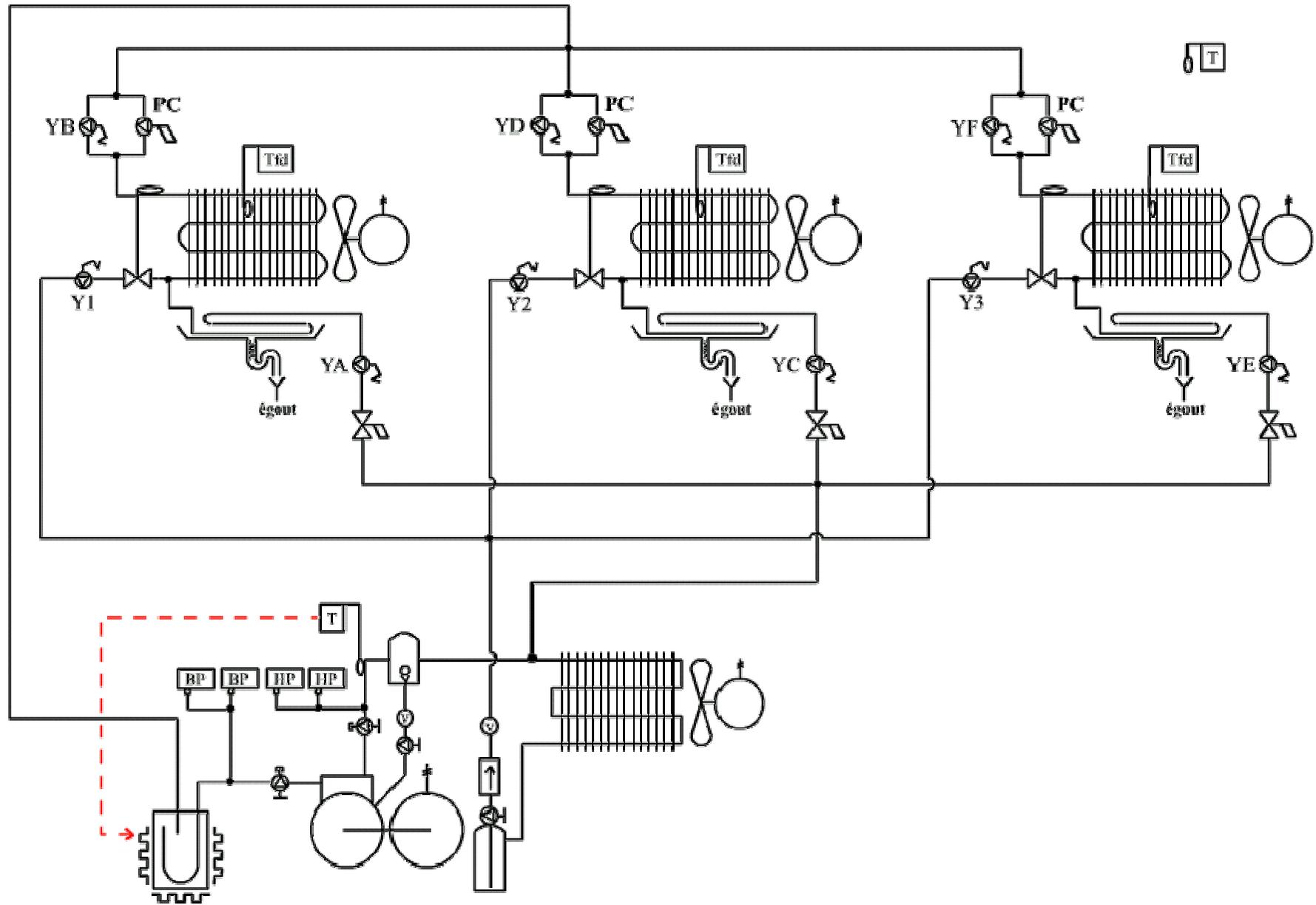


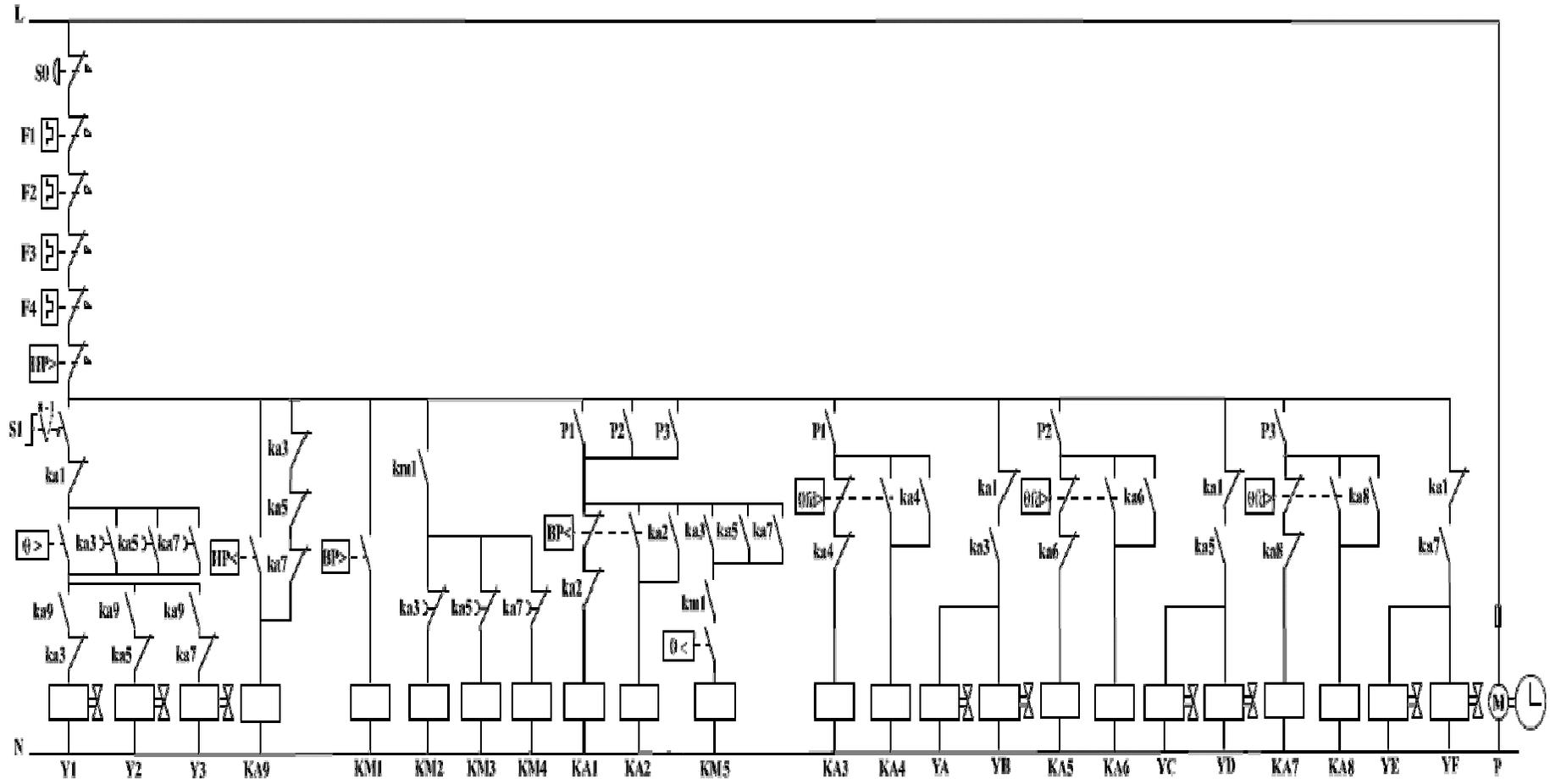
Légende :

- q1 > = thermostat de régulation
- S1 = commutateur marche/arrêt
- S0 = arrêt d'urgence
- HP> = pressostat HP sécurité
- BP> = pressostat BP régulation
- F1 = relais thermique du groupe de condensation
- KM1 = contacteur du groupe de condensation
- F2 = relais thermique du ventilateur d'évaporateur
- KM2 = contacteur du ventilateur d'évaporateur
- KA2 = relais de dégivrage équipé d'un additif temporisé repos
- KA1 = relais "single dégivrage"
- Y1 = électrovanne ligne liquide (NF)
- Y2 = électrovanne gaz chauds
- P = pendule de dégivrage
- KM3 = contacteur de résistance de bain marie
- q2 > = thermostat de chauffage de bain marie



En faisant d'abord un pump-down sur l'évaporateur le dégivrage sera plus rapide. Pour cela utilisons un deuxième pressostat BP qui coupera à 0,5 bar. Une fois coupé, l'évaporateur sera vidé et on pourra ouvrir l'électrovanne Y2, qui enverra les gaz chauds. Le relais KA3 ajouté s'appelle donc relais "pump-down avant dégivrage" et KA4 permet de verrouiller le système et de faire un pump-down et un seul par cycle de pendule, on l'appellera donc relais "single pump-down avant dégivrage".





Légende :

KM1 = contacteur groupe de condensation
KM2 = contacteur du ventilateur de l'évaporateur 1
KM3 = contacteur du ventilateur de l'évaporateur 2
KM4 = contacteur du ventilateur de l'évaporateur 3
KM5 = contacteur du cordon chauffant d'ACL
q < = thermostat de régulation de cordon chauffant d'ACL
q > = thermostat de régulation
qfd > = thermostat de fin de dégivrage
S1 = commutateur marche/arrêt
S0 = arrêt d'urgence
HP> = pressostat HP sécurité
HP< = pressostat HP de mise en production de gaz chauds
BP> = pressostat BP régulation
BP< = pressostat BP pump-down avant dégivrage
F1 = relais thermique du groupe de condensation
F2 = relais thermique du ventilateur d'évaporateur 1
F3 = relais thermique du ventilateur d'évaporateur 2
F4 = relais thermique du ventilateur d'évaporateur 3
KA1 = relais de pump down avant dégivrage
KA2 = relais single pump down avant dégivrage
KA3 = relais de dégivrage évap 1 équipé d'un additif temporisé repos
KA4 = relais "single dégivrage" évap 1
KA5 = relais de dégivrage évap 2 équipé d'un additif temporisé repos
KA6 = relais "single dégivrage" évap 2
KA7 = relais de dégivrage évap 3 équipé d'un additif temporisé repos
KA8 = relais "single dégivrage" évap 3
KA9 = relais de mise en production de gaz chauds
Y1 = électrovanne ligne liquide évap 1 (NF)
YA = électrovanne gaz chauds évap 1 (NF)
YB = électrovanne aspiration évap 1 (NO)
Y2 = électrovanne ligne liquide évap 2 (NF)
YC = électrovanne gaz chauds évap 2 (NF)
YD = électrovanne aspiration évap 2 (NO)
Y3 = électrovanne ligne liquide évap 3 (NF)
YE = électrovanne gaz chauds évap 3 (NF)
YF = électrovanne aspiration évap 3 (NO)
P = pendule de dégivrage

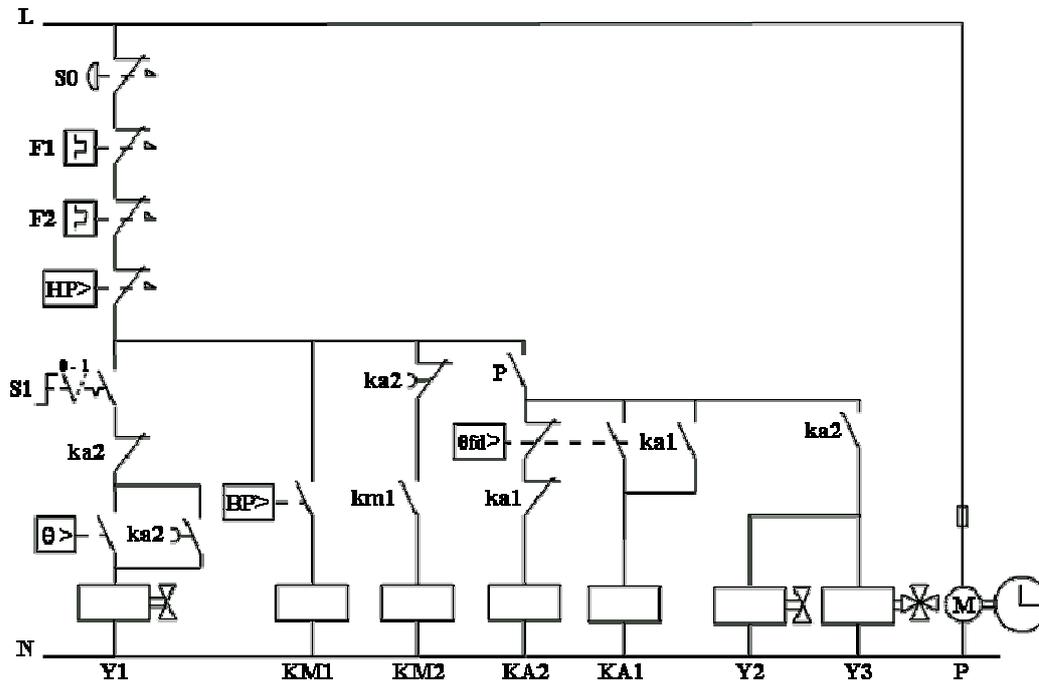
Chaque arrivée de gaz chaud comporte son détendeur automatique et son électrovanne. Ces conduites passent dans le bac de dégivrage pour éviter d'employer une résistance. La résistance d'écoulement reste obligatoire.

On ajoute en sortie d'évaporateur une vanne de régulation de pression de d'évaporation pour homogénéiser le dégivrage sur toute la surface de la batterie. On remplace le bain marie par une anti-coup de liquide équipée d'un cordon chauffant autorégulant commandé par thermostat.

On dégivre un évaporateur pendant un temps maxi imposé par l'horloge, les deux autres assurent la production de gaz chauds nécessaires au dégivrage à l'aide du pressostat HP. Un thermostat de fin de dégivrage permet le retour en marche réfrigération. Chaque dégivrage débute par un pump-down de tout les évaporateurs.

9.11.3 Le dégivrage par inversion de cycle

En utilisant la base du schéma électrique de commande du dégivrage par résistances, on arrive au schéma suivant :



Légende :

- KM1 = groupe de condensation
- KM2 = ventilateur de l'évaporateur
- q > = thermostat de régulation
- S1 = commutateur marche/arrêt
- S0 = arrêt d'urgence
- HP> = pressostat HP sécurité
- BP> = pressostat BP régulation
- F1 = relais thermique du groupe de condensation
- KM1 = contacteur du groupe de condensation
- F2 = relais thermique du ventilateur d'évaporateur
- KM2 = contacteur du ventilateur d'évaporateur
- KA2 = relais de dégivrage équipé d'un additif temporisé repos
- KA1 = relais "single dégivrage"
- Y1 = électrovanne ligne liquide (NF)
- Y2 = électrovanne NO entrée réservoir de liquide
- Y3 = vanne d'inversion de cycle
- P = pendule de dégivrage

Y3 en position production de froid

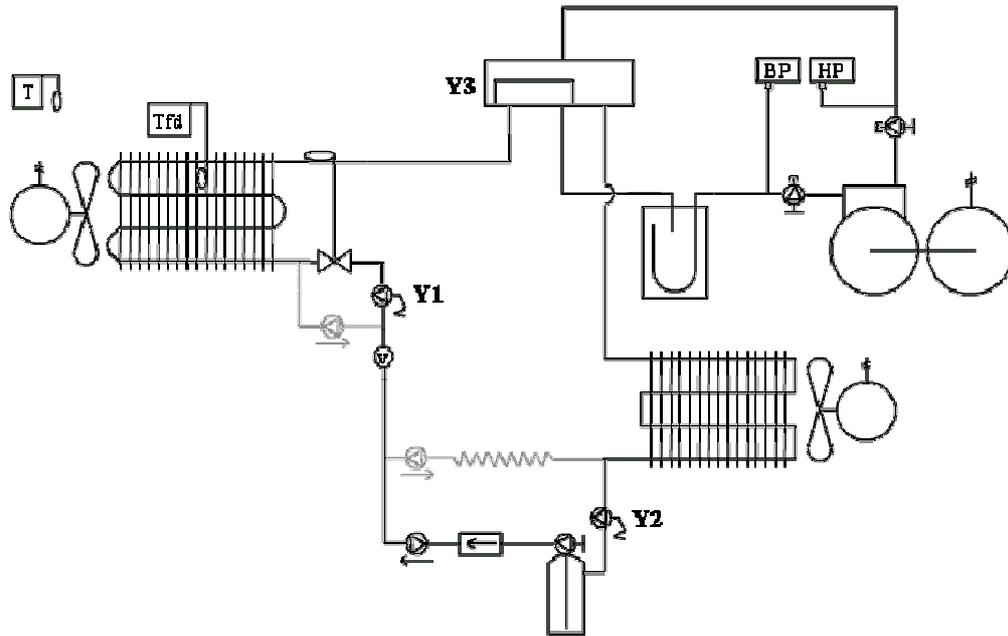
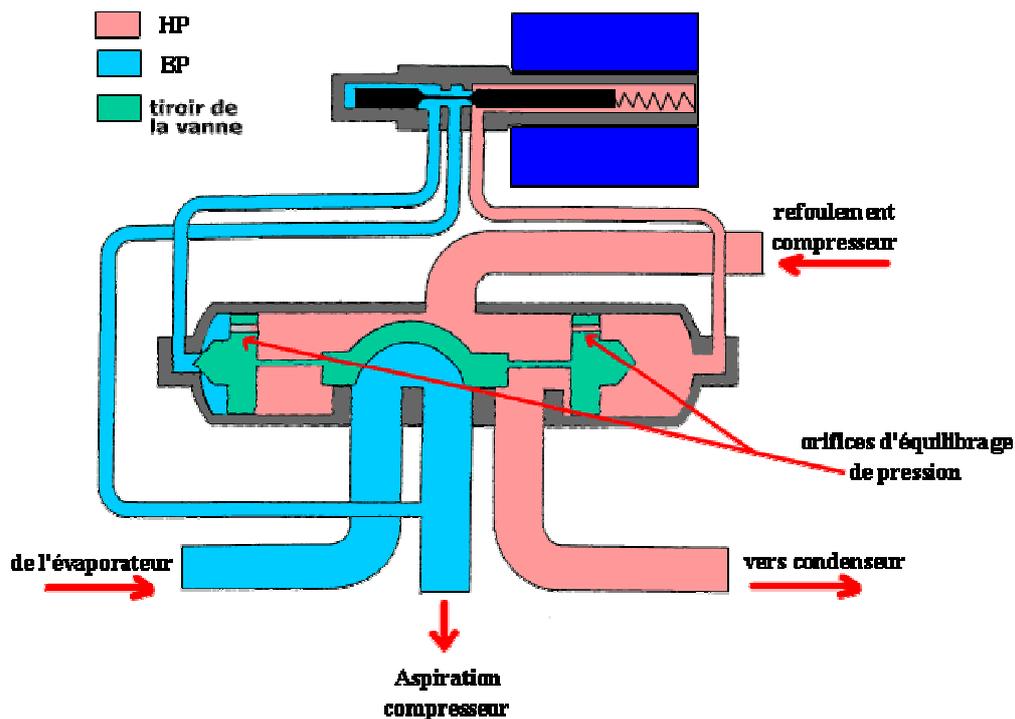


Schéma de la vanne 4 voies Y3 non alimentée



Le tiroir de la vanne 4 voies est commandé par une vanne 3 voies pilote grâce au jeu des pressions. En mettant l'aspiration en contact avec la partie gauche de la vanne, on colle le tiroir vers la gauche en faisant une détente à l'aide du compresseur par le trou d'équilibrage.

A droite, il règne la même pression (HP) de part et d'autre du tiroir car la voie est isolée au niveau de la vanne 3 voies de pilotage.

Y3 en position dégivrage

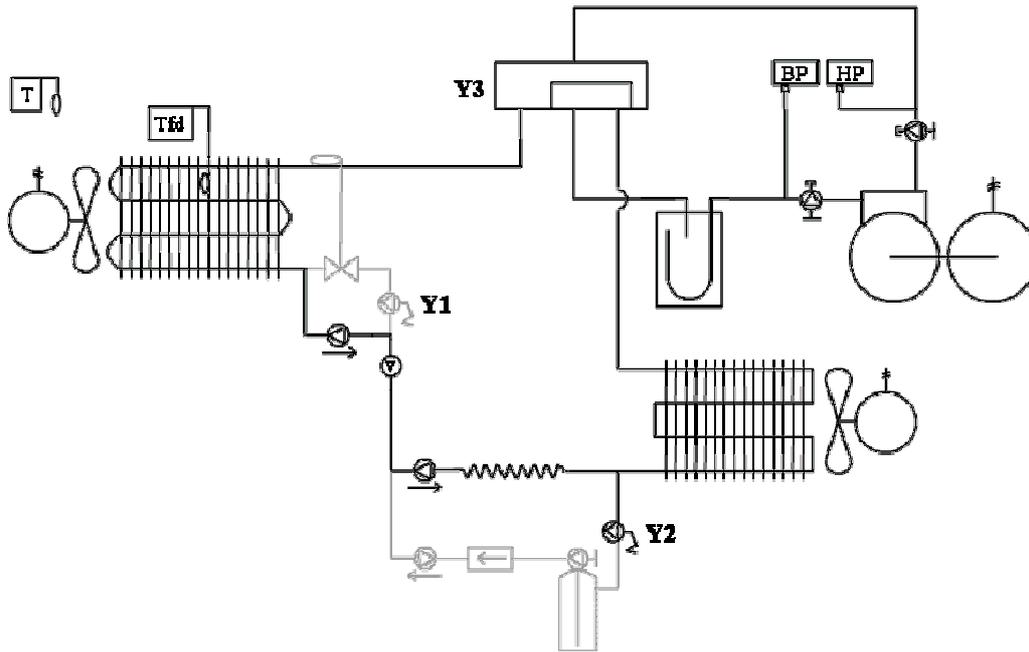
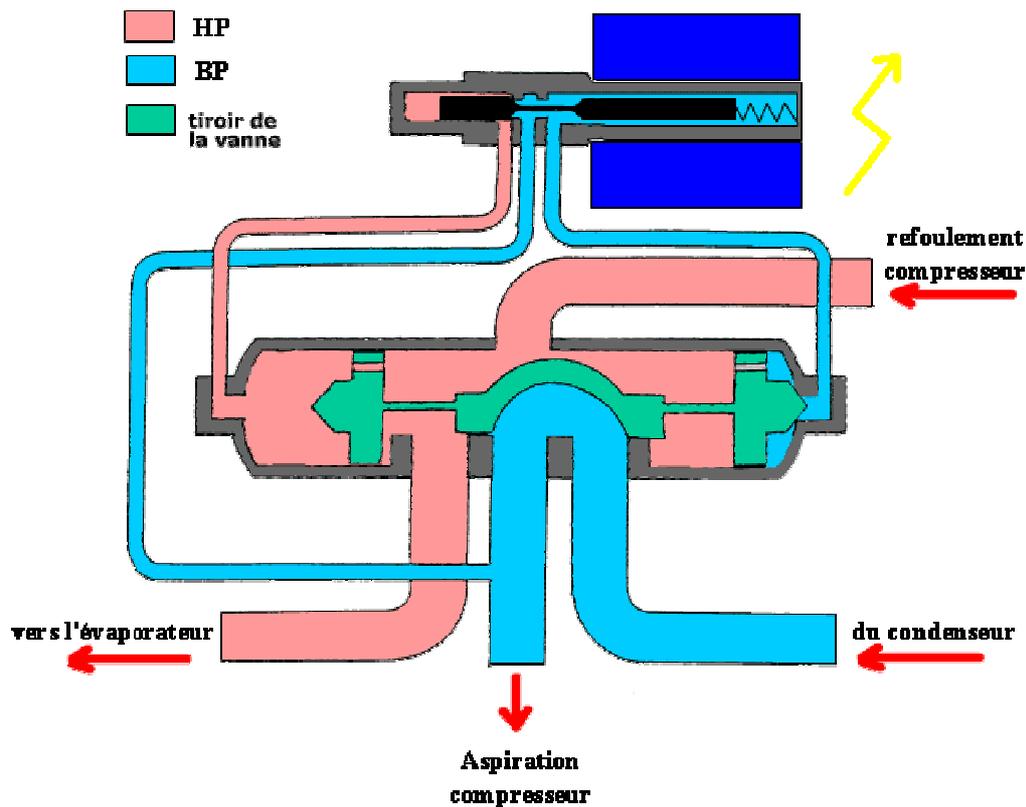
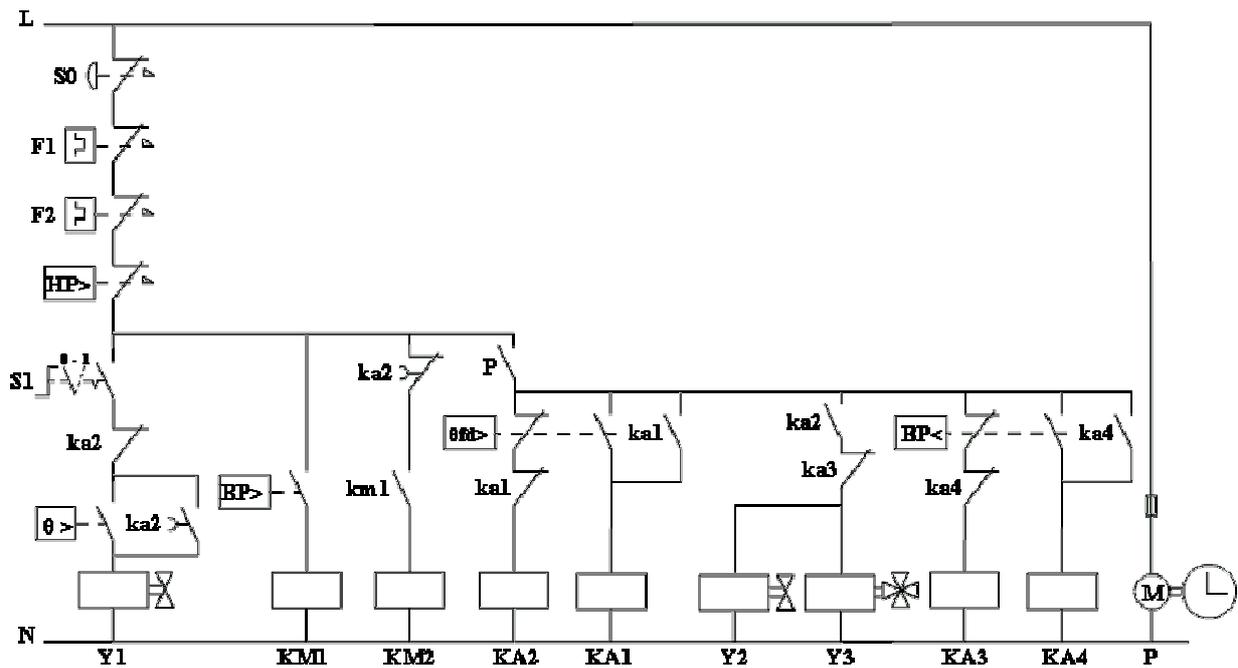


Schéma de la vanne 4 voies Y3 alimentée

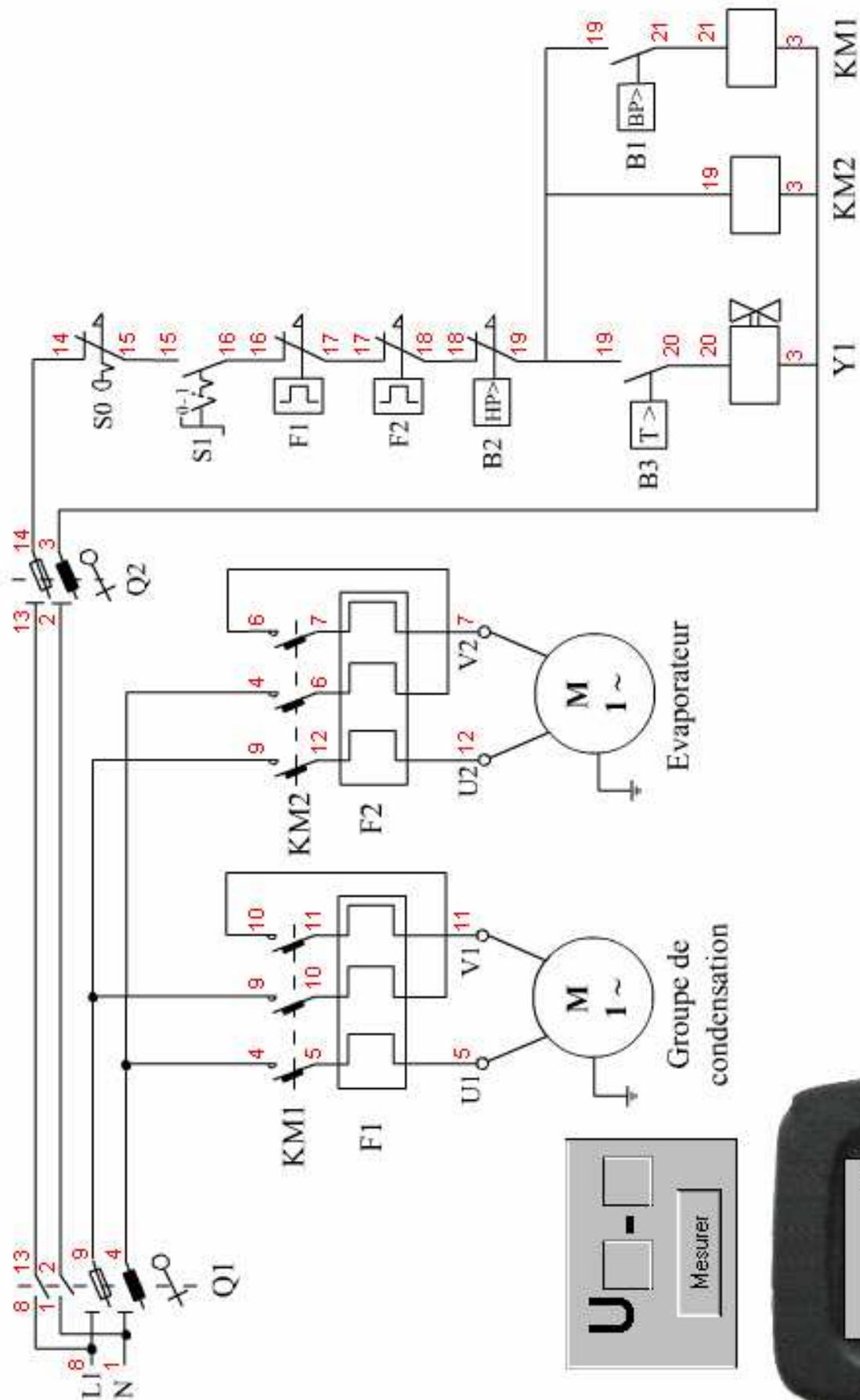


L'aspiration est en contact avec la partie droite de la vanne, le tiroir est collé vers la droite grâce à la détente créée par le compresseur au travers du trou d'équilibrage. A gauche, il règne la même pression (HP) de part et d'autre du tiroir car la voie est isolée au niveau de la vanne 3 voies de pilotage.

Piste de réflexion :



En faisant d'abord un pump-down sur l'évaporateur le dégivrage sera plus rapide. Pour cela utilisons un deuxième pressostat BP qui coupera à 0,5 bar. Une fois coupé, l'évaporateur sera vidé et on pourra ouvrir l'électrovanne Y2, qui enverra les gaz chauds. Le relais KA3 ajouté s'appelle donc relais "pump-down avant dégivrage" et KA4 permet de verrouiller le système et de faire un pump-down et un seul par cycle de pendule, on l'appellera donc "single pump-down avant dégivrage".



Technique du froid

NSN utiles

Gaz : R22-(6830.22.210.7322) en 12kg=8120.90.006.5876 et en 60kg=8120.13.117.8999
R134A (6830.01.439.0614)en 12kg=8120.90.006.5877 et en 60kg=8120.90.005.2121
R407C (6830.90.005.9697)en 11,3kg=8120.90.006.5878

OUTILS

KIT PLIAGE TUYAU :5120.01.449.4066
Kit expansion :5180.13.117.0101
Coupe tube grand :5110.00.293.0460
Coupe tube mini :5110.01.445.6686
Coupe cable à main :5110.14.398.6336
Thermomètre digital :6685.12.343.3728
Indicateur de phase :6625.13.117.7618
Baguette à l'argent :S-L-BAY 3439

TM

Véhicule VOLVO carrier mistral 900 (Z 140-900)

7610.13.116.2920 :carnet de bord et entretien	7610.13.116.2926 :startronic
7610.13.116.2921 :superstructure	7610.13.116.2928 :hayon élévateur
7610.13.116.2922 :utilisateur	7610.13.116.2929 :cooling motor
7610.13.116.2923 :training	7610.13.116.2930 :diesel D950 SNL
	7610.13.116.2931 : SNL

Véhicule IVECO ZEPHIR 200 (Z967-310)

TME 301	7610.70.407.5000.4	TMF 101	7610.70.407.5007.9
TME 201	.5001.2	TMN 201 carrosserie FRIGO	08.7
TME 102	.5002.0	TMF 201 carrosserie FRIGO	09.5
TMF 102	03.8	SNL 001 leaflet	.5010.3
Micro SNL	04.6	SNL 101	.5011.1
TME 101	05.3	TME 101 Zéphir 200	.5012.9
TMN 101	06.1		

Airco véhicule

PANDUR

Wygam avec leak tester :4130.13.117.7180.5

SCANIA

station Robinair :4250.01.489.5232

Leak detect Robinair :4940.01.489.5231

10.1 PANNES FRIGORIFIQUES

L'expérience du dépannage frigorifique sur les installations de froid commercial et de climatisation permet de classer les pannes frigorifiques en huit grandes familles comme suit :

les quatre premières pannes se caractérisent par une BP anormalement faible

la panne du détendeur trop petit (la puissance du détendeur est insuffisante)

la panne du manque de charge en FF (le circuit frigorifique ne contient pas assez de FF)

la panne de la pré-détente (pré-détente indésirable sur la ligne liquide avant le détendeur)

la panne de l'évaporateur trop petit (la puissance frigorifique de l'évaporateur est insuffisante)

la cinquième panne se caractérise par une BP élevée avec une puissance frigorifique faible ; c'est la panne du compresseur trop petit, la puissance du compresseur est insuffisante

les trois dernières pannes se caractérisent par une HP anormalement élevée

la panne de l'excès de charge (il y a trop de FF dans le circuit frigorifique)

la panne des incondensables (il y a un excès important d'incondensables dans le circuit)

la panne du condenseur trop petit (la puissance du condenseur est insuffisante)

Quelque soit la panne, elle se caractérise par une production frigorifique faible par rapport à la puissance normale.

10.1.1 Panne du détendeur trop petit

Il est souvent consécutif à une mauvaise sélection du détendeur thermostatique (buse trop petite). Le détendeur ne laisse pas passer assez de FF dans l'évaporateur, la dernière goutte de liquide va apparaître très tôt à l'intérieur de l'évaporateur, la SH des vapeurs à la sortie de l'évaporateur va être importante, la température du FF à l'aspiration du compresseur sera élevée et par conséquent celle du FF au refoulement également.

Le compresseur peut aspirer plus de vapeurs que l'évaporateur en produit, la BP devient anormalement faible. Le carter du compresseur sera anormalement chaud.

La BP a tendance à chuter tandis que la température du fluide à refroidir à l'entrée de l'évaporateur augmente, l'écart maximal de température de l'évaporateur sera important.

Le condenseur devient potentiellement surpuissant et puisque la puissance frigorifique produite est faible (manque de FF dans l'évaporateur), l'excédent de FF se retrouve dans le condenseur, le SR sera très bon.

Il ne faut cependant pas confondre cette panne avec celle de la pré-détente qui se caractérise par une différence de température entre le départ de la conduite liquide et l'entrée du détendeur.

Lorsque la panne du détendeur est localisé avec certitude, il faut rechercher la cause exacte qui peut être parmi les causes suivantes :

détendeur mal sélectionné

détendeur trop fermé à la suite d'un mauvais réglage

train thermostatique du détendeur percé ou prévu pour un autre FF

détendeur grippé mécaniquement

filtre à l'entrée du détendeur colmaté...

10.1.2 Panne du manque de charge

Lorsqu'il manque de FF dans l'installation, il en manque également dans tous les organes de l'installation, en particulier dans les organes principaux.

L'évaporateur sera mal alimenté en FF et des répercussions telles que celles de la panne du détendeur trop petit seront observées. Le condenseur devient surpuissant mais comme il manque de FF dans le condenseur également, la tuyauterie liquide sera mal remplie d'où la présence de FF gazeux dans cette tuyauterie, le SR sera pratiquement nul et des bulles devront apparaître dans le voyant liquide.

La présence de bulles au niveau du voyant liquide n'implique pas forcément un manque de charge en FF, cependant un manque de charge se traduit toujours par la présence de bulles au niveau du voyant liquide.

10.1.3 Panne de la pré-détente

Il s'agit d'une panne consécutive à une détente du FF sur la ligne liquide avant le détendeur à proprement parlé.

Par exemple lorsque le filtre-déshydrateur est bouché, il s'oppose au passage du FF liquide et peut provoquer une chute de pression importante (suivant l'importance du colmatage), cette chute de pression peut être comparable à celle créée par la « détente normale », on peut retrouver alors un mélange de liquide et de vapeur à la sortie du filtre-déshydrateur et le voyant liquide va « buller ».

Il s'ensuit un manque de FF liquide à l'entrée du détendeur et par suite une mauvaise alimentation en FF de l'évaporateur avec les mêmes symptômes que ceux de la panne du détendeur trop petit. Ces deux pannes diffèrent par le fait qu'il y a une différence de température sur la ligne liquide pour la panne de la pré-détente.

1.1.4 Panne de l'évaporateur trop petit

Cette panne caractérise toutes les pannes provoquant une réduction anormale de la puissance de l'évaporateur. L'évaporateur produisant moins de vapeurs que le compresseur peut en aspirer, la BP va diminuer fortement.

Les échanges entre le FF liquide contenu dans l'évaporateur et le fluide à refroidir ne s'effectuent pas correctement, l'écart de température sur le fluide augmente, le fluide n'est plus refroidi correctement, le FF n'est plus totalement vaporisé, la SH est faible et il y'a des risques de coup de liquide, tout se passe comme si le détendeur devenait surpuissant.

Le condenseur devient potentiellement surpuissant puisque la puissance frigorifique produite est faible, le SR sera plutôt bon.

La panne peut avoir 2 origines

le manque de débit d'air sur l'évaporateur : la vitesse de circulation du fluide (l'air) étant faible, le fluide (l'air) reste plus en contact avec les surfaces d'échange, la température de sortie du fluide diminue alors que celle à l'entrée augmente, l'écart de température sur le fluide est donc important

l'évaporateur est encrassé : le fluide est moins bien refroidi et la différence de température sur le fluide sera plutôt faible

La panne de l'évaporateur trop petit peut avoir plusieurs causes (évaporateur à air) :

les tubes et les ailettes de l'évaporateur sont encrassés

les filtres à air sont sales

la courroie du ventilateur évaporateur patine ou est cassée

la perte de charge du réseau aérouique de l'évaporateur est trop importante

la circulation se fait mal dans la chambre froide

l'un des ventilateurs de l'évaporateur ne fonctionne plus

le ventilateur de l'évaporateur tourne à l'envers...

Il est à noter que le sens de circulation de l'air est inversé pour un ventilateur du type hélicoïde lorsque que le ventilateur tourne à l'envers, pour un ventilateur centrifuge, le sens de circulation reste inchangé ; par contre le débit d'air et la pression aérouique fournie diminuent fortement.

10.1.5 Panne du compresseur trop petit

Cette panne regroupe toutes les anomalies susceptibles de provoquer une perte de puissance du compresseur.

Par exemple, lorsque le compresseur perd de la puissance (un cylindre sur deux en fonctionnement, l'autre étant hors service), tout se passe comme si l'évaporateur produit plus de vapeurs de FF que le compresseur ne peut aspirer, la BP va augmenter fortement.

Le débit massique de FF en circulation étant réduit, la puissance frigorifique va diminuer également.

L'évaporateur devient surpuissant, la SH sera élevée.

La quantité de FF vapeur aspirée étant réduite, le compresseur sera moins bien refroidi et son carter sera plutôt chaud. L'énergie électrique consommée par la compresseur va diminuer.

Le condenseur devient surpuissant, le SR sera bon.

La liste suivante fait le point de quelques pannes du compresseur trop petit :

clapet cassé ou non étanche

compresseur est sous dimensionné par rapport à l'évaporateur...

D'OÙ PROVIENT LA PANNE D'UN COMPRESSEUR

Vous devez toujours vous poser cette question lorsqu'il y a lieu de remplacer un compresseur défectueux. En effet, l'ancien compresseur a une histoire à vous raconter. Si vous ne trouvez pas la réponse à cette question, il y a des fortes chances que vous deviez sous peu remplacer le nouveau également.

Il suffit souvent de consacrer un peu plus de temps à l'analyse pour trouver la réponse. Analysons quelques cas.

LE COMPRESSEUR EST À LA MASSE

Un grand pourcentage des mises à la masse provient d'un manque d'huile. Ouvrez le compresseur et inspectez le stator et le rotor.

Inspectez les bobines et l'état dans lequel elles se trouvent.

COMPLETEMENT GRILLE

Si vous observez une brûlure totale des bobines, la cause peut résider dans une tension trop faible, un déséquilibre dans la tension d'alimentation ou le manque de refroidissement du moteur.

Il est aussi possible que le rotor ait été bloqué alors que la protection du moteur était hors service. Toutes les causes provoquant une chute de tension peuvent être à l'origine de ce problème.

Considérons que la tension soit égale à $I \times R$.

Une chute de tension est donc une perte de $I \times R$. Une variation de la résistance d'un raccordement peut provenir de connexions en train de se desserrer aux câbles d'alimentation ou dans le compresseur même, de mauvais contacts de relais ou encore de mauvais contacts aux bornes de raccordement.

Il arrive que cette variation de résistance ne se remarque qu'en charge de telle sorte qu'une mesure de la tension à l'arrêt laisse supposer à tort que tout est en ordre. C'est pourquoi la tension doit encore être remesurée à même les bornes de raccordement et en charge.

Une surcharge générale peut être le résultat d'un compresseur mal choisi ou d'une machine qui, pour une raison ou une autre, commence à fonctionner en dehors des limites autorisées prévues dans les spécifications établies par le fabricant.

Des cycles marche/arrêt trop fréquent du compresseur peuvent être le résultat d'une brûlure générale. En effet, à cause des brûles, la chaleur développée au démarrage ne peut pas être suffisamment évacuée des bobines par les gaz d'aspiration.

BRULURE PARTIELLE

Si vous observez un ou plusieurs enroulements brûlés tandis qu'un enroulement est resté intact, dans le nombreux cas la cause sera qu'un contact du relais n'a pas fonctionné. De temps à autre, il arrive également qu'un relais brûlé reste attiré sans que la bobine du relais soit activée. Dans ce cas, il n'est pas rare de voir le moteur fonctionner sur deux phases. Dans un moteur à enroulement partiel, il se pourrait qu'un des deux relais n'ait pas été activé. La perte d'une phase équivaut à une perte de couple moteur car l'un des enroulements ne contribue plus au fonctionnement correct. Le moteur commence alors à se déphaser par rapport au champ tournant développé. Les bobines restantes commencent de ce fait à consommer davantage de courant ce qui peut aboutir à la brûlure des enroulements restants. Lorsque la charge du moteur devient trop importante, il est possible que le champ tournant se déconnecte totalement. Si la protection du moteur est correctement réglée, celle-ci devrait être activée.

Au démarrage, les moteurs à cage d'écureuil consomment environ 6 fois la valeur du courant nominal ceci est dû à l'absence d'une réactance inductive.

Lorsque les câbles d'alimentation vers le bâtiment ou vers le compresseur ne sont pas de dimensions suffisantes, il y aura une chute de tension à chaque démarrage du compresseur. L'une des solutions consiste à démarrer le moteur dans une configuration triangle/étoile où le courant de démarrage est environ de 2X le courant de fonctionnement. Le couple de démarrage est de cette manière ramené à 1/3. Les moteurs à enroulement partiel ont un couple de démarrage proportionnel à la première bobine qui enclenche. Si un démarrage à vide n'a pas été prévu, le moteur sera surchargé ce qui peut résulter en de sérieux dommages lorsque cette situation est maintenue un certain temps.

Si vous observez une petite trace de brûlure sur la partie inférieure des bobines, vérifiez alors s'il y a encore suffisamment de jeu entre le rotor et le stator. Pour le savoir, faites bouger le rotor verticalement et horizontalement.

Des impuretés, souvent originaires du compresseur même, peuvent également être une cause possible. Une modification brusque de la charge dans le bâtiment peut résulter en une charge inductive élevée qui peut, à son tour, engendrer un pic de tension. La partie la plus faible des bobines du moteur en sera victime.

Cette brûlure peut se produire à l'intérieur de la bobine, entre les enroulements ou entre les enroulements et la masse.

Le fait de serrer trop fortes les connexions du moteur peut également avoir pour résultat un court-circuit entre les bornes de raccordement.

Lorsque la machine de réfrigération tourne avec une surchauffe trop faible, de la condensation peut apparaître dans la boîte de connexion. Chez certains fabricants, on trouve sous les fiches de raccordements une petite surélévation ou une protubérance où l'eau peut stagner. Cette eau peut alors provoquer une mise à la masse.

BOBINE DE DEMARRAGE BRULEE

Des condensateurs de démarrage endommagés ou des relais de démarrage défectueux sont, dans les moteurs monophasés, souvent à l'origine de problèmes dans les petits compresseurs hermétiques.

Ces composants peuvent devenir défectueux suite à des problèmes d'alimentation de tension ou à cause d'arrêts/démarrages multiples du compresseur.

Ce phénomène se produit le plus souvent lorsque d'une part du gaz s'est échappé de l'installation et que le compresseur se débranche constamment par le biais de son fusible BT (basse tension) ou, d'autre part lorsque le condenseur est encrassé ou encore lorsque le ventilateur du condenseur est défectueux car alors la protection HP de la machine s'enclenche et se déclenche, le phénomène étant aggravé par des pressions de condensation élevées.

La bobine principale peut également griller si le compresseur est surchargé faisant en sorte que la bobine de secours soit constamment sollicitée tandis que le compresseur tourne.

Un raccordement erroné des câbles d'alimentation est quelque fois à la base d'une panne du compresseur.

Dans un article suivant nous irons plus en détail dans la manière de vérifier les petits compresseurs hermétiques monophasés.

PRENEZ LE TEMPS DE VERIFIER LES PROTECTIONS

Si l'on observe une perte d'huile lorsque le compresseur tourne, la cause peut en être : Des pistons usés, des segments de piston usés, l'aspiration de liquide ou des roulements usés. Le roulement le plus à l'arrière montre généralement le plus haut degré d'usure.

Lorsque qu'il y a suspicion d'aspiration de réfrigérant liquide, vérifiez absolument la fenêtre d'inspection du niveau d'huile. L'huile est-elle transparente ou plutôt moussante ?

Une fois le compresseur démarré, la mousse se transforme-t-elle en huile de couleur normale ou mousse-t-elle davantage ?

L'huile continu-t-elle à mousser au cours du démarrage ? Cela signifie très vraisemblablement qu'il y a trop de liquide réfrigérant dilué dans le carter d'huile.

La pompe à huile aspire alors un mélange huile/réfrigérant, ce qui fait que différents composants ne sont plus lubrifiés correctement. La viscosité de ce mélange est, dans la plupart des cas, bien inférieure, ce qui empêche la pompe à huile d'atteindre la pression souhaitée.

Touchez également les caches soupapes. Sont-ils très chauds ? Parfois, avec un tout petit peu d'eau, il est possible de voir si les caches soupapes ont une température supérieure à 100°C.

La limite de température se situe de 70 à 80°C.

HAUTES TEMPERATURES DE GAZ COMPRIME

Ce sont toutes les températures qui dépassent les températures pour lesquelles la machine a été conçue. La chaleur de la compression est souvent la conséquence de vapeurs trop surchauffées ou d'un rapport de compression trop élevé. Des rapports de compression élevés peuvent être le résultat de fortes pressions de condensation ou de pressions d'aspiration trop faibles ou même une combinaison des deux.

Lors de températures trop élevées des gaz comprimés, l'huile devient tellement chaude qu'elle se décompose en perdant toutes ses propriétés de lubrification. Les segments des pistons peuvent ainsi être endommagés permettant qu'une partie des gaz comprimés soient envoyés vers le carter. Si des particules des segments de piston se détachent, celles-ci peuvent également aboutir dans les bobines et provoquer des dégâts importants.

Symptômes d'une trop haute température des gaz comprimés :

Modification de la couleur de la plaque de soupapes, soupapes de refoulement décolorées, cylindres et segments de pistons brûlés et usés, coloration foncée du cache soupapes.

BASSE ET HAUTE PRESSION

Contrôler aussi bien les protections basse pression (bp) que haute pression (hp). Pour les systèmes qui doivent tourner avec une faible pression d'aspiration, contrôlez si le moteur est suffisamment refroidi par un ventilateur ou par suffisamment de gaz d'aspiration froids dans le cas d'une machine refroidie par gaz d'aspiration.

Isolez également les tuyaux d'aspiration surtout s'ils passent dans des endroits chauds. Pour diminuer une température de compression trop haute, il peut être nécessaire de diminuer la surchauffe.

Le carter n'est-il trop chaud ? Un carter trop chaud peut être la conséquence de gaz comprimés refoulants.

Contrôlez la pression d'aspiration. N'est-elle pas trop faible, ou bien la machine a-t-elle tourné pendant une longue période sous charge partielle ?

Lors d'une pression d'aspiration trop basse, la vitesse du gaz dans les conduites diminue également, ce qui permet mener à une accumulation d'huile dans le système.

Lors d'une brusque augmentation de la capacité, la vitesse dans les conduites se rétablit et l'huile accumulée peut refluer brutalement. Si le compresseur n'est pas pourvu d'un séparateur de liquides suffisamment important, ce phénomène pourra entraîner des dégâts énormes au compresseur. En effet, l'huile aspirée n'est pas compressible.

Contrôlez également le différentiel de pression d'huile en mesurant tant la pression d'huile que la pression dans le carter.

Il est important de souligner que la pression du carter doit être à peu près égale à celle d'aspiration. Un filtre encrassé ou gelé dans la vanne d'aspiration peut alors donner une image totalement erronée de la situation. A noter une exception : les compresseurs 06^E de Carlyle où la pression du carter est légèrement supérieure à celle d'aspiration.

SECURISATION EN TEMPERATURE DES BOBINAGES

Le placement d'un klixon comme cela se fait en standard sur la plupart des scrolls peut être une protection supplémentaire. Veillez toujours à raccorder le Kriwan déjà monté car c'est la seule protection qui contrôle la température interne des bobinages, indépendamment du courant que le moteur prélève sur le réseau.

En effet, il est parfaitement possible que le moteur prenne beaucoup moins de courant que le maximum permis et cependant s'échauffe tout de même.

Un certain nombre de constructeurs rejettent d'ailleurs la garantie si le Kriwan n'est pas installé.

Quelques fabricants vont encore plus loin et ont remplacé le compresseur par un module de management du compresseur. Tous les paramètres comme la pression d'huile, la température des bobines, le pressostat et même les vibrations sont introduits dans ce module.

Chaque paramètre peut alors être déconnecté à l'aide d'un petit interrupteur situé sur le module.

HUILE

Sentez l'huile pour savoir si son odeur n'est pas trop acide. Au moindre doute, il y aura lieu d'analyser le degré d'acidité d'un échantillon d'huile. Sans quoi il a de fortes chances que l'huile trop acide encore présente dans le circuit fonctionne comme un catalyseur pour l'huile de la nouvelle machine. Dans ce cas la nouvelle machine risque fort de brûler à cause des résidus acides de la machine précédente.

Si l'huile est acide, placez un filtre « burn out » juste avant le compresseur. Certains techniciens ne jurent que par l'ajout d'un produit chimique neutralisant Acid-Away.

Qui mieux est : la combinaison des deux. Votre client n'accepterait jamais qu'une nouvelle machine puisse brûler après seulement quelques semaines de fonctionnement.

BRUITS ANORMAUX, VIBRATIONS

Vous écouterez aussi le bruit du compresseur en fonctionnement. Un technicien expérimenté entendra rapidement, en tenant compte de la marque, si le compresseur produit un bruit anormal. S'il y a un bruit anormal, ceci peut avoir diverses origines : pistons usés, axes de piston usé, soupape brisées,...

Pour pouvoir mieux apprécier le bruit interne d'un compresseur, vous pouvez placer un tournevis avec sa pointe métallique sur la machine et mettre votre oreille sur le manche en plastique. Vous serez surpris de constater à quel point vous entendrez plus clairement le bruit de la machine.

Les anciens frigoristes utilisent même un stéthoscope !

Il existe dans le commerce également des appareils à ultrasons très sophistiqués qui transforment les bruits inaudibles à l'oreille en signaux audibles.

Pour contrôler l'axe du piston, amenez le piston à son point mort le plus élevé, le cache soupapes étant ouvert. Ensuite tournez un rien au-delà du point mort. Appuyez maintenant prudemment sur le piston à travers l'ouverture et, en principe on ne peut pas sentir bouger le piston dans sa chemise.

Un axe de piston usé est souvent le résultat d'une soupape de refoulement usée.

Il est donc du plus grand intérêt d'investir un peu de temps pour ausculter le compresseur défaillant. Cela devrait d'ailleurs être une routine. En effet, un médecin ausculte toujours son patient avant d'émettre un diagnostic.

10.1.6 Panne de l'excès de charge

Le détendeur thermostatique réglant le niveau de FF dans l'évaporateur, le lieu de prédilection pour l'excès de charge est la bouteille liquide et dans une moindre mesure le condenseur.

En cas d'excès de charge, le niveau de liquide va augmenter dans la bouteille liquide puis dans le condenseur, réduisant ainsi la surface d'échange du condenseur.

La condensation des vapeurs de FF va mal se passer avec comme répercussion une augmentation de la HP.

Par contre le FF liquide qui se trouve dans le condenseur et dans la bouteille liquide va rester plus en contact avec le fluide de refroidissement (ambiance), ce qui va lui assurer un bon SR.

L'augmentation de la HP entraîne une réduction du débit massique de FF aspiré par le compresseur et par suite une diminution de la puissance frigorifique.

Le détendeur devient surpuissant à cause de l'augmentation de la HP et la SH des vapeurs à la sortie de l'évaporateur sera normale, voir faible.

Remarque : si l'une des pressions de fonctionnement (BP ou HP) varie dans un sens, l'autre pression a toujours tendance à varier dans le même sens sauf dans le cas de la panne du compresseur petit ou la HP descend pendant que la BP augmente.

L'augmentation de la HP va entraîner une consommation électrique plus importante et l'écart de température maximale sur le condenseur sera plutôt élevé.

Il est préférable d'effectuer le test des incondensables pour ne pas confondre la panne de l'excès de charge avec la panne des incondensables, ces 2 pannes présentant pratiquement les mêmes symptômes.

10.1.7 Panne des incondensables

Les incondensables sont les gaz indésirables (air, azote...) qui sont dans le circuit frigorifique.

Ils sont généralement piégés en partie haute de la bouteille liquide et ils augmentent artificiellement la pression HP (loi de Dalton).

Les symptômes sont les mêmes que ceux de la panne de l'excès de charge. Seul le test des incondensables permet de différencier ces deux pannes.

Le test des incondensables s'effectue comme suit :

ramener tout le FF dans la bouteille liquide (ou condenseur) par un fonctionnement du type « Pump Down »

forcer la circulation du fluide de refroidissement (par exemple mettre en marche le ventil-condenseur dans le cas d'un condenseur à air) pendant un certain temps (1/4 d'heure)

mesurer la température du fluide de refroidissement (température de l'air dans le cas d'un condenseur à air)

comparer cette température à l'indication de la température du manomètre HP

si les indications respectives du manomètre HP et du thermomètre coïncident à environ 2°C, il n'y a pas d'incondensables dans le circuit frigorifique

si la température indiquée par le manomètre dépasse de plus de 2°C à celle du thermomètre, il y a des traces d'incondensables qui sont d'autant plus importants que l'écart est grand

si la température indiquée par le manomètre est inférieure de plus de 2°C à celle du thermomètre, cela veut dire que le circuit est sous chargé en FF, voir complètement vide

La purge est possible lorsque la bouteille liquide comprend un purgeur en partie haute ou en créant une purge sur le raccord d'entrée si il n'est pas brasé.

Autrement, il faut vider (récupérer), tirer au vide et recharger le circuit en FF.

10.1.8 Panne du condenseur trop petit

Cette panne caractérise toutes les pannes provoquant une réduction anormale de la puissance du condenseur. Le condenseur n'assurant plus un bon refroidissement des vapeurs de FF, la HP va augmenter fortement.

Les échanges entre les vapeurs de FF dans le condenseur et le fluide de refroidissement ne s'effectuent pas correctement, la température du fluide de refroidissement à la sortie du condenseur diminue de même que l'écart de température sur le fluide. Les vapeurs de FF ne sont pas totalement condensées et le SR est très faible, voir inexistant. Dans certains cas, le voyant liquide peut même « buller » bien que la charge en FF soit correcte.

L'augmentation de la HP entraîne une réduction de la puissance frigorifique et tout se passe comme si le détendeur devenait surpuissant, la SH sera normale, voir faible.

A cause de la HP élevée, la consommation électrique du compresseur est plus importante et le débit massique de FF véhiculé par le compresseur diminue.

La BP va augmenter également.

Ces pannes peuvent avoir 2 origines :

le manque de débit d'air sur le condenseur : la vitesse de circulation du fluide (l'air) étant faible, le fluide (l'air) reste plus en contact avec les surfaces d'échange, la température de sortie du fluide augmente, l'écart de température sur le fluide est donc important

le condenseur est encrassé : la température du fluide à la sortie du condenseur est inférieure à la normale, la différence de température sur le fluide sera plutôt faible

La panne du condenseur trop petit peut avoir plusieurs causes (condenseur à air) :

les tubes et les ailettes du condenseur sont encrassés

l'emplacement du condenseur est mal choisi

la courroie du ventilo-condenseur patine ou est cassée

la perte de charge du réseau aéraulique de l'évaporateur est trop importante

il y'a un recyclage de l'air chaud sur le condenseur

l'un des ventilateurs du condenseur ne fonctionne plus

le ventilateur de l'évaporateur tourne à l'envers...

10.1.9 Synthèse des pannes frigorifiques

SENTIR LITTERALEMENT UNE INSTALLATION DE REFROIDISSEMENT

L'objectif de cet article est de jauger les possibilités de la technique utilisée par les techniciens du froid expérimentés pour se faire une idée des températures de fonctionnement des différentes parties d'une installation frigorifique. Comme cette technique n'est pas enseignée dans les écoles, ni décrite dans aucun livre professionnel, et qu'elle ne peut s'acquérir que par l'expérience, cet article pourrait être intéressant pour tout le monde.

Certains utilisent peut-être cette technique de manière inconsciente, d'autres sont étonnés ou affolés de voir un vieux briscard commencer par tâter toutes les canalisations autour du compresseur d'une installation frigorifique défectueuse. Dans beaucoup de cas un tel toucher

peut déjà donner une idée sur la voie à explorer. La technique du toucher permet d'éliminer certaines causes sans faire des mesures. Il se fait que les températures déterminantes de fonctionnement d'une installation frigorifique sont du même ordre de grandeur que la température de la main.

GENERALITES

Comme la technique d'appréhension de la température par le toucher est d'apprentissage facile, elle peut de faire gagner du temps dans beaucoup d'interventions lorsqu'elle est utilisée en conjonction avec les lectures effectuées sur un manifold. Mais avant tout, nous devons connaître la température de la paume.

La température de la paume varie de 29°C à 33°C dans la plupart des cas, dépendant des individualités, de la température ambiante, de l'état de santé,...

Voilà pourquoi, il est conseillé de mesurer d'abord la température de la paume au moyen d'un thermomètre. Un thermomètre médical fait parfaitement l'affaire. Il ne faut pas oublier que cette température variera souvent les saisons et suivant votre santé. Il est donc prudent de vérifier régulièrement cette température.

APPRECIATION DU SOUS-REFROIDISSEMENT

En conditions normales de fonctionnement, les installations frigorifiques commerciales et les climatiseurs sont refroidis à l'air, la température de condensation étant comprise entre 40 et 45°C. Considérant un sous-refroidissement courant de 5K, la température à la sortie du condenseur doit se situer autour de 35°C – 40°C. La faible différence de température entre le liquide quittant le condenseur (35°C-45°C) et la main (30°C-33°C) permet, avec un peu d'exercice, d'évaluer rapidement et de manière précise le sous-refroidissement.

Pour se faire une idée plus précise, prenons l'exemple d'un technicien dont la main est à 31°C. Il, ou elle, prend en main la conduite contenant le liquide. Si on ne peut tenir la main sur la conduite, la température de celle-ci est supérieure à 45°C, avec la conséquence qu'une évaluation exacte est très difficile. Pour éviter de se brûler, il est conseillé de pousser d'abord avec un doigt sur la conduite avant de la prendre en main. Une conduite de refoulement peut atteindre facilement 80°C. Ce n'est que dans le cas où on sent un léger chaud, signifiant que la conduite est 31°C, que la sensation de chaleur est importante.

Avec un peu d'entraînement, il est parfaitement possible de déterminer à la main une température avec une précision proche de 1°C. Après la « mesure » de la température du liquide, il suffit de lire la pression sur le manifold haute pression pour pouvoir estimer directement le sous-refroidissement.

Lorsque le technicien a la sensation d'un léger chaud en touchant la conduite en aval du condenseur, il admet que la température est de 35°C. Dans le cas du gaz réfrigérant R22, si le manomètre indique une pression de 14.7 bar, ou une température de condensation associée de 41°C, nous arrivons par le calcul à un sous-refroidissement de 5K. Ces 41°C peuvent également être appréhendés au toucher dans la plus grande partie, mais souvent la partie centrale des conduites du condenseur.

C'est une manière d'évaluer in extremis le sous-refroidissement, sans connecter de manomètre au condenseur ; d'une main on apprécie la température sur la conduite à mi-chemin du condenseur, et de l'autre main à la sortie du condenseur.

On ne peut appliquer cette méthode que sur une installation stabilisée. Une installation qui vient d'être mise en service sera à certains endroits à une température différente que dans une

installation fonctionnant depuis quelque temps. Les différentes masses doivent avoir le temps de se mettre à température.

L'APPRECIATION D'UNE DIFFERENCE DE TEMPERATURE

La plupart des techniciens connaissent bien la technique de détection d'une différence de température à l'aide des deux mains. Elle est également décrite dans nombre de livres professionnels.

Cette méthode est relativement précise : une différence de température de 3K est parfaitement identifiable avec les deux mains. Et avec un peu d'exercice on arrive à déceler une différence de température de 2k.

Prenons un cas d'école pour déterminer si un sécheur est obstrué ou non. Dans le cas de K2 on parle d'obstruction naissante. Le liquide entre dans le sécheur à 35°C, et en sort à 33°C. Nous avons tous appris qu'il faut placer une main sur la conduite à l'entrée, et l'autre à la sortie. Nous maintenons les mains suffisamment longtemps, de sorte qu'elles se mettent à la même température que les conduites.

Notre cerveau détectera déjà en ce moment une main « froide » et une main « chaude ». Si nous échangeons rapidement les deux mains, la main chaude devient la main froide et vice-versa, chaque main sentira tout à coup une différence de 2K, mais qui se traduira par le doublement artificiel de la sensation, 4K. Cette technique permet donc de déterminer des petites différences de températures sans instrument de mesure.

L'APPRECIATION D'UNE TEMPERATURE INFERIEURE A CELLE DE LA MAIN

Si on n'a une sensation de froid, ni une sensation de chaud au toucher d'une conduite, on peut dire qu'elle est à la même température que la main. Dans le cas d'une impression de froid, la différence de température est plus difficile à évaluer, surtout si elle est importante. Dans ce dernier cas on fait appel à une technique spécifique, applicable surtout quand la température ambiante est inférieure à la température de la main.

La technique consiste à prendre d'abord en main un objet métallique, dont la température correspond à peu près à la température ambiante. Cet objet peut être le tableau de commutation ou le châssis du compresseur. Il n'est ni froid, ni chaud par rapport à l'environnement. Laissons notre corps appréhender quelques secondes cette température. Si nous saisissons ensuite une conduite froide, nous pouvons dire si elle est plus froide ou plus chaude que l'environnement. Nous pouvons donc nous forger une idée de la différence de température par rapport à l'environnement (la même température, température plus haute, plus basse ou beaucoup plus basse...).

Même si la conduite est gelée il y a moyen de mesurer des différences de température. Si la glace, dégelée par la main, regèle instantanément, la température est beaucoup plus basse que 0°. Si l'eau de dégel formée ne regèle pas directement, on peut dire que la conduite est plus ou moins à 0°C.

Attention, si nous touchons une conduite à -20°C, notre main se refroidit de 50K. L'effet sera approximativement le même que si nous chauffions la main de 50K.

APPRECIATION DE LA TEMPERATURE DES GAZ DE REFOULEMENT

Il ne serait pas intelligent d'apprécier à la main la température des gaz de refoulement. Malgré tout, avec un peu d'expérience on peut se faire une idée de l'état d'une installation. Dans une installation R314a, on peut encore toucher quelques instants la conduite de refoulement.

Une installation qui fonctionne avec de l'air dans le système se trouve le plus souvent à une température supérieure à 100°C. Au risque d'être quelque peu grossier, il suffit de cracher sur la conduite de refoulement pour voir si elle est au-dessus ou en-dessous de 100°C.

CONCLUSION

La technique d'appréhension de la température à la main en tant qu'aide au diagnostic d'un système frigorifique peut donner une image plus juste d'un éventuel dysfonctionnement. Surtout sous-refroidissement et surchauffe se prêtent particulièrement bien à l'évaluation. Comme c'est le cas de la plupart des techniques, celle que nous venons d'exposer doit être consolidée par l'expérience, et au débit, comparée aux résultats d'un thermomètre. Nos mains cependant ne remplaceront jamais un bon thermomètre.

Beaucoup de techniciens veulent résoudre un problème directement, ou faire un premier diagnostic en utilisant des appareils de mesure, et introduisent volontiers l'omniprésent ordinateur.

L'ordinateur a fait son entrée dans nombres d'applications, pensons simplement aux installations plus complexes de climatisation : on attend de lui qu'il résolve les problèmes. Rien n'est moins vrai, et heureusement.

Le premier diagnostic doit toujours être fait par les organes sensoriels. Le médecin fait de même, il écoute d'abord. Il faut d'abord éclaircir les antécédents avant de commencer le diagnostic. Il est souhaitable que le technicien, particulièrement le frigoriste, fasse de même. Cette manière de faire devrait être un méthode de travail innée, un automatisme : observer l'installation avec ses organes sensoriels avant de commencer à mesurer. Les appareils de mesures confirmeront ensuite ce qu'on soupçonnait, ou en donneront une image plus correcte.

Le premier article traitait du toucher d'une installation par les mains, afin de se forger une idée de la température des différents composants. Il va de soi que le technicien doit connaître les températures d'une installation en fonctionnement normal. C'est également valable pour faire un diagnostic au moyen d'instruments de mesure.

ECOUTER

La première chose qu'un technicien doit faire est écouter, et ceci de plusieurs manières. Ecouter l'histoire du client. Même si le client n'est pas un technicien averti, ses explications contiennent toujours des informations utiles au diagnostic. C'est au technicien de filtrer les éléments utilisables des propos du client. Il est donc nécessaire de poser beaucoup de questions ciblées pour dégager les informations utiles. Des informations inutiles pour le client peuvent être très intéressantes pour le technicien.

Les informations données permettront d'éliminer déjà un certain nombre de causes du problème.

Si l'installation a été placée par d'autres, il faut d'abord essayer de se faire une idée de leur méthode de travail. Si on est appelé après qu'un autre technicien ait gaffé, il faut être doublement prudent. En posant des questions ciblées, il faut essayer de savoir ce qui a été fait. Un bon de travail laissé sur place peut aider beaucoup. Il est possible que certains problèmes soient la conséquence directe de la dernière intervention, et qui n'ont rien à voir avec le problème initial.

Ainsi, je me suis un jour retrouvé auprès d'une installation qui avait visiblement subi une réparation de fuite. Après la réparation, l'installation ne fonctionnait plus normalement ; l'équipement s'échauffait anormalement, le clixon le mettait en sécurité. Le technicien n'a pu résoudre le problème. Après diagnostic, il s'est avéré que ce n'est pas le bon gaz réfrigérant qui avait été introduit dans l'installation. Le problème initial, la fuite, a bel et bien été résolu,

mais un nouveau problème a été créé. Le client en déduit, faussement, que le problème n'a pas été résolu.

Il ne faut pas non plus partir du principe que dans une installation récente, tous les composants ont été harmonisés entre eux. Le passage dans un détendeur n'est peut-être pas approprié, l'évaporateur choisi peut être trop petit pour le compresseur, les tuyaux n'ont peut-être pas le bon diamètre, le circuit de la tuyauterie peut avoir été mal monté ou ne pas être adapté. Bref, il faut être critique.

Mais, l'écoute peut aller plus loin. Ecouter l'installation elle-même.

Il faut se familiariser avec le bruit spécifique. Un Bitzer produit un tout autre bruit que par exemple un DWM ; un appareil hermétique d'Unité Hermétique produit un bruit tout à fait spécifique, très facile à distinguer par exemple d'une unité hermétique Maneurop. Un équipement scroll dégage un bruit très typique reconnaissable entre tous.

Avec un peu d'expérience on remarque qu'un bruit anormal peut fournir des informations utiles. On entend les appels de courant d'un équipement lourdement chargé. Lorsqu'un équipement évolue vers un arrêt de pompage, on entend un bruit diminuant en intensité ; le spectre du bruit change également. On entend également quand un équipement tourne sous la pleine charge, quand il n'y a pas assez de réfrigérant, ou lorsqu'un bouchon est formé quelque part dans le circuit basse pression.

Dans le cas d'une machine hermétique on entend un cliquetis typique lorsque le clixon indique un courant trop élevé. Ceci peut être la conséquence d'un blocage du compresseur ou d'un problème dans le circuit de démarrage.

Si on soupçonne que certaines vannes du compresseur fuient, la méthode suivante peut être intéressante. Prendre un tourne-vis, de préférence avec un poignée ronde, et placer le bout métallique contre le couvercle du compresseur.

Mettre ensuite son oreille à l'extrémité de la poignée en plastique. On est étonné de la clarté avec laquelle on entend le fonctionnement interne de la machine. Faire également le test sur un tuyau de fluide ; avec un peu d'expérience on peut déterminer si le tuyau véhicule un gaz flash.

Un vieux stéthoscope convient encore mieux. Il existe des stéthoscopes industriels qui amplifient électroniquement le bruit mesuré.

Il convient d'écouter également le bruit d'une machine qui s'arrête ou qui démarre. Il peut arriver qu'un tuyau frappe le logement ; et parfois on entend cogner de l'intérieur un composant sur le logement. Cette dernière observation peut se produire dans le cas d'une machine hermétique lorsque une ou plusieurs suspensions sont pliées au même endroit.

Il faut également écouter le détendeur : le bruit est-il continu, ou ressemble-t-il un bruit sifflant dérangeant, ou est-il franchement sifflant ?

On n'entend pour ainsi dire pas fonctionner une vanne alimentée 100% en fluide. La seule chose que l'on entend, peuvent être dues à un déséquilibre des palles. Lorsque l'évaporateur est givré, le bruit du débit d'air devient plus sourd. Il suffit alors de mettre la main sur les moteurs du condensateur et de l'évaporateur et de voir si le dégagement de chaleur est normal et uniforme.

REGARDER

Y a-t-il des traces d'huile à l'extérieur ? Elles sont toujours la conséquence d'une fuite : à l'endroit où il y a une fuite d'huile, il y a également une fuite de réfrigérant. Comme

certaines fuites ne sont même pas détectables avec un spray indicateur de fuite, il faut adopter le point de vue que chaque trace d'huile est le signe d'une fuite de réfrigérant.

Observer le niveau de l'huile du compresseur s'il est pourvu d'un hublot d'inspection. Si le niveau d'huile est-elle transparente ou trouble ? Y a-t-il de l'écume ? Le hublot se remplit-il d'écume au démarrage ?

Regarder jusqu'où protège le givrage.

J'ai appris dernièrement l'histoire de Johan, un technicien qui a travaillé dans le passé avec des équipements relativement grands. L'entreprise utilisait un compresseur Trane couplé à 5 évaporateurs équipés chacun de 8 ventilateurs.

Tous les jours on inspectait les machines, et on contrôlait minutieusement jusqu'où se propageait le givre sur le tuyau d'aspiration. Dès qu'un des radiateurs tombait en panne, la longueur de givrage augmentait immédiatement.

Sans avoir vu les évaporateurs, Johan pouvait dire que avec quasi-certitude qu'un des ventilateurs était défectueux.

EVAPORATEUR

Tous les tuyaux sont-ils givrés uniformément ?

L'évaporateur est-il entièrement démuné de givre ? Il faut également regarder dans le compartiment à côté de l'évaporateur, là où est monté le détendeur. Tous les ventilateurs tournent-ils ?

CONDENSEUR

La batterie est-elle complètement dégagée ?

Quand il y a du pollen dans l'air, en avril/mai, un condenseur tout à fait propre peut se boucher totalement en quelques semaines.

Les condenseurs se trouvant dans un environnement de peupliers sont particulièrement sensibles à ce phénomène. Le condenseur fonctionne en effet comme un aspirateur ramassant toutes les poussières.

L'ARMOIRE DE COMMUTATION

Les couleurs de câble virent-elles, ou des raccords de vis ?

Il vaut mieux contrôler les grandes armoires au moyen d'une caméra infrarouge. Les connexions défectueuses apparaissent clairement sur de telles images.

EN GENERAL

La disparition de composants originaux se trahit-elle par les anciens trous de vis, les composants sont-ils maintenant fixés avec des courroies de serrage à la place du système de fixation originel ? Les chemins de câble sont-ils ouverts, les couvercles sont-ils à côté de l'armoire ?

Les tuyaux sont-ils encore solidement fixés partout ?

UN POINT DE SUSPENSION ORIGINAL AVEC ISOLATION AUTOCOLLANT

Y a-t-il des tuyaux frottant l'un sur l'autre ? Le frottement des capillaires de pressostats est souvent une cause de fuites. L'isolation de la tuyauterie est-elle intacte partout, est-elle encore sèche ? Une isolation humide est meilleur conducteur qu'un bon isolateur.

SENTIR

Dans une machine grillée on peut sentir rapidement si l'huile est acidifiée. Pour une certitude totale, il faut contrôler le degré d'acidité de l'huile.

Bref, utiliser d'abord tous les organes sensoriels et toute son intelligence avant de mettre en œuvre un manifold ou toutes sorte d'appareillages. Les instruments ne sont utiles que dans la mesure où l'on peut interpréter les valeurs mesurées. Sinon, même le plus beau des manomètres numériques est inutile.

L'élimination successive des causes possibles de pannes met le problème plus rapidement en évidence, et les ramène à un nombre limité de possibilités. C'est alors qu'il est possible d'établir rapidement un diagnostic correct.

Ces derniers temps on voit trop souvent les techniciens connecter à tout pris leur PC portable à l'installation, comme si celui-là allait leur livrer le composant en panne. Mais cela ne fonctionne pas ainsi. Heureusement.

Une installation de refroidissement restera toujours une technique qui ne peut être réparée au moyen d'un PC portable, malgré toute l'électronique que les fabricants y intègrent.

J'espère que cet article aura été instructif et qu'il contribuera à approcher d'une autre manière les installations de refroidissement et à établir un diagnostic d'une autre manière.

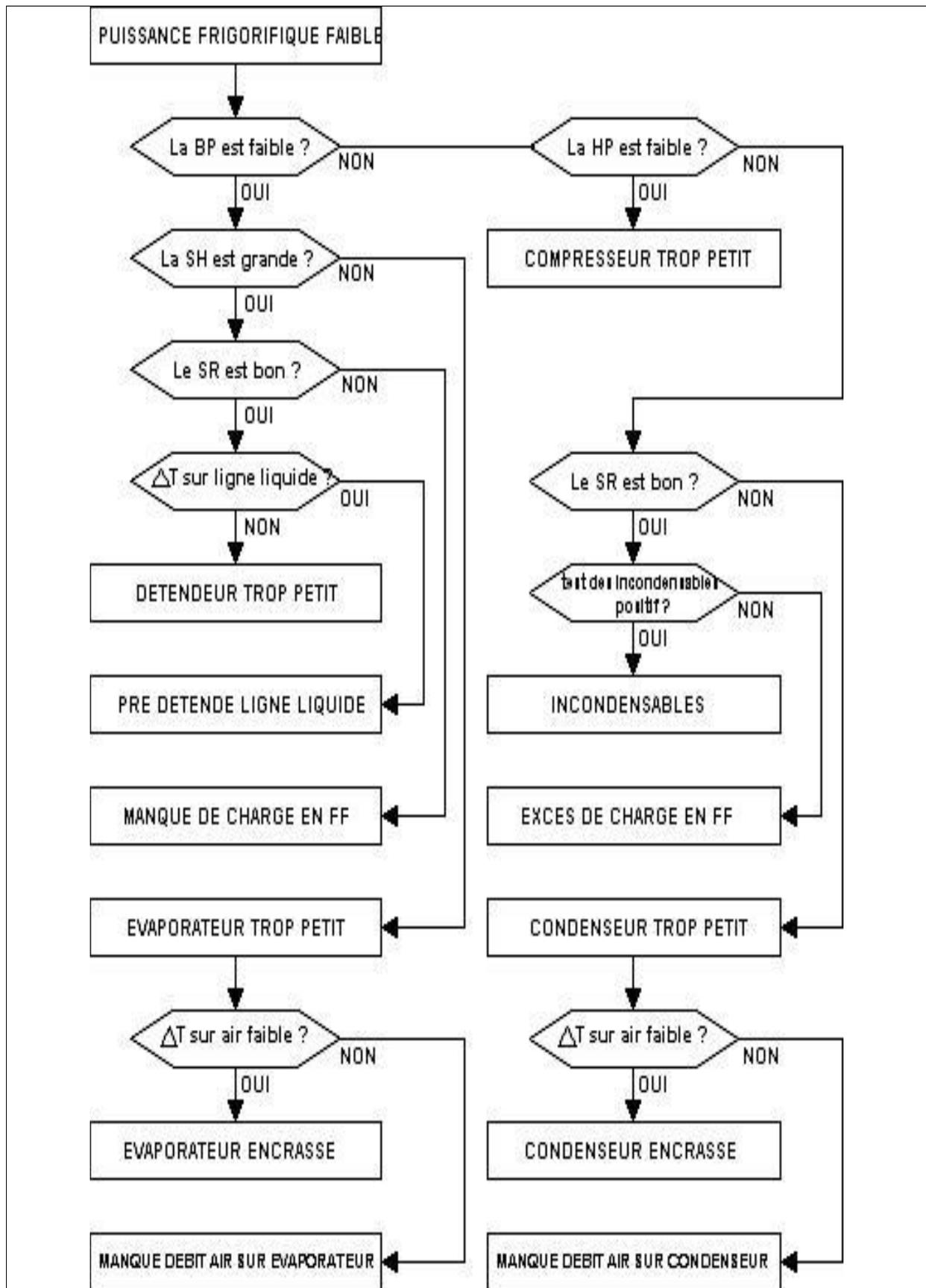


Figure 10.0 : Diagramme de détermination des pannes frigorifiques.

Symptômes de base.

Problème du système	Pression de refoulement MP	Pression à l'aspiration BP	Surchauffe SH	Sous refroidissement SR
Excès de fluide	↑	↗	↘	↑
Manque de réfrigérant	↘	↓	↑	↓
Pré détente liquide	↘	↓	↑	→
Evaporateur trop petit	↘	↓	↘	→
Condenseur trop petit	↑	↗	↘	↓
Compresseur trop petit	↓	↑	↗	→
Détendeur trop petit	↘	↓	↑	→
Panne des incondensables	↗	↗	↘	↗
Défaut bulbe mal monté	↑	↑	↓	↓
Défaut bulbe mal isolé	↑	↑	↓	↓
Défaut charge bulbe OUT	↓	↓	↑	↑

↑ = trop élevée ↗ = élevée ↘ = basse ↓ = trop basse → = bon

10.2 PANNES ELECTRIQUES

Les pannes électriques se localisent principalement au niveau des moteurs électriques ou au niveau de leurs protections (fusible grillé, disjoncteur défectueux, mauvais câblage des circuits électriques de commande et/ou puissance...).

Il ne s'agit pas de passer en revue les principales pannes rencontrées sur la partie électrique des installations frigorifiques mais de pouvoir tester le bon état des moteurs électriques (monophasés et triphasés) présents sur ces installations ainsi que de connaître comment les raccorder.

10.2.1 Moteurs monophasés

Ils équipent généralement les équipements de petites puissances (réfrigérateurs, congélateurs, climatiseurs, splits system...), l'accent est mis ici sur les moteurs électriques alimentant les compresseurs.

Ces moteurs sont constitués de deux enroulements en général :

l'enroulement principal (P : principal ou R : Run)

l'enroulement auxiliaire ou de démarrage (A : Auxiliaire ou S : Start)

L'enroulement auxiliaire est prévu pour permettre le démarrage, sa résistance est plus élevée que celle de l'enroulement principal.

Les mesures de résistances des enroulements d'un bornier d'un compresseur hermétique monophasé permet de diagnostiquer l'état du compresseur (moteur électrique en bon état ou moteur grillé).

Pour tester les enroulements, la démarche à suivre est la suivante :

débrancher tous les fils d'alimentation du moteur (il faut prendre les dispositions nécessaires « repérages » pour permettre le re-câblage correct)

à l'aide d'un ohmmètre (petit calibre), mesurer les résistances entre les trois bornes, pour un compresseur en bon état et suivant les désignations des figures 10.1 et 10.2, on doit avoir :

entre 1 et 2 (ou encore entre C et A) : quelques ohms à quelques dizaines d'ohms (résistance de valeur intermédiaire)

entre 1 et 3 (ou encore entre C et P) : quelques ohms à quelques dizaines d'ohms (résistance la plus faible)

entre 2 et 3 (ou encore entre A et P) : une résistance égale à la somme des 2 précédentes résistances (résistance la plus forte)

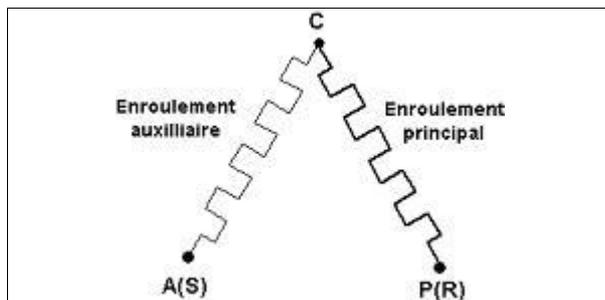


Figure 10.1 : Moteur monophasé à enroulement auxiliaire.

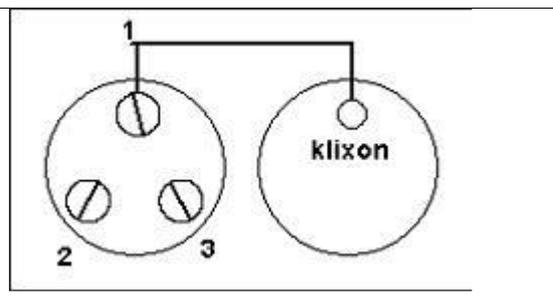


Figure 10.2 : Bornier d'un compresseur hermétique monophasé.

Un enroulement d'un moteur classique a une résistance maximum de quelques dizaines d'ohms pour les petits moteurs et de quelques dixièmes d'ohms pour les plus gros moteurs.

La plupart des défauts électriques des compresseurs « moteur grillé » a pour origine une surintensité qui peut résulter d'une surchauffe excessive et les origines possibles sont les suivantes :

origines électrique (chute de tension prolongée, surtension, mauvais réglage des sécurités, connexions électriques mal serrées...)

origine frigorifique (HP trop élevée, présence d'acides dans le circuit...)

origine mécanique (grippage provoqué par un manque d'huile...)

Un moteur est dit grillé lorsqu'il présente un des défaut suivants :

un enroulement est coupé : l'ohmmètre indique une résistance importante au lieu d'indiquer une valeur normale (utiliser un calibre fort)

il y a un court-circuit entre 2 enroulements : l'indication de l'ohmmètre sera très faible, voir nulle, suivant la position exacte du court-circuit, les 3 mesures donneront des valeurs faibles mais différentes entre elles

un enroulement est à la masse : si la masse est franche, l'ohmmètre placé entre une borne du moteur et la carcasse donne une résistance nulle ; la résistance d'isolement d'un moteur neuf peut atteindre 1000 MΩ, cette résistance diminue avec l'âge et on considère qu'à partir de 1 MΩ, il faut envisager le remplacement du moteur et qu'en dessous de 500 kΩ, le moteur n'est plus utilisable.

Il faut noter qu'un bon contrôle d'isolement s'effectue à l'aide d'un ohmmètre à magnéto ou d'appareil approprié qui permet le contrôle de la résistance d'isolement en utilisant une tension continue (par exemple 500 V au lieu de quelques volts pour un ohmmètre classique).

Cette technique permet de déceler les mises à la masse plus ou moins franches qui apparaissent à la mise sous tension du moteur et qui peuvent provoquer une coupure par le disjoncteur différentiel.

Un moteur grillé doit être remplacé ou rembobiner (rebobiner).

10.2.2 Les condensateurs

Les condensateurs sont utilisés en association avec l'enroulement auxiliaire des moteurs monophasés des compresseurs pour permettre leur démarrage en créant un déphasage électrique (obtention d'un couple de démarrage du moteur).

Deux types de condensateurs sont utilisables sur les moteurs des compresseurs :

les condensateurs de marche (en papier) qui ont une faible capacité (rarement plus d'une trentaine de μF) et des dimensions importantes, ils sont conçus pour rester sous tension en permanence sans aucun échauffement excessif

les condensateurs de démarrage (électrolytiques) ont par contre une importante capacité (pouvant dépasser 100 μF) mais des dimensions plus faibles ; ils ne doivent pas rester sous tension sinon ils s'échauffent et peuvent exploser, en général leur mise sous tension ne doit pas dépasser 5 secondes et 20 démarrages à l'heure est un seuil maximum).

Les défauts possibles sur un condensateur sont :

le condensateur peut être coupé : l'ohmmètre placé (avec un fort calibre) à ses bornes indique l'infini, tout se passe alors comme si le condensateur n'existe pas et l'astuce de démarrage n'existe plus, le moteur ne démarrera pas ou bien fonctionnera mal

le condensateur est en court-circuit : l'ohmmètre (sur calibre faible) indique une valeur nulle ou une résistance très faible, le moteur peut démarrer dans certains cas mais dans la majorité des cas, le moteur ne démarrera pas ou bien le fonctionnement sera caractérisé par des coupures en sécurité thermique

le condensateur peut être à la masse : le courant de fuite peut alors provoquer l'arrêt du système par disjoncteur différentiel, cette panne peut se produire lorsque l'enveloppe du condensateur est métallique, la résistance mesurée entre une borne et la carcasse tend vers 0 au lieu d'indiquer l'infini, le test doit s'effectuer sur les 2 bornes

la capacité réelle du condensateur est trop faible : la valeur réelle du condensateur est inférieure à la capacité indiquée en tenant compte des tolérances de fabrication, le condensateur ne jouera pas pleinement son rôle et il se peut que le moteur ne démarre pas

il convient de noter que la mise en place d'un condensateur de capacité élevée à la capacité nécessaire peut entraîner également des problèmes de non démarrage du moteur

Un condensateur est caractérisée par :

sa capacité : elle est indiquée de manière visible sur le condensateur en microfarad (μF ou μF ou MFD ou MF selon les constructeurs) avec la tolérance de fabrication

la tension indiquée sur le condensateur : elle indique la tension maximale sous laquelle il peut être utilisé, bien entendu le condensateur est utilisable pour des tensions inférieures à cette valeur.

Par exemple l'indication 20 μF $\pm 10\%$ - 240 V sur un condensateur signifie que la capacité du condensateur est comprise entre 18 et 20 μF , de plus il est utilisable pour une tension

maximale de 240V, ce sera donc un condensateur utilisable sous une tension d'alimentation de 220 V mais en aucun cas sous une tension de 380 V. (attention, faire la différence entre tension moyenne et tension de crête)

Un condensateur même débranché peut avoir à ses bornes une tension de valeur égale à sa tension d'alimentation : un condensateur branché sur une installation en 220 V peut avoir 220 V à ses bornes.

Il convient donc de le manipuler avec soin, il est impératif de le décharger (court-circuitage des bornes à l'aide d'un tournevis à manche isolée) toute mesure.

Si l'ohmmètre permet de déterminer certains défauts du condensateur, la détermination de la capacité réelle nécessite un montage approprié qui consiste à alimenter (*mise sous tension très brève*) le condensateur et en mesurant l'intensité qui y circule à l'aide d'un pince ampèremétrique.

La capacité réelle du condensateur (en μF) est d'environ 14 fois l'intensité mesurée (en A) sous une tension électrique de 220 V, elle est d'environ 25 fois sous une tension de 380 V.

Ce facteur est tiré de la relation suivante (puissance aux bornes du condensateur) :

$$\frac{I^2}{C \times \omega} = \frac{I^2}{C \times 2 \times \pi \times f} = U \times I \Rightarrow C = \frac{I}{2 \times \pi \times f \times U}$$

avec :

C : la capacité du condensateur

I : intensité circulant dans le condensateur

w : pulsation du réseau électrique

U : tension du réseau électrique

f : fréquence du réseau électrique (50 Hz)

Les condensateurs utilisés sur les moteurs électriques monophasés des compresseurs sont montés en association avec des relais de démarrage parmi lesquels, on distingue :

le relais d'intensité

le relais de tension

le démarrage par résistances CPT (coefficient de température positive).

Ces montages électriques sont effectués sur la base de schémas type et/ou suivant les préconisations du constructeur de ces relais.

10.2.3 Moteurs électriques triphasés

10.2.3.1 Enroulements des moteurs triphasés

Les moteurs électriques triphasés utilisés sur les compresseurs se retrouvent sur toutes les gammes de puissances (petite à grande).

En rappel, le couplage des moteurs électriques (moteurs couramment employés) s'effectue soit en triangle, soit en étoile suivant les indications de la plaque signalétique et suivant le réseau électrique en place.

Par exemple, les indications de la plaque signalétique suivante (voir figure 10.3) supposent l'utilisation suivante :

couplage en Δ : alimentation en 220 V triphasé, intensité tiré sur le réseau de 1.7 ampères par phase

couplage en Y : alimentation en 380 V triphasé, intensité tiré sur le réseau de 1 ampère par phase.

La puissance du moteur électrique est indépendante du couplage adopté.

Il faut se rappeler qu'un moteur électrique est toujours couplé en Δ pour la plus faible des 2 tensions indiquées sur la plaque signalétique et en Y pour la plus haute des 2 tensions.

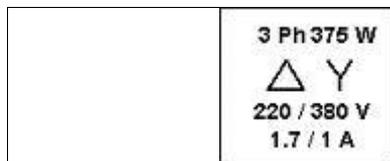


Figure 10.3 : Exemple d'une plaque signalétique d'un moteur triphasé.

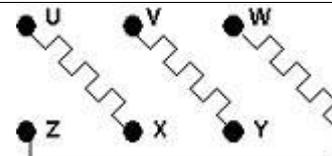


Figure 10.4 : Câblage des enroulements d'un moteur triphasé.

Suivant le couplage adopté (triangle ou étoile), les barrettes sont disposées suivant les indications de la figure 10.5.

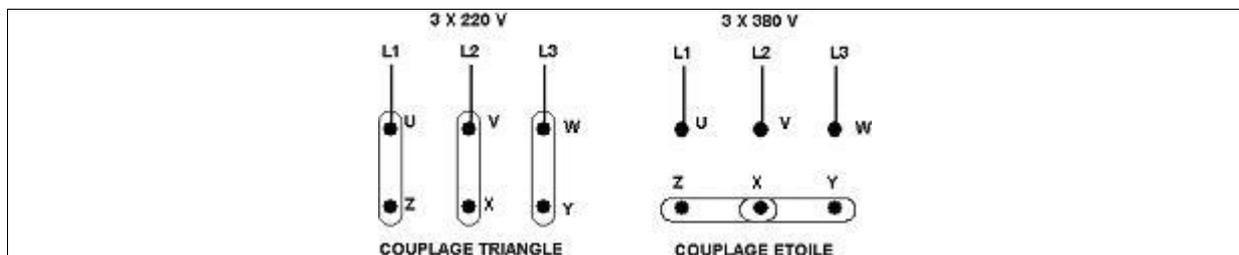


Figure 10.5 : Couplages triangle et étoile d'un moteur électrique triphasé.

Pour s'assurer du bon état des enroulements électriques, il convient d'enlever les barrettes de couplage du moteur (en prenant soin de l'avoir bien noté ou mémorisé auparavant) et d'effectuer les différents tests (comme pour le test des enroulements des moteurs monophasés) à l'aide d'un ohmmètre.

Lorsque le moteur électrique est en bon état, les constatations suivantes sont observées :

les résistances des 3 enroulements (entre les bornes U-X, V-Y, W-Z) sont rigoureusement identiques

les résistances sont infinies entre U-V, V-W, W-Z.

Autrement, il faut rechercher l'origine de la panne :

court circuit entre 2 enroulements

enroulement coupé

enroulement à la masse

Le moteur est alors grillé et il faut procéder à son remplacement ou à un rembobinage (rebobinage).

10.2.3.2 Démarrage des moteurs électriques triphasés

Pour les moteurs de petites puissances, le démarrage des moteurs s'effectue en direct (démarrage direct), par contre pour les gros moteurs, il faut appeler à des artifices de démarrage pour limiter l'appel de courant important (surintensité entraînant le grillage du compresseur) lors de cette phase.

Plusieurs techniques sont adoptées parmi lesquelles on peut citer :

Le démarrage étoile triangle (voir cours de technologie électrique)

le démarrage Part Winding (démarrage à enroulements fractionnés)

le démarrage avec moteur électrique à 2 vitesses

10.2.3.2.1 Les moteurs à démarrage Part Winding

Il s'agit de moteur spécialement bobiné comme s'il s'agissait d'un moteur comprenant 2 sous moteurs, chacun de ces «sous- moteurs» étant alimenté par un bobinage, ces 2 bobinages étant complètement indépendants.

Le démarrage s'effectue comme suit :

démarrage du premier sous moteur (mise sous tension du premier bobinage)

démarrage du deuxième sous moteur (maintien de l'alimentation du premier bobinage et mise sous tension du deuxième bobinage)

Il s'agit en général de moteurs mono-tension, le couplage interne en Y ou en Δ étant réalisé au moment de la fabrication.

Il existe des moteurs PW du type 50% 50% mais également du type 66% 33%.

Autrement dit le premier temps (1^{er} sous moteur) et le deuxième temps (2^{ème} sous moteur) représente chacun la moitié de la puissance totale du moteur (moteurs PW du type 50% 50%) tandis que pour le type 66% 33%, le premier moteur représente le double de la puissance du deuxième moteur.

Les schémas de câblage des enroulements généralement donnés sur le couvercle du capot des enroulements ou dans la documentation technique doivent permettre une identification sans équivoque des différentes bornes, autrement un repérage des 6 bornes sur le bornier du moteur s'impose.

En désignant par 1, 2, 3 le repérage des bornes du premier bobinage (premier moteur) et par 4, 5, 6 le repérage des bornes du deuxième bobinage (deuxième moteur), le constat suivant doit être observé :

les résistances des enroulements entre 1-2, 2-3, 3-1 sont identiques

les résistances des enroulements entre 4-5, 5-6, 6-1 sont identiques pour le type 50%
50%, pour le type 66%, 33%, elles sont plus importantes par rapport aux valeurs mesurées pour le premier bobinage

ne doit avoir aucune communication entre les 3 bornes de droite et les 3 bornes de gauche

Il convient de s'assurer qu'au moment du passage au deuxième temps, le câblage est tel que le moteur continue à fonctionner dans le même sens sinon tout « explose ».

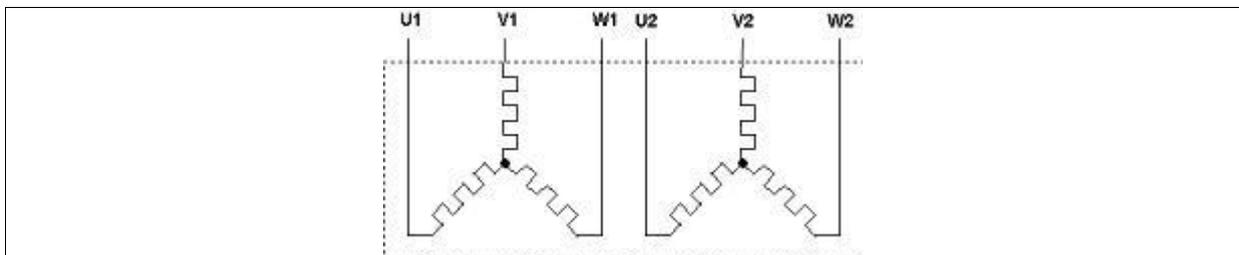


Figure 10.6 : Exemple de couplage d'un moteur Part Winding.

10.2.3.2.2 Démarrage des moteurs à 2 vitesses

On distingue 2 types de moteurs à 2 vitesses :

les moteurs à enroulements séparés

les moteurs Dahlander

Les moteurs à enroulements séparés

Il s'agit d'un moteur mono-tension équipé d'un bornier à 6 bornes et qui est conçu sur la base de deux moteurs complètement indépendants, chacun étant conçu pour une vitesse de rotation différente.

Sur l'exemple (figure 10.7), lorsque les phases arrivent :

en U1, V1, W1 : le moteur tourne en petite vitesse (PV)

en U2, V2, W2 : le moteur tourne en grande vitesse (GV)

Le schéma d'un tel moteur ressemble à celui d'un moteur Part Winding (PW), cependant à la différence des moteurs PW, les 2 enroulements du moteur à 2 vitesses ne doivent jamais être alimentés en même temps sinon le moteur « grille » instantanément.

Ce type de moteur convient surtout pour le fonctionnement des ventilateurs.

Le moteur Dahlander

Il s'agit d'un type de moteur à 2 vitesses qui est généralement un moteur mono-tension et qui comprend également 6 bornes.

Le raccordement électrique (figure 10.8) s'effectue comme suit :

en petite vitesse (PV), les phases d'alimentation sont sur les bornes U1, V1, W1 tandis que les bornes U2, V2, W2 sont laissées sans alimentation

en grande vitesse (GV), les phases d'alimentation sont sur les bornes U2, V2, W2 tandis que les bornes U1, V1, W1 sont reliées entre elles.

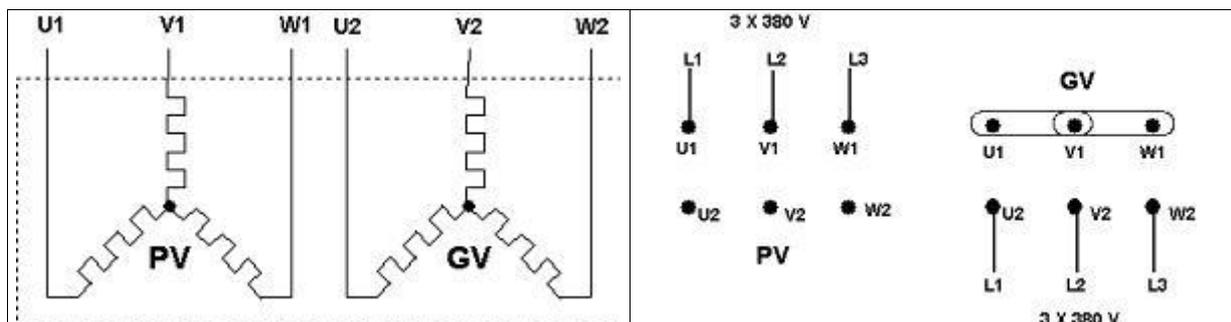


Figure 10.7 : Couplage moteur à 2 vitesses à enroulements séparés.

Figure 10.8 : Couplage moteur à 2 vitesses type Dahlander.

Remarques

Il convient de ne pas confondre entre eux les moteurs à 2 vitesses à enroulements séparés, les moteurs à 2 vitesses du type Dahlander, les moteurs Part Winding et les moteurs classiques puisque tous ces moteurs sont équipés d'un bornier à 6 bornes.

Il faut apporter un soin particulier à la lecture des schémas et à la consultation des plaques signalétiques

L'évolution de l'électronique a conduit aujourd'hui à l'utilisation de variateurs électroniques de vitesses sur les installations frigorifiques.

11. La climatisation

11.1 GENERALITES

La climatisation ou conditionnement d'air a pour but principal le maintien dans une ambiance des conditions qui contribuent au confort de l'individu ou qui sont nécessaires à certains procédés de fabrication.

Il faut retenir :

la climatisation de confort

la climatisation industrielle

La climatisation industrielle englobe bien souvent la climatisation de confort.

Exemples

Climatisation de confort
Bureaux

Climatisation industrielle
Industries électroniques

Hôtels

Usines pharmaceutiques

Magasins

Usines de traitement de poissons

Le conditionnement d'air implique la régulation de :

la température du local

l'humidité relative du local

la filtration de l'air traité

les flux d'air dans le local

Le bilan thermique d'un local permet de déterminer la puissance d'une installation de climatisation.

Le bilan est généralement calculé sur la base de gains maxima réels.

Le type de régulation devra permettre d'obtenir les conditions à obtenir non seulement pendant les périodes de gains maxima mais également aux charges intermédiaires.

Il existe plusieurs méthodes d'estimation des charges thermiques :

méthode AICVF (Association des Ingénieurs en Climatologie, Ventilation et Froid)

méthode COSTIC (Comité Scientifique et Technique des Industries Climatiques)

méthode ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers)

méthode Mémotech Génie Energétique

méthode simplifiée YORK (fabricant)

méthode simplifiée CIAT (fabricant)

Méthode CARRIER (feuille de calcul E.20)

méthode simplifiée des ratios

méthode de calcul simplifiée du bilan thermique en climat tropical

(initiée par l'Institut de l'Energie et de l'Environnement de la Francophonie « IEPF » - voir Tome1 : Conception des nouveaux bâtiments)

C'est cette dernière méthode qui sera retenue car elle est développée en tenant compte des conditions climatiques des régions tropicales.

11.2 LES DIFFERENTS SYSTEMES DE CLIMATISATION

Plusieurs modes de classification peuvent être proposés suivant des critères tels que le mode d'apport de l'air neuf, le mode de distribution de l'air traité ou le médium de transfert de l'énergie.

Suivant le mode d'apport de l'air neuf, on retrouve :

les systèmes à 100% d'air neuf

les systèmes à apport d'air neuf réglable et/ou à apport d'air constant

Suivant le mode de distribution de l'air, on retrouve :

les systèmes à zone unique ou uni zone

les systèmes multizones

les systèmes à débit d'air constant (le plus courant)

les systèmes à débit d'air variable (VAV)

Suivant le médium de transfert de l'énergie, on retrouve :

les systèmes air-air (évaporateur à air – condenseur à air)

les systèmes air-eau (évaporateur à air – condenseur à eau)

les systèmes eau-eau (évaporateur à eau – condenseur à eau)

les systèmes eau-air (évaporateur à eau – condenseur à air)

La classification retenue permet de distinguer les systèmes suivants :

les systèmes à détente directe

la climatisation centrale à eau glacée

La climatisation à détente directe repose sur la vaporisation d'un fluide frigorigène au niveau de la batterie froide de l'appareil utilisé.

Le fluide frigorigène couramment utilisé en climatisation dans nos régions est le R22 (HCFC) mais il faut noter l'apparition de plus en plus importante d'appareils utilisant des fluides du type HFC tels que le R134a, R407C et le R410A.

Quelque soit le système de climatisation retenue, la diffusion de l'air peut s'effectuer :

soit de manière directe

soit par l'intermédiaire d'un réseau aéraulique

Un des critères de choix d'un système frigorifique est son coefficient d'efficacité énergétique (ou COP froid).

Plus le COP est élevé, plus le système est performant du point de vue de la consommation énergétique (consommation d'énergie plus faible).

11.2.1 Les systèmes à détente directe

Le rafraîchissement de l'air est obtenu à l'aide d'une unité intérieure placée dans le local à traiter. Il est à retenir :

les climatiseurs de fenêtre ou windows

les splits system

les armoires de climatisation

les monoblocs ou roof-top

11.2.1.1 Les climatiseurs de fenêtre

C'est un appareil en un seul bloc installé en allège ou en hauteur et dont un côté (évaporateur) se trouve à l'intérieur du local à climatiser et l'autre côté (condenseur) à l'extérieur.

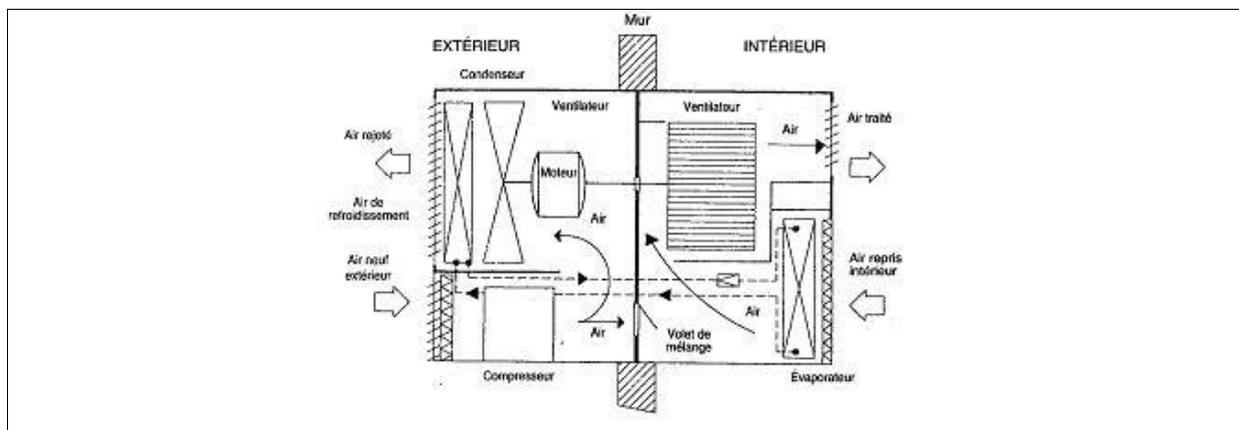


Figure 11.1 : Schéma d'un climatiseur du type fenêtre.

11.2.1.2 Les splits system

Le split system (voir figure 11.1) est constitué de deux parties distinctes :

l'unité intérieure comprenant l'évaporateur et le détendeur (placée à l'intérieur du local à climatiser)

l'unité extérieure comprenant le compresseur et le condenseur (placé à l'extérieur)

Les deux unités sont reliées entre elles par :

une liaison frigorifique constituée de deux tubes cuivre (liquide et gaz), ces tubes sont isolés par des manchons en mousse de caoutchouc (appelés Armaflex qui est en réalité une marque de manchons en élastomère)

un câble électrique de raccordement

Suivant les constructeurs, l'alimentation électrique de l'appareil s'effectue soit au niveau de l'unité intérieure, soit au niveau de l'unité extérieure.

Suivant le modèle de l'unité intérieure (voir figure 11.2), on distingue :

- les splits system muraux
- les splits system en allège (ou console)
- les splits system plafonniers
- les splits system du type cassette

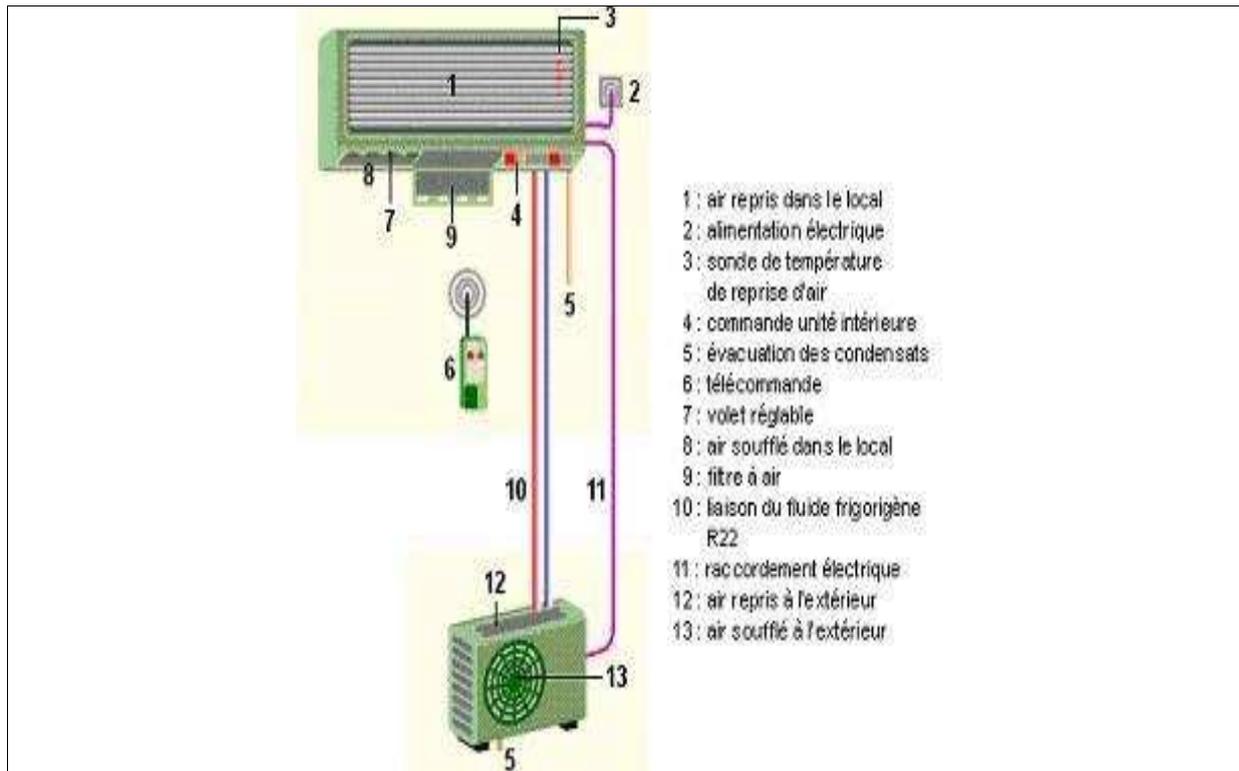


Figure 11.1 : Schéma d'un split system.

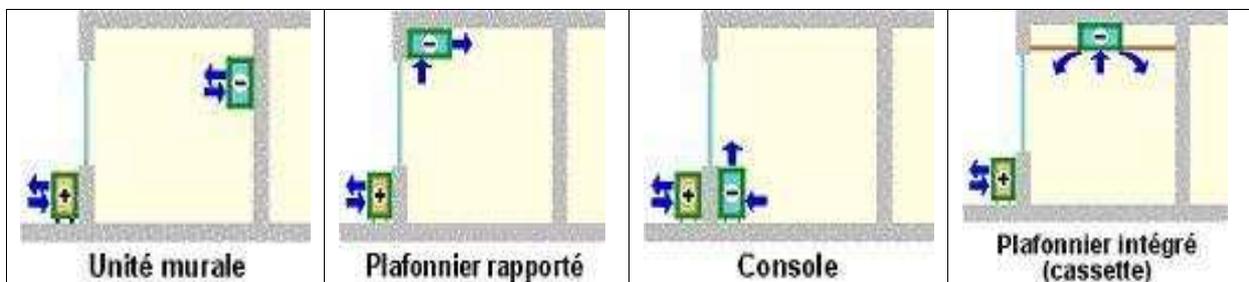


Figure 11.2 : Types de split system.

Il existe des splits system ou l'unité extérieure est raccordée à plusieurs unités intérieures (2, 3, 4 ou 5 unités intérieures), un tel appareil est alors appelé Multi-split system.

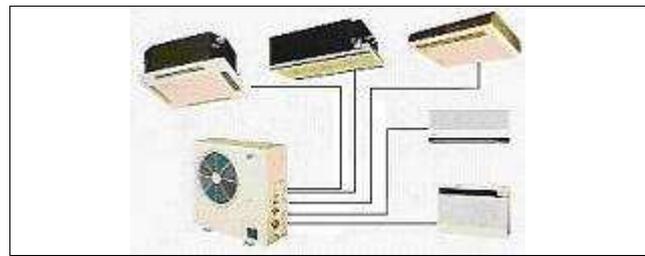


Figure 11.3 : Multi split system.

Dans la plus part des cas, la régulation des appareils est assurée par un thermostat qui fonctionne en Tout ou Rien.

Il faut noter cependant l'apparition depuis quelques années de splits system dit INVERTER.

Les INVERTER permettent de faire varier la vitesse de rotation du compresseur suivant la demande en froid, ce qui permet de réaliser des économies d'énergie par rapport aux appareils classiques fonctionnant en Tout ou Rien.

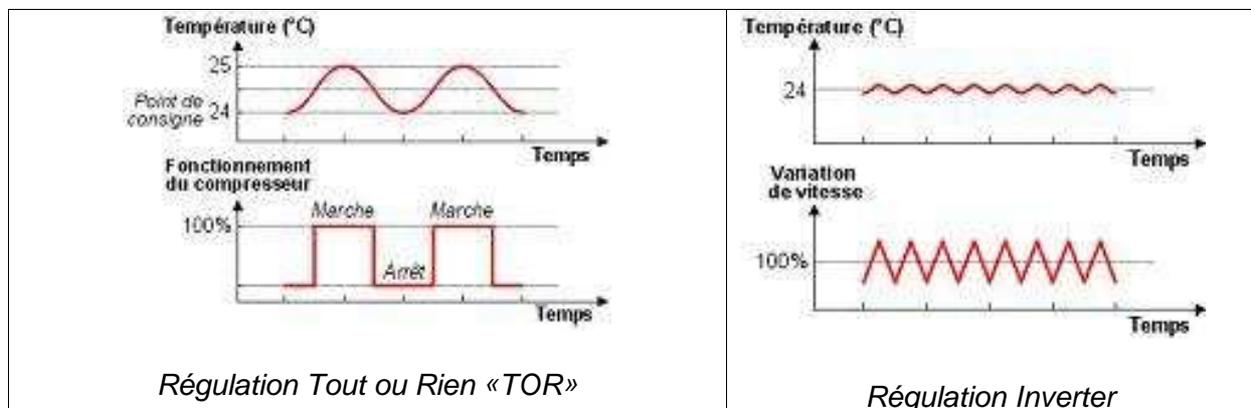


Figure 11.4 : Régulations TOR et Inverter.

11.2.1.3 Les armoires de climatisation

Les armoires de climatisation sont utilisées en climatisation de confort mais elles sont très indiquées pour le conditionnement des locaux techniques (salles informatiques par exemple) où il faut assurer à la fois le contrôle de la température et de l'hygrométrie de l'air avec des tolérances précises.

Suivant le type de condenseurs, on peut citer :

- les armoires à condenseur à air intégré
- les armoires à condenseur à air séparé
- les armoires à condenseur à eau associé à une tour de refroidissement

Outre la batterie froide de rafraîchissement de l'air, on peut rencontrer suivant les applications les éléments suivants :

- des résistances de chauffage (section de déshumidification)
- une section d'humidification

La batterie froide des armoires peut être une batterie à détente directe (fluide frigorigène – figures ci dessus) mais également une batterie à eau glacée

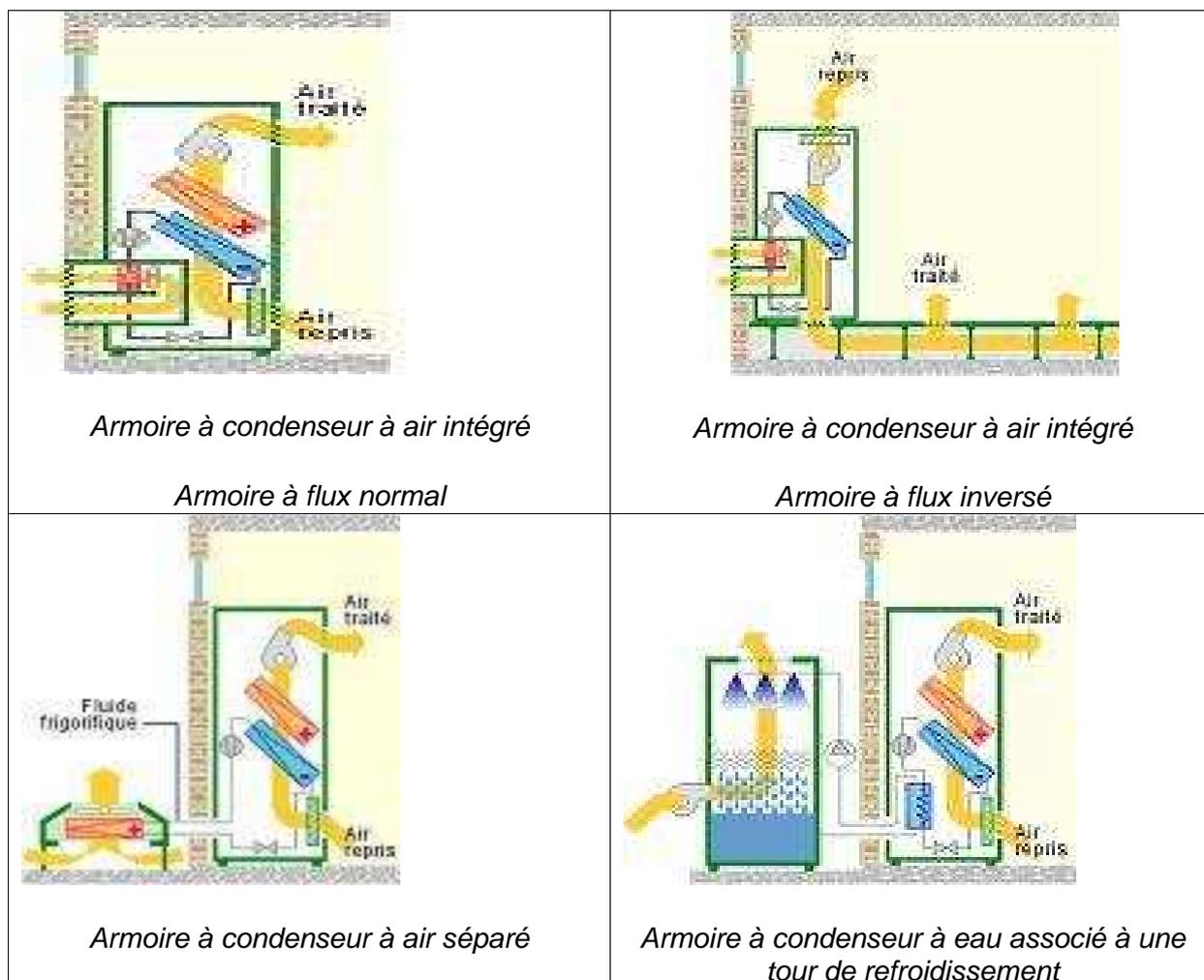


Figure 11.5 : Armoires de climatisation.

11.2.1.4 Les monobloc

Les monoblocs ou roof-top sont des appareils construits en un seul bloc et qui sont généralement réservés à la climatisation de grandes surfaces (salles de cinéma, supermarchés).

Ils sont généralement placés en toiture d'où le nom de roof-top, cependant dans certains cas, ils peuvent être installés au sol.

L'installation d'un monobloc est complétée par une mise en œuvre de réseaux aérauliques de distribution de l'air.



Figure 11.6 : Monobloc de climatisation.

11.2.2 La climatisation centrale à eau glacée

La climatisation centrale à eau glacée repose sur les principes suivants :

- la production d'eau glacée par des systèmes frigorifiques appelés Groupes Frigorifiques
- la distribution de l'eau glacée par un réseau hydraulique
- les appareils terminaux qui assurent la climatisation dans les locaux à traiter (les terminaux généralement rencontrés sont les ventilo-convecteurs et les centrales de traitement d'air)

Ce type de climatisation est généralement réservé aux bâtiments de grande capacité tels que des immeubles de bureaux ou des hôtels.

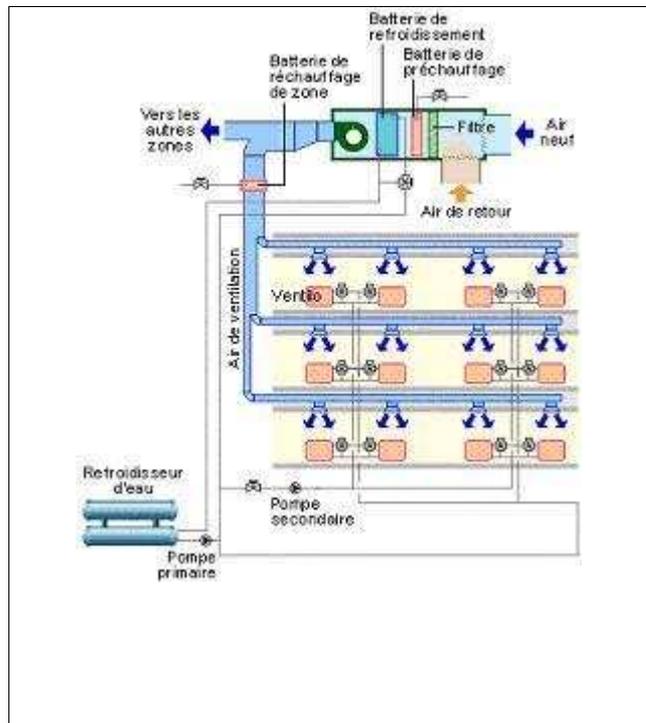


Figure 11.7 : Exemple de climatisation centrale.

11.2.2.1 Les groupes frigorifiques

Les groupes frigorifiques sont construits en un seul bloc comprenant aussi bien les organes principaux que les organes auxiliaires, les organes de commande, de sécurité et de protection.

L'évaporateur est généralement constitué d'un évaporateur du type multitubulaire horizontal à détente sèche où l'eau est refroidie (c'est le siège de la production de l'eau glacée).

Suivant le type de condenseur, on distingue :

- les groupes frigorifiques à condenseur à air
- les groupes frigorifiques à condenseur à eau

Les groupes frigorifiques à condenseur à eau nécessitent la mise en place d'une tour de refroidissement.

Les compresseurs rencontrés au niveau des groupes frigorifiques sont du type à pistons mais on rencontre de plus en plus souvent des compresseurs à vis.

Le fluide frigorigène généralement rencontré sur les groupes est le R22 (HCFC) mais les nouveaux groupes utilisent en majorité des fluides du type HFC tels que le R134a et le R407c.

Le régime de production d'eau glacée en climatisation est généralement de 7°C-12°C ou 6°C-11°C.

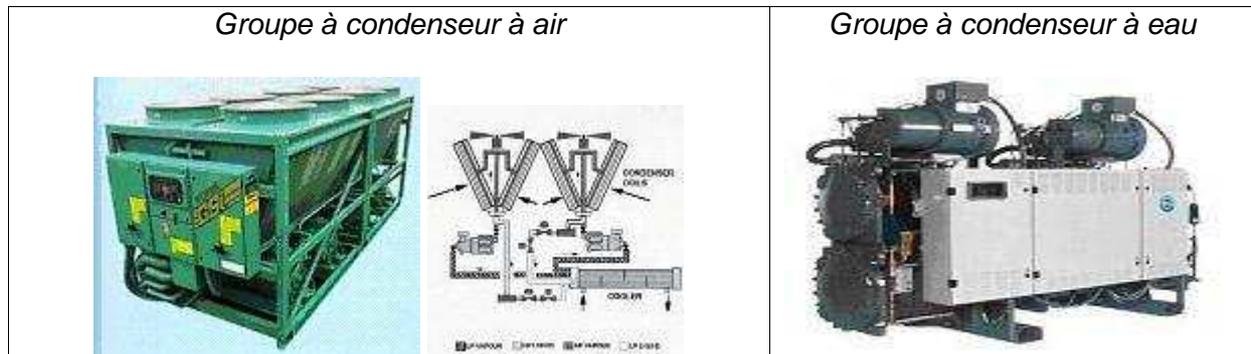


Figure 11.8 : Groupes frigorifiques de production d'eau glacée.

11.2.2.2 La distribution de l'eau glacée

La distribution de l'eau glacée s'opère par un réseau de tuyauteries entre les groupes frigorifiques et les appareils terminaux.

La tuyauterie généralement utilisée est de l'acier noir recouvert par de la peinture anti-rouille puis calorifugé par un isolant (coquilles de polystyrène ou de polyuréthane).

Un circulateur (pompe) assure la distribution de l'eau glacée au niveau de tous les points du réseau hydraulique.

Suivant la configuration du réseau hydraulique, on peut avoir :

soit un seul réseau

soit deux réseaux (réseau primaire pour la production d'eau glacée – réseau secondaire pour la distribution de l'eau aux terminaux – ballon tampon entre les deux réseaux)

Le réseau hydraulique comprend des accessoires parmi lesquels on peut citer :

les manomètres et les thermomètres

les purgeurs d'air

les vannes et les vannes de réglage

les clapets anti-retour et les manchons antivibratoires

les vases d'expansion ou les surpresseurs

les filtres à tamis

11.2.2.3 Les ventilo-convecteurs

Un ventilo-convecteur est un appareil équipé :

- d'une batterie à eau glacée
- d'une prise d'air (une prise d'air neuf est quelque fois également disponible)
- d'un soufflage d'air
- d'un ventilateur
- d'un filtre à air

Il est placé directement dans le local à traiter, l'air repris dans le local (ou le mélange air neuf – air repris) est filtré, refroidi et pulsé dans le local.

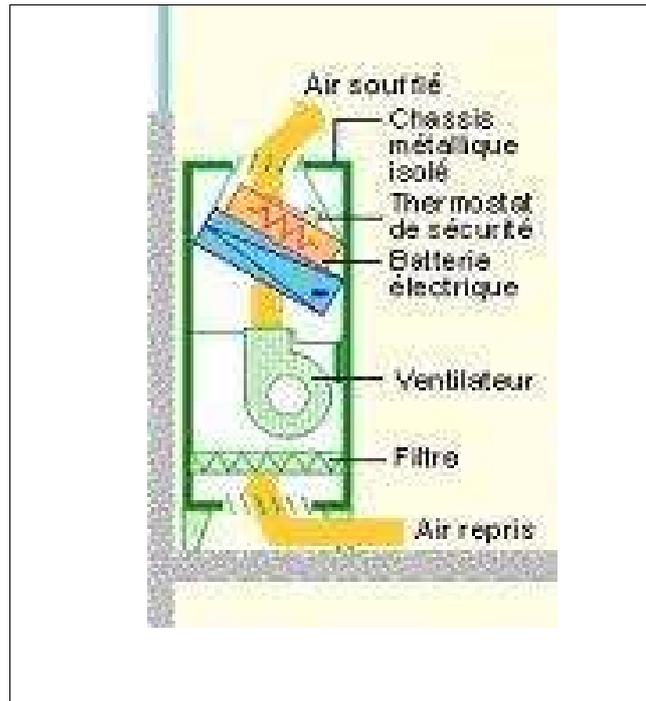


Figure 11.9 : Ventiloconvecteur.

Les ventilo-convecteurs peuvent se retrouver sous plusieurs modèles :

- console
- console non apparent
- plafonnier apparent
- plafonnier encastré
- cassette

 <p><i>Console non apparent (non carrossé) (installation dans un meuble)</i></p>	 <p><i>Console (apparent ou carrossé)</i></p>	 <p><i>Cassette</i></p>
---	--	--

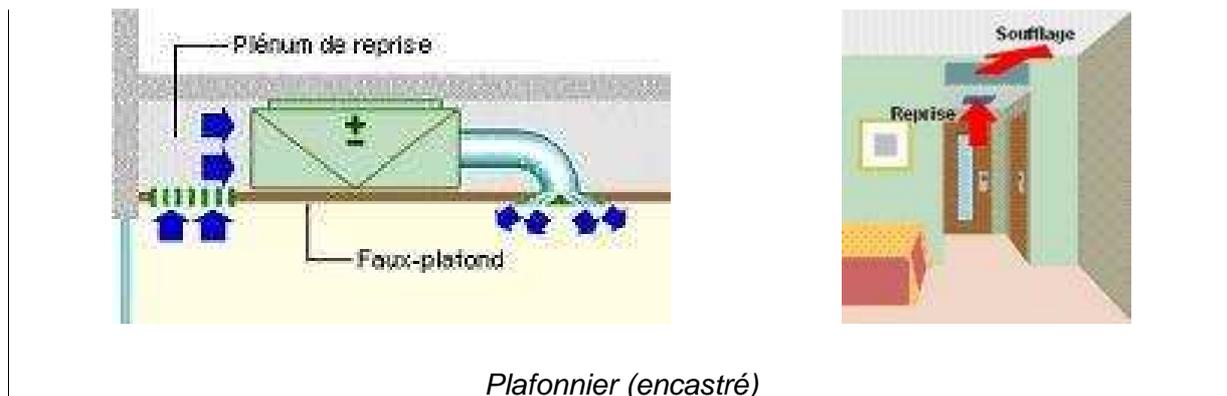


Figure 11.10 : Types de ventilo-convecteurs.

11.2.2.4 Les centrales de traitement d'air

Une centrale de traitement d'air est un assemblage de modules ayant chacun une fonction précise et dont le rôle est de traiter et/ou modifier les caractéristiques de l'air qui y circule.

Les principaux modules rencontrés dans une CTA sont les suivants :

- le module de réglage ou registre qui permet de régler l'admission de l'air entrant dans la CTA
- la zone de mélange qui effectue le mélange entre l'air extérieur appelé air neuf et l'air recyclé
- la zone de filtration qui assure la filtration de l'air
- la zone de refroidissement qui va refroidir l'air
- la zone de ventilation qui comporte le ventilateur de soufflage de l'air frais

La zone de refroidissement est constituée d'une batterie à Eau Glacée.

Il faut noter que la CTA a été classée comme un type de terminal des installations à eau glacée, il faut néanmoins ajouter que :

- sa mise en oeuvre complète nécessite la mise en place d'un réseau aéraulique
- la batterie froide peut être une batterie à détente directe associé (la CTA sera alors classée comme un système à détente directe)



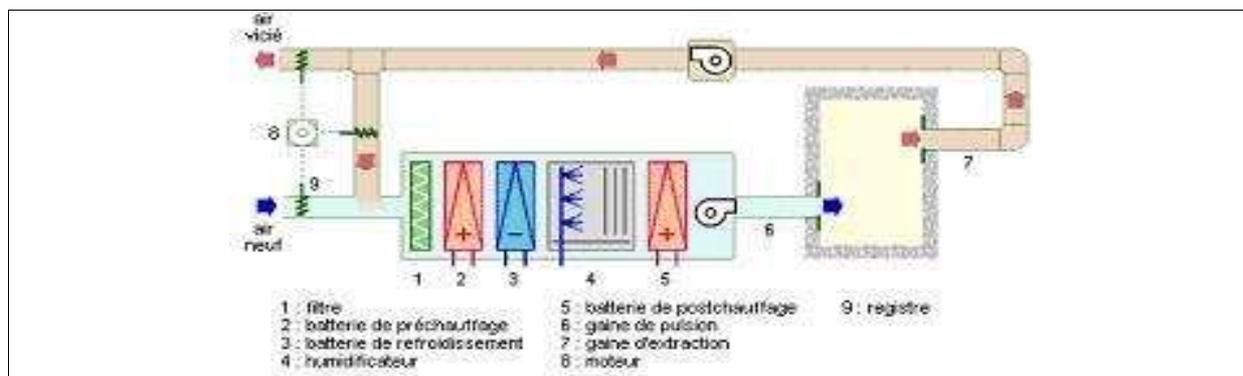


Figure 11.11 : Centrale de traitement d'air.

11.2.3 La diffusion de l'air

11.2.3.1 Diffusion directe par l'unité intérieure

La diffusion directe signifie que l'unité intérieure placée dans le local à traiter assure :

- la reprise de l'air du local (air recyclé)

- le soufflage de l'air traité (air recyclé ayant été filtré puis refroidit)

C'est le cas des systèmes tels que les climatiseurs de fenêtre, les splits system, les armoires de climatisation (dans certains cas de figures) et les ventilo-convecteurs.

11.2.3.2 Diffusion par réseau aéraulique

Les systèmes tels que les monoblocs ou les centrales de traitement d'air nécessitent la mise en place d'un réseau aéraulique.

Ce réseau est composé généralement de :

- d'un réseau de soufflage de l'air frais

- d'un réseau de reprise de l'air recyclé (air repris dans le local)

- d'un réseau d'amenée d'air neuf (dans certains cas de figures)

- de terminaux de diffusion qui peuvent être des grilles, des diffuseurs, des bouches, des buses ou même des fentes aménagées dans le faux plafond.

Les réseaux généralement rencontrés sont réalisés :

- en tôle d'acier galvanisé (conduits circulaires ou rectangulaires)

- à partir de panneaux de plâtre et de polystyrène (gaines staff)

En climatisation, les conduits sont isolés pour éviter le phénomène de condensation et les pertes d'énergie.

Pour les conduits en tôle, l'isolant généralement utilisé est la laine de verre et pour les gaines en staff, elles sont isolées de par leur constitution (plaque de polystyrène en sandwich entre deux plaques de plâtre).

11.2.3.3 Les éléments terminaux de diffusion

Les éléments terminaux de diffusion d'air (ETD) constituent les accessoires finaux de la ligne de distribution de l'air.

Ils assurent le soufflage de l'air traité dans le local à conditionner ainsi que la reprise de l'air vicié.

Le choix d'un ETD repose sur la connaissance de certaines notions telles que la portée, la zone d'occupation, le rayon de diffusion et la méthode de diffusion.

Une bonne diffusion doit assurer des vitesses et des températures optimales de l'air autour des occupants de façon à créer un confort maximum et à bien diluer les contaminants en suspension.

Le bruit généré par la diffusion doit respecter les normes.

Le type de diffusion d'air généralement retenu est celui à partir du plafond de la pièce. Ce mode de diffusion est très efficace en période de refroidissement puisque l'air froid à la sortie du diffuseur a tendance à tomber vers le sol.

La diffusion de l'air peut se faire par deux méthodes :

induction ou mélange ou dilution

L'air traité est introduit dans le local avec une vitesse initiale importante (de l'ordre de 2 m/s) qui crée le phénomène d'induction.

L'air du local est attiré et entraîné par l'air traité auquel il se mélange.

déplacement ou substitution

L'air traité est introduit dans le local avec une vitesse initiale faible (de l'ordre de 0.2m/s) et remplace en totalité l'air présent dans le local.

La théorie de la diffusion repose sur des notions précises :

La **portée** est la distance mesurée depuis l'ETD jusqu'à l'endroit où la vitesse moyenne du jet d'air est tombée en dessous de 0.25m/s.

La **zone d'occupation** est la zone qui couvre une hauteur de 1.80 m en partant du sol et qui s'arrête à 0.6 m des parois verticales.

Le **rayon maximal de diffusion** est la surface maximale de la zone d'occupation qui peut être couverte par un ETD et dans laquelle on maintient une vitesse moyenne de 0.1 à 0.2m/s.

Le **rayon minimal de diffusion** est la surface minimale de la zone d'occupation qui peut être couverte par un ETD et dans laquelle on maintient une vitesse moyenne de 0.1 à 0.25m/s.

L' **effet Coanda** est l'effet provoqué par le soufflage de l'air à partir d'un ETD proche d'une paroi (moins de 0.3m), le jet se plaque contre la paroi et a une portée plus grande.

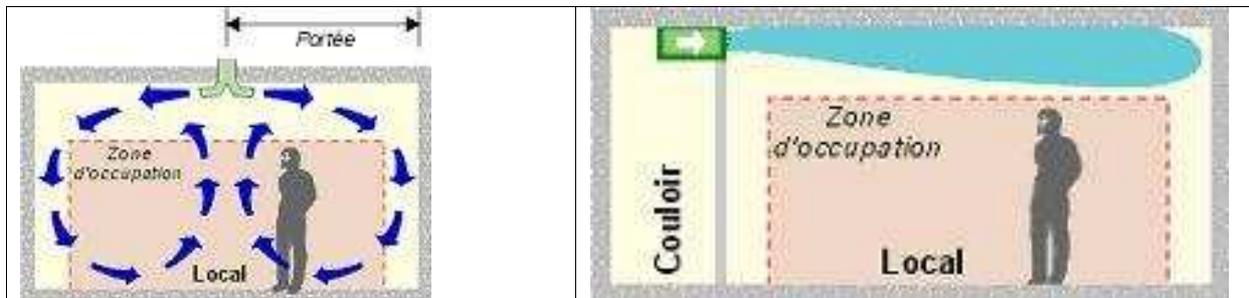


Figure 11.12 : Zone d'occupation et portée.

La forme de l'ETD a une importance particulière dans sa fonction de distribution de l'air, ainsi un ETD ayant le plus grand périmètre pour une section et un débit identiques aura la portée la plus faible et l'induction la plus grande.

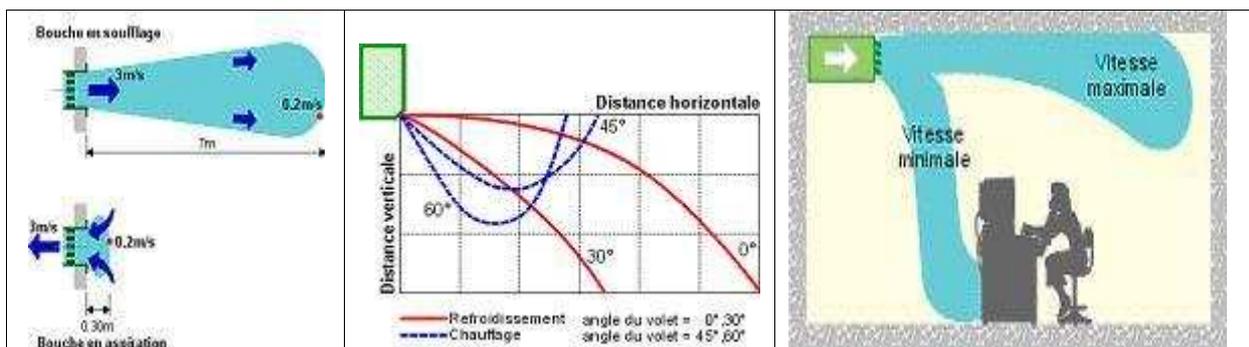


Figure 11.13 : Influences (angles d'ouverture, vitesses de soufflage) sur la portée des ETD

Les ETD peuvent être regroupés comme suit :

- les grilles de soufflage; les grilles de reprise; les grilles de sol; les grilles de transfert
- les diffuseurs plafonniers circulaires et carrés; les diffuseurs à tôle perforée
- les diffuseurs architecturaux; les diffuseurs linéaires; les diffuseurs grande portée
- les diffuseurs à déplacement d'air
- les grilles extérieures

Dans certains cas, les ETD sont montés avec des plénums et des registres, le plénum participe à la fixation de l'ETD, le registre est un organe de réglage du débit de l'ETD

Dans certains cas, la reprise peut être effectuée en vrac par des fentes aménagées dans le faux plafond (la section de ces fente devra être au moins égale à la section de soufflage).

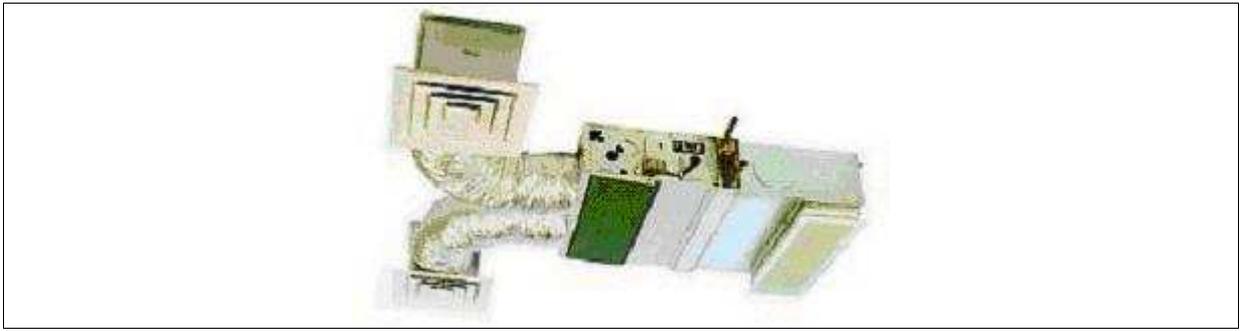


Figure 11.14 : Exemple d'un ETD

Unité du type plafonnier avec plénum de soufflage relié à 2 diffuseurs plafonniers carrés par des gaines flexibles et reprise d'air par grille de reprise apparente)

12. LE FROID DOMESTIQUE ET DE CAMPING

Frigo : types et généralités

- 1°) [Absorption, Compression ou Effet Peltier ?](#)
- 2°) [Principes d'encastrement dans un meuble.](#)
- 3°) [Réparation d'un réfrigérateur](#)

1°) Compression, absorption ou Effet PELTIER ?

Dans la réfrigération domestique, on rencontre trois procédés de réfrigération. **La compression** que tout le monde connaît et utilise à la maison au travers du réfrigérateur de cuisine, du congélateur ou du climatiseur, **l'absorption** plus connue des caravaniers et des hôteliers et **l'effet Peltier** encore appelé procédé Thermoélectrique.

Ces trois procédés offrent chacun des avantages et des inconvénients. Il est clair que les petits plus de l'un sont les grands moins de l'autre et réciproquement. La compression domine totalement le marché de l'électroménager. L'absorption se rencontre dans des créneaux très particuliers où le silence total et l'encombrement réduit sont des critères déterminants. Le thermoélectrique pour sa part est souvent utilisé sur des petites glacières portables.

a) La compression :

Comme son nom l'indique, elle comprime ou comprime un gaz. C'était jusqu'alors généralement du Fréon (aujourd'hui du R 134A moins polluant). Pour comprimer, comme pour gonfler un vélo, il faut une pompe avec un piston donc un moteur pour l'actionner. Cela prend fatalement de la place (gros bloc noir situé à l'arrière des frigos de cuisine), cela peut tomber en panne car beaucoup de pièces en mouvement, il faut absolument de l'électricité (220V, 12V ou 24V) et surtout, bien que les compresseurs aient fait d'énormes progrès, cela fait régulièrement du bruit (moteur + vibrations éventuelles).

Les avantages :

- Montée rapide en froid et froid plus intense en cas de forte chaleur extérieure.
- Faible coût de fabrication. (très grosses quantités fabriquées au niveau mondial).
- Consommation électrique inférieure à un frigo à absorption à volume équivalent.
- Possibilité de fabriquer des appareils d'un volume important (300 litres et +).
- Besoin d'une aération arrière moins importante qu'avec un réfrigérateur à absorption.
- Accepte une légère inclinaison (utilisation en nautisme et 4x4 par exemple).

Les inconvénients :

- Bruit régulier (compresseur = moteur). Notez que les compresseurs d'aujourd'hui ont fait d'énormes progrès et qu'un appareil à compression de qualité fait moins de bruit qu'un PC allumé toute la journée dans un bureau.
- Perte de place (compresseur).
- Petits appareils beaucoup plus rares (en petite profondeur pour encastrement par exemple).

Source unique d'énergie : besoin de courant pour alimenter le moteur électrique (220V, 12V, 24V).

IMPORTANT : Les réfrigérateurs à compression ne doivent pas être retournés tête en bas ou être trop inclinés en cas de transport sous peine de faire passer l'huile du compresseur dans tout le circuit.

b) L'absorption :

Ce procédé n'est ni plus ni moins qu'une distillation. L'agrégat (tuyauterie arrière noire) est une sorte d'alambic qui distille un mélange d'ammoniaque et d'eau. La fameuse formule H²O. Ici, c'est simple. Pas de moteur et pas de pièces en mouvement donc pas de bruit, pas de vibrations et très peu de pannes. Il suffit de chauffer pour que cela marche.

Les avantages :

- très petits volumes (depuis 23 litres), ils se glissent partout (nombreuses applications insolites).
- Pas de moteur, donc aucuns bruits (silence total) et pas de vibrations (caves à vins).
- Pas de perte de place (mécanique réduite).
- Grande fiabilité du système. Très peu de pannes.
- Un large choix d'appareils et en petite profondeur.
- Multi-source d'énergie : 220V, 12V, 24V, Gaz, Pétrole (polyvalence, mobilité et portabilité)

Les inconvénients :

- Coût de fabrication un peu plus élevé. (Petites quantités fabriquées et complexité du système).
- Limitation du volume en absorption de 23 à 230 litres maximum.
- Fonctionnement correct jusqu'à + 32°C ambiant (be soin d'air frais)
- Consommation électrique un peu supérieure à un frigo à compression équivalent.
- Nécessite une bonne ventilation arrière du fait de la production de chaleur en cas d'encastrement.
- Besoin d'être installé parfaitement à l'horizontale (bateaux déconseillés).

IMPORTANT : Les réfrigérateurs à absorption peuvent être inclinés ou couchés pendant le transport voire retournés en cas de pannes.

c) L'effet PELTIER ou Thermoélectriques :

Ce procédé inventé par M. Peltier un week-end où il n'avait rien d'autre à faire ... est génial. L'ami Peltier a constaté qu'en faisant passer du courant continu dans deux plaques de métal (de densité différente) collées l'une contre l'autre, l'une devenait très froide et l'autre très chaude. De là à fabriquer un frigo, il fallait s'appeler Peltier. BRAVO.

Malheureusement, ce procédé est bon marché et plus facile à réaliser que les 2 autres. Ce qui fait qu'on le retrouve essentiellement sur le marché des petites glacières électriques bas de gamme "made in Singapour", vendues en grandes surfaces au printemps. Ce n'est pas cher, mais : "QU'ON SE LE DISE, Cela ne fonctionne pas" (ou pas comme un vrai frigo). Une glacière Peltier est plus à considérer comme un rafraîchisseur qu'autre chose. Pourtant un thermoélectrique de qualité, donc un peu plus cher, donne des résultats très corrects. A ce titre, le frigocar d' Indel B sort largement du lot.

Les avantages :

- Appareils bon marché, voire très bon marché ... (mais dans ce cas, cela peut ne pas marcher du tout !...)
- très petits volumes (quelques litres), ils se glissent partout (nombreuses applications voitures).
- Pas de perte de place (mécanique réduite).
- Grande fiabilité du système. Très peu de pannes (si on y met le prix).
- Multi-source d'énergie : 12V, 24V et 220V (moyennant un petit transformateur).
- Certains modèles sont réversibles et peuvent servir de "réchauffeur de repas" l'hiver (+ 50°C env.)

Les inconvénients :

- Bruit permanent d'un micro ventilateur qui élimine l'air chaud.
- Pas de bouton de réglage, un thermoélectrique fait en permanence ce qu'il peut (performances médiocres).
- Personne ne garantit une température précise.
- Procure généralement une température de 20 à 25°C inférieure à celle extérieure et ceci jusqu'à + 32°C extérieur. Au delà, on ne garantit plus rien !. ..
- Impossibilité de faire de la glace.

IMPORTANT : Les réfrigérateurs thermoélectriques peuvent, selon les modèles, être utilisés debout ou couchés. Ils ne fonctionnent qu'en 12 ou 24V continu (besoin d'un transfo pour le 220V).

d) Les applications des ces 3 procédés semblent maintenant évidentes :

Compression :

- Partout où l'on dispose facilement d'électricité (220V, 12V ou 24V).
- Là où l'aération du meuble est difficile (moins besoin d'air qu'un absorption).
- Là où l'on doit incliner légèrement le réfrigérateur (voilier et 4x4 par exemple).
- Là où le bruit intermittent d'un petit moteur n'est pas un problème (A noter quand même que cela fait moins de bruit qu'un PC de bureau)
- Là où la place du moteur ne gêne pas.

Absorption :

- Partout où l'on souhaite **avoir du froid et du silence en même temps** : Bureaux, hôtels, cliniques, hôpitaux, foyers, maisons de retraite, chambres d'étudiants, kitchenette de studio, prisons, salons, livings, caravanes, camping-car, bateaux, camions, voitures, etc.
- Là où l'on n'a **pas ou peu de place**. Petites pièces, petits meubles etc...

- Là où il n'y a **pas de courant**. Camping, bateaux, chantiers, zones non électrifiées, chalets de montagne, Îles et export vers pays sans installation électrique (fonctionnement gaz ou pétrole).

Thermoélectrique :

- Applications mobiles en voiture principalement.
- Partout où l'on dispose facilement d'électricité (220V, 12V ou 24V).
- Là où l'on n'est pas trop regardant sur le niveau et la régularité du froid obtenu.
- Là où le bruit d'un petit moteur permanent n'est pas un problème.

2) Encastrement dans un meuble

Qu'il soit à compression ou à absorption, tout réfrigérateur peut être encastré dans un meuble à condition de respecter certaines règles d'aération arrière. La profondeur est la cote qui généralement vous gênera en premier. Sachez que les modèles les moins profonds ne font que 38 cm. Ils peuvent donc s'encastrer dans bien des meubles à la maison comme au bureau à l'hôtel ou à la clinique.

a) Principe d'encastrement :

En fonctionnant, tout réfrigérateur fabrique de la chaleur à l'arrière. Il paraît donc évident et impératif la nécessité de réaliser une bonne ventilation au fond de votre meuble. La meilleure image à avoir à l'esprit est le schéma d'un cache radiateur.

1) L'air frais de la pièce doit pouvoir entrer par le bas du meuble (grille dans le socle par ex.)

2) Cet air doit pouvoir parvenir sur l'arrière du réfrigérateur (à la verticale des tuyaux) de manière à pouvoir "rafraîchir" l'ensemble.

3) Enfin, et ce n'est surtout pas à négliger, l'air chaud doit pouvoir sortir facilement du meuble (retour sur le devant avec grille ou cheminée double fond pour une bibliothèque haute par exemple). Veillez bien à ce qu'il n'y ait pas de poches d'air chaud qui stagneraient dans votre meuble.

Correctement installé, un mini frigo vous donnera entière satisfaction pendant de nombreuses années et en cas d'un modèle à absorption, dans le silence le plus complet.

b) Un réfrigérateur mal encastré :

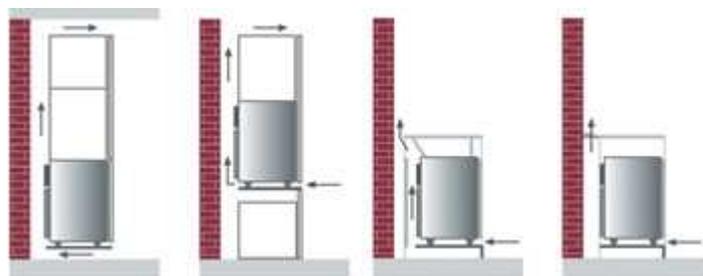
Vous venez d'encastrer ou de faire encastrer votre nouveau minibar, mais il chauffe (absorption) ou ronronne (compression) et ne fait pas de froid ou alors, il fait très peu de froid et ne fait pas de beaux glaçons. C'est sûr, vous êtes un tortionnaire de frigo !...

A coup sûr, le pauvre petit est très mal encastré et il a trop chaud. Nous vous avons dit plus haut que les 3 procédés avaient leur limite. Par exemple, un frigo à absorption fonctionne bien jusqu'à +32°C ambiants. Au delà, il est comme vous, il a très chaud et il fait ce qu'il peut. Inutile donc de le faire s'étouffer avec sa propre chaleur... Il faut revoir votre aération et défoncez le fond du placard !...

c) Test pour savoir si votre frigo fonctionne mal ou s'il est mal encastré ?

Sortez complètement votre appareil de sa "prison". Placez-le sur une table par exemple et branchez-le, thermostat à fond. Remplissez un verre de votre boisson préférée et placez-le une nuit dans le frigo.

Le lendemain, de deux choses l'une : **La boisson est chaude**. C'est que le frigo est en panne. Il faut donc appeler un technicien. **La boisson est bien fraîche**. C'est que le frigo est en pleine forme mais qu'il est mal encastré et qu'il a trop chaud. Il faut revoir absolument l'aération de votre meuble. En attendant buvez le verre à notre santé car nous vous avons fait gagner un dépannage inutile !...



3) Réparation d'un réfrigérateur :

a) Cas d'un appareil à absorption :

Comme nous l'avons vu plus haut, le système à absorption bien que sophistiqué dans sa conception, est relativement simple au niveau de son fonctionnement. Dans un réfrigérateur à absorption, on ne peut rencontrer que **3 sortes de pannes**:

Problème sur la source de chaleur, "la chaufferie". Problème sur la régulation (thermostat, horloge ou carte électronique). Problème sur le circuit d'ammoniac (l'agrégat)

a1) Problème de chauffe :

En cas de panne, la première des choses à contrôler sur votre réfrigérateur à absorption qui fonctionne en 220V, 12V, Gaz ou Pétrole, est la source de chaleur. Si votre appareil fonctionne normalement, les tubes arrière doivent être chauds (jusqu'à 60°C), signe que l'ammoniac a des chances de passer en phase vapeur. Si tel n'est pas le cas, inutile d'aller plus loin. C'est que vous avez un problème de chauffe.

- **En utilisation électrique**, si votre appareil reste froid, c'est qu'il n'y a pas de courant ou que la résistance chauffante est grillée (220V ou 12V) par l'usure ou une surtension (orage). Dans ce cas, il faut simplement la contrôler avec un ohm-mètre et la changer si besoin est. Elle se trouve dans la "chaufferie", à l'intérieur du gros manchon de laine de roche situé à l'arrière de votre frigo. Pour le branchement des 2 fils, il suffit de les brancher à l'identique de l'ancienne résistance dans la boîte de dérivation

NOTE : A chaque agrégat, correspond une puissance de chauffe. Sur chaque résistance, est gravé sa puissance 75W, 85W, 105W, 135W etc... Il faut absolument respecter au mieux cette puissance sous peine de détériorer votre agrégat. Une tolérance de + ou - 10 Watts est acceptable.

- **En utilisation avec flamme Gaz ou Pétrole**, les problèmes de chauffe au gaz sont souvent liés à un manque d'entretien du brûleur. Il faut le nettoyer et ramoner la cheminée au minimum une fois par an avant de partir et changer votre injecteur gaz tous les 3 ans. Pendant la période d'arrêt d'une caravane, il faut savoir que des petites araignées attirées par l'odeur du gaz viennent inmanquablement faire leur nid dans le brûleur. Ceux qui ne font pas de nettoyage de printemps sont assurés d'avoir des démarrages difficiles, impossibles, voire dangereux (retour de flamme).

a2) Problème de régulation :

- **En utilisation électrique**, si votre frigo ne fonctionne toujours pas alors que vous êtes sûr de l'arrivée du courant et de la résistance 220V ou 12V, vous devez vous pencher sur les éléments de régulation. C'est à dire le thermostat (si présent), l'horloge de dégivrage automatique (si présente) ou ce qui est nouveau une petite carte électronique (fuzzi logic) qui fait le travail des deux autres. Ces 3 accessoires sont susceptibles de couper le courant par moment mais non définitivement. Le plus facile à ce niveau est de procéder comme Sherlock Holmes par élimination. En utilisation électrique, rien n'est plus simple en effet que de brancher la résistance en direct sur sa source de courant appropriée et d'attendre une heure (pas plus) pour voir si le frigo fonctionne correctement. Il suffira ensuite de changer la pièce défectueuse.

- **En utilisation au gaz**, différents éléments comme le thermocouple ou la sécurité gaz entrent en ligne de compte. Il ne faut pas plaisanter avec le gaz.

a3) Problème d'agrégat : (circuit d'ammoniac)

Arrivé à ce niveau de déduction, votre appareil chauffe bien en 220V, 12V ou Gaz, mais il s'obstine à ne pas refroidir, voire à tiédir à l'intérieur (bouchon dans le circuit). Autre variante de panne, lorsqu'il est chaud, il dégage une drôle d'odeur qui pique les yeux (fuite d'ammoniac). Dans les deux cas, c'est la grosse panne, il faut changer l'agrégat.

- **En cas d'agrégat bouché**, il y a une petite astuce à connaître. Faites chauffer un peu votre frigo en 220V (c'est le plus facile). Au bout d'une demi-heure par exemple, débranchez-le et retournez-le la tête en bas. Puis avec un maillet en bois ou en caoutchouc, tapez gentiment sur tous les tuyaux. Redressez votre frigo et recommencez l'opération de chauffe, de retournement et de frappe 2 ou 3 fois de suite. Avec un peu de chance, grâce aux vibrations que vous venez de faire et si le bouchon n'est pas trop coincé, votre frigo repartira pour un tour. Cette astuce est un sursis de quelques mois car un agrégat qui commence à s'obstruer, va le refaire, mais quand ?

- **En cas d'agrégat percé**, vous sentirez une forte odeur piquant légèrement les yeux (ammoniac) ou vous verrez des traces de liquide jaune sur les tuyaux. Dans ce cas, il n'y a rien à faire. Il faut changer l'agrégat.

Sauf prise en garantie par les fabricants pour les appareils neufs, selon l'âge et l'état de votre

réfrigérateur et devant le prix d'un agrégat (3/4 d'un frigo neuf), **nous ne saurions vous conseiller de changer purement et simplement d'appareil.**

NOTE : Il faut savoir qu'un agrégat ne se recharge pas et ne se répare pas. Il fonctionne correctement toute sa vie, ou s'il est percé ou bouché, c'est la poubelle tout simplement. En effet, contrairement à certains bruits qui courent, personne sauf l'usine n'est en mesure de fabriquer un agrégat dans son sous-sol !...

b) Cas d'un appareil à compression :

Sur ce genre d'appareils, on ne peut pas bricoler, il faut être frigoriste. Soit votre compresseur est H.S. et il faut le remplacer, soit vous avez une fuite de gaz et il faut recharger le circuit (voir quand même si cela en vaut la peine). Pour faire ce travail, il faut du matériel très spécial (bonbonne de gaz, balance, pompe à vide, etc), c'est donc l'affaire d'un pro.

c) Cas d'un appareil à effet Peltier :

Ici, pas de compromis. Selon le prix d'acquisition de votre glacière (promo vacances en grande surface ...), nous sommes dans le domaine du jetable non réparable. Pendant la période de garantie, on échange et ensuite ... on répare difficilement et sinon, c'est la poubelle. Comme toujours, si votre acquisition était de qualité dans une marque sérieuse, il faut voir si la réparation en vaut la peine car changer un élément Peltier est toujours d'un certain coût.