



ASF SVK ATF

Association Suisse du Froid
Section romande

Principes fondamentaux de la technique du froid

Préparation à l'examen pratique pour le permis de manipuler les installations frigorifiques fixes



Mentions légales

Éditeur/source :

Association Suisse du Froid
www.asf-froid.ch, info@asf-froid.ch

Prix unitaire : Fr. 35.— port, emballage et TVA en sus

Tous droits réservés, la reprise de parties de ce matériel pédagogique implique l'accord préalable écrit de l'éditeur.

La forme masculine est employée dans tout le matériel pédagogique. Ceci apporte une meilleure lisibilité et ne doit en aucun cas discriminer les techniciennes (malheureusement encore trop peu nombreuses dans les métiers techniques).

Table des matières

1	Principes fondamentaux de la physique	4
1.1	La pression	4
1.2	Température	6
1.3	Changement d'état des agrégats / évaporation et condensation	7
1.4	Résumé des principes fondamentaux de physique	9
2	Principaux composants du circuit de froid	10
3	Le circuit de froid	12
3.1	Le circuit de froid simple.....	12
3.2	Mesures sur le circuit de froid	15
3.3	Pont manométrique et possibilités de raccordements.....	17
3.4	Mesures sur le simulateur d'installation de froid	21
4	Mise en service et réparations	25
4.1	Aspiration du fluide frigorigène dans le collecteur	25
4.2	Station d'aspiration et de recyclage	26
4.3	Mise en service et réparation	29
4.4	Contrôle des fuites selon ordonnance sur la réduction des risques chimiques (ORRChim).....	30
4.5	Détecteur de fuites électronique.....	31
4.6	Vacuümisation de l'installation de froid	33
4.7	Pompe à vide	35
4.8	Maintenance de la Pompe à vide, huile de pompe à vide	36
4.9	Courbe de pression lors de la vacuümisation	38
4.10	Appareils de mesure de pression.....	40
4.11	Remplir ou compléter le fluide frigorigène.....	42
5	Échangeurs de chaleur	47
6	Compresseurs frigorifiques	51
6.1	Vue d'ensemble	51
6.2	Les différents types de compresseurs	52
6.3	Les compresseurs à piston	53
6.4	Compresseurs rotatifs.....	57
6.5	Compresseur Swing	58
6.6	Compresseur Scroll (spiro-orbital)	58
7	Composants du circuit de froid	62
8	Mesure et contrôle de la pression	67
9	Restricteur de débit	68

1 Principes fondamentaux de la physique

1.1 La pression

Définition et unités de mesure

La pression se définit comme la force sur une unité de surface

$$p = \frac{F}{A} \quad [\text{N/m}^2] = \text{Pascal [Pa]}$$

L'unité de pression, Pascal, correspond à une pression très faible. Dans le domaine technique on utilise le bar : 1 bar = 100 000 Pa

$$1 \text{ mbar} = 100 \text{ Pa}$$

La mesure de la pression atmosphérique avec un baromètre à mercure se mesure en Torr :

$$1 \text{ Torr} = 1 \text{ mm HG}$$

$$1 \text{ Torr} = 1,33 \text{ mbar}$$

$$1 \text{ Micron} = 1 \text{ mTorr} = 1,33 \times 10^{-3} \text{ mbar}$$

Propagation de la pression (Loi de Pascal, 1623/1662)

Les dispositions suivantes s'appliquent aux liquides et aux gaz :

Dans un circuit fermé, la pression se répartit uniformément dans toutes les directions.

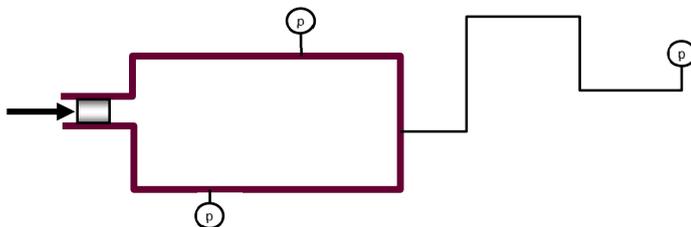


Figure 1.1

Pression absolue

L'échelle de pression commence à 0 dans le vide absolu (aucune molécule n'est présente). Les données en pression absolue sont indépendantes de la pression ambiante.

Pression atmosphérique

La pression atmosphérique dépend de l'altitude au-dessus du niveau de la mer. Elle fluctue d'environ 5 % autour des valeurs moyennes en raison des influences météorologiques.

Atmosphère normalisée :

Une pression de 1,013 bar est considérée comme **normale**. Dans de nombreux cas, elle est arrondie à 1 bar pour simplifier.

Niveau de la mer	Pression en bar
0	1,013
200	0,989
500	0,955
1000	0,899
2000	0,795
4000	0,616
10'000	0,264

Surpression, pression relative

La plupart des manomètres comparent la pression à mesurer avec la pression ambiante, le point zéro est donc la pression ambiante et le vide absolu est de -1 bar. Les pressions supérieures à la pression ambiante sont positives, celles inférieures à la pression ambiante (dépression, plage de vacuum) sont négatives.

Les valeurs de pression en surpression doivent être signalées comme telles, ex. « surpression de 4 bar ».

Échelles de pression pour pression absolue et pression manométrique

Formules de conversion :

Surpression = Pression absolue - 1

Pression absolue = Surpression + 1

Ces formules ne valent que si la pression de l'air est d'env. 1 bar.

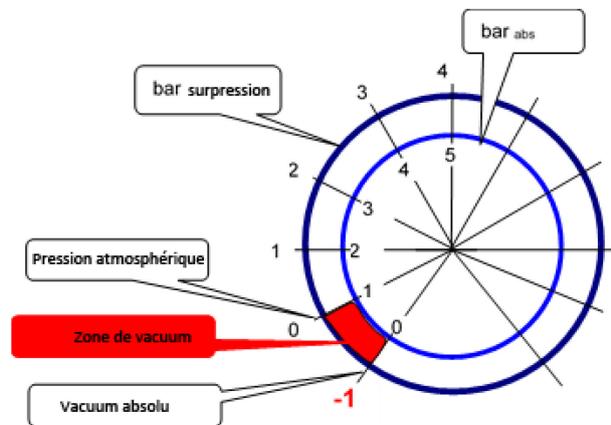


Figure 1.2



Réajuster le manomètre de surpression

Les manomètres de surpression doivent être réajustés à la pression atmosphérique avant d'être raccordés au système de froid !

On doit pouvoir régler les aiguilles facilement, rapidement et en toute fiabilité.



Figure 1.3 : Manomètre de surpression pour basse pression



Figure 1.4 : Manomètre de surpression pour haute pression



Figure 1.5 : Outil électronique de mesure de pression absolue et surpression

1.2 Température

Échelle des températures en Celsius

Celsius (Astronome suédois, 1701/1744) a divisé l'échelle de température entre le point de fusion et le point d'ébullition de l'eau en 100 lignes de graduation.

Les deux valeurs fixes sur l'échelle Celsius sont donc :

0 °C Point de fusion de l'eau

100 °C Point d'ébullition de l'eau à 1,013 bar

Le 0 °C peut être créé facilement et avec précision avec de la glace fondante déminéralisée indépendamment de la pression de l'air. Ce point est parfait pour le réglage des appareils de mesure.

Le point d'ébullition de l'eau, en revanche, dépend de la pression atmosphérique et donc de l'altitude au-dessus du niveau de la mer.

Échelle de température Kelvin

Sur la base de considérations théoriques, le point zéro absolu de la température a pu être calculé comme étant de $-273,15\text{ °C}$.

L'échelle dite de Kelvin a la même graduation que l'échelle Celsius, mais commence par 0 K au zéro absolu. L'échelle Kelvin n'a pas de valeurs négatives.

$$\begin{aligned} 0\text{ K} &= -273,15\text{ °C} \\ 0\text{ °C} &= 273,15\text{ K} \end{aligned}$$

Il faut toujours utiliser l'échelle Kelvin pour les calculs thermodynamiques !

Les différences de température sont toujours indiquées en K.

Exemple :	Température externe	t_a	-10 °C
	Température ambiante	t_i	$+21\text{ °C}$
	Différence	ΔT	31 K

Échelles de température

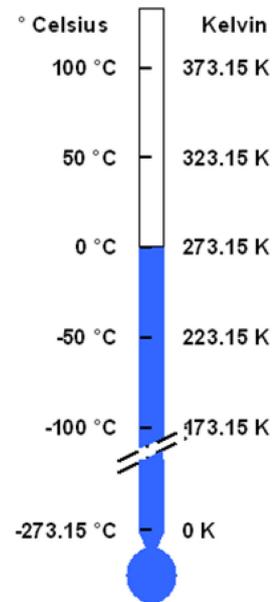


Figure 1.6

1.3 Changement d'état des agrégats / évaporation et condensation

Système à deux phases

Dans le système à deux phases, où le liquide et le gaz se côtoient, il y a toujours un équilibre entre la pression et la température.

La température dépend de la pression ou la pression dépend de la température.

Cette situation sans équivoque vaut aussi bien pour les systèmes en flux que pour les systèmes au repos.

Mesure de température avec manomètre

Cette relation permet de développer une nouvelle méthode de mesure de la température :

On peut mesurer la température avec un manomètre et un tableau de pression de vapeur. Dans la construction d'installations de froid, les manomètres sont pourvus d'échelles de température correspondantes.

Principes fondamentaux de la technique du froid

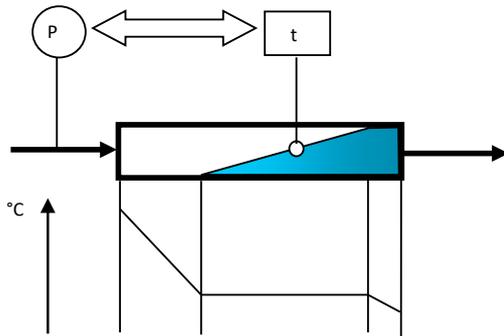


Figure 1.7 : Courbe de température dans le condensateur

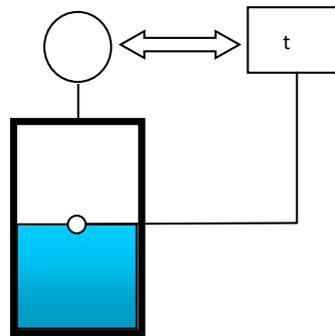


Figure 1.8 : Ex. Cylindre de fluide frigorigère

La relation entre pression et température ne vaut que si le fluide et le gaz se côtoient.

Dans le circuit de froid, les températures de condensation et d'évaporation se définissent sur la base de mesures de pression.

Le spécialiste de la réfrigération mesure très souvent les températures à l'aide du manomètre et s'exprime de façon un peu étrange pour les non-initiés :

« Je mesure une **pression** de **40 °C** ! »

Il s'agit toujours d'une pression, donnée dans la température équivalente. Par ailleurs, les températures se mesurent également avec des thermomètres, comme c'est le cas habituellement dans la construction d'installations de froid. Par exemple, la température d'un gaz chaud ou d'une conduite d'aspiration ne peut être mesurée qu'à l'aide d'un thermomètre.

1.4 Résumé des principes fondamentaux de physique

Pression

- ▶ On utilise un manomètre pour mesurer les pressions relatives : la surpression et la pression négative.

Température

- ▶ Les différences de température sont indiquées en K.

Changement de l'état d'agrégation

Situation	Effets sur le circuit de froid	Effets sur l'environnement
Évaporation du réfrigérant	⇒ Absorption de la chaleur	⇒ Refroidissement
Condensation du réfrigérant	⇒ Dégagement de chaleur	⇒ Réchauffement

Pendant l'évaporation et la condensation la température reste constante.

Quand le fluide et le gaz se côtoient, il y a équilibre entre la pression et la température.

Le réfrigérant se déplace (se condense) vers l'endroit le plus froid.

Exemples :

- ▶ Transvaser le réfrigérant par différence de température entre deux conteneurs.
- ▶ Déplacement indésirable de réfrigérant lors de l'arrêt du système.
- ▶ Le capteur du thermostat (sans remplissage par adsorption) doit se situer à l'endroit le plus froid.

Termes clés

- ▶ surchauffe : au-dessus de la température d'évaporation et donc gazeux
- ▶ sous-refroidissement : en-dessous de la température de condensation et donc liquide

2 Principaux composants du circuit de froid

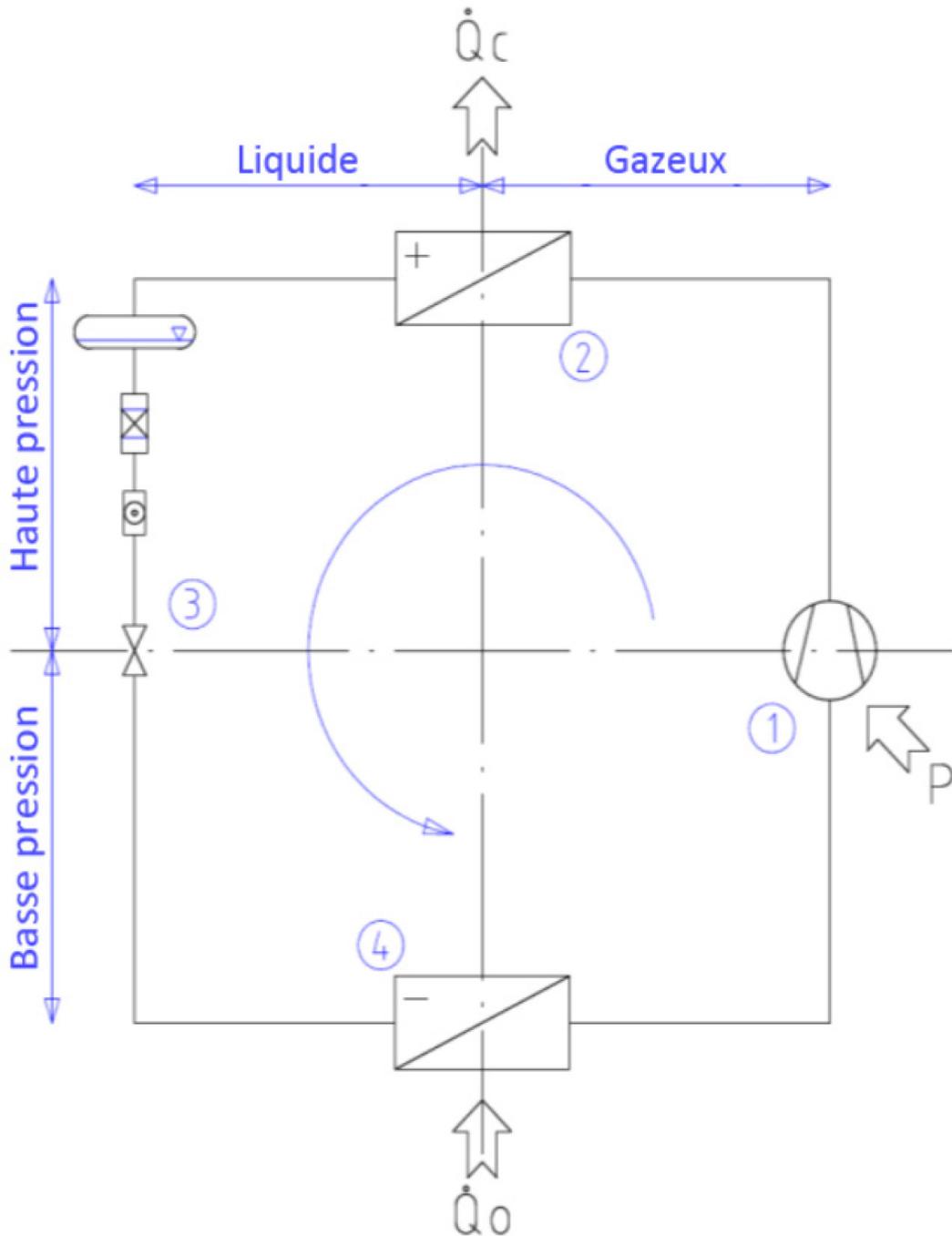


Figure 2.1

Principes fondamentaux de la technique du froid

Nr.	Composant	Exercice
1	Compresseur	<hr/> <hr/>
2	Condensateur	<hr/> <hr/>
3	Réducteur de débit	<hr/> <hr/>
4	Évaporateur	<hr/> <hr/> <hr/>

3 Le circuit de froid

3.1 Le circuit de froid simple

Nommez les principaux composants et les conduites de froid dans l'installation de froid (commerciale) :

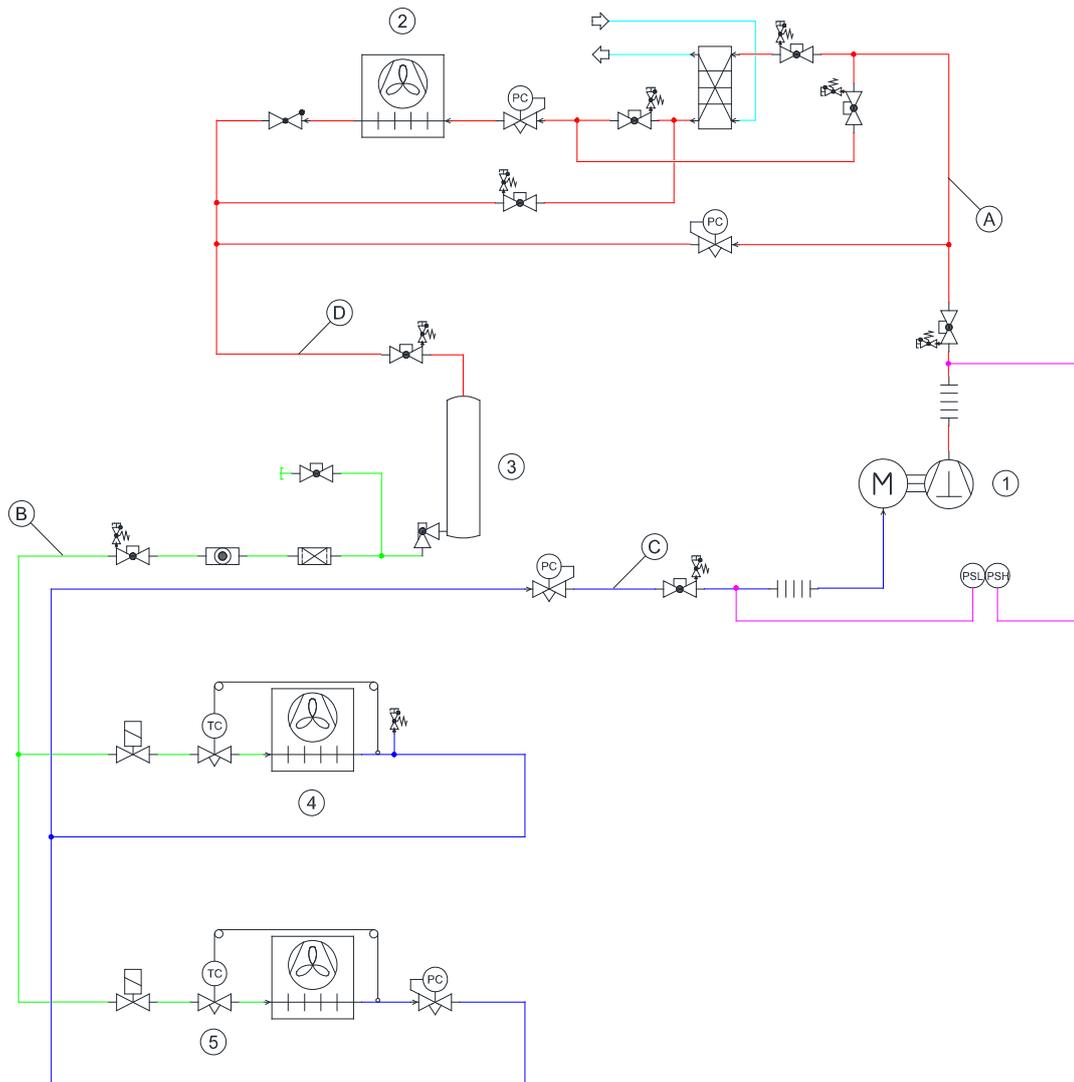


Figure 3.1

Dans quel état se trouve le réfrigérant dans les points indiqués du circuit de froid ?

- | | |
|-----------|-----------|
| 1 : _____ | A : _____ |
| 2 : _____ | B : _____ |
| 3 : _____ | C : _____ |
| 4 : _____ | D : _____ |
| 5 : _____ | |

Principes fondamentaux de la technique du froid

Décrivez les principaux composants et les conduites de froid dans l'installation de froid (pompe à chaleur) :

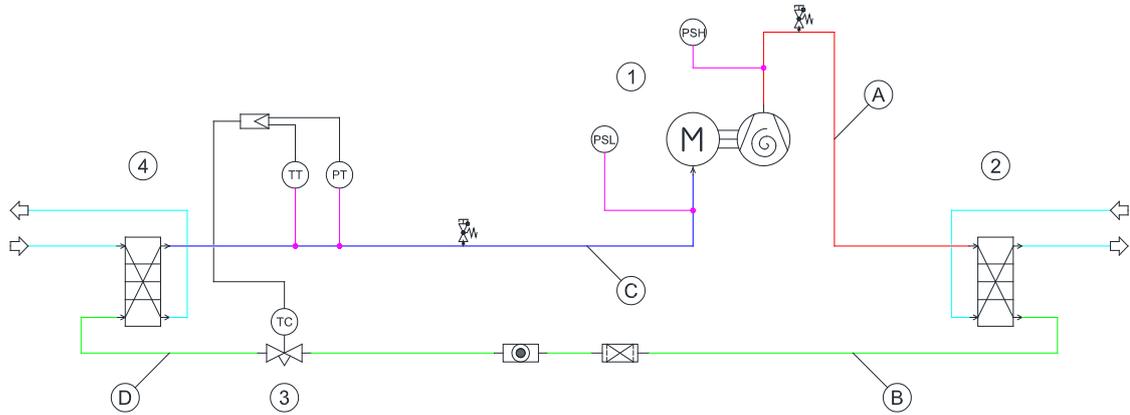


Figure 3.2

Dans quel état se trouve le réfrigérant dans les points indiqués du circuit de froid ?

- | | | | |
|-----|-------|-----|-------|
| 1 : | _____ | A : | _____ |
| 2 : | _____ | B : | _____ |
| 3 : | _____ | C : | _____ |
| 4 : | _____ | D : | _____ |

Principes fondamentaux de la technique du froid

Nommez les principaux composants et les conduites dans l'installation de froid (climatisation split) :

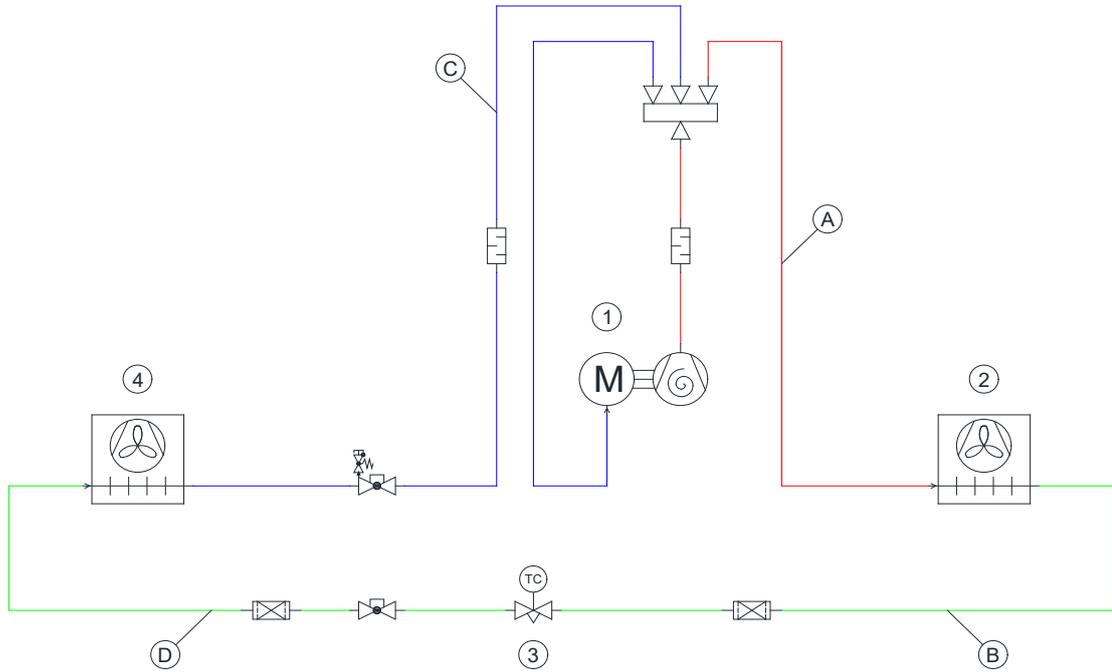


Figure 3.3

Dans quel état se trouve le réfrigérant dans les points indiqués du circuit de froid ?

- | | | | |
|-----|-------|-----|-------|
| 1 : | _____ | A : | _____ |
| 2 : | _____ | B : | _____ |
| 3 : | _____ | C : | _____ |
| 4 : | _____ | D : | _____ |

3.2 Mesures sur le circuit de froid

Les appareils de mesure nécessaires pour les mesures sur un circuit de froid simple sont :

- ▶ Pont manométrique avec manomètres à haute et basse pression
- ▶ Manomètre basse pression simple
- ▶ Thermomètre (ex. Thermomètre thermocouple)

Les principales valeurs mesurées dans le circuit de froid sont :

- p_c Pression de condensation au manomètre en bar_u
 t_c Température de condensation en $^{\circ}\text{C}$
(Mesurer à la sortie du raccord commun au lieu de la sortie du compresseur donne un signal de pression plus stable)
 t_{HG} Température des gaz chauds à la sortie du compresseur en $^{\circ}\text{C}$
 t_{FL} Température du liquide à l'entrée du détendeur en $^{\circ}\text{C}$
 p_o Pression de condensation au manomètre en bar_u
 t_o Température de condensation en $^{\circ}\text{C}$
 $t_{\ddot{u}}$ Température de la vapeur d'aspiration surchauffée à la sortie de l'évaporateur en $^{\circ}\text{C}$
 t_{SD} Température de la vapeur d'aspiration surchauffée à la sortie du condenseur en $^{\circ}\text{C}$

Il en découle d'autres indices importants :

- ΔT_u Différence de température de sous-refroidissement = $t_c - t_{FL}$ en K
 $\Delta T_{\ddot{u}}$ Différence de température de surchauffe = $t_{\ddot{u}} - t_o$ en K



Figure 3.4 : Pont manométrique



Figure 3.5 : Manomètre basse pression



Figure 3.6 : Thermomètre thermocouple

Principes fondamentaux de la technique du froid

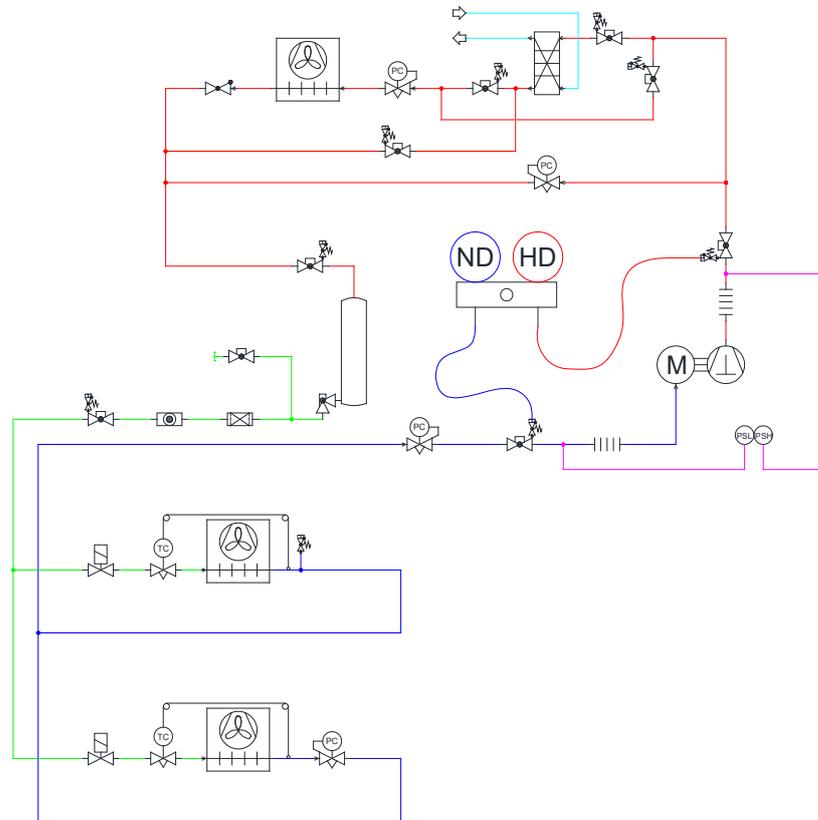


Figure 3.7 Schéma de raccordement pour installation commerciale

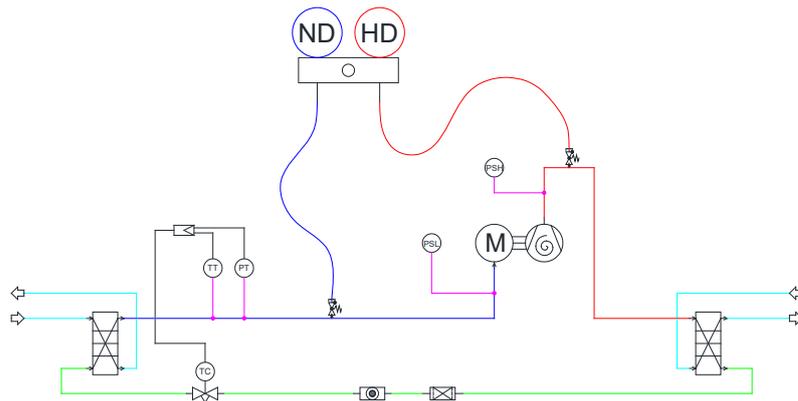


Figure 3.8 Schéma de raccordement pour installation de pompe à chaleur

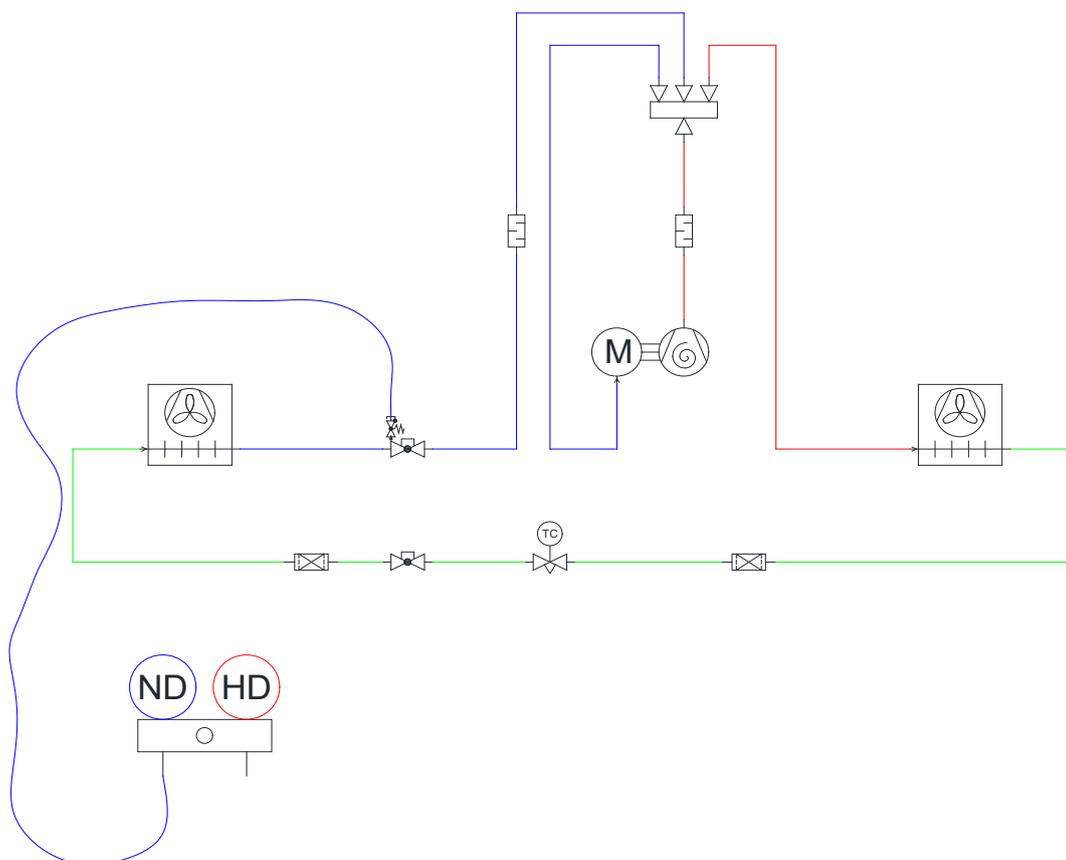


Figure 3.9 Schéma de raccordement pour installation de climatisation split

3.3 Pont manométrique et possibilités de raccordements

Pour les mesures sur les installations de froid, les solutions privilégiées sont :

- ▶ Pont manométrique à 2 voies analogique ou numérique
- ▶ Pont manométrique à 4 voies analogique ou numérique

Des raccords Schrader (mamelons de mesure) ou des vannes d'arrêt Rotalock avec raccord de mesure verrouillable sont disponibles comme points de raccordement mesurer la pression.

Soupape Schrader



Figure 3.10 : Soupape Schrader avec tête intégrée et clé à noyau de valve simple



Figure 3.11 : Soupape



Figure 3.12 : Soupape Schrader à passage direct



Figure 3.13 : Soupape Schrader à raccord rapide

La soupape Schrader est généralement associée aux valves des pneus. Une espèce de clapet anti-retour, qui verrouille la pression du système contre l'atmosphère. La soupape Schrader dans les systèmes de froid est néanmoins plus courte et fonctionne un peu différemment de celle des pneus.

Pour garantir que le raccord soit ouvert pour les travaux sur le circuit de froid, il faut utiliser un « ouvreur Schrader » sur le raccord de la conduite, qui appuie sur la soupape Schrader et libère ainsi le passage. Le Schrader est donc ouvert lorsque le conduit est vissé et fermé lorsqu'il est dévissé.

Afin de minimiser les fuites de fluide réfrigérant lors de l'ouverture et de la fermeture du raccord Schrader, il faut utiliser des clapets anti-retour ou des vannes d'arrêt supplémentaires comme ouvreurs Schrader.

Les raccords Schrader doivent toujours être fermés hermétiquement par un écrou en laiton et une tête de cuivre intégrée. Les bouchons avec joint en caoutchouc ne sont pas étanches !

Les valves Rotalock



Figure 3.14

Vannes d'arrêt sur les compresseurs et les collecteurs. Les vannes d'arrêt ont trois positions :

1. Passage principal ouvert
2. Passage principal fermé
3. Pos. médiane : Passage principal et raccord externe ouverts

Attention : peut être également utilisé avec un raccord supplémentaire non verrouillable!

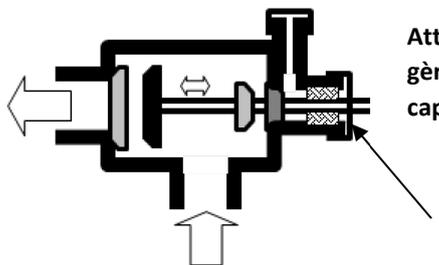


Figure 3.15

Attention : Avant de faire fonctionner la tige, le joint doit être légèrement desserré. Après l'intervention, il doit être resserré ! Les capuchons doivent toujours être serrés avec des outils.



Figure 3.16 : Clé à cliquet pour vanne Rotalock

2-Pont manométrique à deux voies

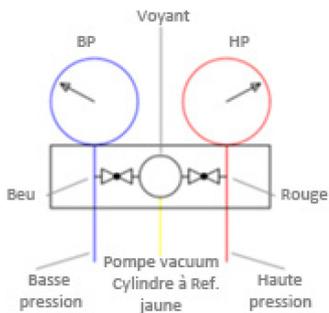


Figure 3.17



Figure 3.18 : Pont manométrique analogique à deux voies



Figure 3.19 : Pont manométrique digital à deux voies

Étapes pour connecter le pont manométrique

Connexion à l'installation avec des raccords Schrader (sans vannes Rotalock)

- ▶ Dépressurisation du pont de mesure : desserrer les tuyaux, ouvrir les vannes
- ▶ Étalonner le manomètre (mettre l'aiguille sur 0 bar)
- ▶ Fermer toutes les vannes
- ▶ Desserrer les capuchons des points de raccord HP et BP (retenir avec une clé pour les retirer!)
- ▶ Raccordement du tuyau BP
(Variante avec adaptateur de clapet anti-retour : visser l'adaptateur de clapet anti-retour sur le raccord HP. Visser sa contre-partie sur l'extrémité du tuyau HP)
- ▶ Raccorder le tuyau HD avec l'adaptateur d'ouverture Schrader
- ▶ Ouvrir le passage Schrader avec un ouvreur Schrader
- ▶ Purger brièvement les tuyaux HP et BP au pont de mesure
- ▶ Pont de mesure prêt pour les mesures

Étapes pour déconnecter le pont manométrique

(Le fluide frigorigène du tuyau HP est aspiré du côté BP)

- ▶ Fermer le passage vers le Schrader HP en fermant le Schrader
- ▶ Fermer hermétiquement le tuyau jaune
- ▶ Ouverture de la vanne BP sur le pont de mesure
- ▶ Purger brièvement le tuyau jaune à son extrémité
- ▶ Ouvrir lentement la vanne HP sur le pont de mesure
- ▶ Fermer les vannes HP et BP dès que la pression est équilibrée.
- ▶ Retirer le tuyau HP
- ▶ Retirer le tuyau BP
- ▶ Fermer hermétiquement les tuyaux
- ▶ Fermer hermétiquement les capuchons aux points de raccord

Pont manométrique à 4 voies

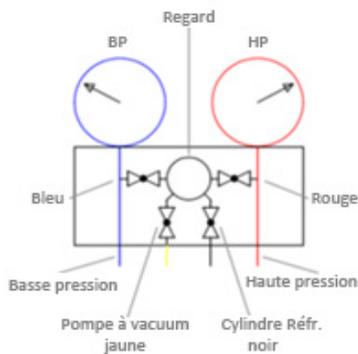


Figure 3.20



Figure 3.21 : Pont manométrique analogique



Figure 3.22 : Pont manométrique numérique à 4 voies

Étapes pour connecter le pont manométrique

Connexion à l'installation avec vannes Rotalock

- ▶ Dépressurisation du pont de mesure : desserrer les tuyaux, ouvrir les vannes
- ▶ Étalonner le manomètre (mettre l'aiguille sur 0 bar)
- ▶ Fermer toutes les vannes du pont manométrique
- ▶ Retirer délicatement les bouchons des valves Rotalock. Si la tige de la valve fuit, la pression peut s'accumuler dans le bouchon.
- ▶ Desserrer légèrement les joints de la broche des vannes Rotalock BP et HP
- ▶ Tourner les tiges des vannes Rotalock BP et HP dans le compartiment arrière (fermer correctement les raccords de mesure)
- ▶ Enlever les capuchons des points de raccordement
- ▶ Raccorder le tuyau BP. Raccorder le tuyau HP
- ▶ Raccorder la pompe à vide
- ▶ Fermer hermétiquement le tuyau supplémentaire
- ▶ Utiliser la pompe à vide pour aspirer brièvement l'air des tuyaux et du pont manométrique. Pour ce faire, ouvrir toutes les vannes d'arrêt du pont manométrique.
- ▶ Fermer toutes les vannes d'arrêt du pont manométrique
- ▶ A l'aide de la clé à cliquet, tourner la tige de la vanne Rotalock BP d'environ 1 tour (ouvrir le raccord de mesure en le tournant vers la droite)
- ▶ A l'aide de la clé à cliquet, tourner la tige de la vanne HP-Rotalock d'environ 1 tour (ouvrir le raccord de mesure en le tournant vers la droite)
- ▶ Pont de mesure prêt pour les mesures

Étapes pour déconnecter le pont manométrique

(Le fluide frigorigène contenu dans le tuyau HP est aspiré vers le côté BP)

- ▶ A l'aide de la clé à cliquet, tourner la tige de la vanne Rotalock HP sur le siège arrière (fermer le raccord de mesure en tournant vers la gauche)

Principes fondamentaux de la technique du froid

- ▶ Ouvrir lentement la vanne d'arrêt rouge et bleue sur le pont manométrique. Vidanger le tuyau à haute pression.
- ▶ Si une commande de pompage est disponible, abaisser la basse pression par aspiration à 0,2 bar ü.
- ▶ Fermer les vannes HP et BP sur le pont manométrique dès que la pression est équilibrée..
- ▶ Tourner la tige de la vanne Rotalock BP vers le siège arrière à l'aide de la clé à cliquet (fermer le raccord de mesure en tournant vers la gauche)
- ▶ Débrancher le tuyau HP. Débrancher le tuyau BP.
- ▶ Fermer hermétiquement les tuyaux.
- ▶ Fermer hermétiquement les capuchons aux points de raccord .
- ▶ Bien serrer les joints d'étanchéité des tiges des vannes Rotalock.
- ▶ Fixer les bouchons des valves Rotalock

3.4 Mesures sur le simulateur d'installation de froid

Mission :

- ▶ Prendre le schéma de principe du simulateur de froid dans l'annexe.
- ▶ Insérer dans le schéma, tous les points de mesure préalablement mentionnés. Définir la surchauffe à l'évaporateur haute performance.
- ▶ Établir un protocole de mesure.

Principes fondamentaux de la technique du froid

Schéma d'installation de froid (commerciale)

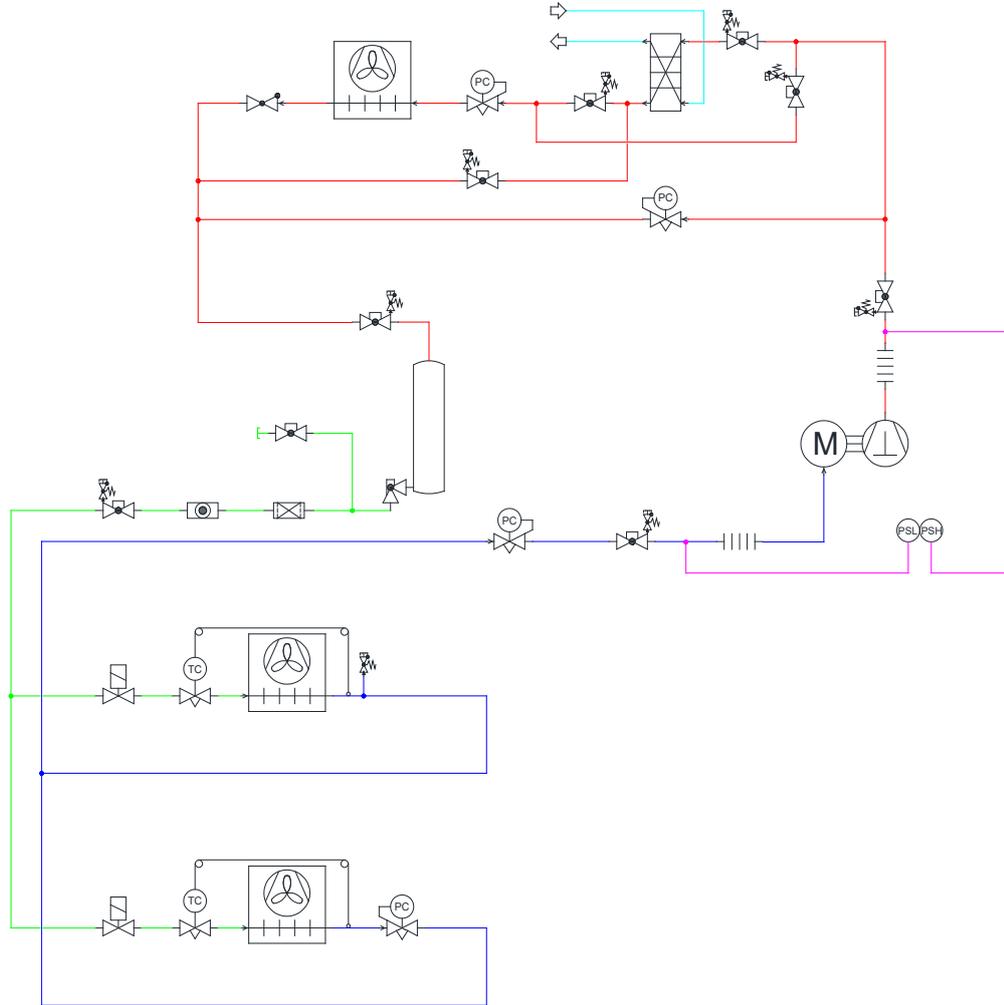


Figure 3.23

Protocole de mesure :

Nr.	Liquéfaction		Évaporation		Surchauffe		Sous-refroidissement	
		°C		°C		K		K
1		°C		°C		K		K
2		°C		°C		K		K
3		°C		°C		K		K
4		°C		°C		K		K
5		°C		°C		K		K

Principes fondamentaux de la technique du froid

Schéma d'installation de froid (pompe à chaleur)

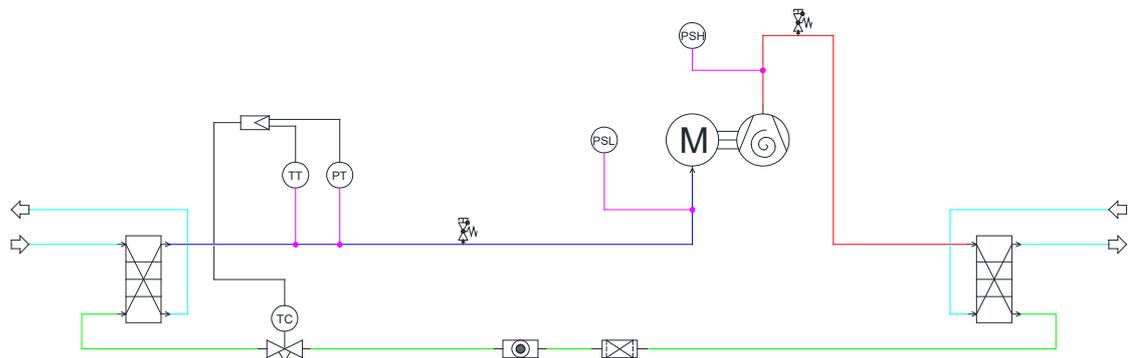


Figure 3.24

Protocole de mesure :

Nr.	Liquéfaction		Évaporation		Surchauffe		Sous-refroidissement	
1		°C		°C		K		K
2		°C		°C		K		K
3		°C		°C		K		K
4		°C		°C		K		K
5		°C		°C		K		K

Principes fondamentaux de la technique du froid

Schéma d'installation de froid (climatisation split)

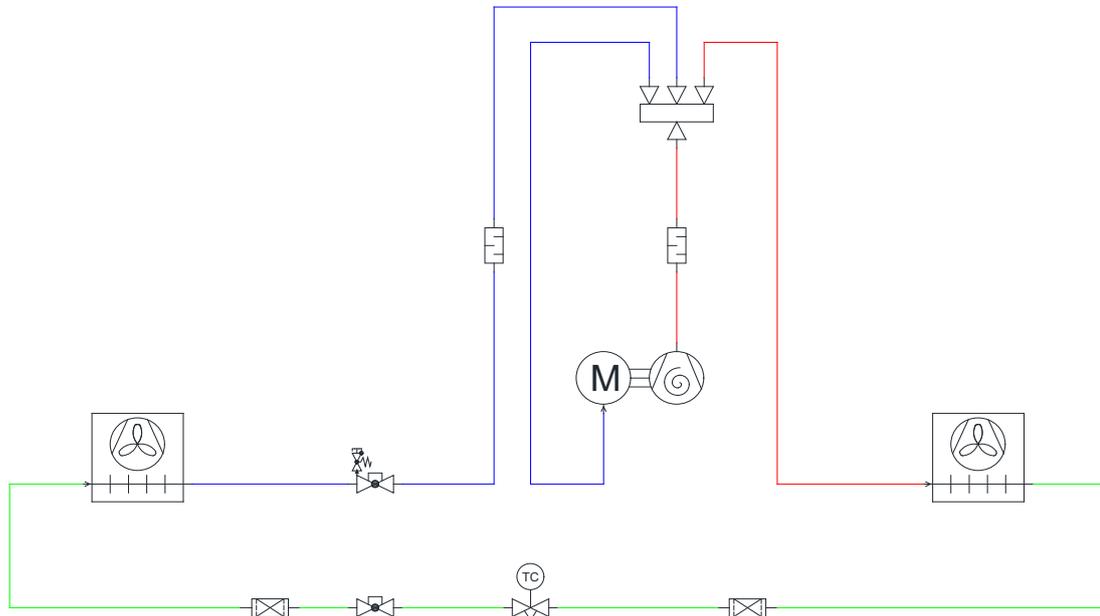


Figure 3.25

Protocole de mesure :

Nr.	Liquéfaction		Évaporation		Surchauffe		Sous-refroidissement	
		°C		°C		K		K
1		°C		°C		K		K
2		°C		°C		K		K
3		°C		°C		K		K
4		°C		°C		K		K
5		°C		°C		K		K

4 Mise en service et réparations

4.1 Aspiration du fluide frigorigène dans le collecteur

Pour travailler sur le circuit de réfrigération, il est conseillé d'aspirer le réfrigérant dans le collecteur. Toutefois, ce dernier doit être muni d'un robinet d'arrêt à la sortie et d'une capacité suffisante.

Une bonne partie de la quantité de fluide frigorigène peut ainsi être rapidement « aspirée » dans le collecteur :

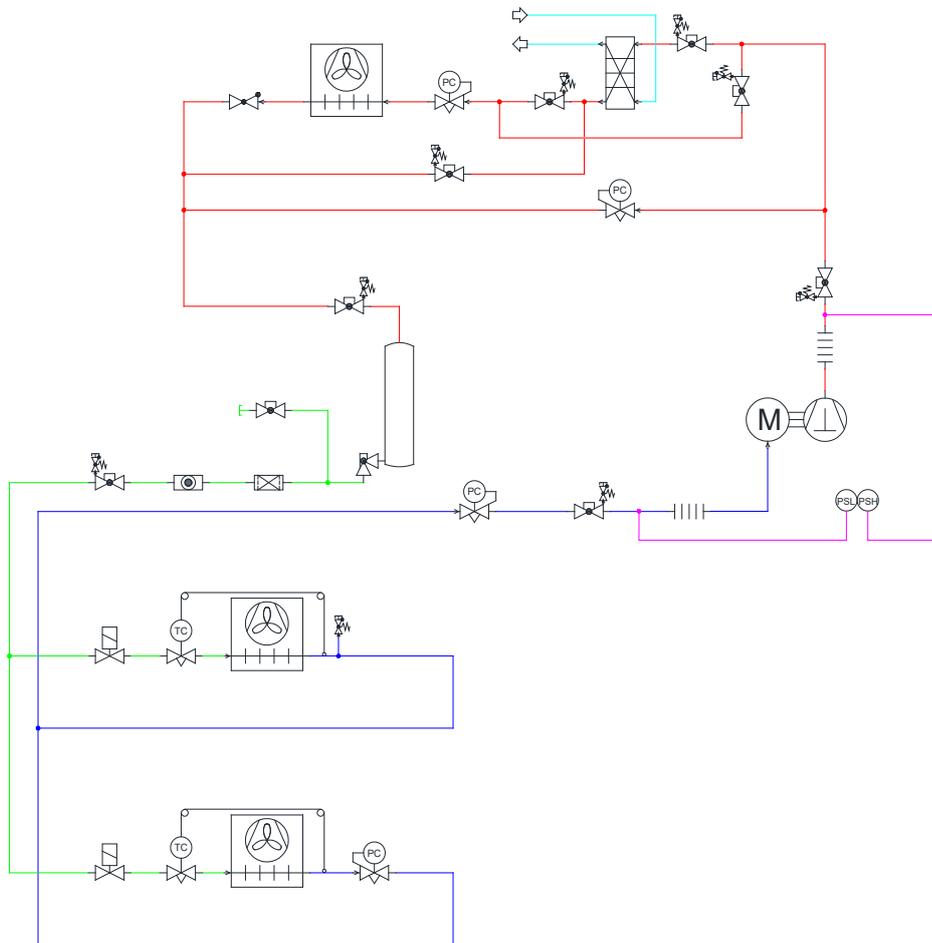


Figure 4.1

1. Mettre en marche la pompe de chauffage (réchauffer le condenseur)
2. **Il faut absolument mettre en marche la pompe source** : Lors de l'aspiration à environ 0,2 bar, le fluide frigorigène bout à une température très basse. Si la pompe s'arrêtait, l'évaporateur gèlerait.
3. Fermer le point de sortie du collecteur.
4. Contourner éventuellement tout pressostat basse pression.

Principes fondamentaux de la technique du froid

5. Aspirer jusqu'à environ 0,2 bar.
6. Répéter cette démarche à plusieurs reprises.
7. Fermer l'entrée du collecteur s'il y en a un.

4.2 Station d'aspiration et de recyclage

Les stations d'aspiration et de recyclage sont utilisées pour aspirer le contenu des installations de réfrigération et de conditionnement d'air sans émission de réfrigérant. Selon l'application, la station doit être connectée de manière appropriée pour une efficacité maximale.

Ex. de performance REFCO ENVIRO-DUO	
Réfrigérant gazeux	33 kg/h
Réfrigérant liquide	210 kg/h
Opération Push-Pull	570 kg/h

Structure de la station d'aspiration et de recyclage

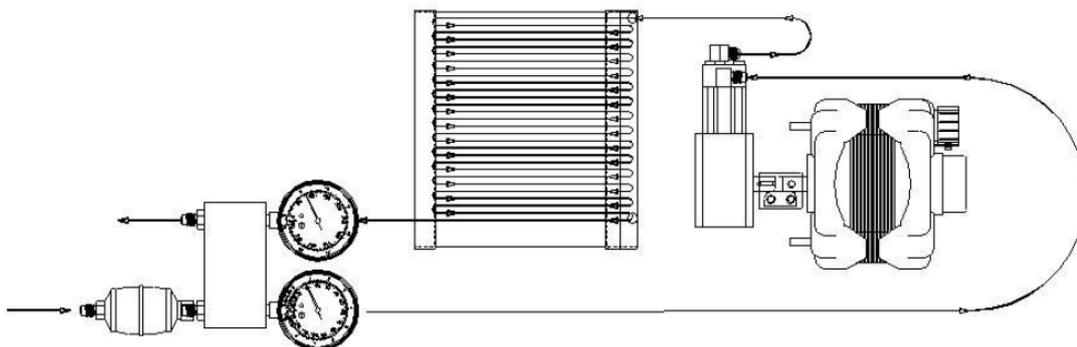


Figure 4.2

Instructions d'utilisation :

- ▶ Lire le mode d'emploi avant l'utilisation (chaque appareil a des réglages spécifiques)
- ▶ Tous les appareils ne sont pas adaptés pour l'utilisation des fluides frigorigènes A2 et A2L
- ▶ Le filtre situé devant la soupape d'admission protège l'appareil et doit être remplacé plus souvent en fonction du degré de contamination et de la teneur en acide/humidité du fluide frigorigène
- ▶ Les stations d'aspiration fonctionnent selon le principe de la compression et ne supportent pas les coups de bélier
- ▶ La plupart des appareils ne nécessitent aucun entretien particulier
- ▶ Toujours utiliser une balance lors du remplissage des cylindres de fluide frigorigène afin de pouvoir contrôler la charge du cylindre
- ▶ Les installations devraient être vidées jusqu'à une pression de 0,2 bar
- ▶ Un cylindre de fluide frigorigène à double valve est nécessaire pour un fonctionnement en mode « push-pull »

Procédures de récupération standard

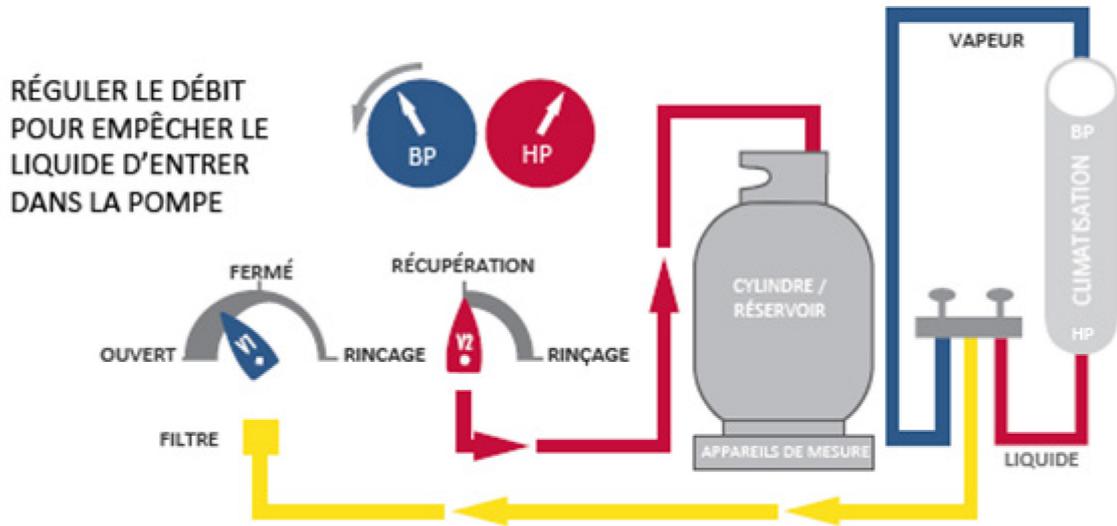


Figure 4.3

Fonctionnement en « push-pull » (pompage de volumes de fluide frigorigène plus importants > 7 kg)

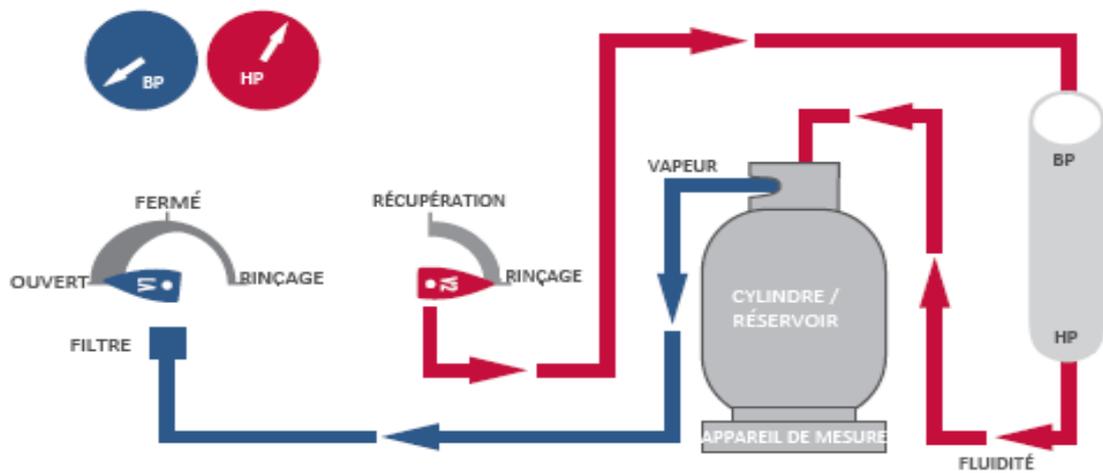


Figure 4.4

Rinçage du système, vidange

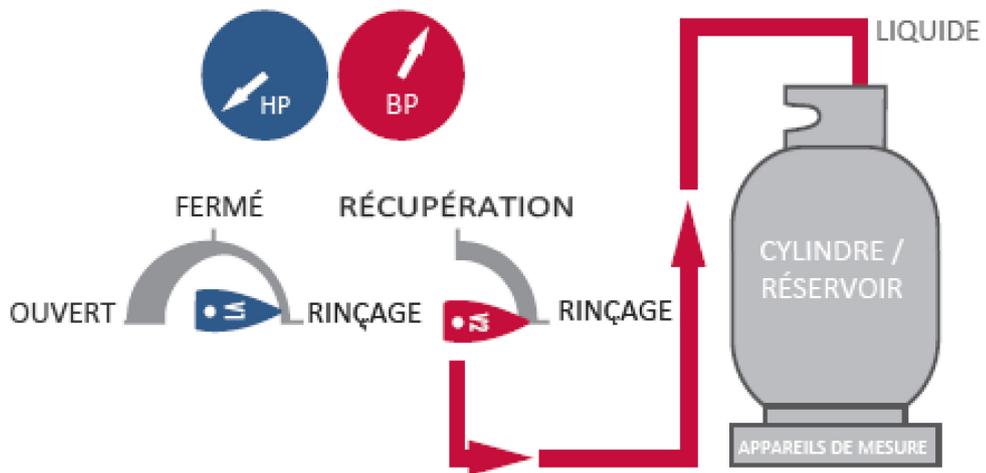


Figure 4.5

Raccordez les différentes parties pour réaliser une « aspiration normale » pour de petits volumes de fluide frigorigène :

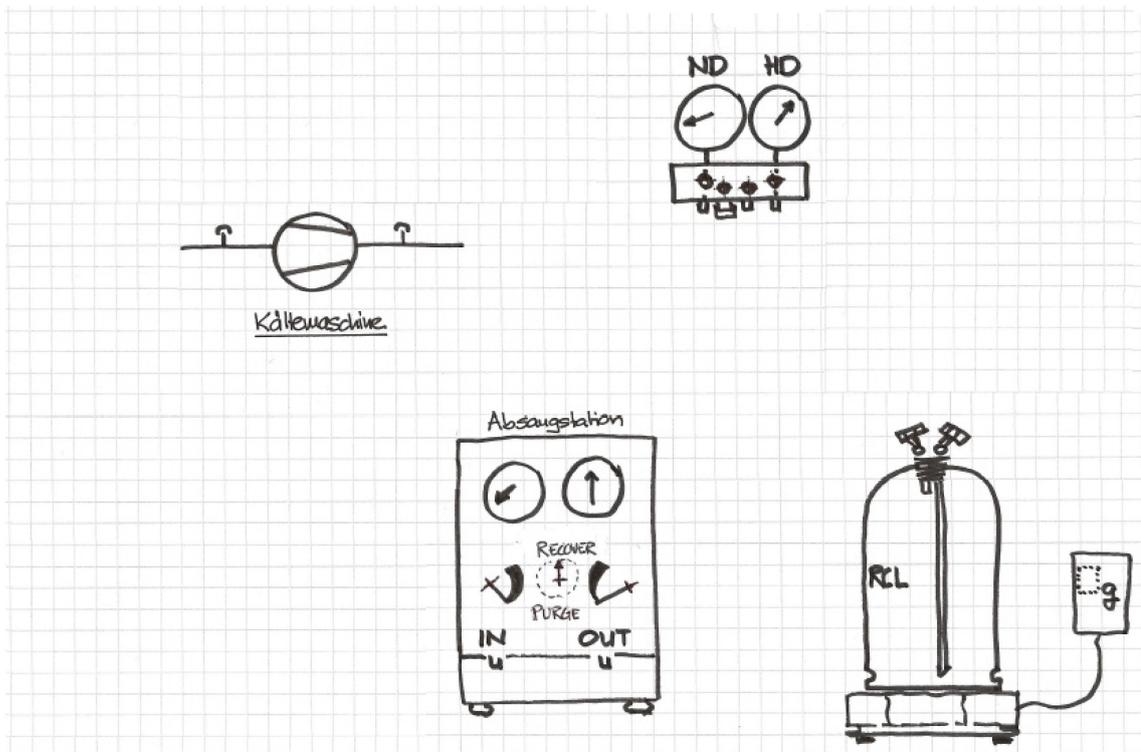


Figure 4.6

4.3 Mise en service et réparation

Procédure lors de la mise en service ou après des interventions sur le circuit frigorifique

- ▶ Test de pression à l'azote
- ▶ Vacuumisation
- ▶ Remplissage du fluide frigorigène
- ▶ Mise en service
- ▶ Contrôle d'étanchéité avec détecteur de fuite
- ▶ Réglages
- ▶ Mesures
- ▶ Protocole de mise en service

Contrôle d'étanchéité

L'étanchéité absolue n'existe malheureusement pas ! Par contre, un travail minutieux permet d'obtenir une étanchéité élevée !

La sensibilité de détection de la méthode de mesure est déterminante pour le contrôle de l'étanchéité. La sensibilité de détection des différentes méthodes est indiquée ci-dessous. C'est le taux de fuite détectable en grammes de perte de fluide frigorigène par année, sur la base du réfrigérant R134a.

Sans réfrigérant dans l'installation

Test de niveau de pression avec surpression d'azote 15 bar (valeur pratique) et observation de la réduction de la pression au manomètre

Attention : Surveiller la pression maximale !

Taux de fuite vérifiable	250'000 g/a
--------------------------	-------------

Cette méthode ne peut pas être utilisée seule !

- ▶ surpression d'azote 15 bars (valeur pratique) et spray de savon

Attention : Surveiller la pression maximale !

Taux de fuite vérifiable	250 g/a
--------------------------	---------

- ▶ Surpression de gaz de formage de 10 bars (valeur pratique) et détecteur de fuites

Attention : Surveiller la pression maximale !

Taux de fuite vérifiable	0,2 bis 20 g/a
--------------------------	----------------

Avec fluide frigorigène dans l'installation

- ▶ Spray de savon

Taux de fuite vérifiable	250 g/a
--------------------------	---------

- ▶ Détecteur de fuite

Taux de fuite vérifiable	0,2 bis 20 g/a
--------------------------	----------------

Il existe aujourd'hui des appareils à faible sensibilité externe.

- ▶ **Substance fluorescente de test dans l'huile réfrigérante et recherche par lampe à ultraviolets**

Taux de fuite vérifiable	env. 2 g/a
--------------------------	------------

Ne convient qu'à des parties visibles.

Les fabricants de compresseurs refusent la garantie.

4.4 Contrôle des fuites selon ordonnance sur la réduction des risques chimiques (ORR-Chim)

Les installations fixes à teneur en fluide frigorigène supérieure à 3 kg doivent être déclarées à l'OFEV.

1. Obligation d'annonce lors de la mise en et hors service.
2. Les installations fixes à teneur en fluide frigorigène supérieure à 3 kg sont soumises à autorisation.
3. Cahier de maintenance pour appareils et installations à teneur en fluide frigorigène supérieure à 3 kg
4. **Contrôles d'étanchéité réguliers pour les appareils et installations utilisant des fluides frigorigènes stables dans l'air et dont la quantité de remplissage est supérieure à 5 tonnes d'équivalent CO₂.**
 Ex. : Quantité de remplissage 5 kg R134a (GWP 1'430) = 7'150 CO₂-Équivalent
5. Toute fuite détectée doit être obligatoirement réparée !

Fréquence des contrôles de fuite (Selon ORRChim)

	Installations assemblées sur le site	Installations et équipements compacts prêts à l'emploi
1. Contrôle après la mise en service	2 ans	6 ans
2. Contrôle après la mise en service	1 an après le 1 ^{er} contrôle	4 ans après le 1 ^{er} contrôle
Autres contrôles	Chaque année	Tous les deux ans

4.5 Détecteur de fuites électronique

Les détecteurs de fuites électroniques conviennent parfaitement pour les contrôles simples et rapides de l'étanchéité des équipements et des installations.

Détecteur de fuites à capteur infrarouge

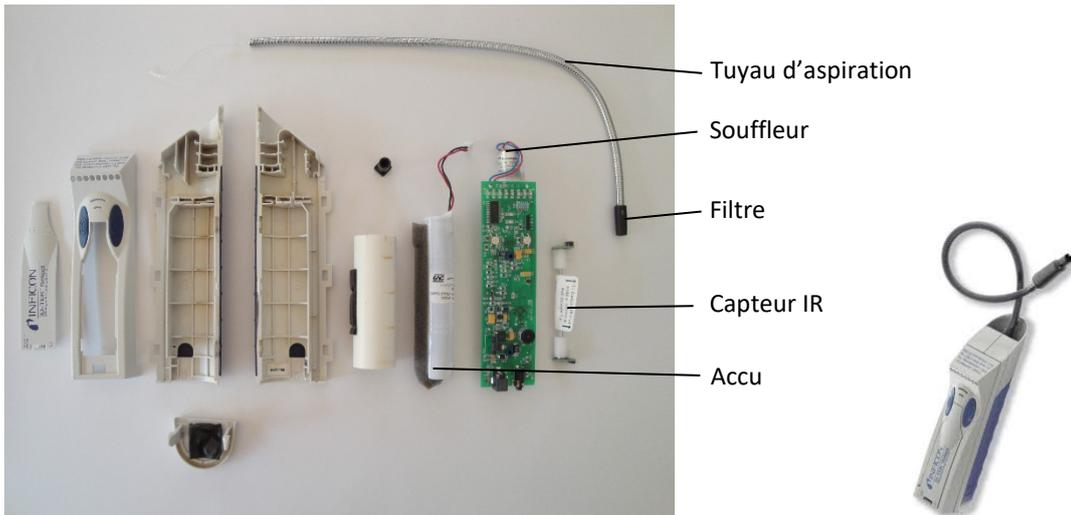
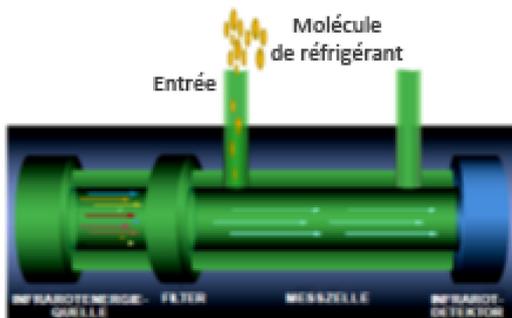
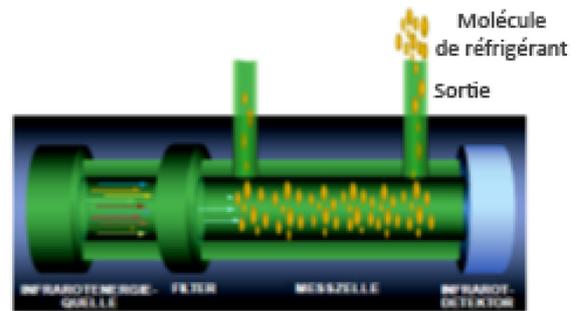


Figure 4.7



L'énergie infrarouge filtrée passe à travers la cellule de mesure et atteint le détecteur infrarouge. Le D-Tek Select peut détecter tous les réfrigérants.

Figure 4.8



L'énergie infrarouge filtrée est absorbée par le réfrigérant présent dans la cellule de mesure et le D-Tek Select envoie alors un signal d'alarme

Figure 4.9

Détecteurs de fuites à diode ou pentode chauffantes



Figure 4.10

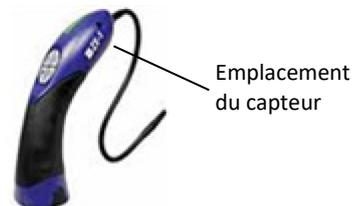


Figure 4.11

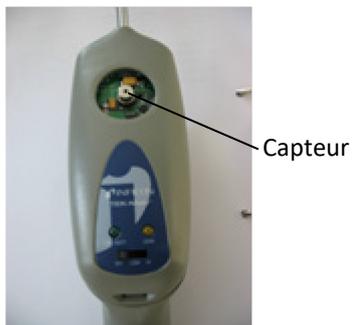


Figure 4.12

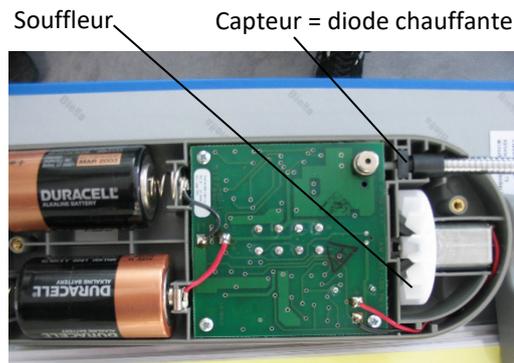


Figure 4.13

Instructions d'utilisation :

- ▶ Sensibilité minimale du capteur 5 g/an
- ▶ Tous les appareils ne sont pas adaptés pour les fluides frigorigènes A2 et A2L
- ▶ L'appareil doit être mis en marche et étalonné à un endroit non contaminé par du réfrigérant
- ▶ Avant de rechercher les fuites, vérifier le bon fonctionnement de l'appareil (test de fuite)
- ▶ Pendant la recherche, le tube d'aspiration du détecteur de fuites doit être déplacé le long des fuites possibles à environ 2,5 à 5 cm/s.
- ▶ L'embout de mesure doit se trouver à environ 5 mm d'une éventuelle fuite
- ▶ En raison du réglage automatique de l'appareil, le signal peut faiblir ou tomber en cas de d'annonce de fuite → ne pas rester trop longtemps sur la fuite
- ▶ Les capteurs vieillissent ! Les bons appareils signalent l'erreur du capteur mais il existe aussi des appareils qui ne le font pas ! La durée de vie du capteur varie selon le fabricant.

4.6 Vacuumisation de l'installation de froid

Le processus de vacuumisation suit le contrôle d'étanchéité. L'évacuation du circuit est relativement longue et ne vaut donc la peine que si l'on est sûr que le système est hermétiquement fermé étanche.

La procédure standardisée pour l'évacuation manuelle dans les installations est la suivante :

- ▶ Test de résistance à la pression à l'azote ou avec un gaz de formage (95% N₂ / 5% H₂)
- ▶ Test d'étanchéité à l'azote ou au gaz de formage (N₂/H₂), recherche de fuites
- ▶ Vacuumisation
- ▶ Rupture du vacuum, (Insérer un filtre pour les modules)
- ▶ Vacuumisation
- ▶ Test de vacuum sur la durée
- ▶ Remplissage du fluide frigorigène

Objectif

- ▶ Éliminer l'air et les gaz étrangers
- ▶ Éliminer l'humidité résiduelle (séchage sous vacuum)
- ▶ Faire évaporer l'eau éventuellement présente (problématique)

Conséquences de gaz étrangers dans le circuit

Les gaz étrangers tels que l'air et le N₂ (azote) ne peuvent pas être liquéfiés. Ils déplacent le réfrigérant dans l'ensemble du circuit, réduisant la surface active des échangeurs de chaleur. Cela provoque spécifiquement côté haute pression, des pressions élevées.

La corrélation entre la pression et la température selon la courbe de pression de vapeur n'est plus garantie.

Conséquences de l'humidité dans le circuit

- ▶ Formation d'acides avec dégâts à long terme.
- ▶ Congélation dans les buses des détendeurs.

Éliminer l'eau (liquide) du circuit

L'eau peut être éliminée du système par vacuumisation.

Tableau de pression de la vapeur de l'eau

Température °C	Pression mbar	Température °C	Pression mbar
+20	23,4	-5	4,01
+15	17,0	-10	2,59
+10	12,2	-15	1,65
+5	8,7	-20	1,02
+0	6,1	-24	0,67

Remarque :

Pour éliminer toute eau liquide par évaporation, il faut réduire la pression en dessous de la température ambiante correspondante. L'environnement sert de source de chaleur. Si aucune chaleur n'est amenée, la température d'évaporation baisse et l'eau gèle. En dessous de 0 °C/6,1 mbar, l'eau se sublime très lentement.

Plus l'environnement est froid, plus la pression nécessaire à l'évaporation de l'eau est faible !

À basse température (composants à l'extérieur ou pendant l'entretien, pour les composants qui se trouvent dans la zone froide), les zones froides ne peuvent pas être asséchées par vacuumisation.

► **Éliminer l'eau avec du liquide de rinçage**

En lieu et place du R11 qui ne peut plus être utilisé comme CFC, les fabricants de fluides frigorigènes proposent des réfrigérants à degré d'ébullition élevé, y compris le retraitement, pour le nettoyage des circuits de froid (par exemple Nettogaz GC1, Novec HFE 7100 ou Genesolv STZ).

► Le rinçage à l'azote chaud et l'utilisation de filtres sécheurs de grand volume sont une alternative.

Pressions de grande importance lors de l'évacuation

La pression absolue pendant l'évacuation est mesurée et indiquée en mbar ou en micron :

1 mbar	= 0,75 Torr	= 752 Micron	
1 Torr	= 1000 Micron	= 1,33 mbar	= 1 mm Hg
1 Micron	= 0,00133 mbar		

15'000 Micron	= 19,95 mbar
(Début de la mesure VG64)	
400 Micron	= 0,53 mbar
200 Micron	= 0,26 mbar
50 Micron	= 0,066 mbar
20 Micron	= 0,025 mbar

Lors de l'évacuation, une pression finale de 0,25 mbar ou env. 200 Micron, mesurée au point le plus éloigné de la pompe, doit être atteinte (selon les recommandations du fabricant du compresseur).

4.7 Pompe à vide

On utilise des pompes à vide bi-étage (pompes à palettes) avec lest de gaz, qui atteignent une pression finale de 0,05 mbar (environ 40 microns).

La capacité d'aspiration dépend du contenu du système à vider :

- ▶ Capacité d'aspiration pour petites installations env. 2 à 6 m³/h
- ▶ Capacité d'aspiration pour grosses installations 10 à 30 m³/h

Taille de l'installation selon vol. remplissage	Capacité d'aspiration de la pompe à vide	Taille de l'installation selon vol. remplissage	Capacité d'aspiration de la pompe à vide
Jusqu'à 5 kg	env. 1.5 m ³ /h	Jusqu'à 50 kg	env. 10 m ³ /h
Jusqu'à 25	env. 5 m ³ /h	Jusqu'à 100 kg	env. 20 m ³ /h

Source : friosol, Catalogues de composants 2010

Pompe à vide bi-étage en coupe (CPS)



Figure 4.14



Figure 4.15

Principe

Pompe à vide bi-étage à palettes

Avec soupape de lest de gaz

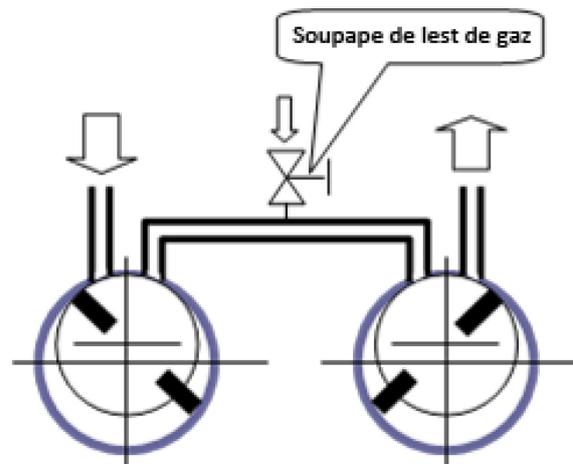


Figure 4.16

Soupape de lest de gaz :

En cas d'humidité dans le système, celle-ci peut se condenser dans le deuxième étage et affecter la qualité de l'huile de la pompe à vide et en réduire la capacité d'aspiration.

L'ajout d'une petite quantité d'air frais avant le deuxième étage peut permettre de réduire ce phénomène.

La soupape de lest de gaz est ouverte durant le démarrage, le réchauffement de la pompe à vide et dans la phase initiale du processus d'évacuation. La pression finale ne peut être atteinte que lorsque la soupape est fermée. En dessous de la pression de maintien d'environ 10 - 15 mbar, la soupape de lest de gaz doit être fermée.

4.8 Maintenance de la Pompe à vide, huile de pompe à vide

Les pompes à vide fonctionnent avec des huiles spéciales dont la pression d'évaporation est particulièrement faible.

L'absorption d'eau et le mélange avec l'huile pour machine de froid (et le réfrigérant qui y est dissous) peuvent réduire considérablement le vacuum ultime à atteindre.

C'est pourquoi il est essentiel de procéder à des changements d'huile périodiques. L'huile doit être remplacée après environ 20 heures de fonctionnement, ou même moins en cas de forte humidité. La pompe à vide doit être préchauffée à cet effet. Après avoir évacué l'huile, recommencez pendant environ 5 secondes pour pomper l'huile restante.

Lors du remplacement de l'huile, il faut absolument utiliser la qualité d'huile recommandée par le fabricant.



Figure 4.17 : Pompe à vide sans maintenance

Maintenance / Changement de l'huile

L'élément de maintenance le plus important d'une pompe à vide est son huile. A remplacer après 20 heures de fonctionnement ou après une forte pollution (huile sombre ou trouble). L'huile doit également être changée après avoir aspiré des fluides frigorigènes sales. En particulier, l'humidité/l'eau qui restent dans la pompe jusqu'à une prochaine utilisation provoquer une corrosion et endommager la pompe.

 L'huile sale peut endommager la pompe à vide

Procédure de changement de l'huile

- ▶ Laisser la pompe se réchauffer à la température de fonctionnement, puis éteindre et débrancher la prise électrique
- ▶ Dévisser le séparateur d'huile
- ▶ Vidanger l'huile au RL-4/RL-8 en ouvrant le bouchon de vidange (pos.23), ou en inclinant la pompe par l'ouverture du séparateur d'huile (le RL-2 n'a pas de bouchon de vidange d'huile).
- ▶ Brancher la prise - Enclencher la pompe. Laisser la pompe fonctionner pendant environ 5 à 10 secondes avec la buse d'aspiration ouverte, afin que l'huile résiduelle soit expulsée des étages de pression.
- ▶ Éteindre la pompe - Débrancher la prise.
- ▶ Vidanger ou verser l'huile résiduelle
- ▶ Revisser le bouchon de vidange d'huile (Pos.23) à fond (RL-4/RL-8)
- ▶ Remplir avec l'huile nouvelle jusqu'au "milieu du regard"
- ▶ Visser le séparateur d'huile (Pos.19). Allumer la pompe pendant quelques secondes.

 Si l'huile est très sale, il est recommandé de recharger l'huile après 30 minutes de fonctionnement afin d'éliminer toutes les impuretés.

Afin d'obtenir les résultats escomptés et de ne pas endommager la pompe, il faut utiliser les types d'huile DV-44 DV-45, DV-46, DV-48 spécifiés par le fabricant.

Les autres travaux de maintenance doivent être effectués par une entreprise spécialisée.

Figure 4.18

4.9 Courbe de pression lors de la vacuumisation

L'aspiration des systèmes de froid se fait toujours simultanément côté haute et basse pression !

- ▶ La vacuumisation correspond à un processus d'écoulement de flux avec des différences de pression de plus en plus faibles.
- ▶ Au démarrage, la Pompe fonctionne avec un faible rapport de pression. Mais ce dernier augmente rapidement pour atteindre environ 1000 : 1 vers la fin du processus !
- ▶ Lorsque la pression diminue, le volume de vapeur augmente, ce qui ralentit le processus, car le volume doit être transporté par la pompe :

Volume spécifique de la vapeur d'eau	
1'000 mbar	1,67 m ³ /kg
100 mbar	15 m ³ /kg
10 mbar	130 m ³ /kg
1 mbar	1'132 m ³ /kg
0,1 mbar	10'450 m ³ /kg

- ▶ Le processus est donc rapide au début, puis se ralentit de plus en plus.
- ▶ La pression finale de la pompe à vide n'est atteinte dans l'installation qu'après un temps « infiniment » long.
- ▶ Dans la Pompe à vide la pression tombe plus rapidement, bien plus lentement aux points éloignés et derrière les rétrécissements de la section transversale.

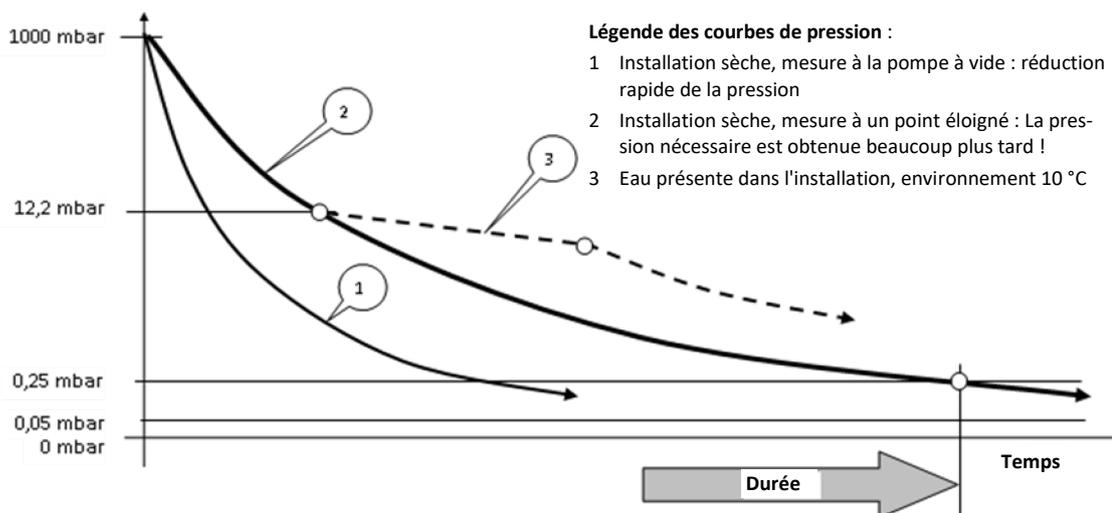


Figure 4.19

Principes fondamentaux de la technique du froid

Par conséquent si l'eau doit être retirée du circuit à environ 10 °C, il faut d'abord atteindre une pression de 12,2 mbar, puis l'eau doit pouvoir absorber de la chaleur afin de s'évaporer. Ce n'est qu'alors que la vapeur d'eau peut être retirée.

Lorsque l'eau s'évapore, elle est refroidie en même temps, ce qui entraîne une nouvelle baisse de pression.

Ce n'est que lorsque l'eau s'est complètement évaporée qu'une chute de pression plus rapide devient visible sur le vacuomètre.

Rinçage intermédiaire / rupture du vide

L'azote est utilisé pour égaliser le vide de 1 à 3 fois à une pression relative de 0 bar. L'azote sec fixe l'humidité pendant le remplissage, contribue à augmenter la surface des éventuelles gouttelettes d'eau en les faisant bouger et favorise un séchage plus rapide du système.

Cette méthode est particulièrement recommandée pour la construction de nouvelles installations et pour l'évacuation à des températures ambiantes basses.

Vacuumsation après réparation

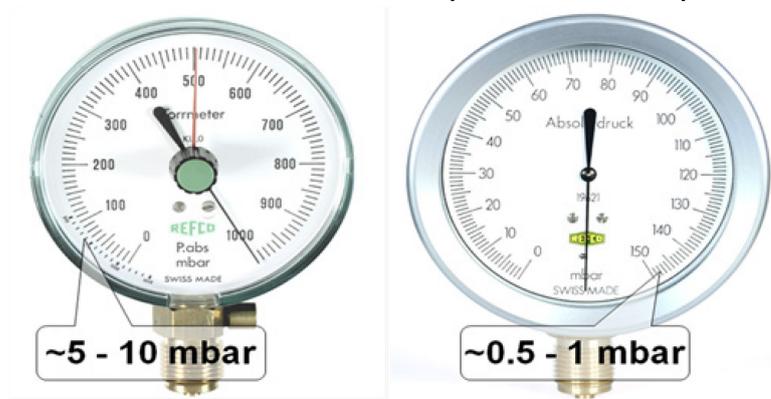
Dans les installations qui ont déjà fonctionné, l'huile pour machines de froid est partout dans le circuit. Elle contient toujours des quantités importantes de réfrigérant, qui ne sont expulsées que très lentement lors de l'évacuation. Il faut donc beaucoup plus de temps pour atteindre le vacuum ultime. Cela est particulièrement vrai pour les compresseurs. **Après intervention sur le circuit de réfrigération, toujours remplacer le filtre déshydrateur !**

4.10 Appareils de mesure de pression

Le vacuum ultime atteint dans un circuit de froid est vérifié par une mesure de la pression. Les valeurs finales souhaitées nécessitent des instruments de mesure précis.

De nombreux appareils de mesure sur le marché ne font qu'indiquer que la pompe à vide crée une dépression. Les fabricants de compresseurs exigent une valeur finale de 0,25 mbar pour les systèmes neufs et propres. Cette valeur n'est pas toujours facile à atteindre et encore plus difficile à mesurer avec des appareils de mesure.

Manomètre à tube de Bourdon mécanique et à ressort de capsule



Affichage de la pression : Pression absolue
Précision de lecture : selon la fin de l'échelle

Figure 4.20 : Source REFCO

Vacuomètres numériques



Principe :	Thermistor
Affichage de la pression :	Pression absolue
Étendue de mesure :	18'000 bis 0 Micron
Précision :	± 10 % à 0-100 Microns ± 6 % à 101-750 Microns

Figure 4.21 : Source Refco

Principes fondamentaux de la technique du froid



Figure 4.20 : Source Testo

Principe :	Capteur Pirani
Affichage de la pression :	Pression absolue
Étendue de mesure :	20'000 à 0 Micron / 26.5 à 0 mbar
Précision :	± 10 % + 10 % de l'affichage



Figure 4.22 : Source Leybold

Principe :	capteur piézorésistif et de Pirani
Affichage de la pression :	Pression absolue
Étendue de mesure :	Pression atmosphérique jusqu'à 0,0005 mbar (= 0,4 Micron)
Précision :	± 0,4 % de la valeur affichée (à 1200 – 10 mbar) ± 10 % de la valeur affichée (à 10 – 0,001 mbar)

4.11 Remplir ou compléter le fluide frigorigène

Pour remplir de fluide frigorigène il faut toujours utiliser la différence de pression entre la bouteille de fluide frigorigène et la pression dans le système de froid.

Immédiatement après la vacuumisation, on peut remplir du côté HP. Cela permet de remplir le condenseur de fluide frigorigène liquide. Celui-ci passe par la vanne de détente et entraîne une augmentation de la pression du côté du GPL. Le fluide frigorigène sous forme vaporisée, atteint le point d'aspiration du compresseur

La pression dans la bouteille de fluide frigorigène diminue en raison de son propre refroidissement pendant le remplissage. Dans le même temps, la pression dans l'installation de froid fixe augmente rapidement. Il en résulte une égalisation de la pression qui ne permet plus au fluide frigorigène de s'écouler.

Ensuite, la pression de la bouteille doit être augmentée et/ou la pression du système doit être réduite. Ne jamais chauffer les bouteilles de fluide frigorigène avec des flammes nues !

En démarrant le circuit, la basse pression descend généralement en dessous de la pression de la bouteille ce qui permet le remplissage.

Remarques

- ▶ **Attention Casser soigneusement le vide avec un réfrigérant gazeux.** Le réfrigérant liquide peut bouillir à environ -90°C , ce qui peut causer des dommages (fissures) de stress.
- ▶ **Les compresseurs ne doivent jamais fonctionner sous vacuum :** Danger d'arc électrique, refroidissement insuffisant !
- ▶ **Attention aux composants déjà remplis d'eau :** La température ne doit jamais descendre en dessous de 0°C !
- ▶ **Attention lors du remplissage côté aspiration :** Une dépression trop élevée (pression de la bouteille) peut surcharger le compresseur.
- ▶ **Vérifier et noter les quantités de remplissage sur la balance (protocole de mise en service)**
- ▶ Il faut toujours laisser une surpression dans le cylindre de réfrigérant.

Attention :

Les réfrigérants zéotropiques tels que le R407C, le R452B, le R449A et le R410A doivent toujours être transférés de la bouteille à l'état liquide !

C'est la seule façon de garantir que les composants du mélange conservent les proportions du mélange d'origine.

Il existe des modèles différents de cylindres réfrigérants :

Vanne de prélèvement de gaz

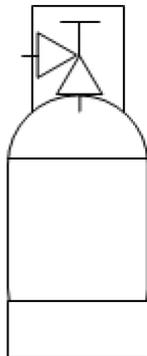


Figure 4.23

Cylindre tête en bas pour le transfert du liquide

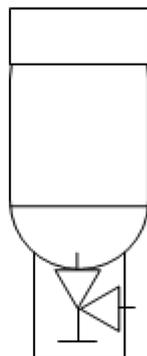


Figure 4.24

Cylindre avec tube d'immersion

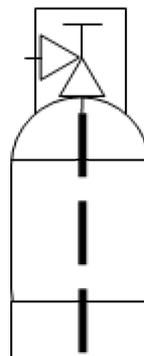


Figure 4.25

Cylindre avec valve RCL gaz + liquide

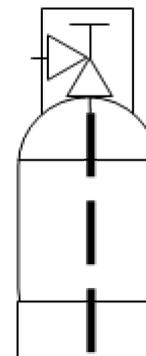


Figure 4.26

Méthode de remplissage standard (installation commerciale)

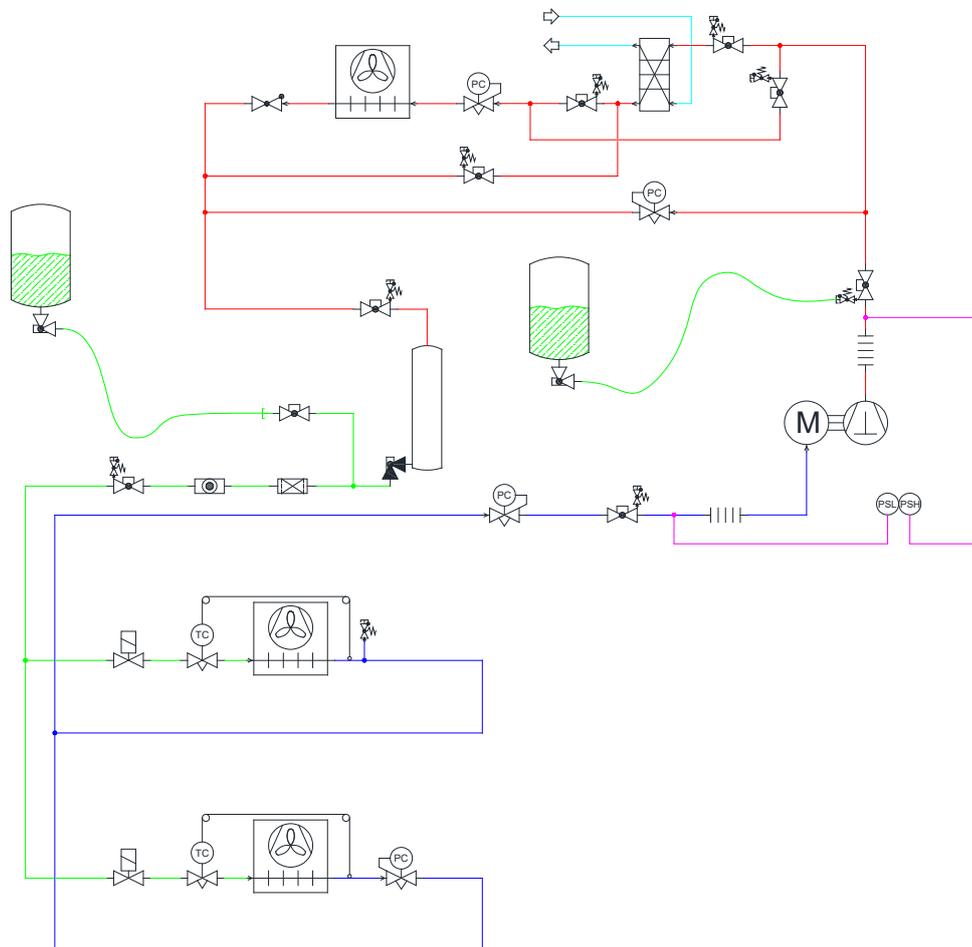


Figure 4.27

1. Méthode standard avec vanne de remplissage après le collecteur :

(pas pour les systèmes sans collecteur ou sans vanne d'arrêt à la sortie du collecteur)

- ▶ Casser le vacuum avec précaution (il pourrait rentrer trop de réfrigérant)
- ▶ N'ouvrir la vanne de sortie du collecteur que légèrement
- ▶ Enclencher le compresseur
- ▶ Grâce à la vanne de sortie du collecteur, on peut obtenir la différence de pression nécessaire
- ▶ Remplir soigneusement petit à petit jusqu'à la disparition des bulles de gaz dans le regard
- ▶ Le remplissage se fait toujours avec le contrôle d'une balance de remplissage
- ▶ Le réfrigérant peut être rempli sous forme liquide

2. Remplissage côté aspiration :

- ▶ Seulement pour des petits volumes
 - ▶ Les compresseurs sont conçus pour aspirer des réfrigérants gazeux
 - ▶ Le remplissage se fait toujours avec le contrôle d'une balance de remplissage
 - ▶ Le réfrigérant doit être introduit sous forme gazeuse
- (Attention : série 400 [R449A, R410A, etc.] Remplir la série uniquement avec du liquide)**

Méthode de remplissage standard (pompe à chaleur)

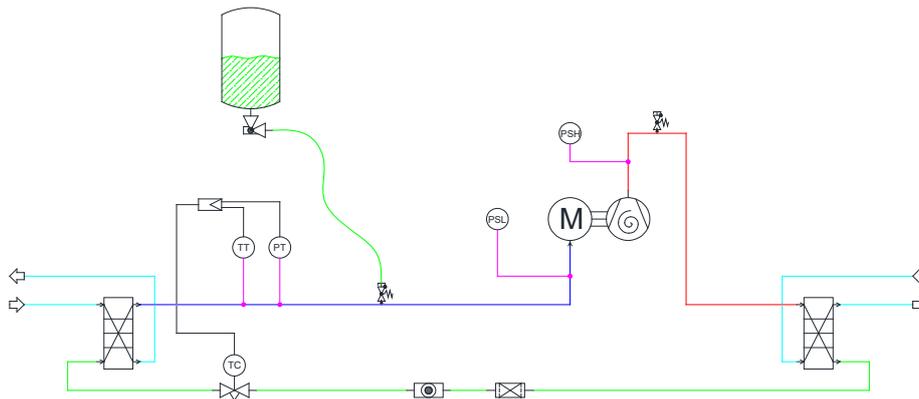


Figure 4.28

Important : Mettre la pompe de circulation de chaleur primaire et secondaire en marche avant le remplissage (risque de gel !!!)

1. Méthode standard avec vanne de remplissage après le collecteur :

(pas pour les installations sans collecteur ou sans vanne d'arrêt à la sortie du collecteur)

- ▶ Casser le vacuum avec précaution (il pourrait rentrer trop de réfrigérant)
- ▶ N'ouvrir la vanne de sortie du collecteur que légèrement
- ▶ Enclencher le compresseur
- ▶ Grâce à la vanne de sortie du collecteur, on peut obtenir la différence de pression nécessaire
- ▶ Remplir soigneusement petit à petit jusqu'à la disparition des bulles de gaz dans le regard
- ▶ Le remplissage se fait toujours avec le contrôle d'une balance
- ▶ Le réfrigérant peut être rempli sous forme liquide

2. Remplissage côté aspiration :

- ▶ Uniquement pour des petits volumes
- ▶ Les compresseurs sont conçus pour aspirer des réfrigérants gazeux
- ▶ Le remplissage se fait toujours avec le contrôle d'une balance
- ▶ Le réfrigérant doit être introduit sous forme gazeuse

(Attention : série 400 [R449A, R410A, etc.] Remplir la série uniquement avec du liquide)

Méthode de remplissage standard (Climatisation Split)

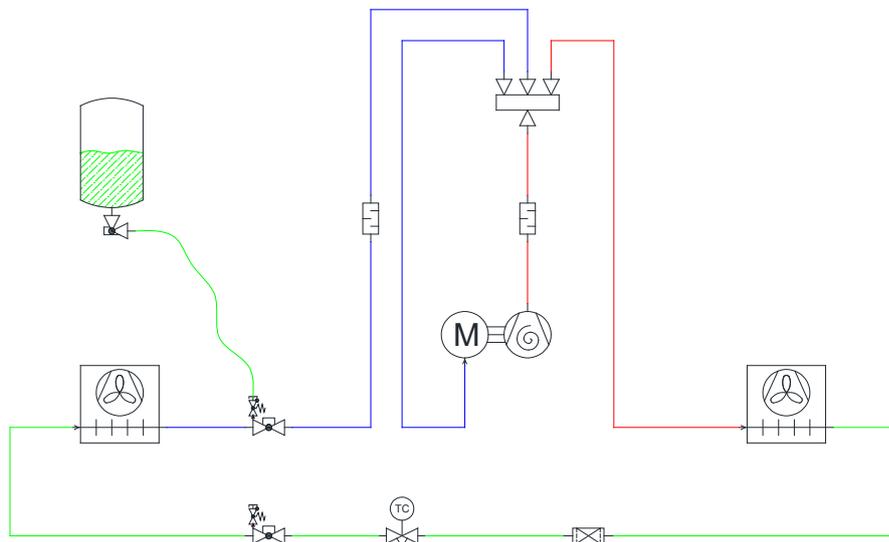


Figure 4.29

Important : Les climatisations split sont généralement remplies à l'usine et ne doivent être remplies de réfrigérant qu'en fonction de la longueur de la tuyauterie.

1. Remplissage côté aspiration (Climatisation Split) :

- ▶ Uniquement pour des petits volumes
- ▶ Les compresseurs sont conçus pour aspirer des réfrigérants gazeux
- ▶ Le remplissage se fait toujours avec le contrôle d'une balance
- ▶ Le réfrigérant doit être introduit sous forme gazeuse

(Attention : série 400 [R449A, R410A, etc.] Remplir la série uniquement avec du liquide)

5 Échangeurs de chaleur

On utilise les échangeurs de chaleur avec réfrigérant comme :

Désurchauffeurs, condenseurs, sous-refroidisseurs, évaporateurs et surchauffeurs

et les échangeurs de chaleur à circuit secondaire comme :

Refroidisseurs et aérorefroidisseurs

Ci-après les échangeurs de chaleur sont classés et illustrés en fonction de leur conception.

Échangeur de chaleur tubes à ailettes

C'est le côté de l'air qui influence la valeur de transmission de la chaleur (valeur U) de 30 à 40 W/m².

Condenseur refroidi par air



Figure 5.1

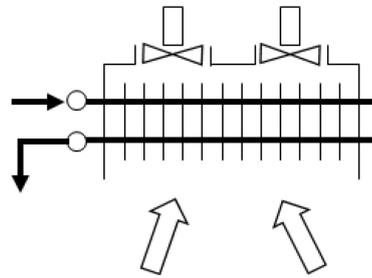


Figure 5.2 : Principe du condenseur refroidi par air

Évaporateur pour aérorefroidisseur



Figure 5.3



Figure 5.4 : Aérorefroidisseur haute performance



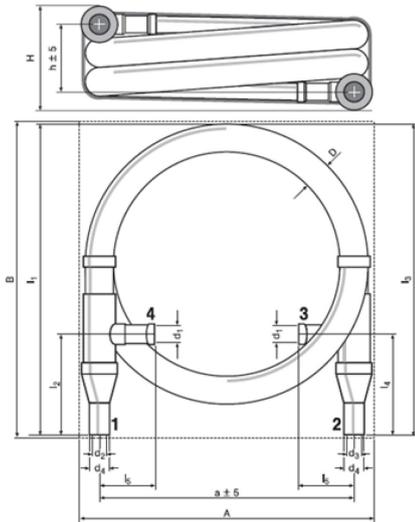
Figure 5.5 : Évaporateur de pompe à chaleur pour installation split

Échangeurs de chaleur coaxiaux

- ▶ Peut être utilisé comme évaporateur et condenseur
- ▶ Échangeur de chaleur à contre-courant en spirale



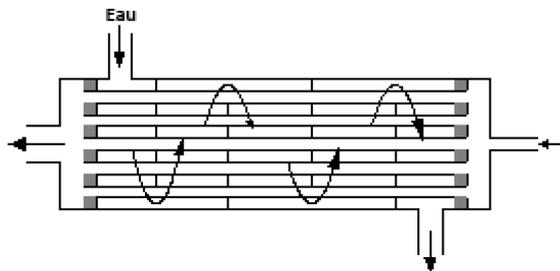
Figure 5.6



- 1 Sortie du liquide de refroidissement
- 2 Entrée du liquide de refroidissement
- 3 Sortie du réfrigérant
- 4 Entrée du réfrigérant

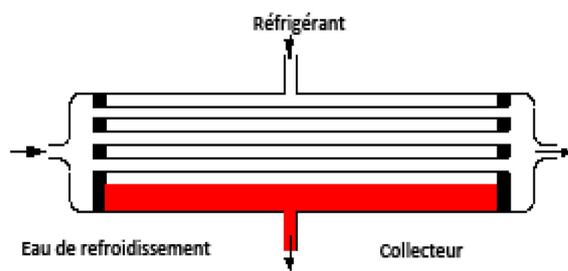
Figure 5.7 : Principe de l'échangeur de chaleur coaxial

Échangeurs de chaleur à faisceau tubulaire



- ▶ Réfrigérant dans les tuyaux
- ▶ Eau dans l'enveloppe

Figure 5.8 : Évaporateur à faisceau tubulaire



- ▶ Réfrigérant dans l'enveloppe
- ▶ Eau dans les tuyaux

Figure 5.9 : Condenseur à faisceau tubulaire



Figure 5.10 : Évaporateur à faisceau tubulaire à double circuit



Figure 5.11 : Condenseur à faisceau tubulaire

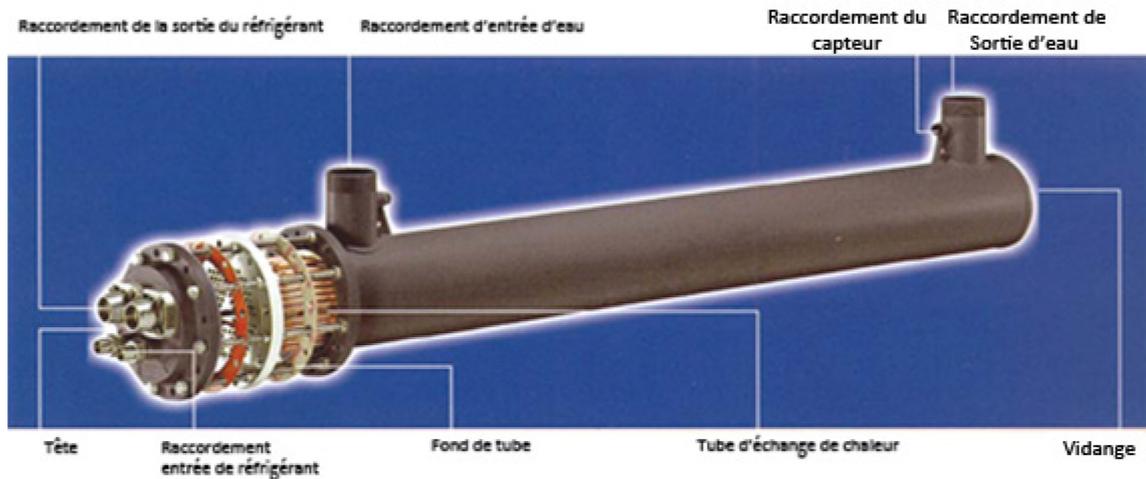


Figure 5.12 : Évaporateur à faisceau tubulaire

Condenseur à pot

Les condenseurs à pot sont constitués d'un boîtier cylindrique en acier dans lequel est installé un échangeur de chaleur en cuivre. La vapeur du réfrigérant est introduite en haut du boîtier disposé verticalement et se condense sur les spirales à ailettes ou à tubes lisses. Le condensat qui s'égoutte s'accumule dans la partie inférieure du boîtier. Le liquide de refroidissement s'écoule par le bas, en empruntant les spirales du tube.

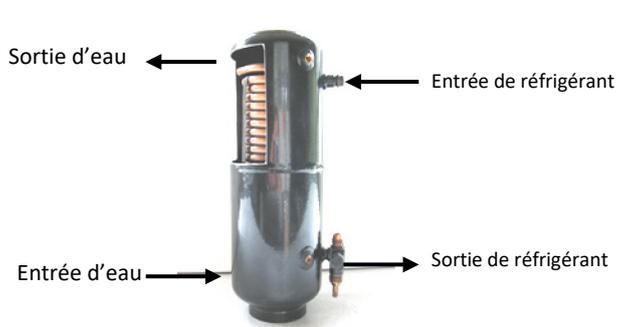


Figure 5.13 : Condenseur à pot

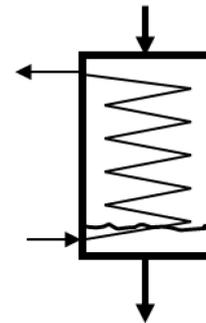


Figure 5.14 : Principe du condenseur à pot

Échangeur de chaleur à plaques

Les échangeurs de chaleur à plaques brasées sont très souvent utilisés comme évaporateurs et condenseurs dans les installations de froid.



Figure 5.15 : Échangeur de chaleur à plaques utilisé comme condenseur



Figure 5.16 : Échangeur de chaleur à plaques utilisé comme évaporateur

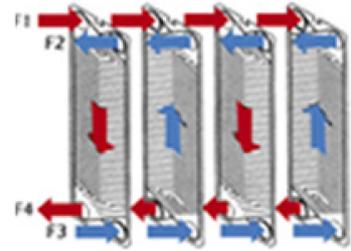


Figure 5.17 : Principe de l'échangeur de chaleur à plaques

6 Compresseurs frigorifiques

6.1 Vue d'ensemble

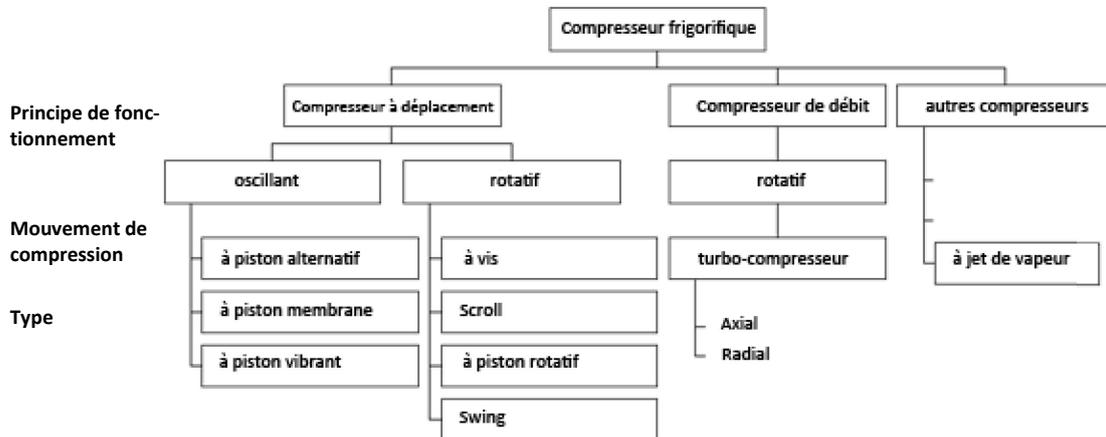


Figure 6.1

6.2 Les différents types de compresseurs

- ▶ Les compresseurs ouverts à garniture mécanique, entraînés directement ou par courroie trapézoïdale. Au-delà d'une certaine taille, les compresseurs ne sont disponibles qu'en version ouverte.



Figure 6.2 : compresseur ouvert à piston (Bock)

- ▶ Compresseurs semi-hermétiques (disponible en version hermétique) : moteur électrique intégré dans le corps



Figure 6.3 : Compresseur semi-hermétique (Bitzer)



Figure 6.4 : Compresseur à vis semi-hermétique (Bitzer)

- ▶ Compresseurs (entièrement) hermétiques avec une vitesse de 3'000 1/min, dans un corps soudé.

En raison des exigences croissantes en matière d'étanchéité des installations, les compresseurs hermétiques sont principalement utilisés pour les petites et moyennes installations.



Figure 6.5 : Compresseur hermétique à piston (Embraco)



Figure 6.6 : Compresseur hermétique à spirales (Danfoss)

6.3 Les compresseurs à piston

Lorsqu'il est question de « compresseur » dans ce qui suit, il s'agit généralement de la combinaison d'un compresseur et d'un moteur électrique, c'est-à-dire de compresseurs hermétiques ou semi-hermétiques. La plupart de ces principes s'appliquent également aux autres principes de compression.

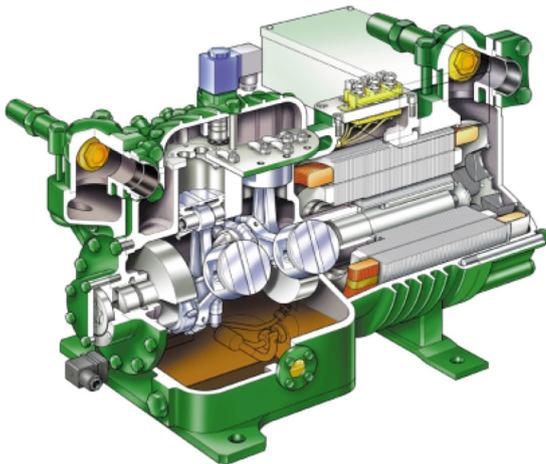


Figure 6.7 : Compresseur à piston semi-hermétique (Bitzer) en coupe



Figure 6.8 : Compresseur à piston entièrement hermétique (Danfoss / Maneurop) en coupe



Figure 6.9 : compresseur à piston entièrement hermétique (Danfoss / Maneurop)

Principe du compresseur à piston

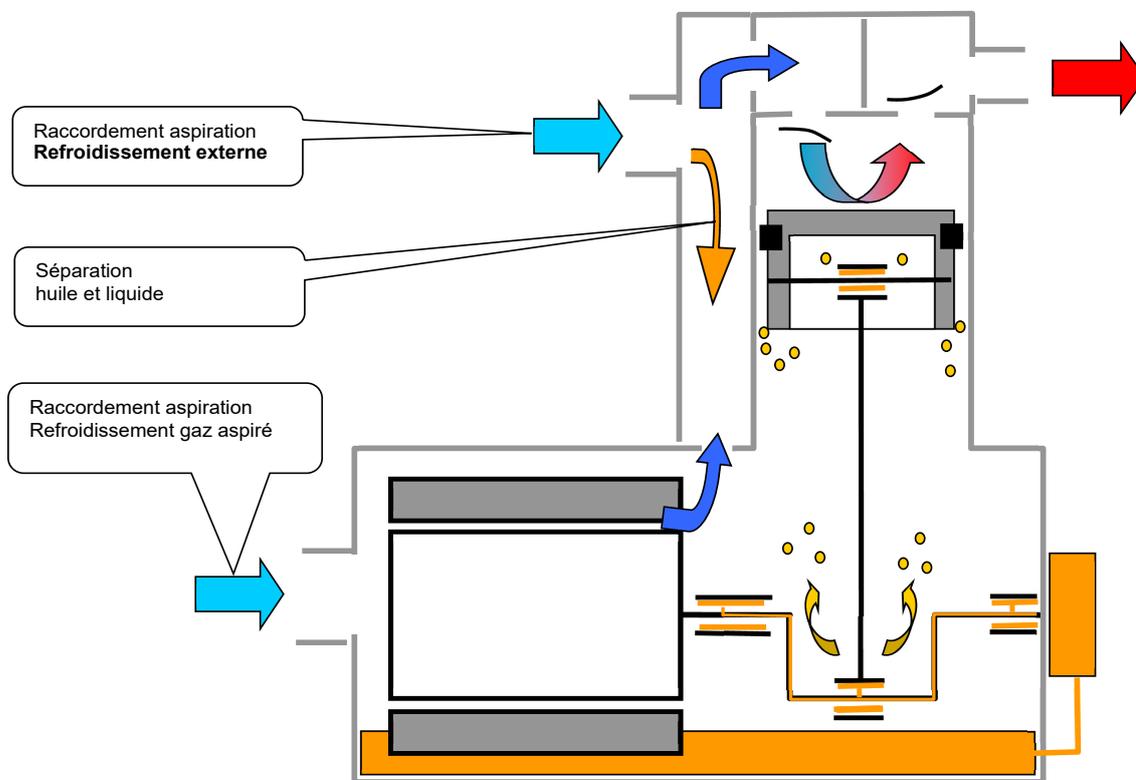


Figure 6.10

Composants du compresseur à piston

- ▶ Corps du compresseur
- ▶ Joints d'étanchéité statiques
- ▶ Cache-cylindre
- ▶ Plaque de vanne
- ▶ Vannes d'aspiration et de refoulement (vannes à anche ou à plaque annulaire)
- ▶ Cylindre
- ▶ Piston, axe de piston, segments de piston
- ▶ Barre de liaison
- ▶ Villebrequin
- ▶ Pompe à huile, filtre à huile, perforations
- ▶ Garniture mécanique pour compresseurs ouverts
- ▶ **Paliers lisses à lubrification dynamique à l'huile**
- ▶ **Conduit de retour d'huile, et de récupération d'huile :**
 - L'huile éjectée doit être récupérée.
 - L'huile récupérée doit être séparée dans le compresseur.
 - L'habillage du vilebrequin est sous basse pression
- ▶ Le carter d'huile
- ▶ Chauffage de carter

Deux éléments importants

Les pièces mobiles sont soumises à l'usure essentiellement lors du démarrage et de l'arrêt.

Au démarrage, la lubrification doit d'abord se constituer et à l'arrêt, le film d'huile de la lubrification dynamique se désagrège.

Le compresseur que l'on n'enclencherait ou ne déclencherait jamais aurait la plus longue durée de vie !
Deux conditions doivent être remplies pour prolonger la durée de vie des compresseurs :

1. Fréquence maximale de démarrage : env. 6 par heure (pompes à chaleur 3 par heure).

2. Durée minimale par cycle de fonctionnement, selon la taille du compresseur : 5 à 15ms

Refroidissement du compresseur

On distingue différents types de refroidissement, en particulier pour la combinaison moteur-compresseur :

Refroidissement externe :
- Air
- Eau
- Refroidissement de la tête de cylindre

Refroidissement des gaz d'aspiration : optimal pour les moteurs électriques à haut rendement
utilisation limitée vers le haut

Refroidissement par huile : pour les petits compresseurs et en particulier ceux à vis

Gestion de l'huile, comportement de l'huile

Dans le système

Mis à part les compresseurs sans huile, une partie de l'huile est refoulée par le gaz de compression.

La récupération d'huile est donc une condition importante de la construction d'installations !

L'huile absorbe toujours un certain volume de réfrigérant. Ce qui réduit la viscosité, et, qui, en particulier dans la conduite d'aspiration, favorise le refoulement de l'huile.

Dans le compresseur

L'huile dans le carter est en dépression, ce qui correspond à l'arrêt à la température du point de refroidissement le plus froid.

L'huile absorbe le gaz réfrigérant, surtout lorsque le compresseur est à l'arrêt. L'absorption augmente avec la baisse de la température et l'augmentation de la pression.

Dans le carter, au démarrage à des températures d'arrêt inférieures à environ +10°C ou pendant des périodes d'arrêt plus longues, cela cause des effets indésirables :

- ▶ Manque de lubrification
- ▶ Moussage de l'huile et pénétration de la mousse d'huile dans la chambre
- ▶ Coup de bélier huile / fluide

Principes fondamentaux de la technique du froid

Pour éviter d'endommager le compresseur, le carter est chauffé à l'arrêt par un radiateur, ce qui réduit considérablement l'absorption de réfrigérant. L'installation d'un chauffage est obligatoire si le compresseur peut se refroidir à moins de 10 °C environ ou pendant des périodes d'arrêt plus longues. Le régulateur de l'aspiration réduit la formation de mousse.

Conséquences de la présence de fluide dans la conduite d'aspiration

Si la surchauffe est absente ou trop faible, le réfrigérant liquide atteint le compresseur. Bien que le séparateur d'huile empêche généralement la pénétration directe du liquide dans la chambre, une durée prolongée de cette situation provoque de graves dommages :

1. La dilution de l'huile dégrade la lubrification.
2. L'huile mousse continuellement, ce qui dégrade également la lubrification.
3. La mousse d'huile peut pénétrer dans la chambre côté aspiration, ce qui fait que :
 - a) les rejets d'huile sont nettement plus importants, et
 - b) les coups de bélier huile-fluide peuvent se produire.
4. Les vannes en fonctionnement peuvent être gravement endommagées. La déformation ou même la fissure des valves à languette est possible.

Exemple de destruction mécanique de soupapes et de pistons dû à des coups de bélier huile-fluide : voir les trois photos ci-dessous.



Figure 6.11

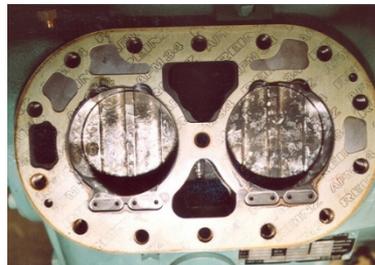


Figure 6.12



Figure 6.13

6.4 Compresseurs rotatifs

Les compresseurs rotatifs sont bien connus dans le domaine de la climatisation. Les climatiseurs split pour petites puissances sont souvent équipés de compresseurs rotatifs. Ils sont principalement utilisés dans une conception entièrement hermétique. Les compresseurs rotatifs sont également de plus en plus utilisés dans les pompes à chaleur.



Figure 6.14 : Compresseur rotatif en coupe (Toshiba)



Figure 6.15 : Compresseur rotatif (Sanyo)

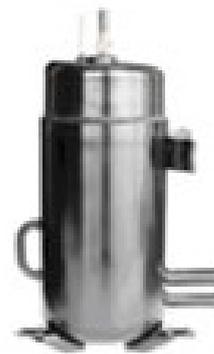


Figure 6.16

Principe :

Le réfrigérant est comprimé par un piston cylindrique à rotation excentrique. La séparation entre la haute et la basse pression se fait par une vanne de séparation à tiroir.

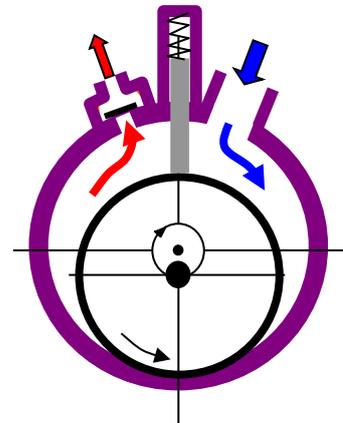


Figure 6.17

6.5 Compresseur Swing

Le principe du compresseur swing est très similaire à celui du compresseur rotatif. Toutefois, le point faible éventuel de ce dernier, à savoir la fuite entre le piston rotatif et le tiroir de séparation, a été contourné grâce à une nouvelle approche. Le piston et le tiroir de séparation sont fabriqués d'une seule pièce. Cela empêche bien sûr le piston de tourner et crée le mouvement de « balancier ». L'excentrique seul entraîne le piston oscillant.

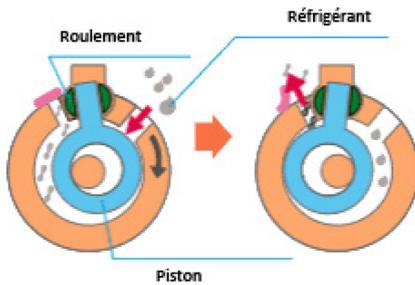


Figure 6.18

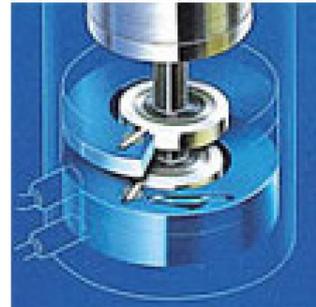


Figure 6.19 : Compresseur swing (Daikin)

6.6 Compresseur Scroll (spiro-orbital)

Le compresseur scroll, important pour les petites et moyennes puissances, est décrit ici à partir du modèle Copeland.



Figure 6.20 : Compresseur scroll totalement hermétique (Copeland)

Principes fondamentaux de la technique du froid

Avec des barres en spirale (involutes), un disque fixe et un disque orbital.

À l'arrêt, à des pressions trop élevées ou avec trop de liquide, le disque orbital se centre.

Démarrage sans pression.

Pas de vannes, mais un clapet anti-retour pour éviter l'effet de turbine.

Moins de vibrations qu'avec des compresseurs à piston.

Disque fixe supérieur



Disque orbital inférieur

Figure 6.21

Contrairement au compresseur à piston, le compresseur scroll a un rapport de volume fixe :

Si la dépression est trop élevée, le gaz est « surcomprimé » avant d'être expulsé.

Si la dépression est trop faible, le compresseur doit faire des tours supplémentaires pour atteindre la pression de condensation requise.

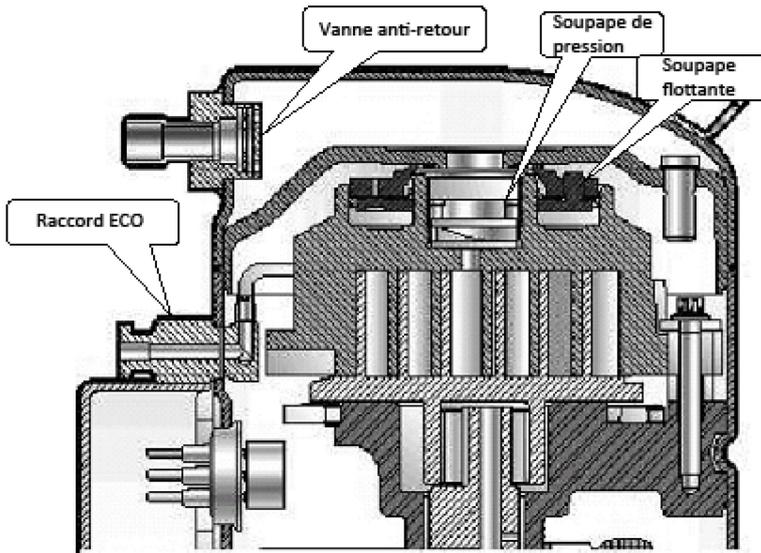


Figure 6.22 : Coupe compresseur scroll (Copeland)

Informations générales

- ▶ Palier à glissière
- ▶ Faible rejet d'huile < 0,5 % (piston 2 à 5 %) : Lubrification du scroll par la teneur en huile du gaz d'aspiration
- ▶ Pas de frottement radial : mouvement de roulement de la ligne de contact (développante)
- ▶ Clapet anti-retour côté pression pour éviter l'effet turbine.
- ▶ Normalement, pas besoin de silencieux.
- ▶ Compression dépendant du sens de rotation, insensible à un sens de rotation incorrect pendant une courte durée (à vérifier avec le pont de manomètre).

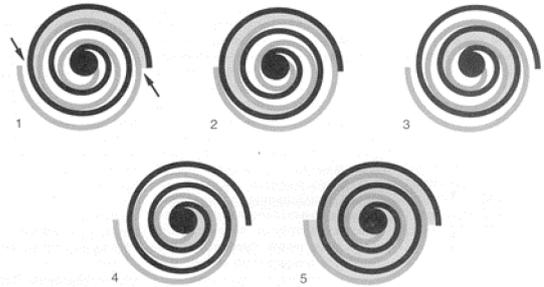
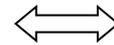


Figure 6.23 : Principe du compresseur Scroll (Copeland)



Mobilité radiale du disque en orbital

- ▶ L'effet d'étanchéité entre les étages est créé par la force centrifuge.
- ▶ En cours de fonctionnement, les surfaces se rectifient et l'effet d'étanchéité s'améliore.
- ▶ Insensible à une teneur en liquide trop élevée occasionnelle (mais pas permanente) ou à une pression finale trop élevée.
- ▶ Moins sensible à l'écumage de l'huile au démarrage, surtout après un arrêt prolongé (chauffage Carter néanmoins nécessaire).
- ▶ Insensible aux conditions de pression inversée dans les installations à fonctionnement inversé.
- ▶ Démarrage facilité.
- ▶ En raison de l'absence d'ajustement positif, le contrôle de vitesse Copeland n'est pas recommandé.



Mouvement axial du disque fixe

- ▶ Le joint flottant assure une pression de contact axiale très constante entre le disque fixe et le disque mobile, même avec des différences de pression : étanchéité axiale optimale avec une usure minimale.
- ▶ Protection supplémentaire contre une teneur en liquide trop élevée ou une pression finale trop élevée.
- ▶ Le contrôle de puissance « Digital » utilise la mobilité axiale par soulèvement pulsé du disque fixe.

Éléments supplémentaires pour froid et pompe à chaleur Scroll

- ▶ Lien vers des perforations dans la zone de moyenne pression du disque fixe pour le fonctionnement en mode ECO
- ▶ (EVI) ou injection de liquide avec valve DTC.
- ▶ Soupape de pression dans la zone de sortie du disque fixe pour l'éjection prématurée du gaz en cas de surcompression afin de réduire le travail de compression.

Les quatre restrictions d'application les plus importantes

Restrictions d'application	Pourquoi
1. Pression de condensation max.	Selon le réfrigérant : 28 bar , 32 bar, 42/43 bar, 46 bar, 53 bar, 160 bar Mécanique et température finale de compression
2. Pression de condensation min.	En général env. 20 °C. À une pression de condensation plus faible, les vannes peuvent être surchargées du fait du débit volumétrique excessif. A basse température de l'habitacle du vilebrequin, l'huile peut mousser. Consulter le fabricant du compresseur. Surchauffe des gaz sous pression min. 25 K.
3. Pression d'aspiration min.	Refroidissement et température finale de compression
4. Pression d'aspiration max.	Consommation du moteur électrique Applications : Climat, refroidissement ou congélation
Restrictions d'application supplémentaires	
5. Température gaz d'aspiration max.	Refroidissement et température finale de compression
6. Température gaz chauds max.	env. 120 °C, stabilité thermique de l'huile La combustion de l'huile Si les trois premières restrictions sont respectées, la température admissible de la conduite sous pression ne sera pas dépassée.

Remarques :

- ▶ Les restrictions d'application peuvent être repoussées vers des rapports de pression plus élevés grâce à un refroidissement supplémentaire de la tête de cylindre (air ou eau).
- ▶ Dans la construction d'installations, la pression d'aspiration minimale est limitée à 0,2 barg pour empêcher l'air et l'humidité de pénétrer en cas de non-étanchéité.
- ▶ Les compresseurs à moteur avec régulation de puissance par arrêt du cylindre ont une pression d'aspiration minimale plus élevée en mode de fonctionnement de puissance régulée

7 Composants du circuit de froid

Filter déshydrateur dans la conduite de liquide

- ▶ Filtre et absorbe les impuretés (corps étrangers), l'humidité, l'eau et l'acide du réfrigérant liquide.
- ▶ Fixe l'humidité avec des tamis moléculaires, indéfiniment
- ▶ Fixe l'acide en fonction de la cartouche filtrante
- ▶ A Remplacer après chaque intervention sur l'installation



Figure 7.1

Filter à acide / filtre d'aspiration dans la conduite d'aspiration

- ▶ Filtre et absorbe les impuretés (corps étrangers), l'humidité, l'eau et l'acide du réfrigérant gazeux.
- ▶ A utiliser lorsque de l'acide est détecté dans l'installation
- ▶ A utiliser après un bobinage de moteur brûlé (burn-out)
- ▶ Pour les installations plus importantes, installer un boîtier de filtre avec bride :
- ▶ Cartouche filtrante pour la mise en service
- ▶ Utilisation de tamis moléculaires en cas de forte humidité
- ▶ Utilisation d'acide (utilisation de burn-out) après une détérioration du bobinage



Figure 7.2

Important : afin d'éviter une perte de pression permanente, les éléments doivent être retirés après avoir rempli leur fonction.



Figure 7.3

Regard

- ▶ Indication de l'humidité par l'indicateur d'humidité
- ▶ Après le collecteur, pour déterminer le volume de remplissage de réfrigérant lors de la mise en service.
- ▶ Devant la vanne de détente, pour détecter le gaz d'éclair



Figure 7.4

Important : les regards ne doivent être vérifiés que lorsque le système fonctionne en continu. Les fluctuations des conditions de fonctionnement peuvent entraîner des modifications de l'état du réfrigérant.

Robinetts à bille

- ▶ Sans perte de pression
- ▶ Exécution hermétique
- ▶ Pour la maintenance, l'arrêt de groupes d'appareils importants ou pour le contournement d'échangeurs de chaleur lors du détartrage.
- ▶ Comme robinets de remplissage
- ▶ Pour protéger les instruments de mesure sensibles à la pression



Figure 7.5

Valves Rotalock

- ▶ Vannes d'arrêt sur compresseurs et collecteurs à trois positions :
 1. Passage principal ouvert
 2. Passage principal fermé
 3. Position médiane : passage principal et connexion externe ouverts
- ▶ Disponible avec connexion supplémentaire ne pouvant pas être fermée !



Figure 7.6

Attention : avant de faire fonctionner la tige, le joint de la tige doit être légèrement desserré. Après le fonctionnement, il doit être resserré ! Les bouchons doivent toujours être serrés avec des outils.

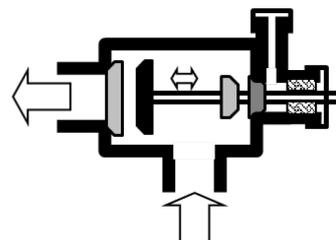


Figure 7.7

Vannes Schrader

- ▶ Généralement requises pour les mesures de pression

Attention : Source importante de fuites. Les joints en caoutchouc doivent être remplacés par des écrous borgnes et un insert de bouchon en cuivre.



Figure 7.8

Électrovannes

Électrovannes à commande directe

Ne convient qu'aux petites dimensions, car la force magnétique doit surmonter toute la différence de pression lors de l'ouverture.

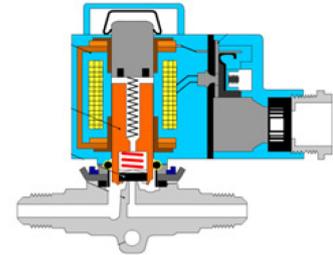


Figure 7.9

Électrovannes à commande indirecte

La vanne fonctionne selon le principe de l'asservissement. Les plus grandes sections peuvent être ouvertes ou fermées avec une faible force magnétique. Avec l'aimant, seule la petite buse pilote est ouverte ou fermée.

La force de fermeture est générée par l'accumulation de pression sur la membrane au travers de **l'orifice de compensation de pression**.

Toutefois, l'assiette de la vanne ne peut rester ouverte ou se fermer correctement que si la pression d'entrée est supérieure à la pression de sortie lorsqu'elle est ouverte.

→ **La vanne doit donc avoir une perte de charge minimale !**

Lors de l'ouverture, la pression de fermeture par l'orifice pilote se réduit plus rapidement qu'elle ne peut se construire par l'orifice d'équilibrage.

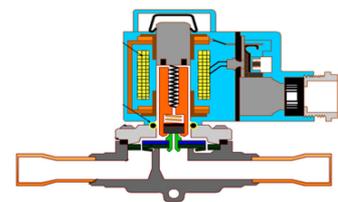


Figure 7.10

Vanne d'inversion à quatre voies

- ▶ Inversion du circuit par commutation entre la conduite d'aspiration et la conduite de gaz chaud.
- ▶ Demande de dégivrage des pompes à chaleur air-eau ou d'inversion de la fonction chauffage et refroidissement.
- ▶ Le piston de commutation est déplacé par le contrôle pilote. Au moyen de la haute pression, une force est appliquée au piston suite à l'ouverture de l'électrovanne pilote et le piston est déplacé. Pour le mouvement de retour, le gaz dans le cylindre doit être déchargé et dévié vers la basse pression.
- ▶ Le contrôle pilote provoque une faible fuite interne.

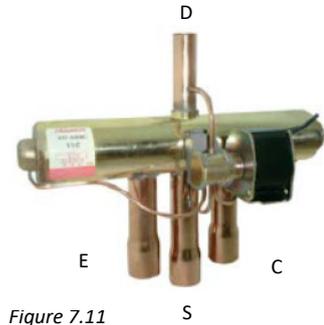


Figure 7.11

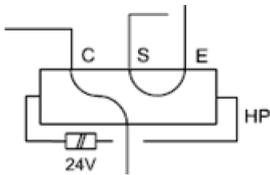
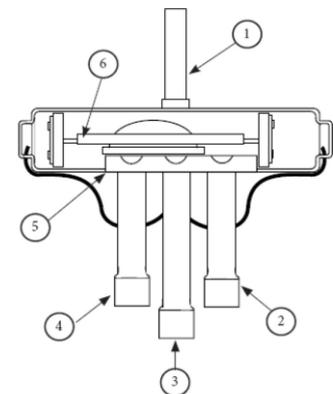


Figure 7.13



- 1 Raccord conduites sous pression
- 2 Raccord évaporateur/condenseur
- 3 Raccord des gaz d'aspiration
- 4 Raccord condenseur / évaporateur
- 5 Corps de vanne
- 6 Pistons

Figure 7.12

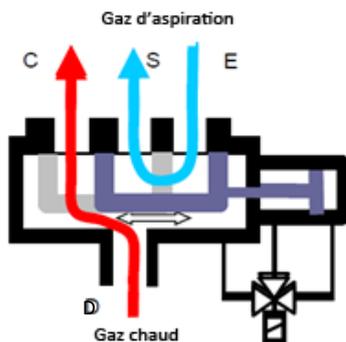


Figure 7.14

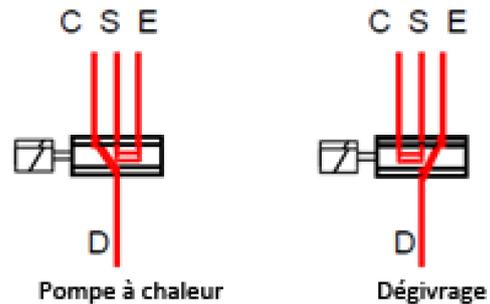


Figure 7.15

Électrovanne à trois voies

- ▶ Souvent utilisé pour passer du chauffage au condenseur d'eau chaude sanitaire dans la conduite de gaz chaud.
- ▶ Les vannes à trois voies sont commandées par un pilote avec piston interne.
- ▶ Le raccordement à la basse pression doit être effectué à l'extérieur.
- ▶ Pour les vannes de plus grande taille il faut réviser l'unité du piston.



Figure 7.16

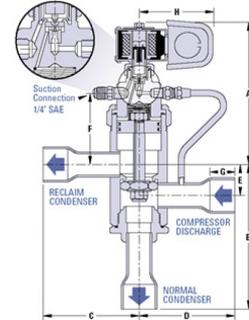


Figure 7.17

Clapets anti-retour

- ▶ Prévenir la migration des réfrigérants, pouvant être causée par des différences de pression ou de température.
- ▶ Pour diverses applications, dans les pompes à chaleur lors du dégivrage au gaz chaud.
- ▶ Lors de la mise en service ou des réparations, l'installation de froid doit être vidée avant et après le clapet anti-retour.



Figure 7.18



Figure 7.19

Amortisseur de vibrations

- ▶ Peut absorber les vibrations du compresseur dans le sens axial
- ▶ Toujours installé dans le sens du vilebrequin du compresseur

Silencieux (amortisseur de pulsations)

- ▶ Absorbe les pulsations causées par les mouvements du piston dans le gaz chaud.
- ▶ Respecter la position de montage et la fixation.
- ▶ Normalement pas nécessaire pour les compresseurs scroll

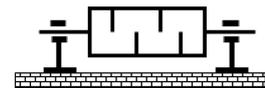


Figure 7.20

Collecteur de fluide

- ▶ Collecte la totalité de la charge de réfrigérant pendant les réparations
- ▶ Sépare les réfrigérants gazeux et liquides
- ▶ Agit comme vase d'expansion en cas de transfert de réfrigérant ou de changement de charge

Séparateur de fluides

- ▶ Aussi appelé accumulateur à aspiration
- ▶ Doit séparer occasionnellement le réfrigérant liquide dans la conduite d'aspiration en amont du compresseur
- ▶ Le volume de rétention dépend du remplissage de l'installation
- ▶ Souvent utilisé avec les systèmes de dégivrage à gaz chaud
- ▶ Le retour de l'huile se fait par une petite buse
- ▶ Disponible avec échangeur de chaleur intégré

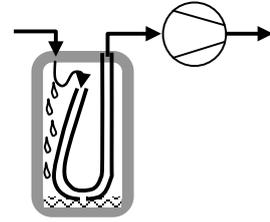


Figure 7.21

Échangeur de chaleur interne

- ▶ Utilisé pour surrefroidir le réfrigérant liquide avec surchauffe simultanée des gaz d'aspiration → Échangeur de chaleur interne
- ▶ Échangeur de chaleur en mode contre-courant ou co-courant
- ▶ D'autres utilisations sont également possibles

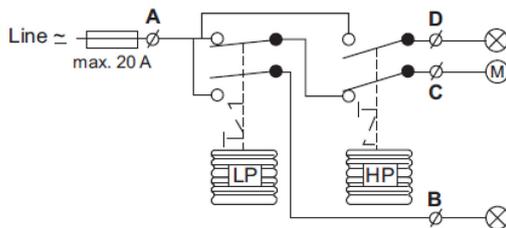


Figure 7.22

8 Mesure et contrôle de la pression

Interrupteur à pression (Pressostat)

- ▶ Dispositif de sécurité pour l'installation de froid
- ▶ Unité de commande du compresseur



- A Alimentation
- B Prêt
- C Marche (compresseur)
- D Problème de haute pression



Figure 8.1



Figure 8.2

Transmetteur de pression

- ▶ Capteur de pression → Signal analogique (0-10 Volt, 4-20 mA, etc.)
- ▶ La plage d'utilisation doit être respectée
- ▶ Recalibrage en fonction de l'utilisation (recommandé 1 fois par an)

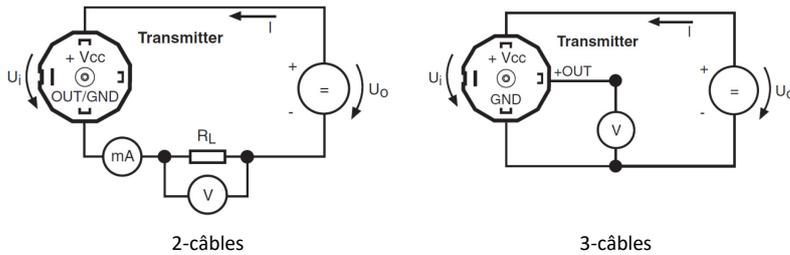


Figure 8.3

9 Restricteur de débit

Vue d'ensemble, fonction principale

Les réducteurs de débit causent une chute de pression entre les côtés haute et basse pression. Dans le cas le plus simple, il s'agit d'un disque à orifice ou d'une buse.



Figure 9.1 : Buse avec insert filtrant

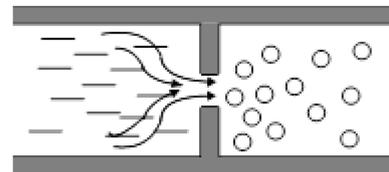


Figure 9.2

- ▶ La réduction de pression est un processus à enthalpie constante.
- ▶ Une baisse de pression entraîne simultanément une baisse de température,
- ▶ Une partie du réfrigérant doit s'évaporer immédiatement après le disque à orifice afin de se refroidir à la température d'évaporation correspondante. Fraction de vapeur x [kg de vapeur par kg de réfrigérant]

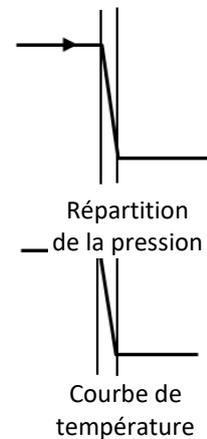


Figure 9.3

Tubes capillaires

Les tubes capillaires sont de fins tubes de cuivre d'un diamètre de 1 à 3 mm et d'une longueur de 1 à 3 m.

Principes fondamentaux de la technique du froid

Un élément de réduction de débit très simple et fiable, qui n'est utilisé que pour les modèles de faible puissance. Le diamètre, la longueur et la charge de réfrigérant doivent être adaptés les uns aux autres par des tests minutieux.

Les caractéristiques d'un système de réfrigération avec injection par tube capillaire sont les suivantes :

- ▶ Pas de collecteur, petit volume de réfrigérant, pas d'électrovanne.
- ▶ Le tube capillaire sert de conduite de liquide et est souvent soudé à la conduite d'aspiration (échange de chaleur).
- ▶ Tout le volume de réfrigérant doit avoir assez de place dans l'évaporateur
- ▶ Injection dans le fond de l'évaporateur
- ▶ Lors des interventions de réparation, le volume de réfrigérant doit être rechargé de façon très précise et en fonction du poids
- ▶ Une compensation de pression ayant lieu lorsque le temps d'arrêt est suffisant, des motocompresseurs à faible couple de démarrage peuvent être utilisés.



Figure 9.4 : Tube capillaire avec filtre déshydrateur

régulateurs de surchauffe, détendeurs thermostatiques



Figure 9.5 : Détendeur thermostatique avec compensation de pression interne (Danfoss)



Figure 9.6 : Détendeur thermostatique avec compensation de pression externe (Honeywell)



Figure 9.7 : Détendeur thermostatique avec compensation de pression externe (Sporlan)

Le détendeur thermostatique est utilisé comme élément de réduction de débit important pour les installations de froid à évaporation sèche.

La réduction de pression est forcée dans la buse de la soupape d'expansion. La fonction thermostatique du détendeur permet de régler l'alimentation en réfrigérant de l'évaporateur en fonction des besoins.

Le détendeur thermostatique a donc une fonction de régulation, à savoir la régulation de la surchauffe de la vapeur du réfrigérant à la sortie de l'évaporateur. La surchauffe est la variable de régulation pour le fonctionnement du détendeur.

Détendeurs électroniques

Les détendeurs à commande électronique sont des éléments de commande actionnés par des signaux électriques. Le contrôle électronique est nécessaire pour le contrôle de la surchauffe.

Principes fondamentaux de la technique du froid

Les moteurs pas à pas et les entraînements par solénoïde sont devenus les dispositifs d'entraînement les plus populaires pour les détendeurs.



Figure 9.8 : Carel / Moteur pas à pas



Figure 9.9



Figure 9.10 : Alco / Moteur pas à pas



Figure 9.11 : Alco / Moteur magnétique



Figure 9.12 : Siemens / Moteur magnétique



Figure 9.13 : Danfoss / Moteur magnétique

En fonction du système, on utilise différentes méthodes pour détecter la surchauffe.

- ▶ Mesure de la pression d'évaporation à la sortie de l'évaporateur avec un capteur de pression et mesure de la température des gaz d'aspiration avec un capteur de température à la sortie de l'évaporateur
- ▶ Mesurer les températures à l'entrée et à la sortie de l'évaporateur

La surchauffe est calculée par une unité de contrôle à partir des valeurs mesurées. Ce dispositif envoie alors des signaux électriques pour commander l'actionneur.

Les unités de commande électroniques offrent diverses autres fonctions pour l'ensemble du système de contrôle de la réfrigération. Certaines unités sont conçues pour mettre en réseau des installations de froid entières et permettent également un accès à distance via une transmission de données.

Grâce aux différents paramètres de contrôle disponibles et au fonctionnement en réseau des systèmes de contrôle, il est possible de réaliser des installations de froid optimisées sur le plan énergétique.

Les enjeux du contrôle de la surchauffe

Contrôler la surchauffe permet :

1. Une utilisation optimale de l'évaporateur dans toutes les conditions de fonctionnement,
2. Qu'aucun liquide n'arrive au compresseur par la conduite d'aspiration.

Important :
Les détendeurs thermostatiques (TEV) sont des régulateurs de surchauffe. Ils ne peuvent donc être utilisés que pour contrôler la surchauffe.

Nous définissons :

Température de surchauffe $t_{\dot{u}}$ en °C = Température de la vapeur de réfrigérant surchauffée
(Mesure sur la surface du tube de la conduite d'aspiration à la sortie de l'évaporateur)

Surchauffe $\Delta T_{\dot{u}}$ en K = Différence entre la température d'évaporation et la température de surchauffe

Symbole

Détendeur thermostatique avec compensation interne de la pression

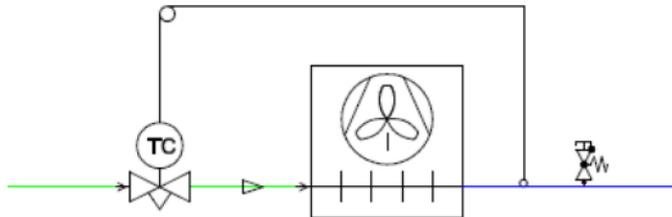


Figure 9.14

Détendeur thermostatique avec compensation externe de la pression

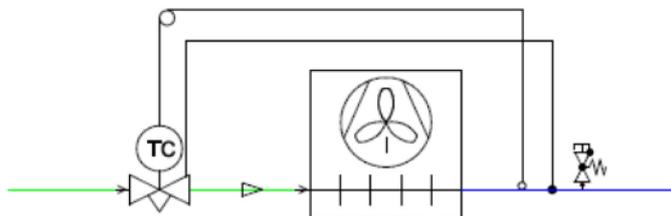


Figure 9.15

Fonction

Les détendeurs thermostatiques utilisés sont toujours fonction du réfrigérant présent dans l'installation. En effet, le capteur contient un réfrigérant ayant les mêmes propriétés (similaires) que le réfrigérant du circuit (charge parallèle).

Dans le système de capteurs, il existe une pression qui correspond à la température à la sortie de l'évaporateur selon la courbe de pression de vapeur = $t_{ü}$.

A l'état d'équilibre, objectif du système de contrôle, les éléments suivants s'appliquent :

Force de pression d'évaporation + force du ressort = force de pression du capteur

Pour corriger la surchauffe, la force du ressort peut être influencée par la tige de réglage. Ainsi, la surchauffe de fonctionnement de la vanne est réglée.

La surchauffe de travail peut être ajustée grâce à la force du ressort :

Augmenter la force du ressort	→	Augmenter la surchauffe	« fermer »
Diminuer la force du ressort	→	Diminuer la surchauffe	« ouvrir »

En raison de la longueur de la boucle de régulation, la température de surchauffe est soumise périodiquement à des fluctuations !

Mesure de la surchauffe

En raison de la longueur de la boucle de régulation, la température de surchauffe présente des fluctuations périodiques, et si elle le réglage est correct, régulières. L'ouverture et la fermeture du VTE entraînent également des fluctuations de la pression d'évaporation.

Mise en place de l'équipement de mesure :

1. Manomètre à la sortie de l'évaporateur
→ Mesure de la température d'évaporation $t_{ü}$
2. Thermomètre au niveau du capteur de la soupape de détente
→ Mesure de la température de la vapeur d'aspiration surchauffée $t_{ü}$

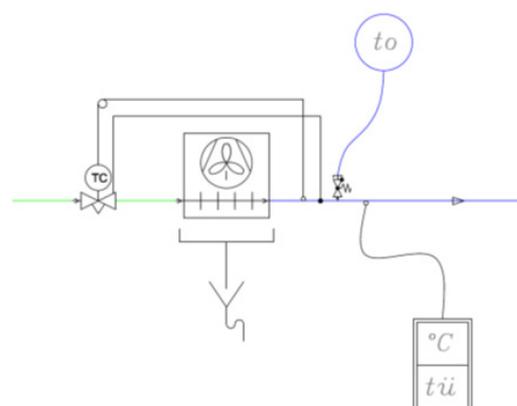


Figure 9.16

Comportement du régulateur

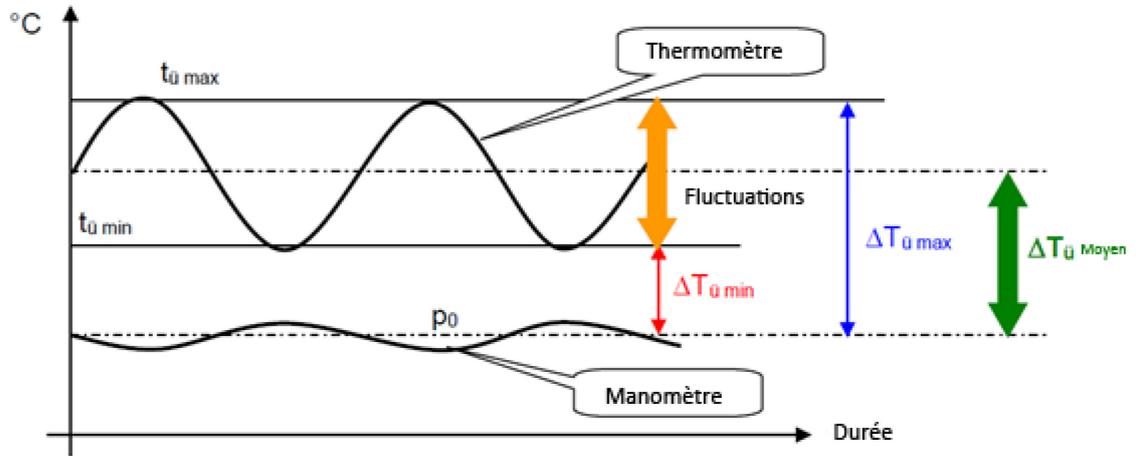


Figure 9.17

1. Mesurer la température moyenne d'évaporation P_0 en °C avec le manomètre
2. Avec le thermomètre mesurer les températures de surchauffe minimale et maximale. La sonde de température doit être montée avec soin et isolée.
3. À partir de quoi on peut déterminer la **fluctuation** de la température de surchauffe.
4. À partir des valeurs ci-dessus, on calcule les surchauffes minimale et maximale et la **surchauffe moyenne** à partir de celles-ci. Seule cette valeur est prise en compte.

$$\Delta T_{\dot{u} \text{ m}} = \frac{\Delta T_{\dot{u} \min} + \Delta T_{\dot{u} \max}}{2}$$