ENGINEERING
TOMORROW

Manuel d'application

Réfrigération industrielle

Applications à l'ammoniac et au CO_2

www.danfoss.com/ir

Table des matières

Page

Avant-propos ... 3
1. Introduction ... 4
2. Régulations du compresseur ... 6
2.1 Régulation de la puissance frigorifique du compresseur ... 6
2.2 Régulation de la température de refoulement par injection de liquide ... 10
2.3 Régulation de la pression d'aspiration ... 13
2.4 Régulation contre les condensats ... 14
2.5 Résumé ... 15
2.6 Documents de référence ... 16
3. Régulations du condenseur ... 17
3.1 Condenseurs à air ... 17
3.2 Condenseurs évaporatifs ... 22
3.3 Condenseurs à eau ... 25
3.4 Résumé ... 27
3.5 Documents de référence ... 27
4. Régulation du niveau de liquide ... 28
4.1 Système de régulation du niveau de liquide haute pression (niveau HP) ... 28
4.2 Système de contrôle du niveau de liquide basse pression (niveau BP) ... 32
4.3 Résumé ... 36
4.4 Documents de référence ... 36
5. Régulations de l'évaporateur ... 37
5.1 Régulation par détente directe ... 37
5.2 Régulation de la circulation par pompe ... 42
5.3 Dégivrage par gaz chauds pour les refroidisseurs d'air DX ... 45
5.4 Dégivrage par gaz chauds pour les refroidisseurs d'air à circulation par pompe ... 51
5.5 Régulation multitempératures ... 54
5.6 Régulation de la température du médium ... 55
5.7 Résumé ... 57
5.8 Documents de référence ... 58
6. Circuits d'huile ... 59
6.1 Refroidissement de l'huile ... 59
6.2 Régulateur de pression différentielle de l'huile ... 63
6.3 Système de récupération de l'huile ... 66
6.4 Résumé ... 68
6.5 Documents de référence ... 69
7. Systèmes de sécurité ... 70
7.1 Limiteurs de pression ... 70
7.2 Limiteurs de pression et de température ... 74
7.3 Régulateurs de niveau de liquide ... 75
7.4 Détecteur de fluide frigorigène ... 76
7.5 Résumé ... 78
7.6 Documents de référence ... 78
8. Régulations de la pompe de fluide frigorigène ... 79
8.1 Protection de la pompe avec régulateur de pression différentielle ... 79
8.2 Régulation du débit de dérivation de la pompe ... 81
8.3 Régulateur de pression de la pompe ... 82
8.4 Résumé ... 83
8.5 Documents de référence ... 83
9. Autres ... 84
9.1 Filtres déshydrateurs dans les systèmes fluorés ... 84
9.2 Élimination de l'eau des systèmes à l'ammoniac ... 86
9.3 Systèmes d'épuration de l'air ... 88
9.4 Système de récupération de l'huile ... 90
9.5 Documents de référence ... 92
10. Utilisation du CO_2 dans les systèmes de réfrigération ... 93
10.1 CO_2 comme fluide frigorigène ... 94
10.2 Utilisation du CO_2 comme fluide frigorigène dans les systèmes industriels ... 95
10.3 Pression de calcul ... 97
10.4 Sécurité ... 99
10.5 Efficacité ... 100
10.6 Huile dans les systèmes au CO_2 ... 100
10.7 Comparaison des exigences des matériaux dans les systèmes au CO_2, à l'ammoniac et au R134a ... 102
10.8 Eau dans les systèmes au CO_2 ... 104
10.9 Élimination de l'eau ... 107
10.10 Comment l'eau pénètre-t-elle dans un système au CO_2 ? ... 111
10.11 Diverses caractéristiques à prendre en compte dans les systèmes de réfrigération au CO_2 ... 112
11. Systèmes de réfrigération industrielle à CO_2 pompé ... 115
12. Méthodes de régulation pour les systèmes au CO_2 ... 125
13. Conception d'une installation subcritique au CO_2 ... 126
13.1 Solution électronique pour la régulation du niveau de liquide ... 126
13.2 Dégivrage par gaz chauds pour les refroidisseurs d'air à circulation par pompe ... 127
14. Composants des systèmes au CO_2 Danfoss ... 129
15. Gamme complète de produits en acier inoxydable ... 131
16. Annexe ... 133
16.1 types de systèmes de réfrigération ... 133
17. Commande tout ou rien et régulation modulante ... 138
17.1 Commande tout ou rien ... 139
17.2 Régulation modulante ... 140
Documents de référence - Présentation alphabétique ... 146

© Danfoss A/S (RC-MDP/MWA), 2014-10

Avant-propos

Ce guide d'application Danfoss a été conçu pour être utilisé comme document de référence par toutes les personnes concernées par les systèmes de réfrigération industrielle.

Il apporte des réponses aux différentes questions relatives à la régulation des systèmes de réfrigération industrielle : Pourquoi utiliser cette méthode de régulation pour tel ou tel système de réfrigération ? Pourquoi doit-elle être conçue de cette façon ? Quel type de composants peut-on utiliser ? Comment choisir les méthodes de régulation en fonction des différents systèmes de réfrigération ? Pour répondre à ces questions, les principes des différentes méthodes de régulation sont présentés avec des exemples ayant recours à des produits Danfoss Industrial Refrigeration.

Les principales caractéristiques des composants sont également indiquées. Des comparaisons sont effectuées entre les différentes solutions pour chaque méthode de régulation de façon à ce que le lecteur puisse effectuer son choix en toute connaissance de cause.

Les vannes ne sont pas toutes représentées et les schémas des applications ne doivent pas être utilisés à des fins de construction.

Pour terminer la conception de l'installation, il est nécessaire d'utiliser d'autres outils tels que les catalogues et les logiciels de calcul du fabricant (le catalogue de Danfoss Industrial Refrigeration et le logiciel DIRcalc par exemple).

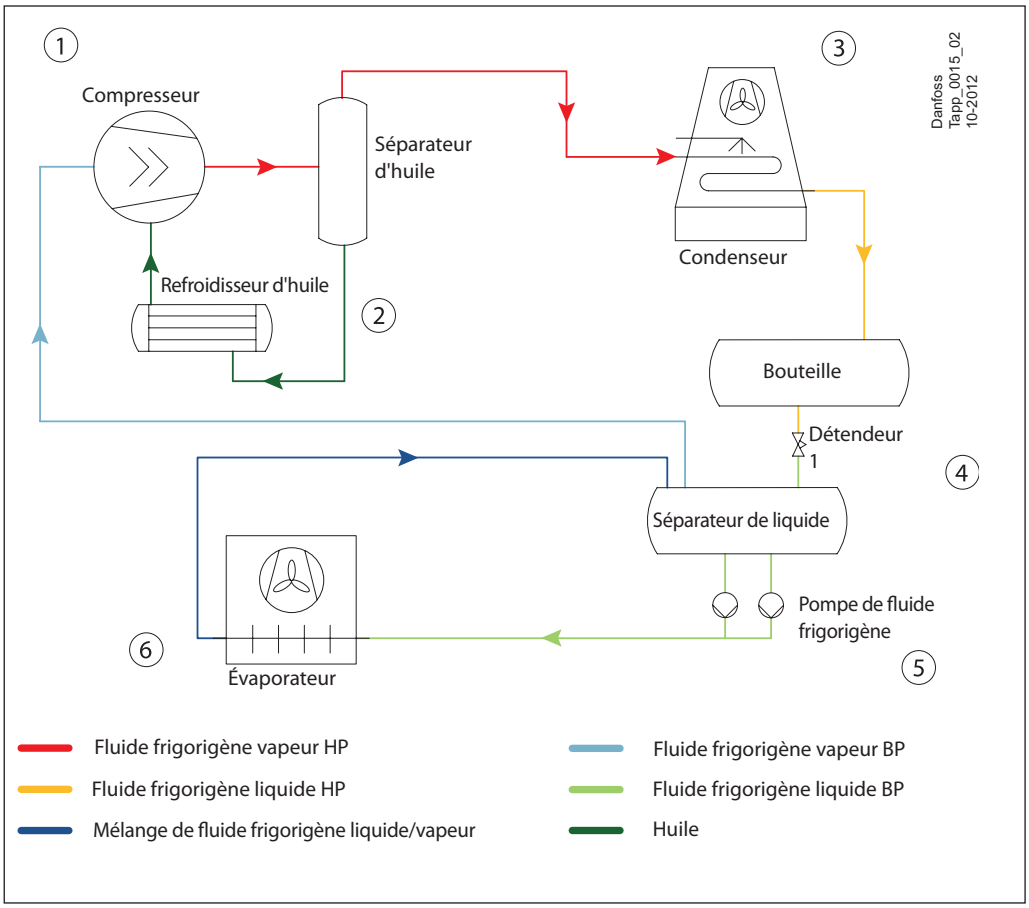
DIRcalc est le logiciel qui permet de calculer et de choisir les vannes de Danfoss Industrial Refrigeration. Le logiciel DIRcalc est livré gratuitement. Contactez votre distributeur local Danfoss.

N'hésitez pas à contacter Danfoss si vous avez des questions concernant les méthodes de régulation, les applications et les régulateurs décrits dans ce guide d'application.

© Danfoss A/S (RC-MDP/MWA), 2014-10

1. Introduction

Système de réfrigération avec circulation par pompe



① Régulation du compresseur

Pourquoi ?

- Tout d'abord : pour contrôler la pression d'aspiration ;
- Ensuite : pour obtenir un fonctionnement sûr du compresseur (marche/arrêt, etc.).

Comment ?

- Contrôler la puissance frigorifique du compresseur en fonction de la charge calorifique en dérivant des gaz chauds depuis le côté HP vers le côté BP, ou par une commande marche/arrêt du compresseur ou en contrôlant la vitesse de rotation du compresseur ;
- Installer une vanne à clapet antiretour sur la conduite de refoulement pour empêcher le retour du fluide frigorigène vers le compresseur ;
- Maintenir les pressions et les températures au niveau du compresseur afin de le maintenir dans sa plage de fonctionnement.

② Régulation de l'huile

Pourquoi ?

- Maintenir une température et une pression optimales de l'huile afin de garantir le bon fonctionnement du compresseur.

Comment ?

- Pression : maintenir et contrôler la pression différentielle dans le compresseur pour la circulation de l'huile, maintenir la pression d'aspiration (uniquement pour les compresseurs à pistons) ;
- Température : faire passer de l'huile dans le refroidisseur d'huile, réguler le débit d'air ou d'eau du refroidisseur d'huile ;
- Niveau : ramener l'huile dans le compresseur pour les installations à l'ammoniac ou aux fluides fluorés à basse température.

© Danfoss A/S (RC-MDP/MWA), 2014-10

1. Introduction
(suite)

③ Régulation du condenseur

Pourquoi ?

- Maintenir la pression de condensation au-dessus de la valeur minimum acceptable afin de garantir un débit suffisant dans les vannes de détente ;
- Garantir une distribution correcte du fluide frigorigène dans le système.

Comment ?

- Activer/désactiver ou réguler la vitesse des ventilateurs du condenseur, réguler le débit de l'eau de refroidissement, piéger du fluide frigorigène liquide dans les condenseurs.

④ Régulation du niveau de liquide

Pourquoi ?

- Contrôler le débit de fluide frigorigène liquide allant du côté haute pression au côté basse pression en fonction des besoins ;
- Garantir un fonctionnement sûr et fiable des vannes de détente.

Comment ?

- Réguler le degré d'ouverture du détendeur en fonction du changement du niveau de liquide.

⑤ Régulation de la pompe de fluide frigorigène

Pourquoi ?

- Maintenir le débit de la pompe dans les limites de sa plage de fonctionnement ;
- Maintenir une pression différentielle constante dans la pompe.

Comment ?

- Prévoir une conduite de dérivation de façon à maintenir un débit minimum à la pompe ;
- Désactiver la pompe si la pression différentielle ne peut pas être maintenue à un niveau assez élevé.
- Installer une vanne de régulation de la pression.

⑥ Régulation de l'évaporateur

Pourquoi ?

- Tout d'abord : maintenir une température de fluide constante ;
- Ensuite : optimiser le fonctionnement des évaporateurs ;
- Pour les systèmes à détente directe : garantir que du fluide frigorigène liquide ne soit pas aspiré par le compresseur.

Comment ?

- Réguler le débit du fluide frigorigène dans les évaporateurs en fonction de la demande ;
- Dégivrer les évaporateurs.

⑦ Systèmes de sécurité

Pourquoi ?

- Éviter une pression involontaire des réservoirs ;
- Protéger le compresseur contre tout dommage dû aux coups de liquide, aux surcharges, aux manques d'huile, aux températures élevées, etc. ;
- Protéger la pompe contre les dommages provoqués par une cavitation.

Comment ?

- Installer des soupapes de sécurité sur les réservoirs et aux endroits où elles sont nécessaires ;
- Arrêter le compresseur et la pompe si la pression d'entrée/sortie ou la pression différentielle est hors de la plage autorisée ;
- Arrêter l'installation lorsque le niveau dans le séparateur de liquide ou la bouteille dépasse la limite autorisée.

© Danfoss A/S (RC-MDP/MWA), 2014-10

2. Régulations du compresseur

Le compresseur constitue le « cœur » du système de réfrigération. Il présente deux fonctions de base :

1. Maintenir la pression dans l'évaporateur de façon à ce que le fluide frigorigène liquide puisse s'évaporer à la température requise ;
2. Comprimer le fluide frigorigène de façon à ce qu'il puisse se condenser à une température normale.

La régulation de base du compresseur est donc d'ajuster la puissance frigorifique du compresseur en fonction de la demande réelle du système de réfrigération de sorte que la température d'évaporation requise puisse être maintenue.

Si la puissance frigorifique du compresseur est supérieure à la demande, la pression et la température d'évaporation seront inférieures à celles requises et inversement.

Par ailleurs, le compresseur ne pourra pas fonctionner hors de sa plage d'utilisation et son fonctionnement ne pourra pas être optimisé.

2.1 Régulation de la puissance frigorifique du compresseur

Le compresseur frigorifique est généralement choisi pour répondre à la charge de refroidissement la plus élevée possible. Toutefois, la charge de refroidissement pendant le fonctionnement normal est généralement plus faible que la charge de refroidissement prévue. Cela signifie qu'il est toujours nécessaire de réguler la puissance frigorifique du compresseur de façon à ce qu'elle corresponde à la puissance calorifique réelle.
Il existe plusieurs moyens de réguler la puissance frigorifique du compresseur :

1. Commande pas-à-pas
Elle est utilisée pour décharger des cylindres dans un compresseur multicylindres, pour ouvrir et fermer les orifices d'aspiration d'un compresseur à vis ou pour démarrer et arrêter des compresseurs dans un système multicompresseurs. Ce système est simple et pratique. De plus, l'efficacité diminue très peu pendant la charge partielle. Elle s'applique tout particulièrement aux systèmes composés de plusieurs compresseurs à pistons multicylindres.

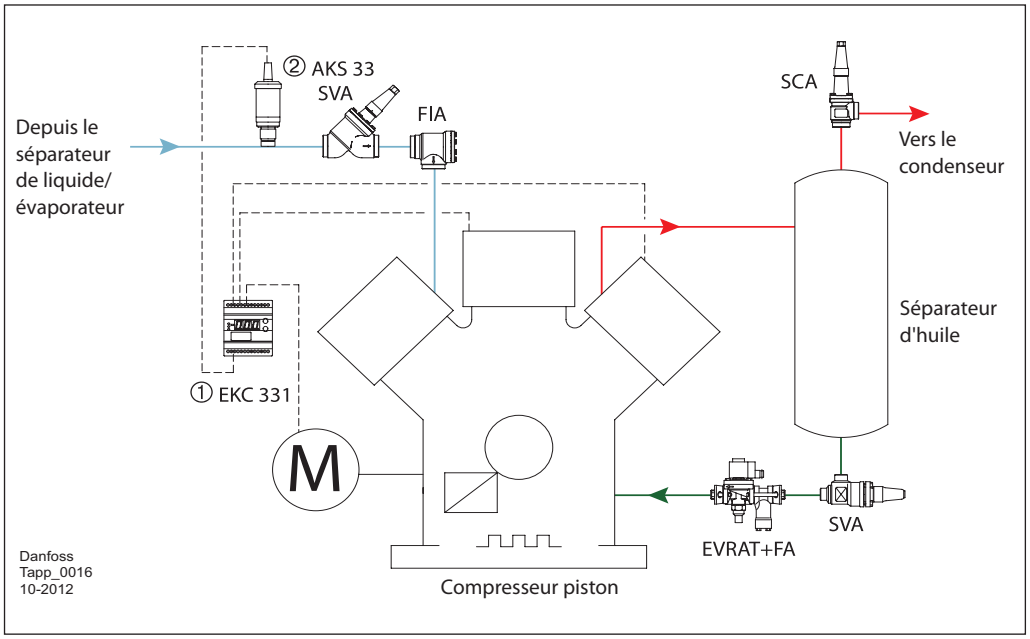
2. Commande par tiroir
Le dispositif le plus utilisé pour réguler la puissance frigorifique d'un compresseur à vis est la vanne à tiroir. Son action permet d'ajuster la quantité de gaz comprimés. La vanne à tiroir permet une modulation régulière et continue de la puissance de 100 % à 10 % mais l'efficacité baisse lors de la charge partielle.

3. Variateur de vitesse.
Cette solution efficace s'applique à tous les types de compresseurs. Un moteur électrique à deux vitesses ou un variateur de fréquence peut être utilisé pour faire varier la vitesse du compresseur. Le moteur électrique à deux vitesses régule la puissance frigorifique du compresseur en fonctionnant à vitesse élevée lorsque la charge thermique est élevée (p.ex. durée de refroidissement) et à vitesse réduite lorsque la charge thermique est faible (p.ex. durée de stockage). Le variateur de fréquence peut faire varier la vitesse de rotation en continu pour satisfaire la demande réelle.
Le variateur de fréquence respecte les limites minimum et maximum de la vitesse, de la température et de régulation de la pression, la protection du moteur du compresseur ainsi que les limites de courant et de couple. Les variateurs de fréquences assurent un courant de démarrage faible.

4. Dérivation de gaz chauds
Cette solution s'applique aux compresseurs à cylindrée fixe et plus généralement à la réfrigération commerciale. Pour réguler la puissance frigorifique, une partie du débit de gaz chaud de la conduite de refoulement est dérivée dans le circuit basse pression. Cela permet de réduire la puissance frigorifique de deux façons : en diminuant l'alimentation en fluide frigorigène liquide et en libérant de la chaleur dans le circuit basse pression.

© Danfoss A/S (RC-MDP/MWA), 2014-10

Exemple d'application 2.1.1 : commande pas-à-pas de la puissance frigorifique du compresseur



Fluide frigorigène vapeur HP
Fluide frigorigène vapeur BP
Huile

① Régulateur pas-à-pas
② Transmetteur de pression

La solution de régulation pas-à-pas de la puissance frigorifique du compresseur peut être obtenue en utilisant un régulateur pas-à-pas EKC 331 ①. L'EKC 331 est un régulateur pas-à-pas à quatre étages qui comporte jusqu'à quatre relais de sortie. Il régule l'enclenchement ou le déclenchement des compresseurs/pistons ou le moteur électrique du compresseur en fonction du signal de la pression d'aspiration à partir du transmetteur de pression AKS 33② ou AKS 32R. L'EKC 331 peut commander un système avec un maximum de quatr e commandes de compresseurs de même taille ou de deux compresseurs avec réduction de capacité.

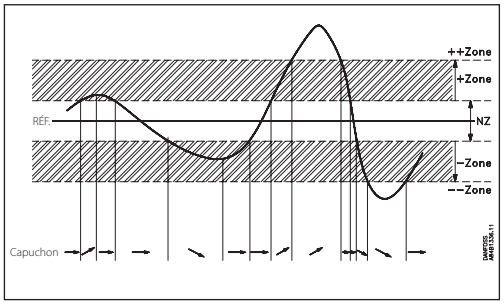
La version EKC 331T peut accepter un signal de température provenant d'une sonde PT 1000, ce qui peut être utile pour les systèmes secondaires.

Régulation avec zone neutre
Une zone neutre est définie autour de la valeur de référence. Aucune charge ou décharge ne peut se produire dans cette zone.

Hors de la zone neutre (dans les zones hachurées « zone + » et « zone- »), la charge et la décharge surviennent lorsque la pression mesurée s'éloigne des paramètres de la zone neutre.

Si la régulation a lieu hors de la zone hachurée (appelée zone++ et zone--), les changements de la puissance d'enclenchement interviennent un peu plus vite que dans la zone hachurée.

Pour plus détails, veuillez vous reporter au manuel de l'EKC 331(T) de Danfoss.



Données techniques

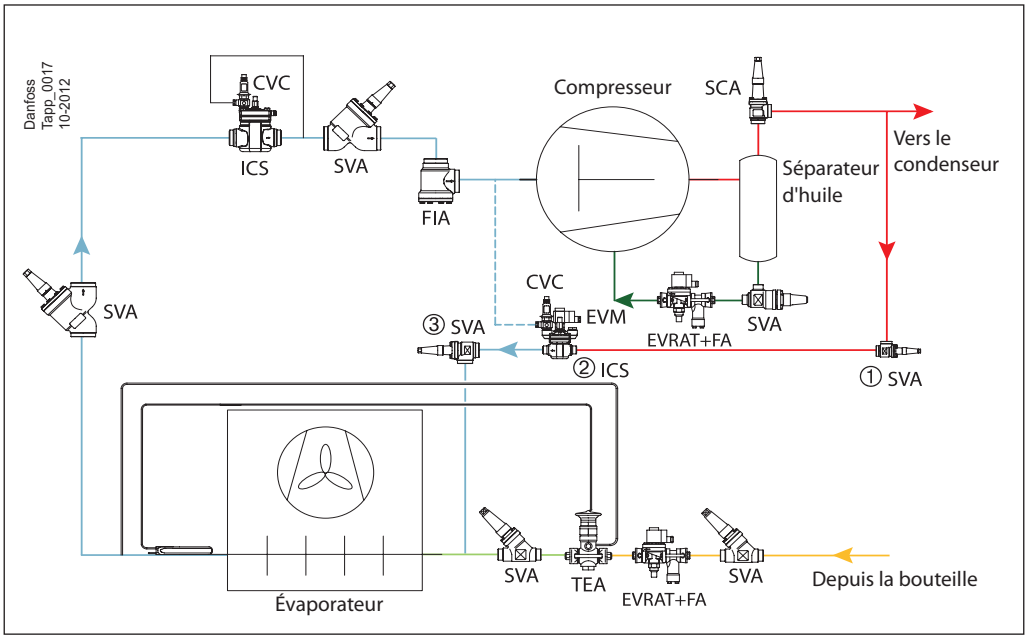
	Transmetteur de pression-AKS 33	Transmetteur de pression-AKS 32R
Fluides frigorigènes	Tous les fluides frigorigènes, y compris le R717	Tous les fluides frigorigènes, y compris le R717
Plage de fonctionnement [bar]	-1 à 34	-1 à 34
Pression de service max. PB [bar]	55 (en fonction de la plage de fonctionnement)	60 (en fonction de la plage de fonctionnement)
Plage de température de fonctionnement [°C]	-40 à 85	
Plage de température compensée [°C]	BP : -30 à +40/HP : 0 à +80	
Signal de sortie nominal	4 à 20 mA	10 à 90 % de la tension d'alimentation

	Transmetteur de pression - AKS 3000	Transmetteur de pression - AKS 32
Fluides frigorigènes	Tous les fluides frigorigènes, y compris le R717	Tous les fluides frigorigènes, y compris le R717
Plage de fonctionnement [bar]	0 à 60 (en fonction de la plage)	–1 à 39 (en fonction de la plage)
Pression de service max. PB [bar]	100 (en fonction de la plage de fonctionnement)	60 (en fonction de la plage de fonctionnement)
Plage de température de fonctionnement [°C]	-40 à 80	-40 à 85
Plage de température compensée [°C]	BP : -30 à +40/HP : 0 à +80	BP : -30 à +40/HP : 0 à +80
Signal de sortie nominal	4 à 20 mA	1 à 5 V ou 0 à 10 V

Les vannes ne sont pas toutes représentées. Ce schéma ne doit pas être utilisé à des fins de construction.

© Danfoss A/S (RC-MDP/MWA), 2014-10

Exemple d'application 2.1.2 : régulation de la puissance frigorifique du compresseur par dérivation de gaz chauds



Fluide frigorigène vapeur HP
Réfrigérant liquide HP
Réfrigérant vapeur LP
Réfrigérant liquide LP
Huile

① Vanne d'arrêt
② Régulateur de capacité
③ Vanne d'arrêt

La dérivation de gaz chauds peut être utilisée pour réguler la puissance frigorifique des compresseurs à cylindrée fixe. La servovanne pilotée ICS ② équipée d'une vanne pilote CVC est utilisée pour réguler la dérivation de gaz chauds en fonction de la pression sur la conduite d'aspiration. La CVC est une vanne pilote de régulation de la pression de retour qui ouvre l'ICS et augmente le débit de gaz chaud lorsque la pression d'aspiration est inférieure à la valeur définie. De cette façon, la pression d'aspiration en amont du compresseur reste constante et la capacité de réfrigération répond à la charge de refroidissement réelle.

Données techniques

	Servovanne pilotée - ICS
Matériau	Corps : acier basse température
Fluides frigorigènes	Tous les fluides frigorigènes courants, notamment les R717 et R744
Plage de température du fluide [°C]	-60 à +120
Pression de service max. [bar]	52
DN [mm]	20 à 150

	Vanne pilote - CVC (BP)
Fluides frigorigènes	Tous les fluides frigorigènes courants
Plage de température du fluide [°C]	-50 à 120
Pression de service max. [bar]	Côté haute pression : 28 Côté basse pression : 17
Plage de pression [bar]	-0,45 à 7
Valeur K_v [m^3/h]	0,2

	Vanne pilote - CVC (XP)
Fluides frigorigènes	Tous les fluides frigorigènes courants
Plage de température du fluide [°C]	-50 à 120
Pression de service max. [bar]	Côté haute pression : 52 Côté basse pression : 28
Plage de pression [bar]	4 à 28
Valeur K_v [m^3/h]	0,2

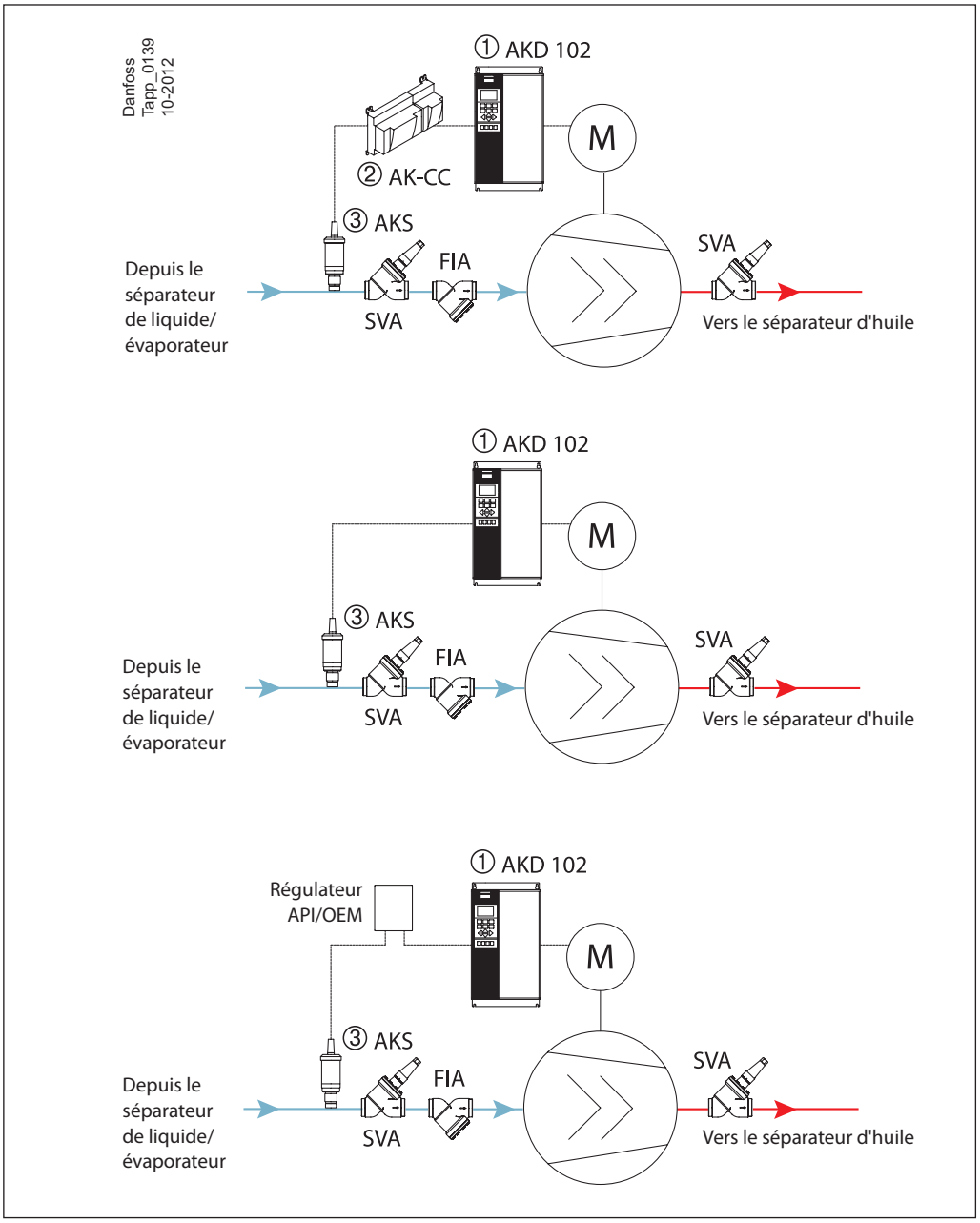
Les vannes ne sont pas toutes représentées.
Ce schéma ne doit pas être utilisé à des fins de construction.

© Danfoss A/S (RC-MDP/MWA), 2014-10

Exemple d'application 2.1.3 : régulation de la puissance frigorifique du compresseur par vitesse variable

Fluide frigorigène vapeur HP
Fluide frigorigène vapeur BP

① Variateur de fréquence
② Régulateur
③ Transducteur de pression



La régulation par variateur de fréquence présente les avantages suivants :

- Économies d'énergie
- Meilleure régulation et meilleure qualité du produit
- Atténuation du bruit
- Plus longue durée de vie
- Installation simplifiée
- Régulation totale du système facile à utiliser

Données techniques

	Variateur de fréquence AKD 102		Variateur de fréquence VLT FC 102/FC 302
Puissance frigorifique en kW	1,1 kW à 45 kW	1,1 kW à 250 kW	Jusqu'à 1200 kW
Tension	200-240 V	380-480 V	200-690 V

Les vannes ne sont pas toutes représentées. Ce schéma ne doit pas être utilisé à des fins de construction.

© Danfoss A/S (RC-MDP/MWA), 2014-10

2.2 Régulation de la température de refoulement par injection de liquide

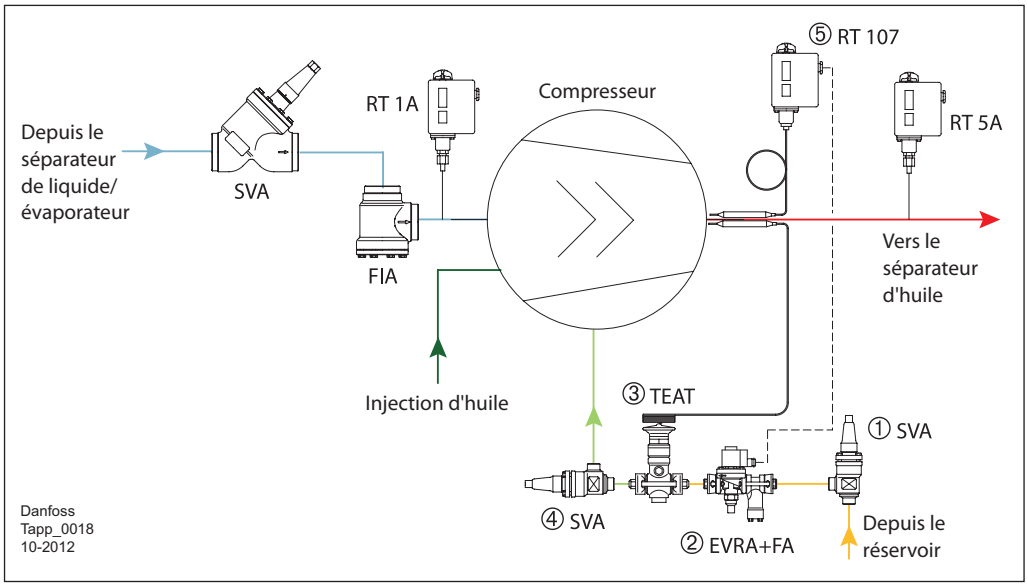
Les fabricants de compresseurs recommandent généralement de limiter la température de refoulement afin d'empêcher toute surchauffe, ce qui prolonge la durée de vie des appareils et empêche la décomposition de l'huile à des températures élevées.

Sur le diagramme p-h, on peut constater que la température de refoulement peut être élevée lorsque :

- le compresseur fonctionne avec une pression différentielle élevée.
- le compresseur reçoit vapeur d'aspiration extrêmement surchauffée.
- le compresseur fonctionne avec une régulation de puissance frigorifique par dérivation de gaz chauds.

Il existe plusieurs moyens de réduire la température de refoulement. L'une d'elles consiste à équiper les compresseurs à pistons d'un refroidissement de culasse à eau et l'autre à injecter du liquide. Dans cette dernière, le fluide frigorigène liquide du condenseur ou de la bouteille est injecté dans la conduite d'aspiration, le refroidisseur intermédiaire ou l'orifice latéral du compresseur à vis.

Exemple d'application 2.2.1 : injection de liquide avec détendeur d'injection thermostatique



- Fluide frigorigène vapeur HP
- Réfrigérant liquide HP
- Réfrigérant vapeur LP
- Réfrigérant liquide LP
- Huile

① Vanne d'arrêt
② Électrovanne
③ Détendeur d'injection
④ Vanne d'arrêt
⑤ Thermostat

Lorsque la température de refoulement dépasse la valeur définie du thermostat RT 107 ⑤, ce dernier alimente l'électrovanne EVRA ② qui lance l'injection de liquide dans l'orifice latéral du compresseur à vis.

Le détendeur d'injection TEAT ③ régule le débit du liquide injecté en fonction de la température de refoulement, ce qui évite que cette dernière ne monte trop.

Données techniques

	Thermostat - RT
Fluides frigorigènes	Fluides frigorigènes R717 et fluorés
Protection	IP 66/54
Temp. max. du bulbe [°C]	65 à 300
Temp. ambiante [°C]	-50 à 70
Plage de régulation [°C]	-60 à 150
Température différentielle [°C]	1,0 à 25,0

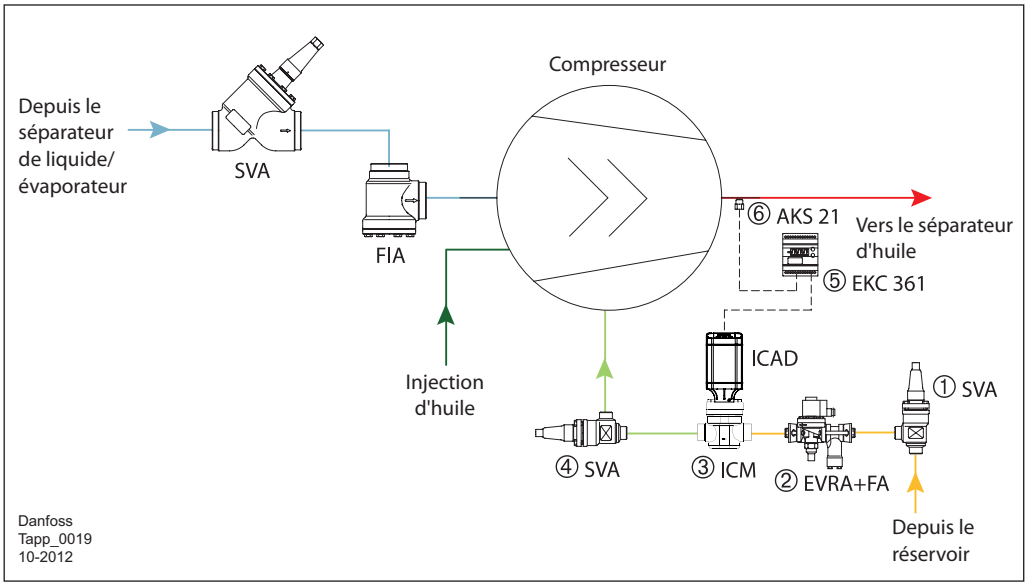
	Détendeur d'injection - TEAT
Fluides frigorigènes	Fluides frigorigènes R717 et fluorés
Plage de régulation [°C]	Temp. max. du bulbe : 150 °C Bande P : 20 °C
Pression de service max. [bar]	20
Capacité nominale [kW]*	3,3 à 274

* Conditions : T_e = +5°C, Δp = 8 bar, ΔT_{sub} = 4°C

Les vannes ne sont pas toutes représentées. Ce schéma ne doit pas être utilisé à des fins de construction.

© Danfoss A/S (RC-MDP/MWA), 2014-10

Exemple d'application 2.2.2 : injection de liquide avec vanne motorisée



Fluide frigorigène vapeur HP
Réfrigérant liquide HP
Réfrigérant vapeur LP
Réfrigérant liquide LP
Huile

① Vanne d'arrêt
② Électrovanne
③ Vanne motorisée
④ Vanne d'arrêt
⑤ Régulateur
⑥ Sonde de température

Une solution électronique de régulation de l'injection de liquide peut être obtenue avec la vanne motorisée ICM ③. Une sonde de température AKS 21 PT 1000 ⑥ enregistre la température de refoulement et transmet le signal au régulateur de température EKC 361 ⑤. L'EKC 361 contrôle l'actuateur ICAD qui ajuste le niveau d'ouverture de la vanne motorisée ICM de façon à limiter et maintenir la température de refoulement.

Données techniques

	ICM pour détente
Matériau	Corps : acier basse température
Fluides frigorigènes	Tous les fluides frigorigènes courants, notamment R717 et R744
Plage de température du fluide [°C]	-60 à 120
Pression de service max. [bar]	52 bar
DN [mm]	20 à 80
Puissance frigorifique nominale [kW]*	72 à 22 700

* Conditions : T_e = –10°C, Δp = 8,0 bar, ΔT_{sub} = 4 K

	Actuateur - ICAD
Plage de température du fluide [°C]	-30 à 50 (ambiante)
Signal d'entrée de régulation	0/4-10 mA ou 0/2-10
Temps d'ouverture/fermeture avec vitesse maximum sélectionnée	3 à 45 secondes en fonction de la taille de la vanne

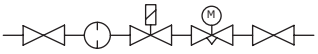
Les vannes ne sont pas toutes représentées. Ce schéma ne doit pas être utilisé à des fins de construction.

© Danfoss A/S (RC-MDP/MWA), 2014-10

Exemple d'application 2.2.3 : solution compacte pour injection de liquide avec ICF

- Fluide frigorigène vapeur HP
- Réfrigérant liquide HP
- Réfrigérant vapeur LP
- Réfrigérant liquide LP
- Huile

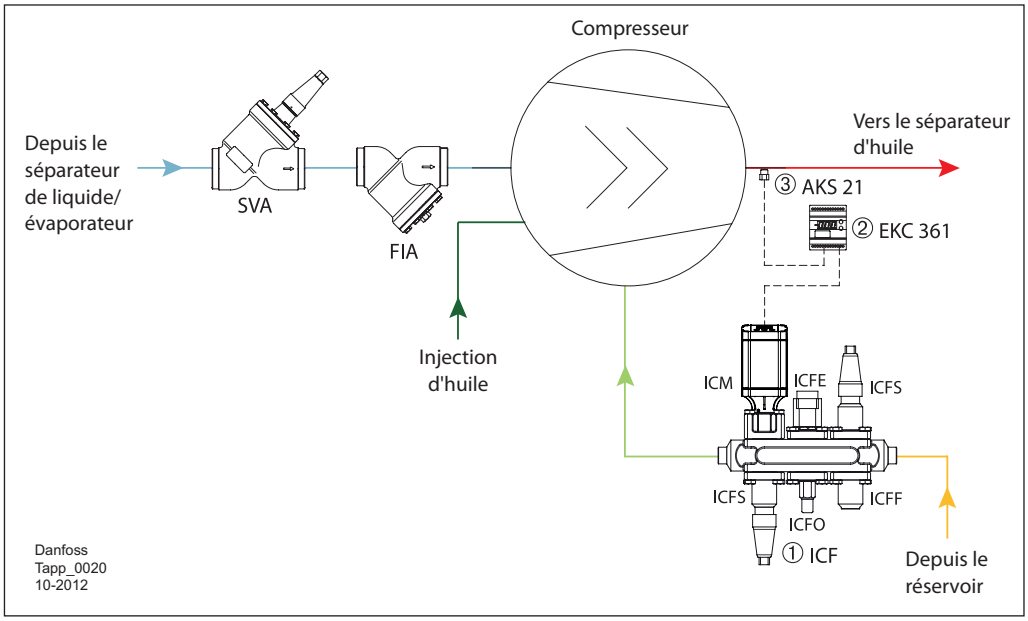
① Station de vannes avec :



Vanne d'arrêt
Filtre
Électrovanne
Robinet manuel
Vanne motorisée
Vanne d'arrêt

② Régulateur

③ Sonde de température



Pour l'injection de liquide, Danfoss peut fournir une solution de régulation très compacte ICF ①. Un maximum de six modules différents peuvent être assemblés sur le même corps. Cette solution fonctionne de la même façon que dans l'exemple 2.2.2. Elle est très compacte et facile à installer.

Données techniques

	Solution de régulation ICF
Matériau	Corps : acier basse température
Fluides frigorigènes	Tous les fluides frigorigènes courants, notamment R717 et R744
Plage de température du fluide [°C]	-60 à 120
Pression de service max. [bar]	52 bar
DN [mm]	20 à 40

Les vannes ne sont pas toutes représentées.
Ce schéma ne doit pas être utilisé à des fins de construction.

© Danfoss A/S (RC-MDP/MWA), 2014-10

2.3 Régulation de la pression d'aspiration

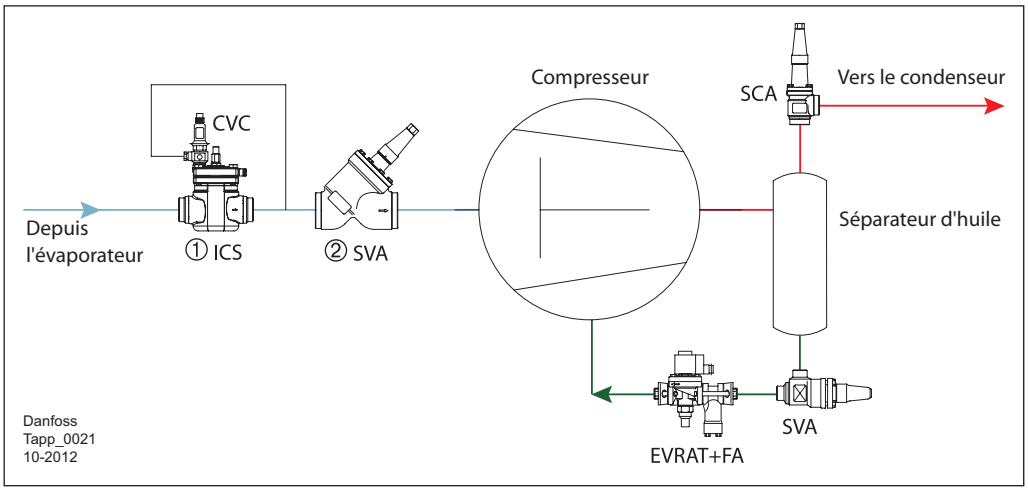
Au démarrage ou après le dégivrage, la pression d'aspiration doit être régulée de façon à ce qu'elle ne monte pas trop et à éviter que le moteur du compresseur ne soit en surcharge.

Le moteur électrique du compresseur peut être endommagé par cette surcharge.

Deux moyens permettent de surmonter ce problème :

1. Démarrer le compresseur à charge partielle. Les méthodes de réglage de la puissance frigorifique peuvent être utilisées pour démarrer le compresseur pendant la charge partielle, en déchargeant par exemple les pistons des compresseurs multipistons ou en dérivant le gaz d'aspiration des compresseurs à vis avec des vannes à tiroir, etc.
2. Réguler la pression d'aspiration des compresseurs à pistons. L'installation d'une vanne de démarrage sur la conduite d'aspiration du compresseur permet de maintenir la pression d'aspiration dans la plage de fonctionnement du compresseur.

Exemple d'application 2.3.1 : régulation de la pression d'aspiration avec l'ICS et la CVC



Fluide frigorigène vapeur HP
Fluide frigorigène vapeur BP
Huile

① Régulateur de pression d'aspiration
② Vanne d'arrêt

Pour réguler la pression d'aspiration au démarrage, après le dégivrage ou dans d'autres cas lorsque la pression d'aspiration est trop élevée, la servovanne pilotée ICS ① et la vanne pilote de régulation de la pression avale CVC sont installées sur la conduite d'aspiration. L'ICS ne s'ouvre pas tant que la pression d'aspiration en aval ne descend pas au-dessous de la valeur définie pour la vanne pilote CVC. De cette façon, la pression de la conduite d'aspiration peut être libérée progressivement dans le carter, ce qui garantit une capacité gérable pour le compresseur.

Données techniques

	Servovanne pilotée - ICS
Matériau	Corps : acier basse température
Fluides frigorigènes	Tous les fluides frigorigènes courants, notamment les R717 et R744
Plage de température du fluide [°C]	-60 à +120
Pression de service max. [bar]	52
DN [mm]	20 à 150
Puissance frigorifique [kW]*	11 à 2440

* Conditions : T_e = –10°C, T_l = 30°C, Δp = 0,2 bar, ΔT_{sub} = 8 K

	Vanne pilote - CVC (BP)
Fluides frigorigènes	Tous les fluides frigorigènes courants
Plage de température du fluide [°C]	-50 à 120
Pression de service max. [bar]	Côté haute pression : 28 Côté basse pression : 17
Plage de pression [bar]	-0,45 à 7
Valeur K_v [m³/h]	0,2

	Vanne pilote - CVC (XP)
Fluides frigorigènes	Tous les fluides frigorigènes courants
Plage de température du fluide [°C]	-50 à 120
Pression de service max. [bar]	Côté haute pression : 52 Côté basse pression : 28
Plage de pression [bar]	4-28
Valeur K_v [m³/h]	0,2

Les vannes ne sont pas toutes représentées. Ce schéma ne doit pas être utilisé à des fins de construction.

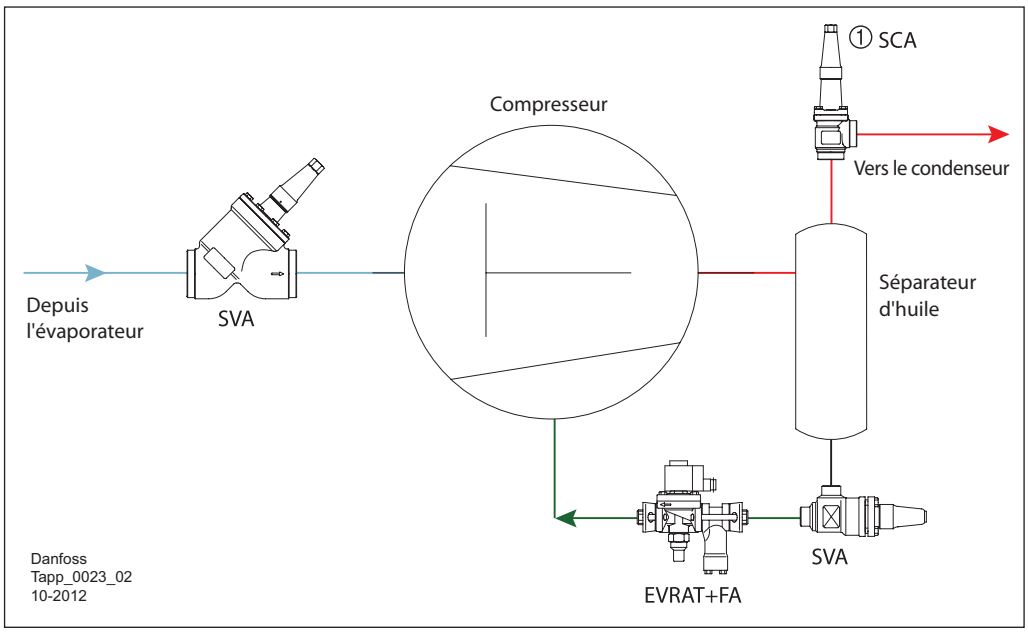
© Danfoss A/S (RC-MDP/MWA), 2014-10

2.4 Régulation contre les condensats

Éviter le retour des condensats de fluide frigorigène depuis le condenseur vers le séparateur d'huile et le compresseur. Pour les compresseurs à pistons, ce type d'écoulement peut provoquer un coup de liquide. Pour les compresseurs à vis, ce type d'écoulement peut entraîner une rotation inversée et endommager les paliers des compresseurs.

Par ailleurs, toute migration de fluide frigorigène dans le séparateur d'huile puis dans le compresseur immobilisé doit être évitée. Pour éviter ce type d'écoulement, il convient d'installer une vanne clapet sur la sortie du séparateur d'huile.

Exemple d'application 2.4.1 : régulation contre les condensats



Fluide frigorigène vapeur HP
Fluide frigorigène vapeur BP
Huile

① Vanne clapet

La vanne clapet SCA ① fait office de clapet antiretour lorsque le système fonctionne et de vanne d'arrêt afin d'isoler la conduite de refoulement pour l'entretien. Cette solution combinée de vanne d'arrêt/clapet antiretour est plus facile à installer et présente une résistance à l'écoulement plus faible par rapport à une installation normale de vanne d'arrêt et clapet antiretour.

Avant de choisir une vanne clapet, il convient de procéder comme suit :

1. Sélectionner une vanne en fonction de la puissance frigorifique et non de la taille de la conduite.
2. Évaluer les conditions de fonctionnement à charge partielle et nominales. La vitesse dans des conditions nominales doit être proche de la valeur recommandée et la vitesse pendant la charge partielle doit être supérieure à la vitesse minimum recommandée.

Pour plus de détails concernant le choix des vannes, consulter le catalogue des produits.

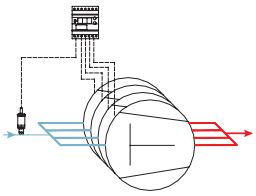
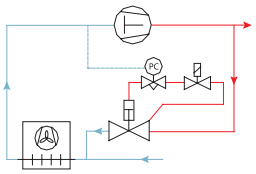
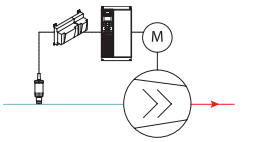
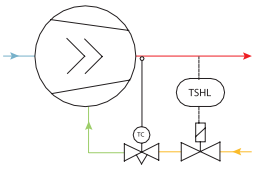
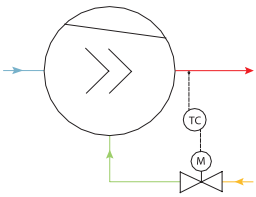
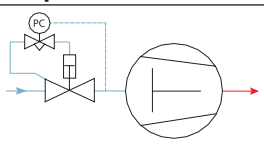
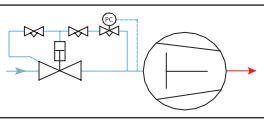
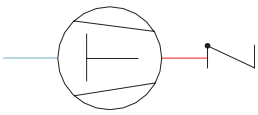
Données techniques

	Vanne clapet - SCA-X
Matériau	Boîtier : acier résistant au froid spécial approuvé pour un fonctionnement à basse température. Tige : acier inoxydable poli
Fluides frigorigènes	Tous les fluides frigorigènes courants ininflammables, notamment le R717
Plage de température du fluide [°C]	-60 à 150
Pression différentielle d'ouverture [bar]	0,04 (ressort pour 0,3 bar disponible en pièce détachée)
Pression de service max. [bar]	52
DN [mm]	15 à 125

Les vannes ne sont pas toutes représentées. Ce schéma ne doit pas être utilisé à des fins de construction.

© Danfoss A/S (RC-MDP/MWA), 2014-10

2.5
Résumé

Solution		Application	Avantages	Limites
Régulation de la puissance frigorifique du compresseur				
Commande pas-à-pas de la puissance frigorifique du compresseur avec le régulateur EKC 331 et le capteur AKS 32/33		S'applique aux compresseurs multicylindres, aux compresseurs à vis avec plusieurs orifices d'aspiration et aux systèmes équipés de plusieurs compresseurs en parallèle.	Simple. Presque aussi efficace à charge partielle qu'en pleine charge.	La régulation n'est pas continue lorsqu'il n'y a que quelques pas. Fluctuations de la pression d'aspiration.
Régulation de la puissance frigorifique du compresseur avec une dérivation de gaz chauds via l'ICS et la CVC		S'applique aux compresseurs à cylindrée fixe.	Efficace pour réguler continuellement la puissance frigorifique en fonction de la puissance calorifique réelle. Le gaz chaud peut permettre à l'huile de revenir de l'évaporateur.	Inefficace à charge partielle. Consomme de l'énergie.
Régulation de la puissance frigorifique du compresseur par vitesse variable		S'applique à tous les compresseurs pouvant tourner à vitesse réduite.	Faible courant de démarrage Économies d'énergie Bruit réduit Plus longue durée de vie Installation simplifiée	Le compresseur doit être adapté au fonctionnement à vitesse réduite.
Régulation de la température de refoulement par injection de liquide				
Solution mécanique pour l'injection de liquide avec TEAT, EVRA(T) et RT		S'applique aux systèmes dont les températures de refoulement peuvent être trop élevées.	Simple et efficace.	L'injection de fluide frigorigène liquide peut être dangereuse pour le compresseur. Pas aussi efficace que le refroidisseur intermédiaire.
Solution électronique pour la régulation de l'injection de liquide avec l'EKC 361 et l'ICM Solution électronique pour la régulation de l'injection de liquide avec l'EKC 361 et l'ICF		S'applique aux systèmes dont les températures de refoulement peuvent être trop élevées.	Flexible et compacte. Commande et surveillance à distance.	Ne convient pas pour les fluides frigorigènes inflammables. L'injection de fluide frigorigène liquide peut être dangereuse pour le compresseur. Pas aussi efficace que le refroidisseur intermédiaire.
Régulation de la pression d'aspiration				
Régulation de la pression d'aspiration avec l'ICS et la CVC		S'applique aux compresseurs à pistons. Normalement utilisé pour les systèmes de petite taille ou de taille moyenne.	Simple et fiable. Efficace pour protéger les compresseurs à pistons au démarrage ou après le dégivrage par gaz chauds.	Entraîne une chute de pression constante dans la conduite d'aspiration.
Régulation de la pression d'aspiration avec l'ICS et la CVP				
Régulation contre les condensats				
Régulation contre les condensats avec la SCA		S'applique à toutes les installations frigorifiques.	Simple. Facile à installer. Faible résistance à l'écoulement.	Entraîne une chute de pression constante dans la conduite de refoulement.

2.6 Documents de référence

Pour obtenir une liste de tous les documents de référence dans l'ordre alphabétique, veuillez vous reporter à la page 146

Fiche technique/manuel

Type	Réf. du document
AKD 102	PD.R1.B
AKS 21	RK0YG
AKS 33	RD5GH
CVC	PD.HN0.A
CVP	PD.HN0.A
EKC 331	RS8AG
EKC 361	RS8AE
EVRA(T)	PD.BM0.B

Type	Réf. du document
ICF	PD.FT1.A
ICM	PD.HT0.B
ICS	PD.HS2.A
REG	PD.KM1.A
SCA	PD.FL1.A
SVA	PD.KD1.A
TEAT	PD.AU0.A

Instruction produit

Type	Réf. du document
AKD 102	MG11L
AKS 21	RI14D
AKS 32R	PI.SB0.A
AKS 33	PI.SB0.A
CVC-XP	PI.HN0.A
CVC-LP	PI.HN0.M
CVP	PI.HN0.C
EKC 331	RI8BE
EKC 361	RI8BF
EVRA(T)	PI.BN0.L

Type	Réf. du document
ICF	PI.FT0.C
ICM 20-65	PI.HT0.A
ICM 100-150	PI.HT0.B
ICS 25-65	PI.HS0.A
ICS 100-150	PI.HS0.B
REG	PI.KM1.A
SCA	PI.FL1.A
SVA	PI.KD1.A
TEAT	PI.AU0.A

Pour télécharger la dernière version de la documentation, visitez le site Internet de Danfoss.

© Danfoss A/S (RC-MDP/MWA), 2014-10

3. Régulations du condenseur

Dans les zones soumises à de grandes variations de température de l'air ambiant et/ou de charge, il convient de réguler la pression de condensation pour éviter qu'elle ne descende trop bas. Des pressions de condensation trop faibles entraînent une pression différentielle insuffisante dans le détendeur et l'évaporateur est alimenté par une trop faible quantité de fluide frigorigène. Cela signifie que la régulation de la capacité du condenseur est principalement utilisée dans les zones tempérées et dans une moindre mesure dans les zones subtropicales et tropicales.

L'idée essentielle vise à réguler la capacité du condenseur lorsque la température ambiante est faible de façon à ce que la pression de condensation puisse être maintenue à un niveau minimum acceptable.

Cette régulation de la capacité de condensation est obtenue en régulant le débit d'air ou d'eau circulant dans le condenseur ou en réduisant la surface d'échange.

Différentes solutions peuvent être mises au point pour les différents types de condenseurs :
3.1 Condenseurs à air
3.2 Condenseurs évaporatifs
3.3 Condenseurs à eau

3.1 Condenseurs à air

Un condenseur à air est composé de tuyaux montés dans un bloc d'ailettes. Il peut être horizontal, vertical ou en forme de V. L'air ambiant, poussé par des ventilateurs axiaux ou centrifuges, traverse la surface de l'échangeur de chaleur.

Les condenseurs à air sont utilisés dans les systèmes de réfrigération industrielle où l'humidité relative de l'air est élevée. La régulation de la pression de condensation des condenseurs à air peut être obtenue en procédant comme suit :

3.1.1 : commande pas-à-pas du condenseur à air

La première méthode utilise des régulateurs de pression Danfoss RT-5 qui enclenchent et arrêtent les ventilateurs en fonction du besoin.

La deuxième méthode de régulation des ventilateurs consiste à utiliser un régulateur de pression de la zone neutre Danfoss RT-L .Elle était utilisée à l'origine en association avec un régulateur pas-à-pas et le nombre de contacts requis en fonction du nombre de ventilateurs. Ce système a souvent des réactions trop rapides et des minuteries ont donc été utilisées pour retarder l'enclenchement et le déclenchement des ventilateurs.

La troisième méthode est le régulateur pas-à-pas EKC-331 de Danfoss.

3.1.2 : régulation de la vitesse des condenseurs à air

Cette méthode de régulation du ventilateur du condenseur est généralement utilisée lorsqu'une réduction du niveau sonore est souhaitée pour des raisons écologiques.

Sur ce type d'installation, le variateur de fréquence AKD Danfoss peut être utilisé.

3.1.3 : régulation de la surface d'échange des condenseurs à air

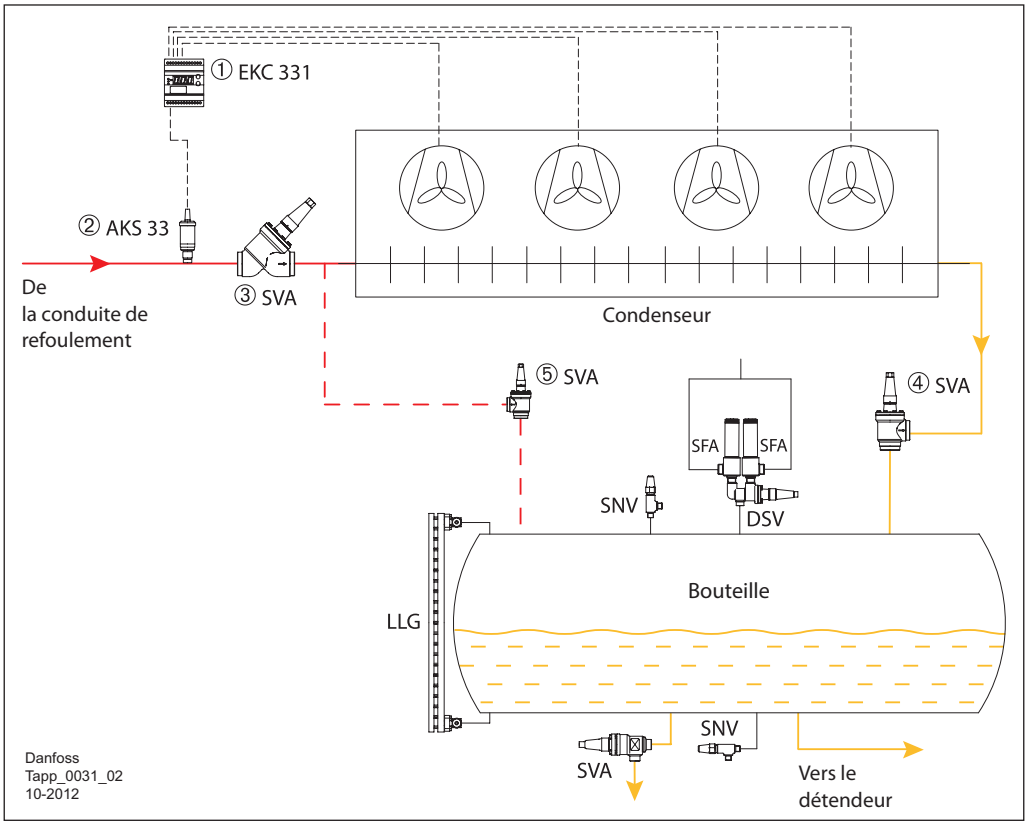
Pour réguler la surface d'échange et la capacité des condenseurs à air, une bouteille est nécessaire. Cette bouteille doit présenter un volume suffisant pour pouvoir s'adapter aux variations de la quantité de fluide frigorigène dans le condenseur.

Cette régulation de la surface d'échange du condenseur peut être réalisée de deux façons :

1. Vanne principale ICS ou PM associée à une vanne pilote à pression constante CVP (HP) montée sur la conduite de gaz chauds à l'entrée du condenseur et vanne ICV associée à une vanne pilote à pression différentielle CVPP (HP) montée sur le tuyau situé entre la conduite de gaz chauds et la bouteille. Sur le tuyau situé entre le condensateur et la bouteille, un clapet antiretour NRVA a été monté pour empêcher la migration de liquide entre la bouteille et le condenseur.
2. Vanne principale ICS associée à la vanne pilote à pression constante CVP (HP) montée sur le tuyau entre le condenseur et la bouteille et une vanne ICS associée à une vanne pilote à pression différentielle CVPP (HP) montée sur le tuyau situé entre la conduite de gaz chauds et la bouteille. Cette méthode est souvent utilisée dans la réfrigération commerciale.

© Danfoss A/S (RC-MDP/MWA), 2014-10

Exemple d'application 3.1.1 : commande pas-à-pas des ventilateurs avec régulateur pas-à-pas EKC 331



Fluide frigorigène vapeur HP
Réfrigérant liquide HP

① Régulateur pas-à-pas
② Transmetteur de pression
③ Vanne d'arrêt
④ Vanne d'arrêt
⑤ Vanne d'arrêt

L'EKC 331 ① est un régulateur pas-à-pas à quatre étages qui comporte jusqu'à quatre relais de sortie. Il régule la commutation des ventilateurs en fonction du signal de pression de condensation émis par un transmetteur de pression AKS 33 ② ou AKS 32R. En fonction de la régulation avec zone neutre, l'EKC 331 ① peut réguler la capacité de condensation de façon à ce que la pression de condensation soit maintenue au-dessus du niveau minimum requis.

Pour plus d'informations sur la régulation avec zone neutre, consulter la section 2.1.

La conduite de dérivation sur laquelle la vanne SVA ⑤ est installée est une conduite d'égalisation qui permet d'équilibrer la pression dans la bouteille avec la pression d'entrée du condenseur de façon à ce que le fluide frigorigène liquide du condenseur puisse être drainé dans la bouteille.

Sur certaines installations, la version EKC 331T est utilisée. Dans ce cas, le signal d'entrée peut être obtenu à partir d'une sonde de température PT 1000, par exemple l'AKS 21. La sonde de température est généralement installée à la sortie du condenseur.

Important ! La solution EKC 331T + sonde de température PT1000 n'est pas aussi précise que la solution EKC 331 + transmetteur de pression car la température de sortie ne peut pas refléter correctement la pression de condensation à cause du sous-refroidissement du liquide ou de la présence de gaz non condensables dans le système de réfrigération. Si le sous-refroidissement est trop faible, une vapeur instantanée peut apparaître au démarrage des ventilateurs.

Données techniques

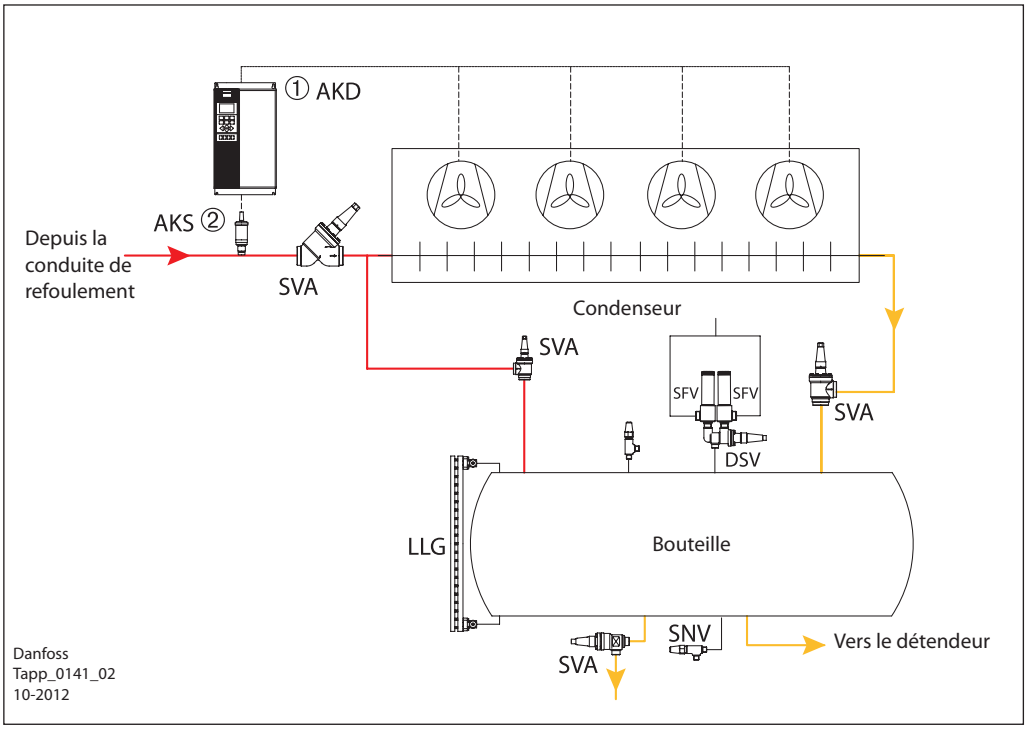
	Transmetteur de pression-AKS 33	Transmetteur de pression-AKS 32R
Fluides frigorigènes	Tous les fluides frigorigènes, y compris le R717	Tous les fluides frigorigènes, y compris le R717
Plage de fonctionnement [bar]	-1 à 34	-1 à 34
Pression de service max. PB [bar]	55 (en fonction de la plage de fonctionnement)	60 (en fonction de la plage de fonctionnement)
Plage de température de fonctionnement [°C]	-40 à 85	
Plage de température compensée [°C]	BP : -30 à +40/HP : 0 à +80	
Signal de sortie nominal	4 à 20 mA	10 à 90 % de la tension d'alimentation

	Transmetteur de pression - AKS 3000	Transmetteur de pression - AKS 32
Fluides frigorigènes	Tous les fluides frigorigènes, y compris le R717	Tous les fluides frigorigènes, y compris le R717
Plage de fonctionnement [bar]	0 à 60 (en fonction de la plage)	–1 à 39 (en fonction de la plage)
Pression de service max. PB [bar]	100 (en fonction de la plage de fonctionnement)	60 (en fonction de la plage de fonctionnement)
Plage de température de fonctionnement [°C]	-40 à 80	-40 à 85
Plage de température compensée [°C]	BP : -30 à +40/HP : 0 à +80	BP : -30 à +40/HP : 0 à +80
Signal de sortie nominal	4 à 20 mA	1 à 5 V ou 0 à 10 V

Les vannes ne sont pas toutes représentées. Ce schéma ne doit pas être utilisé à des fins de construction.

© Danfoss A/S (RC-MDP/MWA), 2014-10

Exemple d'application 3.1.2 : régulation de la vitesse des ventilateurs des condenseurs à air



Fluide frigorigène vapeur HP
Réfrigérant liquide HP

① Variateur de fréquence
② Transducteur de pression

La régulation par variateur de fréquence présente les avantages suivants :

- Économies d'énergie
- Meilleure régulation et meilleure qualité du produit
- Atténuation du bruit
- Plus longue durée de vie
- Installation simplifiée
- Régulation totale du système facile à utiliser

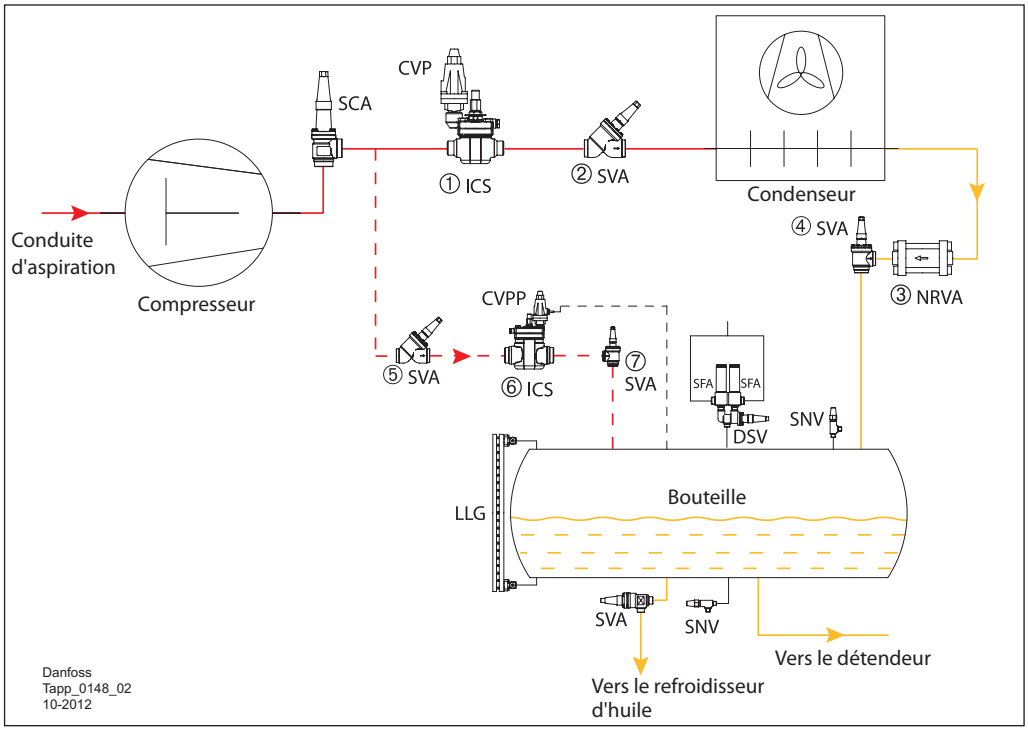
Données techniques

	Variateur de fréquence AKD 102		Variateur de fréquence VLT FC 102/FC 302
Puissance frigorifique en kW	1,1 kW à 45 kW	1,1 kW à 250 kW	Jusqu'à 1200 kW
Tension	200-240 V	380-480 V	200-690 V

Les vannes ne sont pas toutes représentées. Ce schéma ne doit pas être utilisé à des fins de construction.

© Danfoss A/S (RC-MDP/MWA), 2014-10

Exemple d'application 3.1.3 : régulation de la surface d'échange des condenseurs à air



Fluide frigorigène vapeur HP
Réfrigérant liquide HP

① Régulateur de pression
② Vanne d'arrêt
③ Clapet antiretour
④ Vanne d'arrêt
⑤ Vanne d'arrêt
⑥ Régulateur de pression différentielle
⑦ Vanne d'arrêt

Cette solution de régulation maintient la pression dans la bouteille à un niveau suffisamment élevé en cas de température ambiante basse.

La servovanne pilotée ICS ① s'ouvre lorsque la pression de refoulement atteint la pression définie sur la vanne pilote CVP. Elle se ferme lorsque la pression descend en dessous de la pression définie sur la vanne pilote CVP.

La servovanne pilotée ICS ⑥ associée à une vanne pilote à pression constante CVPP, maintient une pression suffisante dans la bouteille. Ce régulateur de pression différentielle ⑥ peut également être une vanne de décharge OFV.

Le clapet antiretour ③ garantit une pression du condenseur élevée par un blocage de liquide dans le condenseur. Cela requiert une bouteille suffisamment grande. Le clapet antiretour NRVA empêche également le liquide de la bouteille de repartir vers le condenseur lorsque ce dernier est plus froid, pendant les périodes d'arrêt du compresseur.

Données techniques

	Servovanne pilotée - ICS
Matériau	Corps : acier basse température
Fluides frigorigènes	Tous les fluides frigorigènes courants, notamment les R717 et R744
Plage de température du fluide [°C]	-60 à 120
Pression de service max. [bar]	52
DN [mm]	20 à 150
Puissance nominale [kW]*	Sur la conduite de refoulement : 20 à 3950 Sur la ligne liquide HP : 179 à 37 000

* Conditions : R717, T_{liq} = 30°C, $P_{refoul.}$ = 12 bar, ΔP = 0,2 bar, $T_{refoul.}$ = 80°C, T_e = -10°C

	Vanne pilote de pression différentielle-CVPP
Fluides frigorigènes	Tous les fluides frigorigènes courants ininflammables, notamment le R717
Plage de température du fluide [°C]	-50 à 120
Pression de service max. [bar]	CVPP (BP) : 17 CVPP (HP) : jusqu'à 40
Plage de régulation [bar]	CVPP (BP) : 0 à 7 CVPP (HP) : 0 à 22
Valeur K_v m^3/h	0,4

Les vannes ne sont pas toutes représentées. Ce schéma ne doit pas être utilisé à des fins de construction.

© Danfoss A/S (RC-MDP/MWA), 2014-10

Données techniques (suite)

	Vanne pilote à pression constante - CVP
Fluides frigorigènes	Tous les fluides frigorigènes courants, notamment R717 et R744
Plage de température du fluide [°C]	-50 à 120
Pression de service max. [bar]	CVP (BP) : 17 CVP (HP) : jusqu'à 40 CVP (XP) : 52
Plage de pression [bar]	CVP (BP) : -0,66 à 7 CVP (HP) : -0,66 à 28 CVP (XP) : 25 à 52
Valeur K_v m^3/h	CVP (BP) : 0,4 CVP (HP) : 0,4 CVP (XP) : 0,2

	Vanne de décharge - OFV
Matériau	Corps : acier
Fluides frigorigènes	Tous les fluides frigorigènes courants, notamment le R717
Plage de température du fluide [°C]	-50 à 150
Pression de service max. [bar]	40
DN mm	20/25
Plage de pression différentielle d'ouverture [bar]	2 à 8

© Danfoss A/S (RC-MDP/MWA), 2014-10

3.2 Condenseurs évaporatifs

Un condenseur évaporatif est un condenseur à air en association avec une pulvérisation d'eau en contre sens dans les orifices et les déflecteurs d'air. En se vaporisant les gouttes d'eau augmentent la capacité du condenseur.

Les condenseurs évaporatifs d'aujourd'hui sont carrossés en tôle ou en plastique et équipés de ventilateurs axiaux ou centrifuges.

La surface de l'échangeur de chaleur dans le courant d'air humide est constituée de tuyaux en acier. Au dessus de la rampe de pulvérisation d'eau (dans l'air sec), on trouve souvent un désurchauffeur en acier équipé d'ailettes pour refroidir les gaz chauds avant qu'ils n'atteignent l'échangeur de chaleur dans le courant d'air humide. Ce pré refroidissement réduit la formation de tartre sur les tuyaux de l'échangeur de chaleur principal.

Ce type de condenseur réduit considérablement la consommation d'eau par rapport à un condenseur à eau normal. La régulation de la capacité d'un condenseur évaporatif peut être obtenue par un ventilateur à deux vitesses ou à vitesse variable. Dans les conditions de température extérieure très basse, on peut être amené à couper l'alimentation de la pompe de circulation d'eau.

L'utilisation de condenseurs évaporatifs est limitée aux zones présentant une humidité relative élevée. Dans des environnements froids (températures ambiantes < 0 °C), la prévention des dommages causés par le froid doit être assurée en éliminant l'eau du condenseur évaporatif.

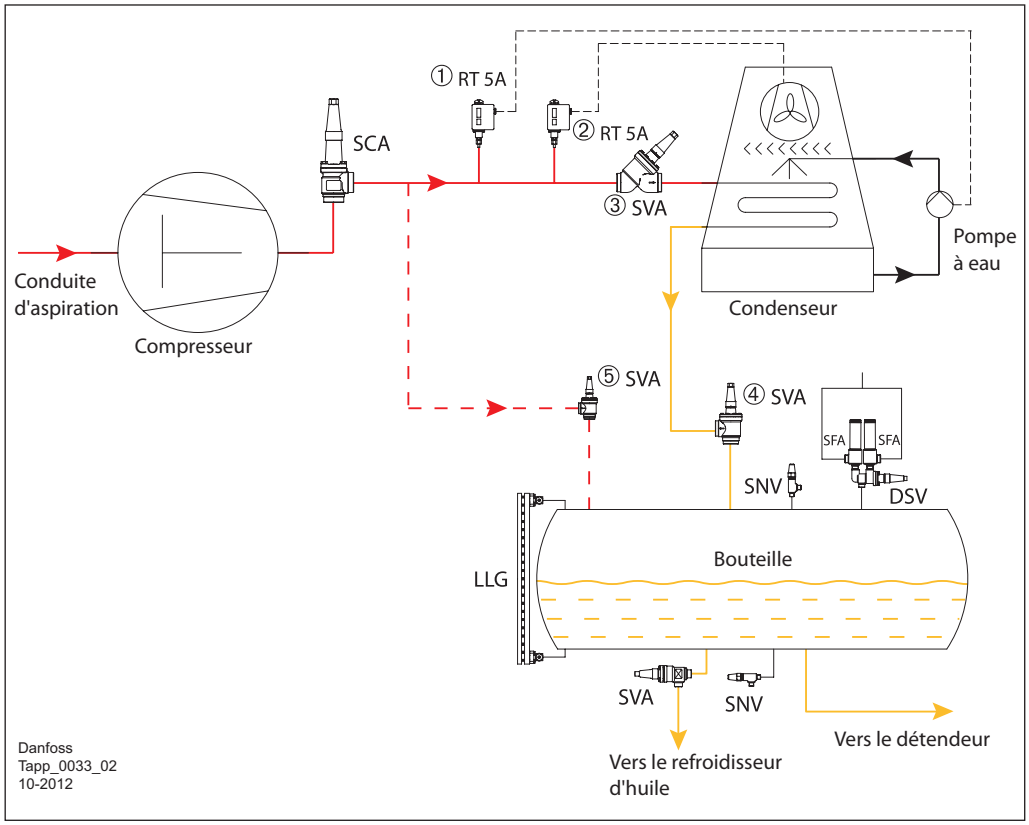
3.2.1 - Régulation des condenseurs évaporatifs

La régulation de la pression de condensation des condenseurs évaporatifs ou de la puissance frigorifique des condenseurs peut être obtenue de différentes façons :

1. Régulateurs de pression, RT ou KP pour commander la pompe à eau et le ventilateur.
2. Régulation de la pression de la zone neutre, RT-L pour commander la pompe à eau et le ventilateur.
3. Régulateur pas-à-pas permettant de réguler les ventilateurs à deux vitesses et la pompe à eau.
4. Variateurs de fréquence pour réguler la vitesse du ventilateur et de la pompe à eau.
5. Détecteur de débit Saginomiya pour l'alarme en cas de mauvaise circulation de l'eau.

© Danfoss A/S (RC-MDP/MWA), 2014-10

Exemple d'application 3.2.1 : commande pas-à-pas du condenseur évaporatif avec régulateur de pression RT



Fluide frigorigène vapeur HP
Réfrigérant liquide HP
Eau

① Régulateur de pression
② Régulateur de pression
③ Vanne d'arrêt
④ Vanne d'arrêt
⑤ Vanne d'arrêt

Cette solution permet de maintenir la pression de condensation ainsi que la pression dans la bouteille à un niveau suffisamment élevé pour des températures ambiantes faibles.

Lorsque la pression d'entrée du condenseur passe sous le point de consigne du régulateur de pression RT 5A ②, le régulateur désactive le ventilateur pour réduire la capacité de condensation.

Pour des températures ambiantes extrêmement basses, lorsque la pression de condensation descend sous le point de consigne du RT 5A ① et après la désactivation de tous les ventilateurs, le RT 5A ① arrête la pompe à eau.

Lorsque la pompe est arrêtée, le condenseur et les tuyaux d'eau doivent être vidés pour éviter l'entartrage et le gel.

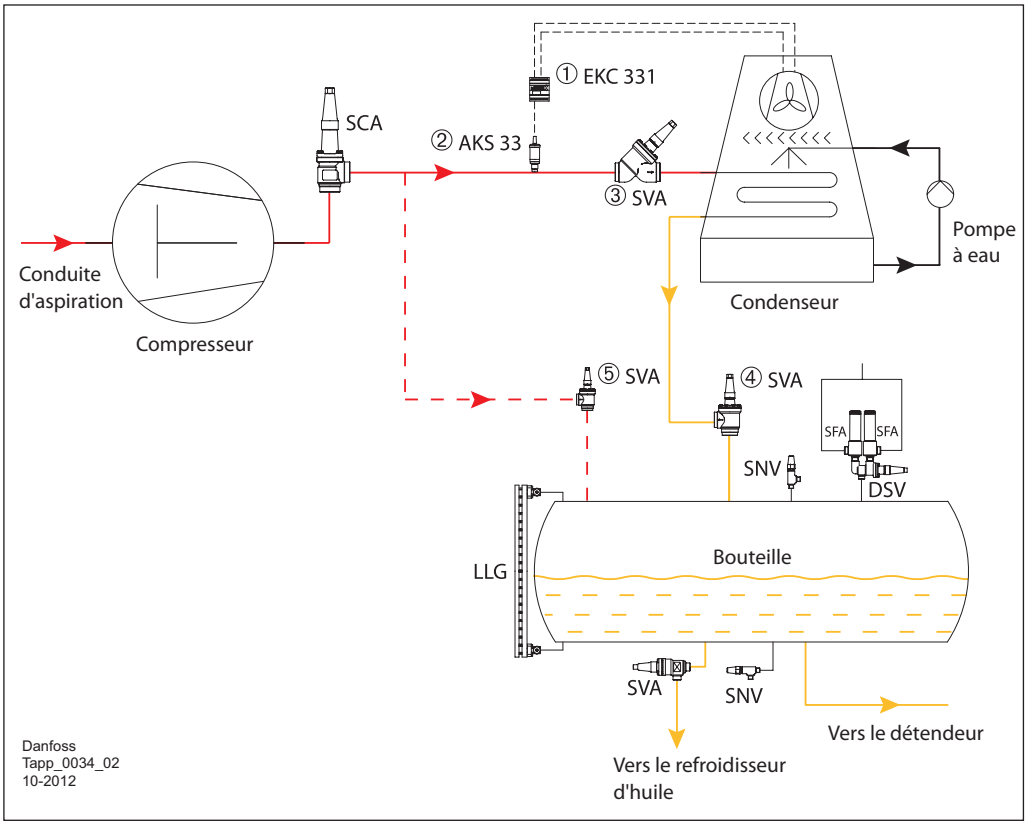
Données techniques

	Régulateur de pression HP - RT 5A
Fluides frigorigènes	Fluides frigorigènes R717 et fluorés
Protection	IP 66/54
Temp. ambiante [°C]	-50 à 70
Plage de régulation [bar]	RT 5A 4 à 17
Pression de service max. [bar]	22
Pression maxi de test. [bar]	25

Les vannes ne sont pas toutes représentées. Ce schéma ne doit pas être utilisé à des fins de construction.

© Danfoss A/S (RC-MDP/MWA), 2014-10

Exemple d'application 3.2.2 : Commande pas-à-pas du condenseur évaporatif avec régulateur pas-à-pas EKC331



Fluide frigorigène vapeur HP
Réfrigérant liquide HP
Eau

① Régulateur pas-à-pas
② Transmetteur de pression
③ Vanne d'arrêt
④ Vanne d'arrêt
⑤ Vanne d'arrêt

Cette solution fonctionne de la même façon que dans l'exemple 3.2.1 mais via un régulateur pas-à-pas EKC 331①. Pour plus d'informations sur l'EKC 331, veuillez vous reporter à la page 7.

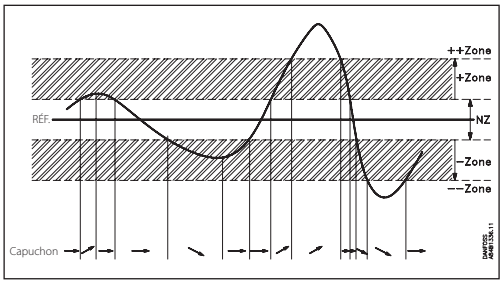
Une solution de régulation de capacité pour les condenseurs évaporatifs peut être obtenue à l'aide d'un régulateur de puissance EKC 331 et d'un transmetteur de pression AKS.La commande séquentielle pour la pompe à eau doit être sélectionnée en dernier lieu. La commande séquentielle signifie que les étapes doivent toujours s'enclencher et s'interrompre dans le même ordre.

La version EKC 331T peut accepter un signal de température provenant d'une sonde PT 1000, ce qui peut être utile pour les systèmes secondaires.

Régulation avec zone neutre
Une zone neutre est définie autour de la valeur de référence. Aucune charge ou décharge ne peut se produire dans cette zone.
Hors de la zone neutre (dans les zones hachurées « zone + » et « zone- »), la charge et la décharge surviennent lorsque la pression mesurée s'éloigne des paramètres de la zone neutre.

Si la régulation a lieu hors de la zone hachurée (appelée zone++ et zone--), les changements de la puissance d'enclenchement interviennent un peu plus vite que dans la zone hachurée.

Pour plus détails, veuillez vous reporter au manuel de l'EKC 331(T) de Danfoss.



Données techniques

	Transmetteur de pression-AKS 33	Transmetteur de pression-AKS 32R
Fluides frigorigènes	Tous les fluides frigorigènes, y compris le R717	Tous les fluides frigorigènes, y compris le R717
Plage de fonctionnement [bar]	-1 à 34	-1 à 34
Pression de service max. PB [bar]	55 (en fonction de la plage de fonctionnement)	60 (en fonction de la plage de fonctionnement)
Plage de température de fonctionnement [°C]	-40 à 85	
Plage de température compensée [°C]	BP : -30 à +40/HP : 0 à +80	
Signal de sortie nominal	4 à 20 mA	10 à 90 % de la tension d'alimentation

	Transmetteur de pression - AKS 3000	Transmetteur de pression - AKS 32
Fluides frigorigènes	Tous les fluides frigorigènes, y compris le R717	Tous les fluides frigorigènes, y compris le R717
Plage de fonctionnement [bar]	0 à 60 (en fonction de la plage)	–1 à 39 (en fonction de la plage)
Pression de service max. PB [bar]	100 (en fonction de la plage de fonctionnement)	60 (en fonction de la plage de fonctionnement)
Plage de température de fonctionnement [°C]	-40 à 80	-40 à 85
Plage de température compensée [°C]	BP : -30 à +40/HP : 0 à +80	BP : -30 à +40/HP : 0 à +80
Signal de sortie nominal	4 à 20 mA	1 à 5 V ou 0 à 10 V

Les vannes ne sont pas toutes représentées. Ce schéma ne doit pas être utilisé à des fins de construction.

© Danfoss A/S (RC-MDP/MWA), 2014-10

3.3 Condenseurs à eau

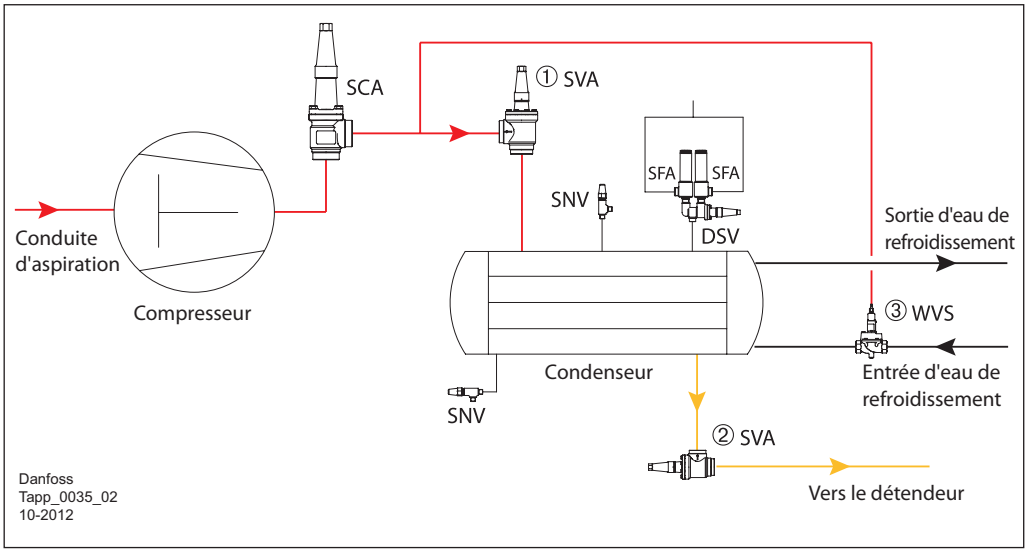
Le condenseur à eau était à l'origine un échangeur de chaleur multitubulaire. Aujourd'hui, il s'agit souvent un échangeur de chaleur à plaques moderne.

Les condenseurs à eau sont généralement peu utilisés car il est souvent interdit d'utiliser ce type de condenseurs qui requièrent de grosses quantités d'eau (pénuries d'eau et/ou prix élevés de l'eau).

Aujourd'hui, les condenseurs à eau sont couramment utilisés dans les refroidisseurs où l'eau est refroidie par une tour de réfrigération. Ces condenseurs peuvent être utilisés comme condenseurs de récupération de chaleur pour fournir de l'eau chaude.

La régulation de la pression de condensation peut être obtenue par une vanne à eau pressostatique ou par une vanne à eau motorisée commandée par un régulateur électronique permettant de réguler le débit d'eau de refroidissement en fonction de la pression de condensation.

Exemple d'application 3.3.1 : régulation du débit des condenseurs à eau avec une vanne à eau



Fluide frigorigène vapeur HP
Réfrigérant liquide HP
Eau

① Vanne d'arrêt
② Vanne d'arrêt
③ Vanne à eau

Cette solution permet de maintenir la pression de condensation à un niveau constant. La pression de condensation du fluide frigorigène est envoyée dans un tube capillaire vers le haut de la vanne à eau WVS ③, ce qui permet d'ajuster l'ouverture de la WVS ③ en fonction des besoins. La vanne WVS est un régulateur proportionnel.

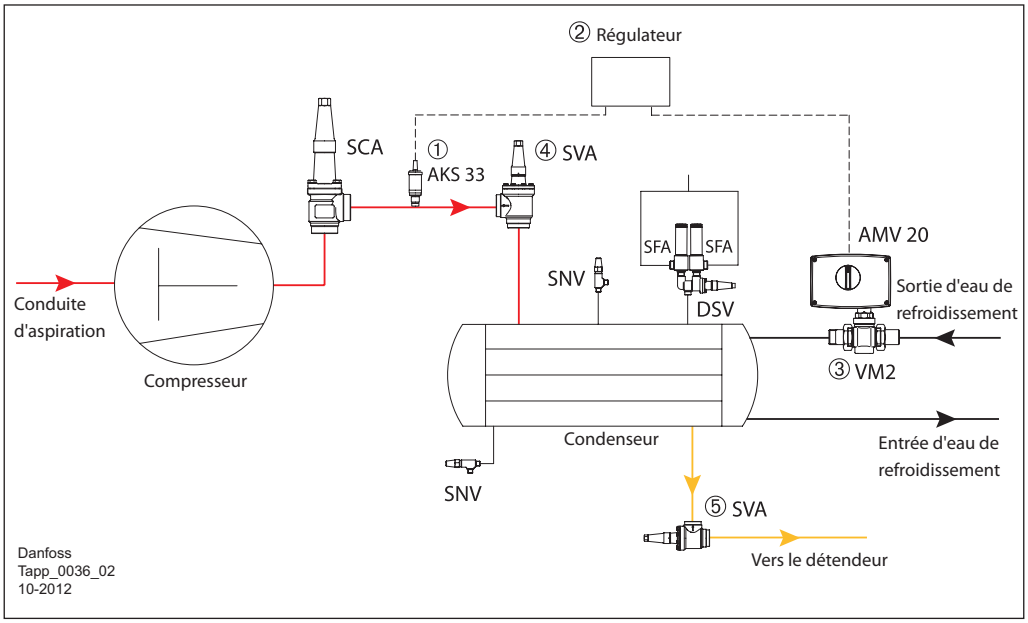
Données techniques

	Vanne à eau - WVS
Matériaux	Corps de vanne : fonte Soufflets : aluminium et acier inoxydable
Fluides frigorigènes	R717, CFC, HCFC, HFC
Fluide	Eau douce, savon neutre
Plage de température du fluide [°C]	-25 à 90
Pression de fermeture réglable [bar]	2,2 à 19
Pression de service max. du côté du fluide frigorigène [bar]	26,4
Pression de service max. du côté du liquide [bar]	10
DN [mm]	32 à 100

Les vannes ne sont pas toutes représentées. Ce schéma ne doit pas être utilisé à des fins de construction.

© Danfoss A/S (RC-MDP/MWA), 2014-10

Exemple d'application 3.3.2 : régulation du débit des condenseurs à eau avec une vanne motorisée



Fluide frigorigène vapeur HP
Réfrigérant liquide HP
Eau

① Transmetteur de pression
② Régulateur
③ Vanne motorisée
④ Vanne d'arrêt
⑤ Vanne d'arrêt

Le régulateur ② reçoit le signal de pression de condensation du transmetteur de pression AKS 33 ①, puis envoie un signal de modulation correspondant à l'actuateur AMV 20 de la vanne motorisée VM 2 ③. De cette façon, le débit d'eau de refroidissement est ajusté et la pression de condensation reste constante.

Dans cette solution, la régulation PI ou PID peut être configurée dans le régulateur.

Les VM 2 et VFG 2 sont des vannes motorisées conçues pour le chauffage urbain et elles peuvent également être utilisées pour réguler le débit des installations frigorifiques.

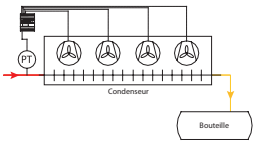
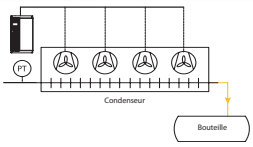
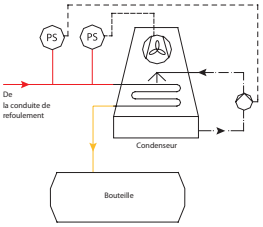
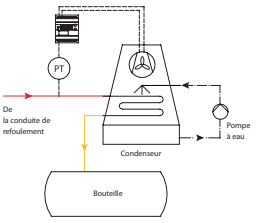
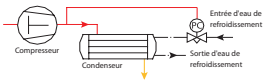
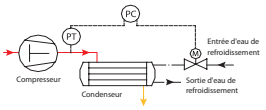
Données techniques

	Vanne motorisée - VM 2
Matériau	Corps : bronze rouge
Fluide	Eau de circulation/eau glycolée jusqu'à 30 %
Plage de température du fluide [°C]	2 à 150
Pression de service max. [bar]	25
DN [mm]	15 à 50

Les vannes ne sont pas toutes représentées.
Ce schéma ne doit pas être utilisé à des fins de construction.

© Danfoss A/S (RC-MDP/MWA), 2014-10

3.4 Résumé

Solution		Application	Avantages	Limites
Régulation du condenseur à air				
Commande pas-à-pas avec régulateur EKC331		Utilisé principalement pour la réfrigération industrielle sous des climats chauds et dans une moindre mesure sous des climats plus froids.	Régulation du débit d'air par étapes ou avec un régulateur de vitesse. Économie d'énergie. Pas d'utilisation d'eau.	Températures ambiantes très basses. La commande pas-à-pas du ventilateur peut être bruyante.
Régulation de la vitesse des ventilateurs des condenseurs à air		S'applique à tous les condenseurs pouvant fonctionner à vitesse réduite.	Faible courant de démarrage Économies d'énergie Bruit réduit Durée de vie plus longue Installation simplifiée	Températures ambiantes très basses.
Régulation du condenseur évaporatif				
Commande pas-à-pas du condenseur évaporatif avec régulateur de pression RT		Réfrigération industrielle de grande puissance frigorifique.	Importante réduction de la consommation d'eau par rapport aux condenseurs à eau et régulation de la puissance frigorifique relativement facile. Économies d'énergie.	Ne convient pas dans des pays où l'humidité relative est élevée. Sous des climats froids, il convient de veiller à ce que l'eau ne stagne pas dans les tuyaux pendant les périodes d'inactivité de la pompe.
Commande pas-à-pas du condenseur évaporatif avec régulateur pas-à-pas EKC331		Réfrigération industrielle de grande puissance frigorifique.	Importante réduction de la consommation d'eau par rapport aux condenseurs à eau et régulation de la puissance frigorifique relativement facile. Contrôlable à distance. Économies d'énergie.	Ne convient pas dans des pays où l'humidité relative est élevée. Sous des climats froids, il convient de veiller à ce que l'eau ne stagne pas dans les tuyaux pendant les périodes d'inactivité de la pompe.
Régulation du condenseur à eau				
Régulation du débit avec une vanne à eau pressostatique		Récupération de chaleur.	Régulation de la capacité simple.	Ne convient pas lorsque la disponibilité de l'eau constitue un problème.
Régulation du débit avec une vanne motorisée		Récupération de chaleur.	La régulation de la capacité du condenseur et la récupération de chaleur sont simples. Contrôlable à distance.	Ce type d'installation est plus onéreux qu'une configuration normale. Ne convient pas dans des situations où la disponibilité de l'eau constitue un problème.

3.5 Documents de référence

Pour obtenir une liste de tous les documents de référence dans l'ordre alphabétique, veuillez vous reporter à la page 146

Fiche technique/manuel

Type	Réf. du document
AKD 102	PD.R1.B
AKS 21	RK0YG
AKS 33	RD5GH
AMV 20	ED95N
CVP	PD.HN0.A
CVPP	PD.HN0.A

Type	Réf. du document
ICS	PD.HS2.A
NRVA	PD.FK0.A
RT 5A	PD.CB0.A
SVA	PD.KD1.A
VM 2	ED97K
WVS	PD.DA0.A

Instruction produit

Type	Réf. du document
AKD 102	MG11L
AKS 21	RI14D
AKS 32R	PI.SB0.A
AKS 33	PI.SB0.A
AMV 20	EI96A
CVP, CVPP	PI.HN0.C
CVP-XP	PI.HN0.J

Type	Réf. du document
ICS 25-65	PI.HS0.A
ICS 100-150	PI.HS0.B
NRVA	PI.FK0.A
RT 5A	RI5BC
SVA	PI.KD1.A
VM 2	VIHBC
WVS	PI.DA0.A

Pour télécharger la dernière version de la documentation, visitez le site Internet de Danfoss.

© Danfoss A/S (RC-MDP/MWA), 2014-10

4. Régulation du niveau de liquide

La régulation du niveau de liquide est un élément important dans la conception des systèmes de réfrigération industrielle. Elle permet de commander l'injection de liquide afin de maintenir le niveau de liquide constant.

Deux principaux principes peuvent être utilisés pour concevoir un système de régulation du niveau de liquide :

- Système de régulation du niveau de liquide haute pression (niveau HP)
- Système de régulation du niveau de liquide basse pression (niveau BP)

Les systèmes de régulation du niveau de liquide haute pression présentent généralement les caractéristiques suivantes :

1. Une attention particulière est accordée au niveau du liquide du côté de la condensation du système.
2. Une charge en fluide frigorigène critique.
3. Petite bouteille ou absence de bouteille.
4. Ils conviennent principalement aux refroidisseurs et aux systèmes avec faible charge en fluide frigorigène (de petits congélateurs par exemple).

Les systèmes basse pression présentent généralement les caractéristiques suivantes :

1. Une attention particulière est accordée au niveau du liquide du côté de l'évaporation du système.
2. La bouteille est généralement de grande capacité.
3. La charge en fluide frigorigène est importante.
4. Ils conviennent principalement aux systèmes décentralisés.

Les deux principes sont possibles, avec des composants mécaniques et électroniques.

4.1 Système de régulation du niveau de liquide haute pression (niveau HP)

Avant de concevoir un système de régulation du niveau de liquide HP, il convient de tenir compte des points suivants :

Dès que du liquide se forme dans le condenseur, il est envoyé dans l'évaporateur (du côté basse pression).

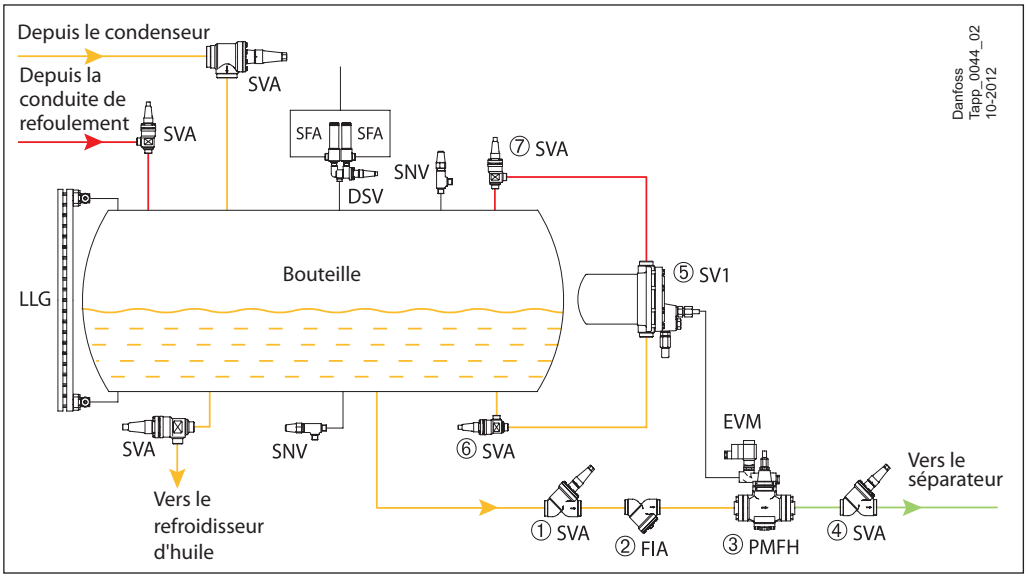
Le liquide qui quitte le condenseur présente un sous-refroidissement faible voire nul. Il est important de savoir quand le liquide coule vers le côté basse pression. En cas de perte de pression dans les tuyaux ou les composants, de la vapeur instantanée peut se former et entraîner la réduction de l'écoulement.

La charge en fluide frigorigène peut être calculée avec précision afin de garantir la présence d'une quantité adéquate de fluide frigorigène dans le système. Une surcharge augmente le risque de noyer l'évaporateur ou le séparateur de liquide causant un coup de liquide dans le compresseur. Si le système manque de fluide frigorigène, le compresseur sera sous alimenté. Le réservoir basse pression (séparateur de liquide ou évaporateur multitubulaire) doit être correctement dimensionné car il doit pouvoir recevoir tout le fluide frigorigène sans entraîner de coup de liquide au compresseur.

Pour les raisons exposées ci-dessus, les systèmes de régulation du niveau de liquide HP conviennent tout particulièrement aux systèmes qui requièrent une faible charge en fluide frigorigène tels que les refroidisseurs ou les petits congélateurs. Les refroidisseurs de liquide n'ont généralement pas besoin de bouteilles. Cependant, si une bouteille est nécessaire afin d'installer les pilotes et d'alimenter un refroidisseur d'huile en fluide frigorigène, la bouteille peut être de petite taille.

© Danfoss A/S (RC-MDP/MWA), 2014-10

Exemple d'application 4.1.1 : solution mécanique pour la régulation de niveau de liquide HP



Fluide frigorigène vapeur HP
Réfrigérant liquide HP
Fluide frigorigène liquide BP

① Vanne d'arrêt
② Filtre
③ Vanne principale servo-commandée
④ Vanne d'arrêt
⑤ Vanne à flotteur
⑥ Vanne d'arrêt
⑦ Vanne d'arrêt

Sur les systèmes de régulation du niveau de liquide HP, la vanne à flotteur SV1 ⑤ ou SV3 est utilisée comme vanne pilote pour une vanne principale PMFH ③. Comme présenté sur le schéma ci-dessus, lorsque le niveau de liquide dans la bouteille dépasse le seuil défini, la vanne à flotteur SV1 ⑤ envoie un signal à la vanne principale PMFH pour qu'elle s'ouvre.

La fonction de la bouteille ici est de fournir un signal plus stable pour la vanne à flotteur ⑤.

Données techniques

	PMFH 80 - Entre 1 et 500
Matériau	Fonte sphérique basse température
Fluides frigorigènes	R717, HFC, HCFC et CFC
Plage de température du fluide [°C]	-60 à +120
Pression de service max. [bar]	28
Pression d'essai max. [bar]	42
Capacité nominale [kW]*	139-13 900

* Conditions : R717, +5/32 °C, T_i = 28 °C

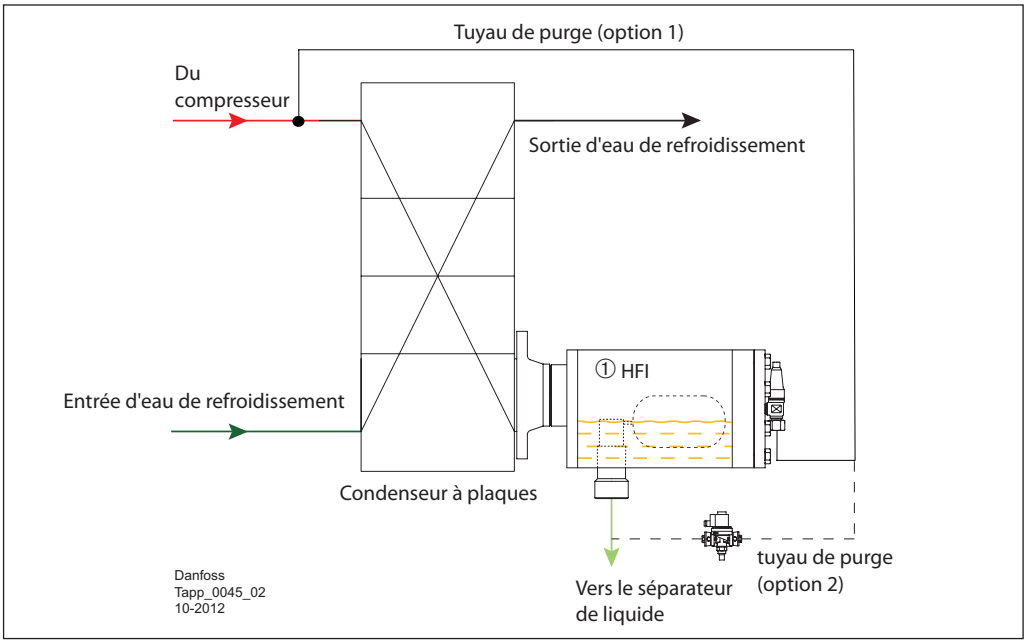
	Vanne à flotteur - SV1 et SV3
Matériau	Boîtier : acier Capot : fonte basse température Flotteur : acier inoxydable
Fluides frigorigènes	R717, HFC, HCFC et CFC
Plage de température du fluide [°C]	-50 à 65
Bande P [mm]	35
Pression de service max. [bar]	28
Pression d'essai max. [bar]	36
Valeur K_v [m^3/h]	0,06 pour SV 1 0,14 pour SV 3
Capacité nominale [kW]*	SV1 : 25 SV3 : 64

* Conditions : R717, +5/32 °C, T_i = 28 °C

Les vannes ne sont pas toutes représentées. Ce schéma ne doit pas être utilisé à des fins de construction.

© Danfoss A/S (RC-MDP/MWA), 2014-10

Exemple d'application 4.1.2 : solution mécanique pour la régulation de niveau de liquide HP avec HFI



Fluide frigorigène vapeur HP
Réfrigérant liquide HP
Fluide frigorigène liquide BP
Eau

① Vanne à flotteur HP

Si le condenseur est un échangeur de chaleur à plaques, la vanne à flotteur mécanique HFI ① peut être utilisée pour commander le niveau de liquide.

La HFI est une vanne à flotteur haute pression à action directe. Aucune pression différentielle n'est donc nécessaire pour activer la vanne.

Il peut être nécessaire de raccorder une conduite d'égalisation sur le côté HP ou BP (option 1 ou 2) comme indiqué sur le schéma pour éliminer la vapeur de fluide frigorigène du boîtier du flotteur car celle-ci peut empêcher le liquide d'entrer dans le boîtier du flotteur et donc empêcher l'ouverture de la vanne HFI.

L'option 1 est la solution la plus simple. L'option 2 nécessite l'installation d'une électrovanne sur la conduite d'égalisation.

Si la HFI n'est pas montée directement sur le condenseur, il est nécessaire de raccorder une conduite d'égalisation.

Données techniques

	HFI
Matériau	Acier spécial approuvé pour les applications basse température
Fluides frigorigènes	R717 et autres fluides frigorigènes ininflammables. Pour les fluides frigorigènes d'une densité supérieure à 700 kg/m^3, consulter Danfoss.
Plage de température du fluide [°C]	-50 à 80
Pression de service max. [bar]	25 bar
Pression d'essai max. [bar]	50 bar (sans flotteur)
Capacité nominale [kW]*	400 à 2400

* Conditions : R717, -10/35°C

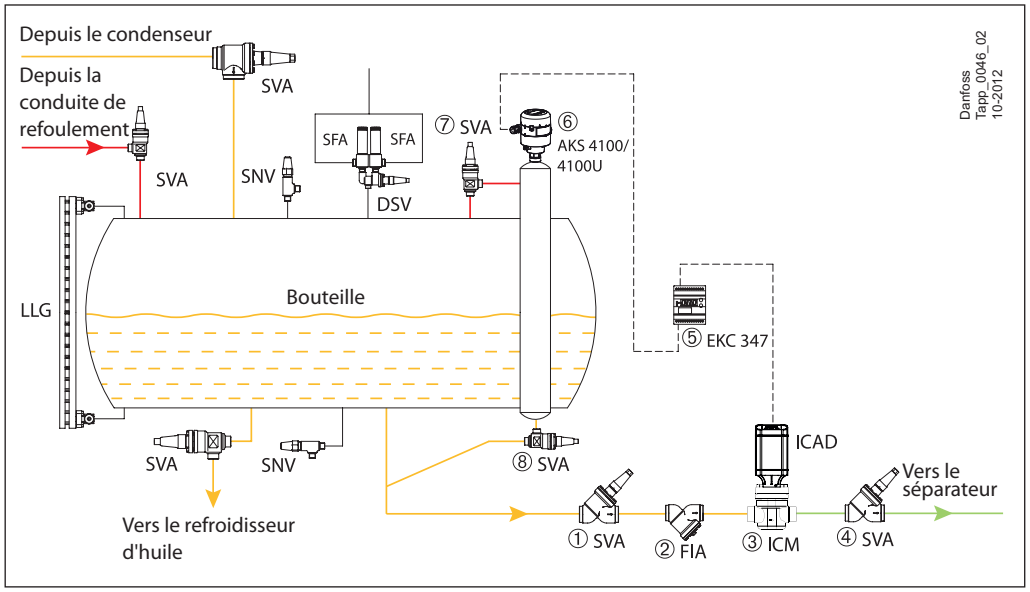
Les vannes ne sont pas toutes représentées. Ce schéma ne doit pas être utilisé à des fins de construction.

© Danfoss A/S (RC-MDP/MWA), 2014-10

Exemple d'application 4.1.3 : solution électronique pour la régulation de niveau de liquide HP

Fluide frigorigène vapeur HP
Réfrigérant liquide HP
Fluide frigorigène liquide BP

① Vanne d'arrêt
② Filtre
③ Vanne motorisée
④ Vanne d'arrêt
⑤ Régulateur
⑥ Transmetteur de niveau
⑦ Vanne d'arrêt
⑧ Vanne d'arrêt



Lors de la conception d'une solution électronique de contrôle de niveau de liquide, le signal du niveau de liquide peut être donné par un AKS 38 qui est un contacteur de niveau (tout ou rien) ou un AKS 4100 /4100U qui est un transmetteur de niveau (4-20 mA).

Le signal électronique est envoyé à un régulateur électronique EKC 347 qui commande la vanne d'injection.

L'injection de liquide peut être commandée de différentes façons :

- Avec une vanne motorisée modulante de type ICM avec un actuateur ICAD.
- Avec un détendeur électrique de type AKVA. La vanne AKVA doit être utilisée uniquement lorsque l'alimentation par pulsation est acceptable.
- Avec un robinet régleur REG qui agit comme détendeur et une électrovanne EVRA pilotée par une commande tout ou rien.
- Le système présenté est un transmetteur de niveau AKS 4100/4100U ⑥ qui envoie un signal de niveau à un régulateur de niveau de liquide EKC 347 ⑤. La vanne motorisée ICM ③ agit comme détendeur.

Données techniques

	Vanne motorisée - ICM pour détente
Matériau	Corps : acier basse température
Fluides frigorigènes	Tous les fluides frigorigènes courants, notamment R717 et R744
Plage de température du fluide [°C]	-60 à 120
Pression de service max. [bar]	52
DN [mm]	20 à 80
Puissance nominale [kW]*	73 à 22 700

* Conditions : R717, T_e = –10 °C, Δp = 8,0 bar, ΔT_{sub} = 4 K ;

	Transmetteur de niveau - AKS 4100/4100U
Matériau	Filet et tuyau : acier inoxydable Section haute : aluminium moulé
Fluides frigorigènes	R717, R22, R404a, R134a, R718, R744
Plage de température du fluide [°C]	-60 à 100
Pression de service	-1 bar g à 100 bar g (-14,5 psig à 1450 psig)
Plage de mesure [mm]	800 à 8000

Les vannes ne sont pas toutes représentées. Ce schéma ne doit pas être utilisé à des fins de construction.

© Danfoss A/S (RC-MDP/MWA), 2014-10

4.2 Système de contrôle du niveau de liquide basse pression (niveau BP)

Avant de concevoir un système de régulation du niveau de liquide BP, il convient de tenir compte des points suivants :

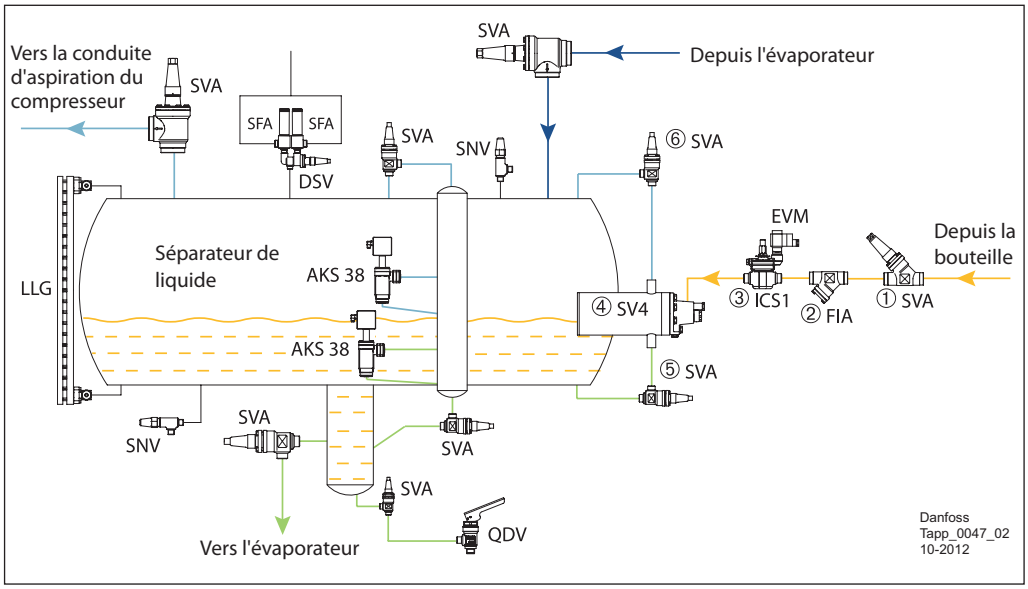
Le niveau de liquide dans le réservoir basse pression (séparateur de liquide/évaporateur multitubulaire) est maintenu à un niveau constant. Cela permet de sécuriser le système car un niveau de liquide trop élevé dans le séparateur de liquide peut provoquer un coup de liquide dans le compresseur. Un niveau trop faible peut entraîner une cavitation des pompes de fluide frigorigène dans un système à circulation par pompe.

La bouteille doit être assez grande pour accumuler le fluide frigorigène liquide en provenance des évaporateurs lorsque le contenu de fluide frigorigène de certains évaporateurs varie en fonction de la charge de refroidissement, lorsque certains évaporateurs sont arrêtés pour être entretenus ou lorsqu'une partie des évaporateurs est vidangée avant le dégivrage.

Par conséquent, les systèmes de régulation du niveau de liquide BP conviennent aux systèmes décentralisés qui comportent de nombreux évaporateurs et où la charge en fluide frigorigène est importante, dans des entrepôts frigorifiques par exemple. Avec un système de régulation du niveau de liquide BP, ces systèmes peuvent fonctionner en toute sécurité même lorsque la charge en fluide frigorigène est impossible à calculer de façon précise.

En conclusion, les systèmes de régulation du niveau de liquide HP conviennent aux systèmes compacts tels que les refroidisseurs. L'avantage principal réside dans leur faible coût (petite bouteille ou sans bouteille). Les systèmes de régulation du niveau de liquide BP conviennent parfaitement aux systèmes décentralisés qui comportent de nombreux évaporateurs et de longs tuyaux, dans les entrepôts frigorifiques par exemple. Leur sécurité et leur fiabilité constituent leurs principaux atouts.

Exemple d'application 4.2.1 : solution mécanique pour la régulation de niveau de liquide BP



Fluide frigorigène liquide HP
Mélange de fluide frigorigène liquide/vapeur
Fluide frigorigène vapeur BP
Fluide frigorigène liquide BP

① Vanne d'arrêt
② Filtre
③ Électrovanne
④ Vanne à flotteur BP
⑤ Vanne d'arrêt
⑥ Vanne d'arrêt

Les vannes à flotteur SV contrôlent le niveau du liquide dans les réservoirs basse pression. Si la puissance frigorifique est faible, les vannes SV ④ peuvent directement faire office de détendeur dans le réservoir basse pression comme indiqué.

Données techniques

	SV 4-6
Matériau	Boîtier : acier Capot : fonte basse température (sphérique) Flotteur : acier inoxydable
Fluides frigorigènes	R717, HFC, HCFC et CFC
Plage de température du fluide [°C]	-50 à +120
Bande P [mm]	35
Pression de service max. [bar]	28
Pression d'essai max. [bar]	42
Valeur K_v [m^3/h]	0,23 pour SV 4 0,31 pour SV 5 0,43 pour SV 6
Capacité nominale [kW]*	SV4 : 102 SV5 : 138 SV6 : 186

* Conditions : R717, +5/32 °C, ΔT_{sub} = 4 K.

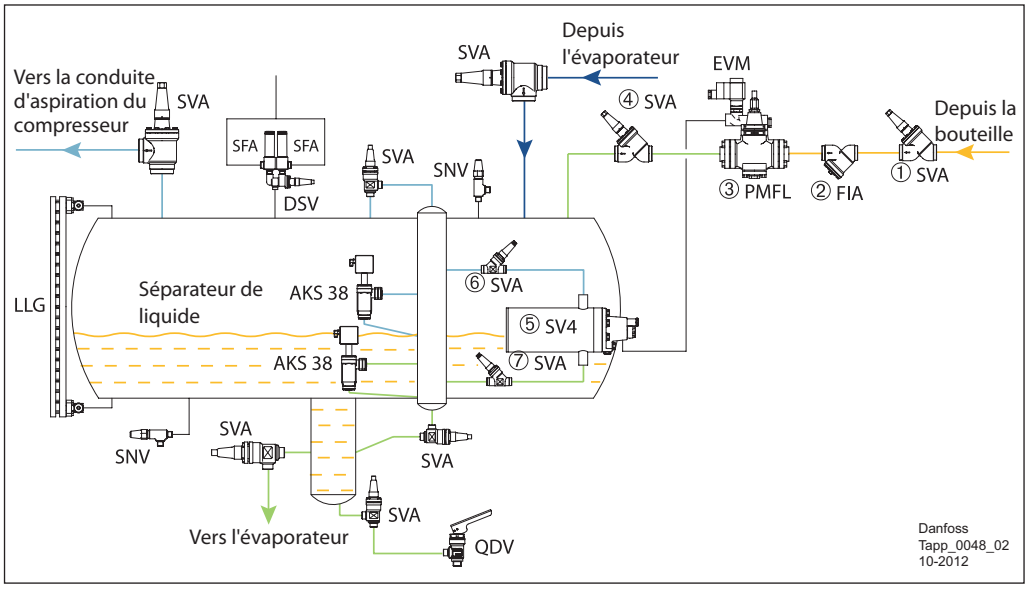
Les vannes ne sont pas toutes représentées. Ce schéma ne doit pas être utilisé à des fins de construction.

© Danfoss A/S (RC-MDP/MWA), 2014-10

Exemple d'application 4.2.2 : solution mécanique pour la régulation de niveau de liquide BP

- Fluide frigorigène liquide HP
- Mélange de fluide frigorigène liquide/vapeur
- Fluide frigorigène vapeur BP
- Fluide frigorigène liquide BP

① Vanne d'arrêt
② Filtre
③ Vanne principale servo-commandée
④ Vanne d'arrêt
⑤ Vanne à flotteur BP
⑥ Vanne d'arrêt
⑦ Vanne d'arrêt



Si la puissance frigorifique est importante, la vanne à flotteur SV ⑤ est utilisée comme vanne pilote pour la vanne principale PMFL. Comme présenté sur le schéma ci-dessus, lorsque le niveau de liquide dans la bouteille descend au-dessous du niveau défini, la vanne à flotteur SV ⑤ envoie un signal à la vanne PMFL pour qu'elle s'ouvre.

Données techniques

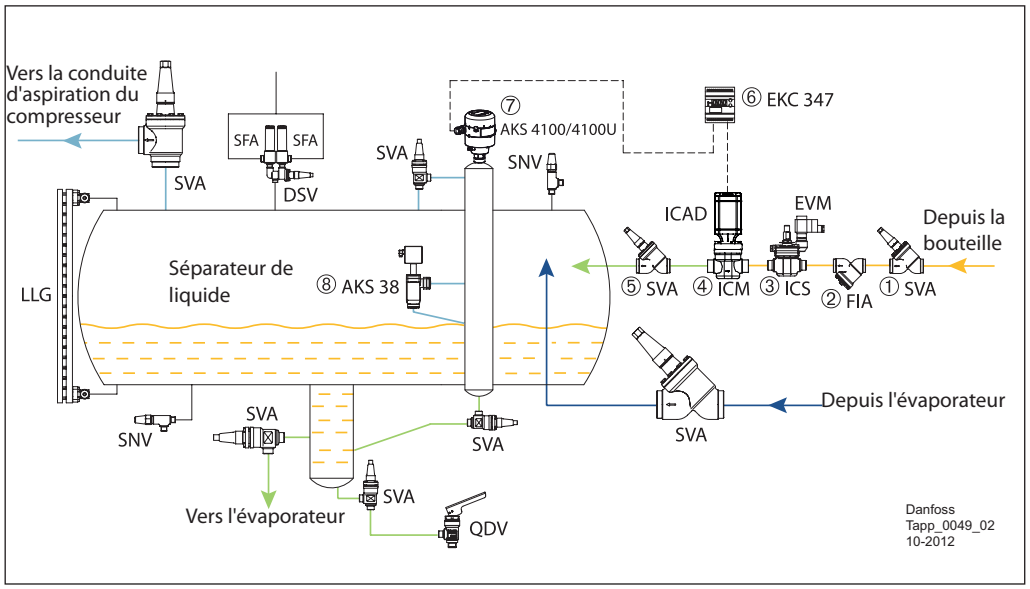
	PMFL 80 - Entre 1 et 500
Matériau	Fonte sphérique basse température
Fluides frigorigènes	R717, HFC, HCFC et CFC
Plage de température du fluide [°C]	-60 à +120
Pression de service max. [bar]	28
Pression d'essai max. [bar]	42
Capacité nominale [kW]*	139-13 900

* Conditions : R717, +5/32 °C, ΔT_{sub} = 4 K.

Exemple d'application 4.2.3 : solution électronique pour la régulation de niveau de liquide BP

- Fluide frigorigène liquide HP
- Mélange de fluide frigorigène liquide/vapeur
- Fluide frigorigène vapeur BP
- Fluide frigorigène liquide BP

① Vanne d'arrêt
② Filtre
③ Électrovanne
④ Vanne motorisée
⑤ Vanne d'arrêt
⑥ Régulateur
⑦ Transmetteur de niveau
⑧ Contacteur de niveau



Le transmetteur de niveau AKS 4100/4100U ⑦ surveille le niveau de liquide du séparateur et envoie un signal de niveau au régulateur de niveau de liquide EKC 347 ⑥, qui envoie à son tour un signal modulant à l'actuateur de la vanne motorisée ICM ④. La vanne motorisée ICM agit comme détendeur.

Le régulateur de niveau de liquide EKC 347 ⑥ dispose également de sorties relais pour les limites supérieure et inférieure et pour le niveau d'alarme. Il est toutefois recommandé d'utiliser un contacteur de niveau AKS 38 ⑧ comme alarme de niveau haut.

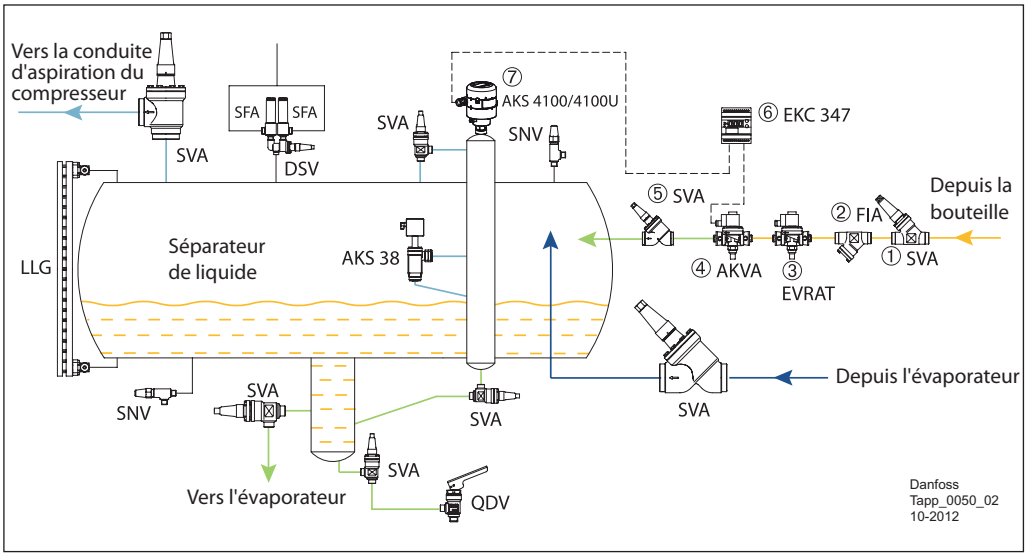
Les vannes ne sont pas toutes représentées. Ce schéma ne doit pas être utilisé à des fins de construction.

© Danfoss A/S (RC-MDP/MWA), 2014-10

Exemple d'application 4.2.4 : solution électronique pour la régulation de niveau de liquide BP

- Fluide frigorigène liquide HP
- Mélange de fluide frigorigène liquide/vapeur
- Fluide frigorigène vapeur BP
- Fluide frigorigène liquide BP

① Vanne d'arrêt
② Filtre
③ Électrovanne
④ Vanne de détente électrique
⑤ Vanne d'arrêt
⑥ Régulateur
⑦ Transmetteur de niveau



Cette solution est semblable à la solution 4.2.3. Toutefois, dans cet exemple, la vanne motorisée ICM est remplacée par une vanne de détente électrique AKVA. La servovanne EVRAT ③ est utilisée comme électrovanne supplémentaire pour garantir une fermeture totale pendant les cycles d'arrêt.

Le régulateur de niveau de liquide EKC 347 ⑥ dispose également de sorties relais pour les limites supérieures et inférieures et pour le niveau d'alarme. Il est toutefois recommandé d'utiliser un contrôleur de niveau AKS 38 comme alarme de niveau haut.

Données techniques

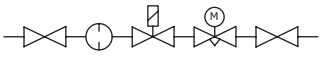
	AKVA
Matériau	AKVA 10 : acier inoxydable AKVA 15 : fonte AKVA 20 : fonte
Fluides frigorigènes	R717
Plage de température du fluide [°C]	AKVA 10 : -50 à +60 AKVA 15/20 : -40 à +60
Pression de service max. [bar]	42
DN [mm]	10 à 50
Puissance nominale [kW]*	4 à 3150

* Conditions : R717, +5/32 °C, ΔT_{sub} = 4 K.

Exemple d'application 4.2.5 : solution électronique pour la régulation de niveau de liquide BP

- Fluide frigorigène liquide HP
- Mélange de fluide frigorigène liquide/vapeur
- Fluide frigorigène vapeur BP
- Fluide frigorigène liquide BP

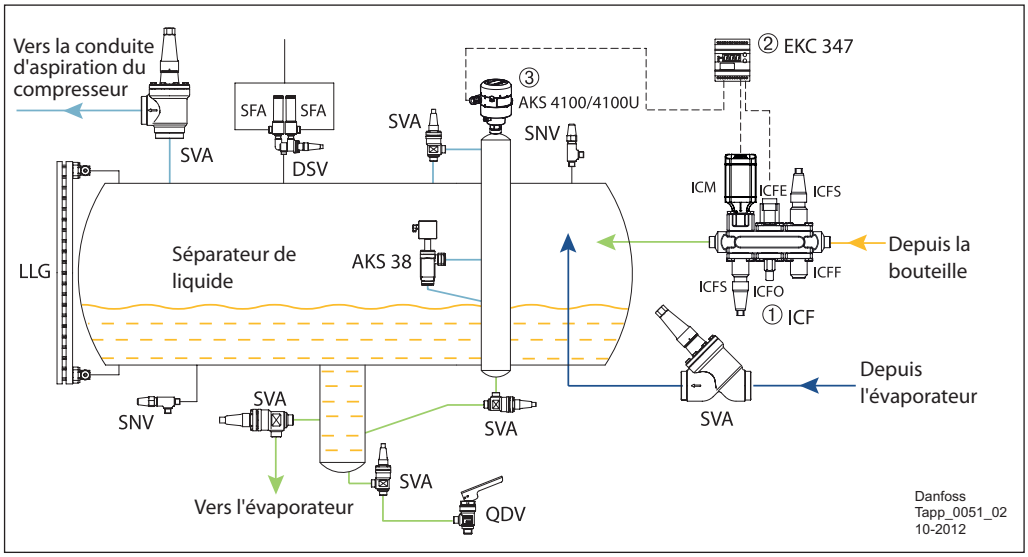
① Station de vannes ICF avec :



Vanne d'arrêt
Filtre
Électrovanne
Robinet manuel
Vanne motorisée
Vanne d'arrêt

② Régulateur
③ Transmetteur de niveau

Les vannes ne sont pas toutes représentées. Ce schéma ne doit pas être utilisé à des fins de construction.

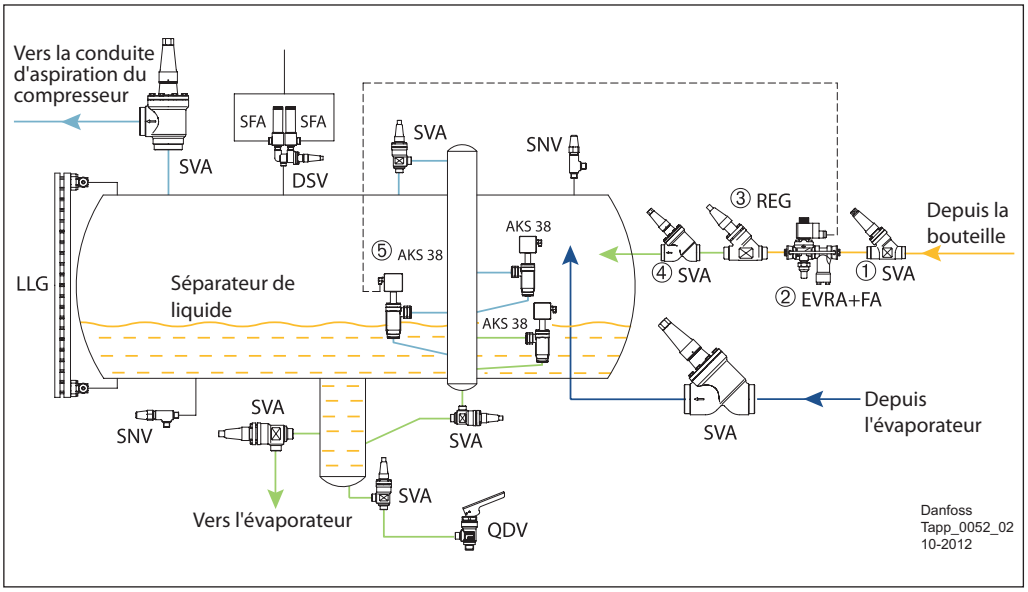


Danfoss peut fournir une solution de vanne ICF ① très compacte. Jusqu'à six modules différents peuvent être assemblés sur le même corps et sont faciles à installer.

Le module ICM agit comme un détendeur et le module ICFE est une électrovanne.
Cette solution fonctionne de la même façon que dans l'exemple 4.2.3. La solution ICF semblable à l'exemple 4.2.4 est également disponible. Consulter les brochures ICF pour plus d'information.

© Danfoss A/S (RC-MDP/MWA), 2014-10

Exemple d'application 4.2.6 : solution électronique pour la régulation de niveau de liquide BP



Fluide frigorigène liquide HP
Mélange de fluide frigorigène liquide/vapeur
Fluide frigorigène vapeur BP
Fluide frigorigène liquide BP

① Vanne d'arrêt
② Électrovanne
③ Vanne de régulation manuelle
④ Vanne d'arrêt
⑤ Contrôleur de niveau

Cette solution commande l'injection de liquide via la commande tout ou rien. Le contrôleur de niveau AKS 38 ⑤, commande la commutation de l'électrovanne EVRA ②, en fonction du niveau de liquide dans le séparateur. Le robinet régleur REG ③ agit comme un détendeur.

Données techniques

	AKS 38
Matériau	Boîtier : fonte chromate de zinc
Fluides frigorigènes	Tous les fluides frigorigènes courants ininflammables, notamment le R717
Plage de température du fluide [°C]	-50 à +65
Pression de service max. [bar]	28
Plage de mesure [mm]	12,5 à 50

	REG
Matériau	Acier spécial résistant au froid approuvé pour un fonctionnement à basse température
Fluides frigorigènes	Tous les fluides frigorigènes courants ininflammables, notamment le R717
Plage de température du fluide [°C]	-50 à +150
Pression de service max. [bar]	52
DN [mm]	6 à 65
Valeur K_v [m^3/h]	0,17 à 81,4 pour les vannes complètement ouvertes

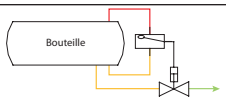
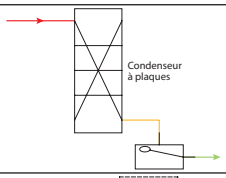
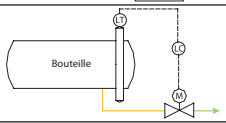
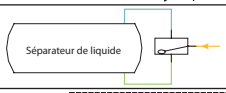
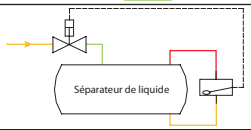
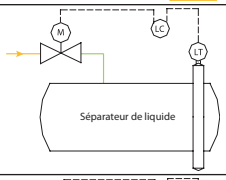
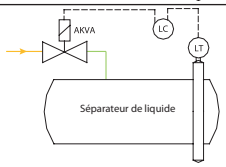
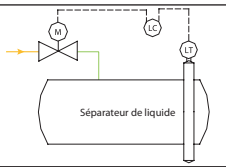
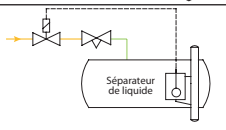
	EVRA
Fluides frigorigènes	R717, R22, R134a, R404a, R410a, R744, R502
Plage de température du fluide [°C]	-40 à +105
Pression de service max. [bar]	42
Capacité nominale [kW]*	21,8 à 2368
Valeur K_v [m^3/h]	0,23 à 25,0

* Conditions : R717, -10/+25 °C, Δp = 0,15 bar

Les vannes ne sont pas toutes représentées. Ce schéma ne doit pas être utilisé à des fins de construction.

© Danfoss A/S (RC-MDP/MWA), 2014-10

4.3 Résumé

Solution		Application	Avantages	Limites
Solution mécanique haute pression : SV1/3 + PMFH		S'applique aux systèmes à faibles charges de fluides frigorigènes tels que les refroidisseurs.	Mécanique pure. Large plage de puissance frigorifique.	Commande à distance impossible. La distance entre SV et PMFH est limitée à plusieurs mètres. Réponse un peu lente.
Solution mécanique haute pression : HFI		S'applique à des systèmes à faibles charges de fluides frigorigènes et à des condenseurs à plaques.	Mécanique pure. Solution simple. Convient tout particulièrement aux échangeurs de chaleur à plaques.	Refroidissement de l'huile par thermosiphon impossible.
Solution électronique haute pression : AKS 4100/4100U+ EKC 347 + ICM		S'applique aux systèmes à faibles charges de fluides frigorigènes tels que les refroidisseurs.	Flexible et compacte. Commande et surveillance à distance. Couvre une large plage de puissance frigorifique.	Interdit aux fluides frigorigènes inflammables.
Solution mécanique basse pression : SV4-6		Convient aux petits systèmes.	Mécanique pure. Solution simple et peu onéreuse.	Puissance frigorifique limitée.
Solution mécanique basse pression : SV 4-6 + PMFL		Convient tout particulièrement aux systèmes décentralisés tels que les entrepôts frigorifiques.	Mécanique pure. Large plage de puissance frigorifique.	Commande à distance impossible. La distance entre SV et PMFL est limitée à plusieurs mètres. Réponse un peu lente.
Solution électronique basse pression : AKS 4100/4100U + EKC 347 + ICM		Convient tout particulièrement aux systèmes décentralisés tels que les entrepôts frigorifiques.	Flexible et compacte. Commande et surveillance à distance. Couvre une large plage de puissance frigorifique.	Interdit aux fluides frigorigènes inflammables.
Solution électronique basse pression : AKS 4100/4100U + EKC 347 + AKVA		Convient tout particulièrement aux systèmes décentralisés tels que les entrepôts frigorifiques.	Flexible et compacte. Commande et surveillance à distance. Large plage de puissance frigorifique. Plus rapide que la vanne motorisée. Vanne à sécurité intégrée (NC).	Interdit aux fluides frigorigènes inflammables. Le système a besoin d'autoriser les pulsations.
Solution électronique basse pression : AKS 4100/4100U + EKC 347 + ICF		Convient tout particulièrement aux systèmes décentralisés tels que les entrepôts frigorifiques.	Flexible et compacte. Commande et surveillance à distance. Couvre une large plage de puissance frigorifique. Facile à installer.	Interdit aux fluides frigorigènes inflammables.
Solution électronique basse pression : AKS 38 + EVRA + REG		Convient tout particulièrement aux systèmes décentralisés tels que les entrepôts frigorifiques.	Simple. Peu onéreuse.	Seulement 40 mm pour le réglage du niveau. Dépend fortement du réglage de la vanne REG. Ne convient pas aux systèmes présentant d'importantes fluctuations de puissance frigorifique.

4.4 Documents de référence

Pour obtenir une liste de tous les documents de référence dans l'ordre alphabétique, veuillez vous reporter à la page 146

Fiche technique/manuel

Type	Réf. du document
AKS 38	PD.GD0.A
AKS 4100/ 4100U	PD.SC0.C
AKVA	PD.VA1.B
EKC 347	PS.G00.A
EVRA(T)	PD.BM0.B
ICM	PD.HT0.B

Type	Réf. du document
PMFH/L	PD.GE0.C
ICF	PD.FT1.A
REG	PD.KM1.A
SV 1-3	PD.GE0.B
SV 4-6	PD.GE0.D

Instruction produit

Type	Réf. du document
AKS 38	PI.GD0.A
AKS 4100/ 4100U	PI.SC0.D PI.SC0.E
AKVA	PI.VA1.C / PI.VA1.B
EKC 347	PI.RP0.A
EVRA(T)	PI.BN0.L
ICM 20-65	PI.HT0.A

Type	Réf. du document
ICM 100-150	PI.HT0.B
PMFH/L	PI.GE0.D / PI.GE0.A
ICF	PI.FT0.C
REG	PI.KM1.A
SV 1-3	PI.GE0.C
SV 4-6	PI.GE0.B

Pour télécharger la dernière version de la documentation, visitez le site Internet de Danfoss.

© Danfoss A/S (RC-MDP/MWA), 2014-10

5. Régulations de l'évaporateur

L'évaporateur correspond à la partie du système de réfrigération où la chaleur est transférée du fluide que vous voulez refroidir (l'air, la saumure ou le produit directement) vers le fluide frigorigène.

Par conséquent, la principale fonction du système de régulation de l'évaporateur est d'atteindre la température souhaitée pour le fluide. Le système de régulation doit assurer un fonctionnement performant et sûr.

De façon plus spécifique, les méthodes de régulation ci-après peuvent être nécessaires pour les évaporateurs :

- Les sections 5.1 et 5.2 relatives à la régulation de l'alimentation en liquide décrivent deux types différents de détente directe (DX) pour l'alimentation en liquide et la circulation par pompe.
- Le dégivrage (sections 5.3 et 5.4), nécessaire pour les refroidisseurs d'air fonctionnant à des températures inférieures à 0 °C.
- La régulation multitempératures (section 5.5) pour les évaporateurs qui ont besoin de fonctionner à de faibles températures.
- La régulation par température du fluide (section 5.6) lorsque cette dernière doit être maintenue à un niveau constant de façon très précise.

En ce qui concerne la régulation par température du fluide et le dégivrage, les évaporateurs à détente directe (DX) et les évaporateurs à circulation par pompe sont évalués séparément car il existe des différences concernant les systèmes de régulation.

5.1 Régulation par détente directe

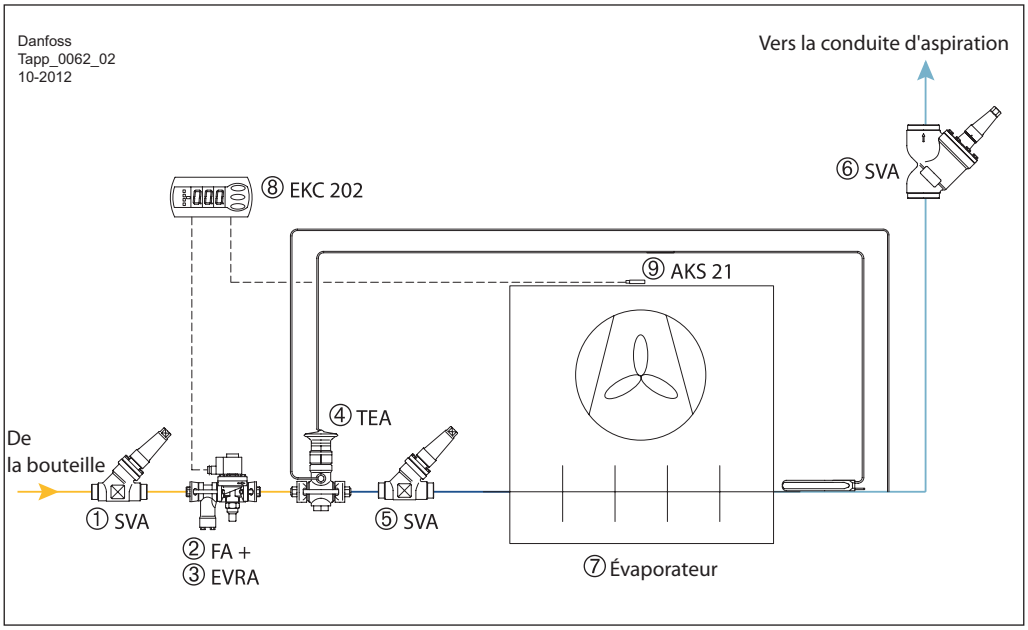
Pour définir l'alimentation en liquide des évaporateurs à détente directe, les conditions suivantes doivent être remplies :

- Le fluide frigorigène liquide est injecté dans l'évaporateur où il est entièrement évaporé. Ceci est nécessaire pour protéger le compresseur contre les coups de liquide.
- La température du medium refroidi doit être maintenue dans la plage souhaitée.

L'injection de liquide est régulée par un détendeur piloté en fonction de la surchauffe des vapeurs à la sortie de l'évaporateur. Ce détendeur peut être un détendeur thermostatique ou un détendeur électronique.

La régulation par température est normalement obtenue via la commande tout ou rien qui active et coupe l'alimentation en liquide vers l'évaporateur en fonction de la température du fluide.

Exemple d'application 5.1.1 : évaporateur DX, détendeur thermostatique



Fluide frigorigène liquide HP
Mélange de fluide frigorigène liquide/vapeur
Fluide frigorigène vapeur BP

① Vanne d'arrêt - Entrée liquide
② Filtre
③ Électrovanne
④ Détendeur thermostatique
⑤ Vanne d'arrêt - Entrée évaporateur
⑥ Vanne d'arrêt - Conduite d'aspiration
⑦ Évaporateur
⑧ Thermostat numérique
⑨ Sonde de température

L'exemple d'application 5.1.1 présente une installation type pour un évaporateur DX sans dégivrage par gaz chauds.

L'injection de liquide est commandée par un détendeur thermostatique TEA ④, qui maintient la surchauffe du fluide frigorigène à la sortie de l'évaporateur à un niveau constant. Le TEA a été conçu pour l'ammoniac. Danfoss fournit également des détendeurs thermostatiques pour les fluides frigorigènes fluorés.

La température du fluide est régulée par le thermostat numérique EKC 202 ⑧, qui commande la commutation de l'électrovanne EVRA ③ en fonction du signal de température du fluide à partir de la sonde de température PT 1000 AKS 21 ⑨.

Cette solution peut également être utilisée pour les évaporateurs DX avec dégivrage naturel ou électrique.

Le dégivrage naturel est obtenu en arrêtant le débit de fluide frigorigène vers l'évaporateur et en maintenant le ventilateur en fonctionnement. Le dégivrage électrique est obtenu en arrêtant le débit de fluide frigorigène vers l'évaporateur et le ventilateur et en activant un chauffage électrique placées dans le bloc d'ailettes de l'évaporateur.

Régulateur d'évaporateur EKC 202
Le thermostat numérique régule toutes les fonctions de l'évaporateur notamment le thermostat, le ventilateur, le dégivrage et les alarmes.

Pour plus détails, veuillez vous reporter au manuel de l'EKC 202 de Danfoss.

Données techniques

	Détendeur thermostatique - TEA
Fluides frigorigènes	R717
Plage de température d'évaporation [°C]	-50 à 30
Temp. max. du bulbe [°C]	100
Pression de service max. [bar]	19
Capacité nominale [kW]*	3,5 à 295

* Conditions : –15 °C/+32 °C, ΔT_{sub} = 4 °C

	Électrovanne - EVRA(T)
Fluides frigorigènes	R717, R22, R134a, R404a, R410a, R744, R502
Plage de température du fluide [°C]	-40 à +105
Pression de service max. [bar]	42
Capacité nominale [kW]*	21,8 à 2368
Valeur K_v [m^3/h]	0,23 à 25,0

* Conditions : R717, -10/+25 °C, Δp = 0,15 bar

	Filtre - FA
Fluides frigorigènes	Fluides frigorigènes à l'ammoniac et fluorés
Plage de température du fluide [°C]	-50 à +140
Pression de service max. [bar]	28
DN [mm]	15/20
Insert de filtre	Conception en acier inoxydable 150 µ
Valeur K_v [m^3/h]	3,3/7,0

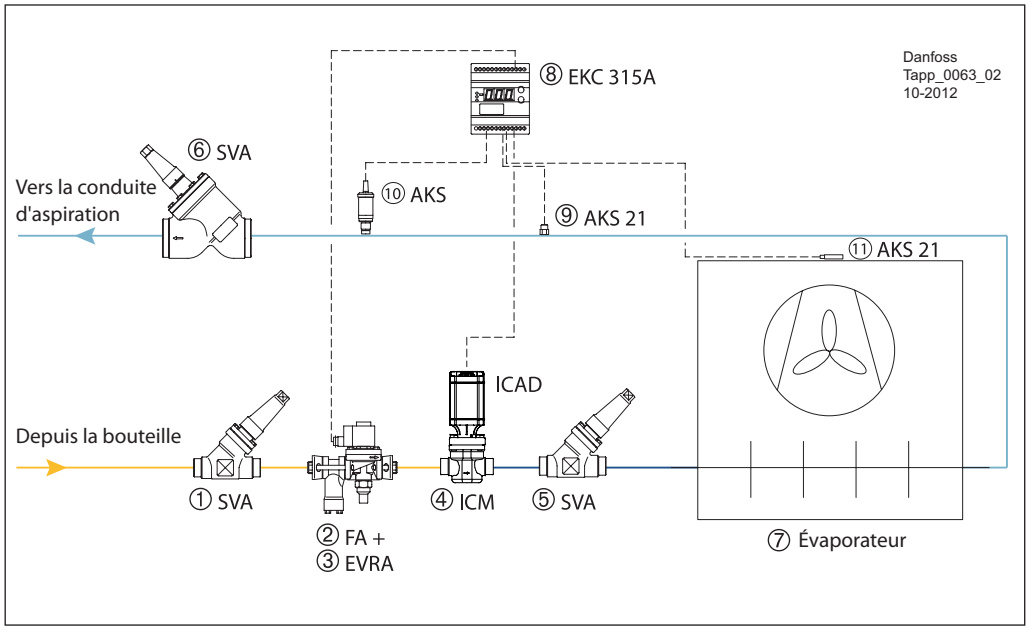
Les vannes ne sont pas toutes représentées. Ce schéma ne doit pas être utilisé à des fins de construction.

© Danfoss A/S (RC-MDP/MWA), 2014-10

Exemple d'application 5.1.2 : évaporateur DX, détente électronique

Fluide frigorigène liquide HP
Mélange de fluide frigorigène liquide/vapeur
Fluide frigorigène vapeur BP

① Vanne d'arrêt - Entrée liquide
② Filtre
③ Électrovanne
④ Détendeur électronique
⑤ Vanne d'arrêt - Entrée évaporateur
⑥ Vanne d'arrêt - Conduite d'aspiration
⑦ Évaporateur
⑧ Régulateur
⑨ Sonde de température
⑩ Transmetteur de pression
⑪ Sonde de température



L'exemple d'application 5.1.2 présente une installation type pour un évaporateur DX électronique sans dégivrage par gaz chauds.

L'injection de liquide est commandée par la vanne motorisée ICM ④, elle-même commandée par le régulateur d'évaporateur de type EKC 315A ⑧. Le régulateur EKC 315A mesure la surchauffe au moyen du transmetteur de pression AKS ⑩ et de la sonde de température AKS 21 ⑨ à la sortie de l'évaporateur et contrôle l'ouverture de l'ICM pour maintenir la surchauffe au niveau optimal.

En même temps, le régulateur EKC 315A fonctionne comme un thermostat numérique, lequel contrôle la commutation de l'électrovanne EVRA ③ en fonction du signal de température du fluide à partir de la sonde de température AKS 21 ⑪.

Contrairement à la solution 5.1.1, cette solution fait fonctionner l'évaporateur à une surchauffe optimisée et s'adapte constamment au degré d'ouverture de la vanne d'injection afin de garantir une puissance frigorifique et une efficacité maximum. La surface de l'évaporateur est entièrement utilisée. Cette solution offre par ailleurs une grande précision de régulation par température du fluide.

Régulateur d'évaporateur EKC 315A
Le régulateur numérique régule toutes les fonctions de l'évaporateur notamment le thermostat, le détendeur et les alarmes.

Pour plus détails, veuillez vous reporter au manuel de l'EKC 315A de Danfoss.

Données techniques

	Vanne motorisée - ICM pour détente
Matériau	Corps : acier basse température
Fluides frigorigènes	Tous les fluides frigorigènes courants, notamment R717 et R744
Plage de température du fluide [°C]	-60 à 120
Pression de service max. [bar]	52
DN [mm]	20 à 80
Puissance nominale [kW]*	73 à 22700

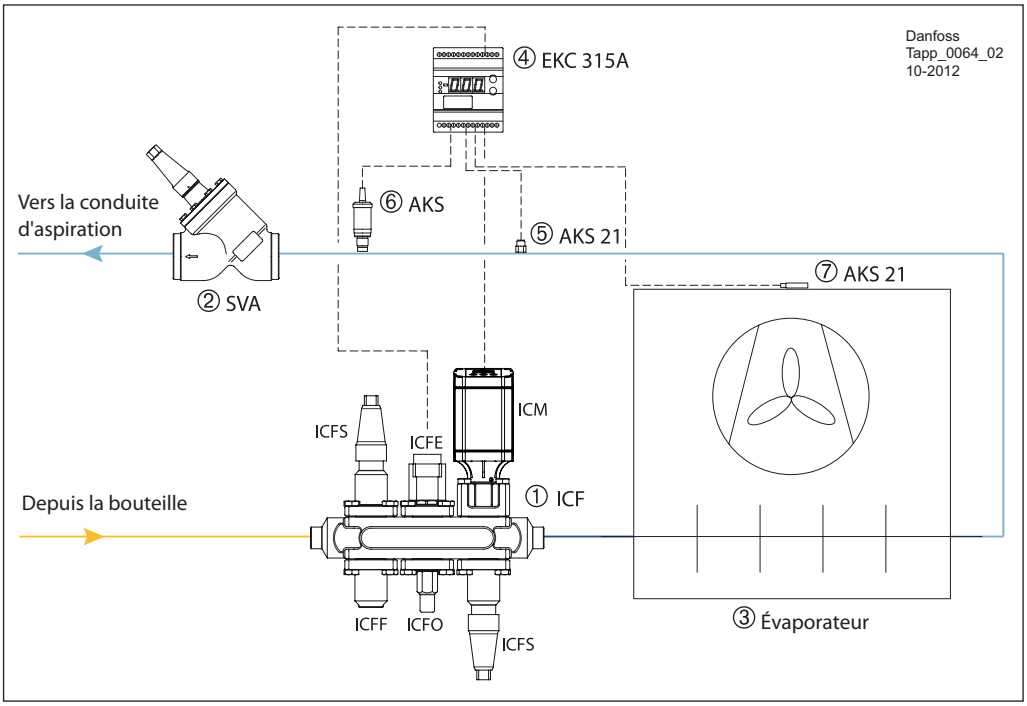
* Conditions : R717, T_e = –10 °C, Δp = 8,0 bar, ΔT_{sub} = 4 K ;

	Transmetteur de pression - AKS 3000	Transmetteur de pression - AKS 32
Fluides frigorigènes	Tous les fluides frigorigènes, y compris le R717	Tous les fluides frigorigènes, y compris le R717
Plage de fonctionnement [bar]	0 à 60 (en fonction de la plage)	–1 à 39 (en fonction de la plage)
Pression de service max. PB [bar]	100 (en fonction de la plage de fonctionnement)	60 (en fonction de la plage de fonctionnement)
Plage de température de fonctionnement [°C]	-40 à 80	-40 à 85
Plage de température compensée [°C]	BP : -30 à +40/HP : 0 à +80	BP : -30 à +40/HP : 0 à +80
Signal de sortie nominal	4 à 20 mA	1 à 5 V ou 0 à 10 V

Les vannes ne sont pas toutes représentées. Ce schéma ne doit pas être utilisé à des fins de construction.

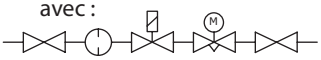
© Danfoss A/S (RC-MDP/MWA), 2014-10

Exemple d'application 5.1.3 : évaporateur DX, détente électronique avec solution de régulation ICF



- Fluide frigorigène liquide HP
- Mélange de fluide frigorigène liquide/vapeur
- Fluide frigorigène vapeur BP

① Solution de régulation ICF avec :



- Vanne d'arrêt - Entrée liquide
- Filtre
- Électrovanne
- Robinet manuel
- Vanne de détente électrique ICM
- Vanne d'arrêt - Entrée évaporateur

② Vanne d'arrêt - Conduite d'aspiration

③ Évaporateur

④ Régulateur

⑤ Sonde de température

⑥ Transmetteur de pression

⑦ Sonde de température

L'exemple d'application 5.1.3 présente la nouvelle solution de régulation ICF pour un évaporateur DX électronique sans dégivrage par gaz chauds similaire à l'exemple 5.1.2.

L'ICF peut recevoir jusqu'à six modules différents assemblés sur le même corps, ce qui constitue une solution de régulation compacte et facile à installer.

L'injection de liquide est commandée par la vanne motorisée ICM, elle-même commandée par le régulateur d'évaporateur de type EKC 315A ④. Le régulateur EKC 315A mesure la surchauffe au moyen du transmetteur de pression AKS ⑥ et de la sonde de température AKS 21 ⑤ à la sortie de l'évaporateur et contrôle l'ouverture de l'ICM pour maintenir la surchauffe au niveau optimal.

En même temps, le régulateur EKC 315A fonctionne comme un thermostat numérique, lequel commande la commutation de l'électrovanne ICFE en fonction du signal de température du fluide depuis la sonde de température AKS 21 ⑦.

Comme dans l'exemple 5.1.1, cette solution fait fonctionner l'évaporateur à une surchauffe optimisée et s'adapte constamment au degré d'ouverture de la vanne d'injection afin de garantir une capacité et une efficacité maximum. La surface de l'évaporateur est entièrement utilisée. Cette solution offre par ailleurs une grande précision de régulation par température du fluide.

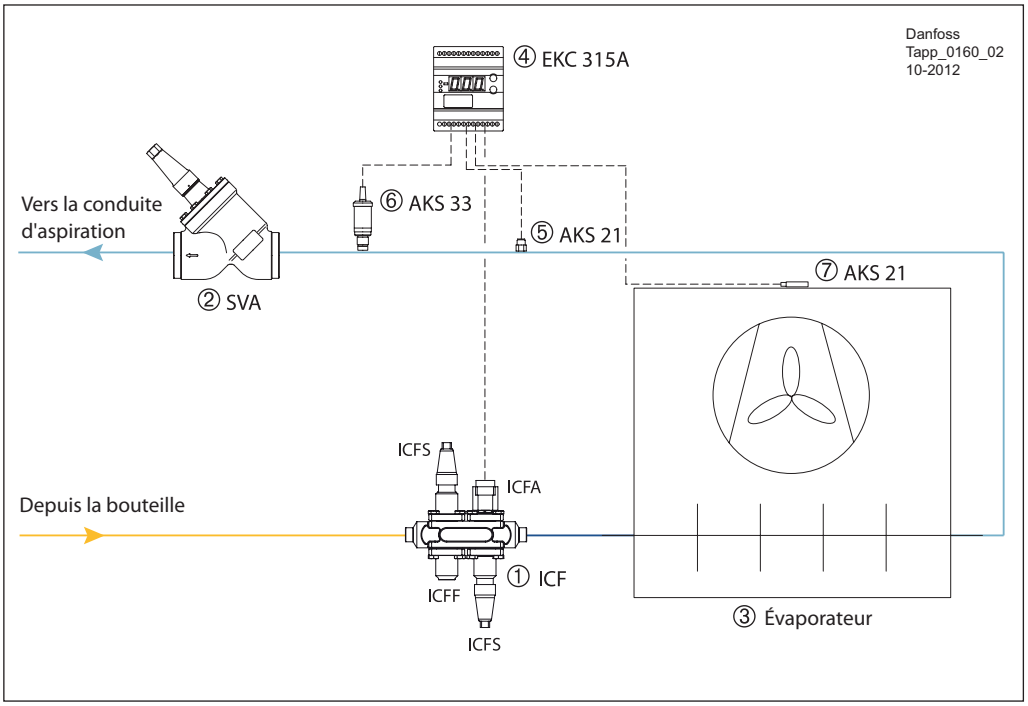
Régulateur d'évaporateur EKC 315A
Le régulateur numérique régule toutes les fonctions de l'évaporateur notamment le thermostat, le détendeur et les alarmes.

Pour plus détails, veuillez vous reporter au manuel de l'EKC 315A de Danfoss.

Les vannes ne sont pas toutes représentées. Ce schéma ne doit pas être utilisé à des fins de construction.

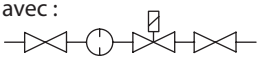
© Danfoss A/S (RC-MDP/MWA), 2014-10

Exemple d'application 5.1.4 : évaporateur DX, détente électronique avec solution de régulation ICF



Fluide frigorigène liquide HP
Mélange de fluide frigorigène liquide/vapeur
Fluide frigorigène vapeur BP

① Solution de régulation ICF avec :



Vanne d'arrêt - Entrée liquide
Filtre
Détendeur
Vanne d'arrêt - Entrée évaporateur

② Vanne d'arrêt - Conduite d'aspiration
③ Évaporateur
④ Régulateur
⑤ Sonde de température
⑥ Transmetteur de pression
⑦ Sonde de température

L'exemple d'application présente une solution de régulation ICF pour un évaporateur DX électronique sans dégivrage par gaz chauds.

L'ICF peut recevoir jusqu'à six modules différents assemblés sur le même corps, ce qui constitue une solution de régulation compacte et facile à installer.

L'injection de liquide est commandée par le détendeur électronique ICFA, lequel est commandé par le régulateur d'évaporateur EKC 315A④. Le régulateur EKC 315A mesure la surchauffe au moyen du transmetteur de pression AKS 33⑥ et de la sonde de température AKS 21 ⑤ à la sortie de l'évaporateur et contrôle l'ouverture du détendeur ICFA pour maintenir la surchauffe à un niveau optimal.

Cette solution fait fonctionner l'évaporateur à une surchauffe optimisée et s'adapte constamment au degré d'ouverture de la vanne d'injection afin de garantir une puissance frigorifique et une efficacité maximum. La surface de l'évaporateur est entièrement utilisée. Cette solution offre par ailleurs une grande précision de régulation par température du fluide.

Régulateur d'évaporateur EKC 315A
Le régulateur numérique régule toutes les fonctions de l'évaporateur notamment le thermostat, le détendeur et les alarmes.

Pour plus détails, veuillez vous reporter au manuel de l'EKC 315A de Danfoss.

La solution de régulation ICF présentée ici peut également être remplacée par une solution de vanne conventionnelle (vanne d'arrêt SVA, filtre FA/FIA, détendeur électronique AKVA et vanne d'arrêt SVA). Le régulateur EKC 315A peut être utilisé avec l'ICF et avec une solution de vanne conventionnelle.

Les vannes ne sont pas toutes représentées. Ce schéma ne doit pas être utilisé à des fins de construction.

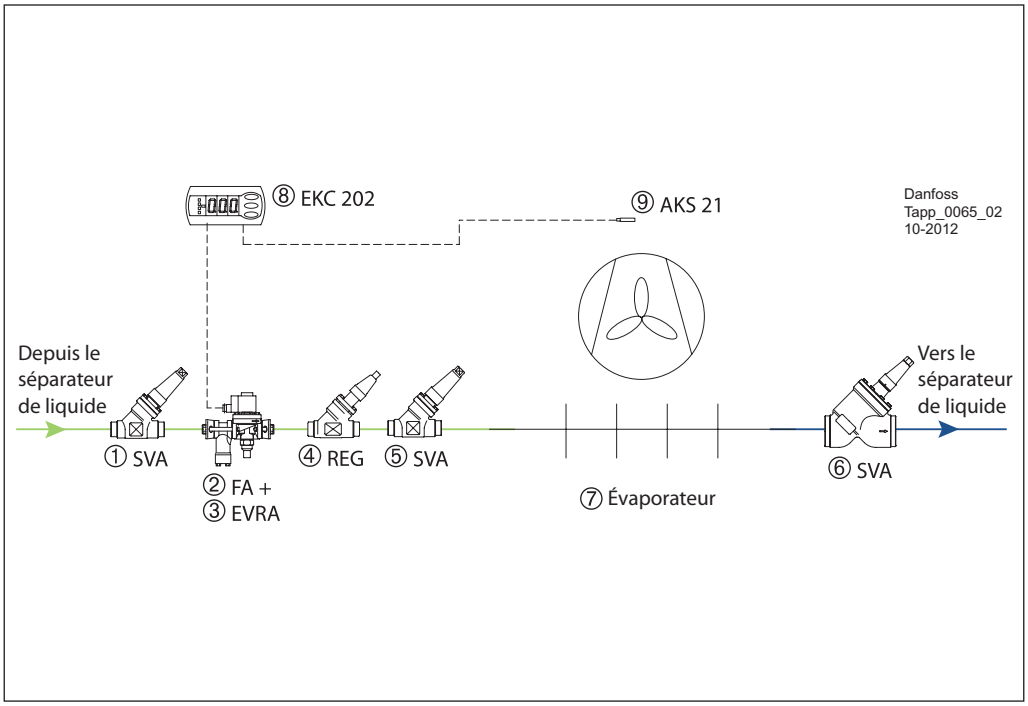
© Danfoss A/S (RC-MDP/MWA), 2014-10

5.2 Régulation de la circulation par pompe

La régulation des systèmes à circulation par pompe à l'ammoniac est plus simple que celle des systèmes DX à l'ammoniac car un séparateur de pompe bien dimensionné protège les compresseurs des coups de liquide.

Le séparateur de pompe garantit que seule de la vapeur de fluide frigorigène « sèche » retourne vers les compresseurs.
La régulation de l'évaporation est également simplifiée car seule une commande de liquide tout ou rien basique est nécessaire vers les évaporateurs.

Exemple d'application 5.2.1 : évaporateur à circulation par pompe, sans dégivrage par gaz chauds



Mélange de fluide frigorigène liquide/vapeur
Fluide frigorigène liquide BP

① Vanne d'arrêt - Entrée liquide
② Filtre
③ Électrovanne
⑥ Détendeur manuel
⑤ Vanne d'arrêt - Entrée évaporateur
⑥ Vanne d'arrêt - Conduite d'aspiration
⑦ Évaporateur
⑧ Thermostat numérique
⑨ Sonde de température

L'exemple d'application 5.2.1 présente une installation type pour un évaporateur à circulation par pompe sans dégivrage par gaz chauds et peut également s'appliquer aux évaporateurs à circulation par pompe avec dégivrage naturel ou électrique.

La température du fluide est maintenue au niveau souhaité par le thermostat numérique EKC 202 ⑧, qui commande la commutation de l'électrovanne EVRA ③ en fonction du signal de température du fluide à partir de la sonde de température PT 1000 AKS 21 ⑨.

Le débit de fluide frigorigène injecté dans l'évaporateur est régulé par l'ouverture de la vanne de régulation manuelle REG ④. Son réglage doit être ajusté en fonction des besoins. Un degré d'ouverture trop important entraîne une utilisation fréquente de l'électrovanne et par conséquent son usure. S'il est trop faible, il prive l'évaporateur de fluide frigorigène liquide.

Régulateur d'évaporateur EKC 202
Le thermostat numérique régule toutes les fonctions de l'évaporateur notamment le thermostat, le ventilateur, le dégivrage et les alarmes.

Pour plus détails, veuillez vous reporter au manuel de l'EKC 202 de Danfoss.

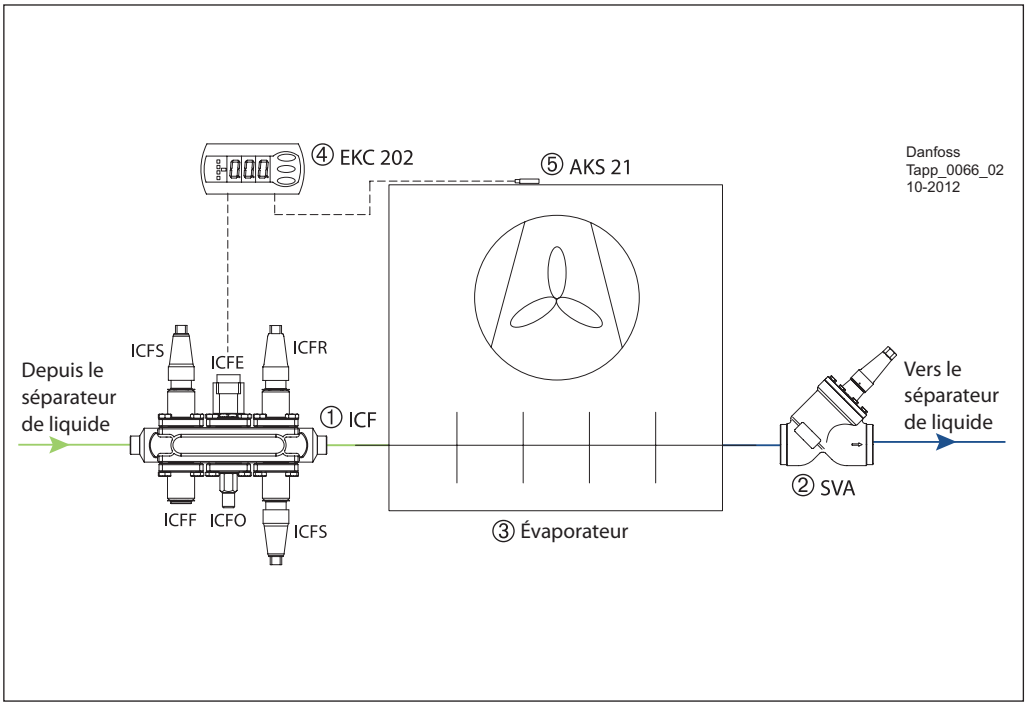
Données techniques

	REG
Matériau	Acier spécial résistant au froid approuvé pour un fonctionnement à basse température
Fluides frigorigènes	Tous les fluides frigorigènes courants ininflammables, notamment le R717
Plage de température du fluide [°C]	-50 à +150
Pression de service max. [bar]	52
DN [mm]	6 à 65
Valeur K_v [m^3/h]	0,17 à 81,4 pour les vannes complètement ouvertes

Les vannes ne sont pas toutes représentées.
Ce schéma ne doit pas être utilisé à des fins de construction.

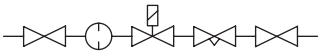
© Danfoss A/S (RC-MDP/MWA), 2014-10

Exemple d'application 5.2.2 : évaporateur à circulation par pompe, solution de régulation de l'ICF, sans dégivrage par gaz chauds



Mélange de fluide frigorigène liquide/vapeur
Fluide frigorigène liquide BP

① Solution de régulation ICF avec :



Vanne d'arrêt - Entrée liquide
Filtre
Électrovanne
Robinet manuel
Détendeur manuel
Vanne d'arrêt - Entrée évaporateur

② Vanne d'arrêt - Conduite d'aspiration
③ Évaporateur
④ Thermostat numérique
⑤ Sonde de température

L'exemple d'application 5.2.2 comprend la nouvelle solution de régulation ICF qui fonctionne de la même façon que dans l'exemple 5.2.1 et peut également s'appliquer aux évaporateurs à circulation par pompe avec dégivrage naturel ou électrique. L'ICF peut recevoir jusqu'à six modules différents assemblés sur le même corps, ce qui constitue une solution de régulation compacte et facile à installer.

La température du fluide est maintenue au niveau souhaité avec le thermostat numérique EKC 202 ④, lequel commande la commutation de l'électrovanne ICFE dans l'ICF en fonction du signal de température du fluide à partir de la sonde de température PT 1000 AKS 21 ⑤.

Le débit de fluide frigorigène injecté dans l'évaporateur est réglé par l'ouverture de la vanne de régulation manuelle ICFR. Son réglage doit être ajusté en fonction des besoins.
Un degré d'ouverture trop important entraîne une utilisation fréquente de l'électrovanne et par conséquent son usure. S'il est trop faible, il prive l'évaporateur de fluide frigorigène liquide.

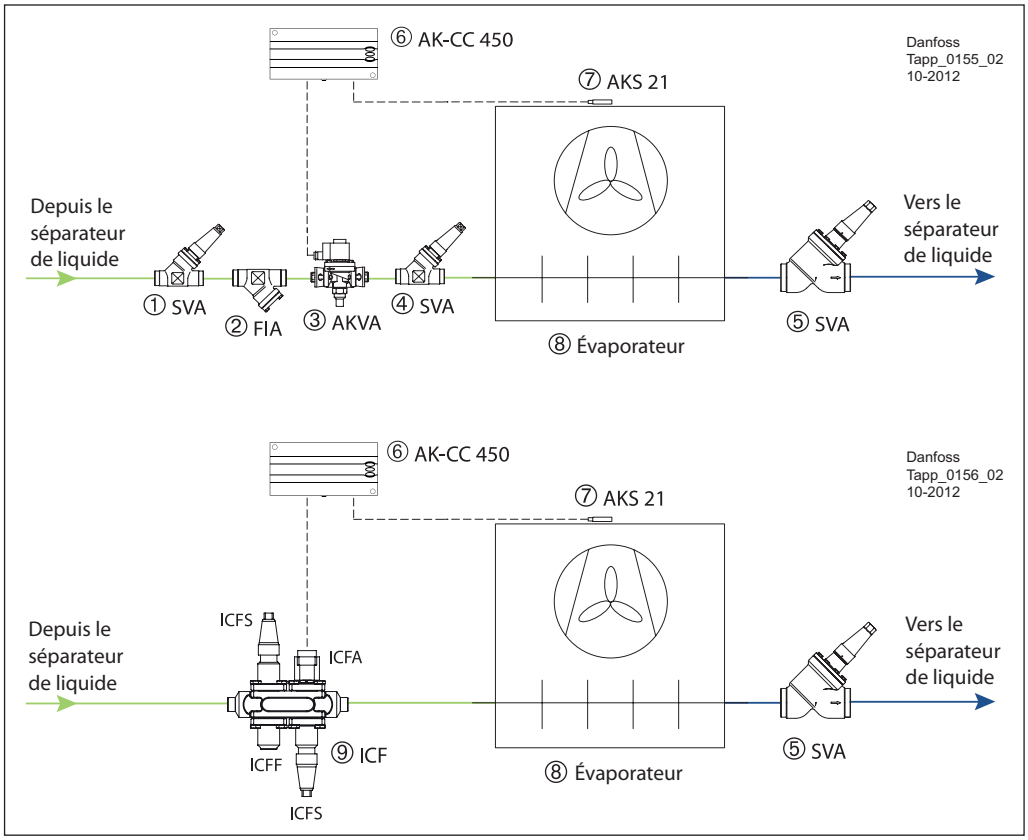
Régulateur d'évaporateur EKC 202
Le thermostat numérique régule toutes les fonctions de l'évaporateur notamment le thermostat, le ventilateur, le dégivrage et les alarmes.

Pour plus détails, veuillez vous reporter au manuel de l'EKC 202 de Danfoss.

Les vannes ne sont pas toutes représentées. Ce schéma ne doit pas être utilisé à des fins de construction.

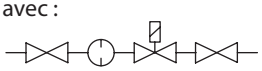
© Danfoss A/S (RC-MDP/MWA), 2014-10

Application 5.2.3
Injection de liquide dans un refroidisseur d'air dans un système noyé à l'aide d'une vanne à modulation d'impulsions en durée AKVA/ ICFA avec dégivrage électrique ou par saumure.



Mélange de fluide frigorigène liquide/vapeur
Fluide frigorigène liquide BP

① Vanne d'arrêt - Ligne liquide
② Filtre
③ Vanne de détente électrique
④ Vanne d'arrêt - Entrée évaporateur
⑤ Vanne d'arrêt - Conduite d'aspiration
⑥ Thermostat numérique
⑦ Sonde de température
⑧ Évaporateur
⑨ Solution de régulation ICF avec :



Vanne d'arrêt
Filtre
Détendeur électronique
Vanne d'arrêt

Dans un système noyé traditionnel, l'injection de liquide est contrôlée par un thermostat qui mesure constamment la température de l'air.

L'électrovanne est ouverte pendant plusieurs minutes au moins, jusqu'à ce que la température de l'air atteigne le point de consigne. Pendant l'injection, la masse du débit de fluide frigorigène est constante.

Il s'agit là d'un moyen très simple pour contrôler la température de l'air mais les variations de température entraînées par le thermostat peuvent parfois avoir des effets secondaires indésirables dans certaines applications, tels que la déshumidification ou une régulation imprécise.

Au lieu de procéder à une injection périodique, comme décrit plus haut, il est également possible d'adapter en continu l'injection de liquide en fonction des besoins réels. Ceci peut être effectué à l'aide d'une vanne à modulation d'impulsions en durée AKVA ③ ou d'une ICF ⑨ avec module d'électrovanne ICFA.

La température de l'air est constamment mesurée et comparée à la température de référence. Lorsque la température de l'air atteint le point de consigne, l'ouverture de la vanne AKVA ③ est réduite. Ceci diminue le degré d'ouverture durant le cycle, ce qui réduit la puissance frigorifique. La durée d'un cycle peut être réglée sur 30 à 900 secondes.

Dans un système noyé, cela signifie que le débit moyen de fluide frigorigène est constamment régulé et adapté à la demande. Lorsque la quantité de fluide frigorigène injectée diminue, le débit de circulation diminue.

Il en résulte l'évaporation d'une plus grande quantité de fluide frigorigène, ce qui crée une certaine quantité de gaz surchauffé dans le refroidisseur d'air.

Ceci a pour effet direct de réduire la température de surface moyenne du refroidisseur d'air, ce qui entraîne une réduction de la température entre le fluide frigorigène et l'air.

Cette approche de l'injection de liquide dans un système noyé est très polyvalente. La quantité de liquide injecté peut être régulée avec exactitude, ce qui améliore la précision et le rendement énergétique du système.

Pour plus détails, veuillez vous reporter au manuel de l'AK-CC 450 de Danfoss.

Les vannes ne sont pas toutes représentées.
Ce schéma ne doit pas être utilisé à des fins de construction.

© Danfoss A/S (RC-MDP/MWA), 2014-10

5.3 Dégivrage par gaz chauds pour les refroidisseurs d'air DX

Sur des applications où le refroidisseur d'air fonctionne à des températures d'évaporation inférieures à 0 °C, du givre se forme sur la surface de l'échangeur de chaleur et son épaisseur augmente avec le temps. La formation de givre entraîne une baisse de performance de l'évaporateur en réduisant le coefficient de transfert de chaleur et la circulation d'air. Ces refroidisseurs d'air doivent donc être dégivrés régulièrement afin de maintenir leur performance au niveau souhaité.

Voici différents types de dégivrage couramment utilisés dans la réfrigération industrielle :

- Dégivrage naturel
- Dégivrage électrique
- Dégivrage par gaz chauds

Le dégivrage naturel est obtenu en arrêtant le débit de fluide frigorigène vers l'évaporateur et en maintenant le ventilateur en fonctionnement. Ce dégivrage peut uniquement être utilisé pour des températures ambiantes supérieures à 0 °C. La durée de dégivrage est longue.

Le dégivrage électrique est obtenu en arrêtant le ventilateur et le débit de fluide frigorigène vers l'évaporateur et en alimentant des résistances électriques placées dans le bloc de l'évaporateur. Grâce à une fonction de minuterie et/ou à un thermostat de fin de dégivrage, le dégivrage peut se terminer lorsque la surface de l'échangeur de chaleur est complètement dégivrée. Cette solution est facile à installer et l'investissement de départ est faible mais les frais de fonctionnement (électricité) sont bien supérieurs à ceux d'autres solutions.

Pour les systèmes à dégivrage par gaz chauds, du gaz chaud est injecté dans l'évaporateur pour dégivrer la surface. Cette solution requiert plus de commandes automatiques que d'autres systèmes mais présente des frais de fonctionnement plus réduits. L'injection de gaz chauds dans l'évaporateur permet par ailleurs l'élimination et le retour d'huile. Pour garantir la puissance des gaz chauds, cette solution doit être utilisée uniquement sur des systèmes de réfrigération avec trois évaporateurs ou plus. Seulement un tiers de la puissance totale de l'évaporateur peut être dédiée au dégivrage à un moment donné.

© Danfoss A/S (RC-MDP/MWA), 2014-10

Exemple d'application 5.3.1 : évaporateur DX avec système de dégivrage par gaz chauds

- Fluide frigorigène vapeur HP
- Réfrigérant liquide HP
- Mélange de fluide frigorigène liquide/vapeur
- Fluide frigorigène vapeur BP

Ligne liquide

① Vanne d'arrêt - Entrée liquide
② Filtre
③ Électrovanne
④ Détendeur
⑤ Vanne d'arrêt - Entrée évaporateur

Conduite d'aspiration

⑥ Vanne d'arrêt - Entrée évaporateur
⑦ Électrovanne à deux temps
⑧ Vanne d'arrêt - Conduite d'aspiration

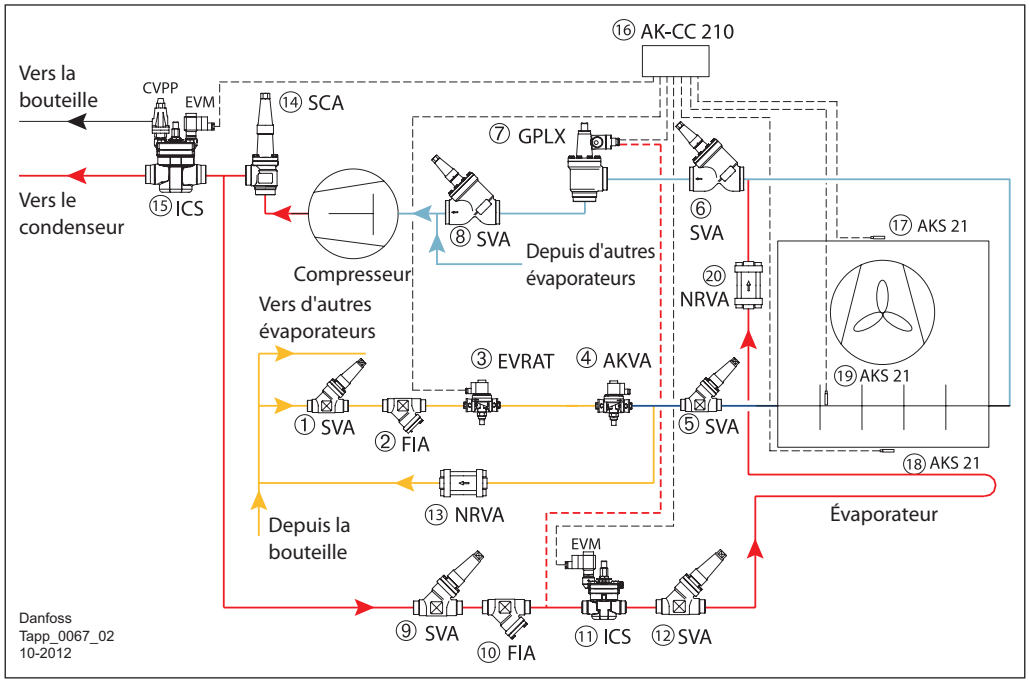
Conduite de gaz chauds

⑨ Vanne d'arrêt
⑩ Filtre
⑪ Électrovanne
⑫ Vanne d'arrêt
⑬ Clapet antiretour

Conduite de refoulement

⑭ Vanne clapet sur la conduite de refoulement
⑮ Régulateur de pression différentielle
⑯ Régulateur
⑰ Sondes de température
⑱ Sondes de température
⑲ Sondes de température
⑳ Clapet antiretour

Les vannes ne sont pas toutes représentées. Ce schéma ne doit pas être utilisé à des fins de construction.



L'exemple d'application présenté ci-dessus est un système d'évaporateur DX avec dégivrage par gaz chauds. Cette méthode de dégivrage n'est pas courante et elle l'est encore moins pour les systèmes d'évaporation à l'ammoniac DX. Elle convient davantage aux systèmes fluorés.

Cycle de réfrigération

L'électrovanne EVRAT ③ de la ligne liquide est maintenue ouverte. L'injection de liquide est commandée par le détendeur électronique AKVA ④.

L'électrovanne GPLX ⑦ de la conduite d'aspiration est maintenue ouverte et l'électrovanne de dégivrage ICS ⑪ est maintenue fermée par son électrovanne pilote EVM. Le clapet antiretour NRVA ⑳ empêche la formation de glace dans le bac de vidange.

La servovanne ICS ⑮ est maintenue ouverte par son électrovanne pilote EVM.

Cycle de dégivrage

Après le début du cycle de dégivrage, l'électrovanne d'alimentation en liquide EVRAT ③ se ferme. Le ventilateur continue de tourner pendant 120 à 600 secondes en fonction de la taille de l'évaporateur afin d'évacuer le liquide piégé dans l'évaporateur.

Les ventilateurs s'arrêtent et la GPLX se ferme. La vanne GPLX ⑦ est maintenue en positon ouverte par du gaz chaud.

Le gaz chaud se condense dans la vanne froide et produit du liquide sur le haut du servopiston. Lorsque les vannes pilotes changent de position pour fermer la vanne, la pression des pistons devient égale à la pression d'aspiration.

Cette égalisation prend du temps car du liquide condensé est présent dans la vanne. Le délai exact entre le changement de position des vannes pilotes et la fermeture totale de la vanne dépend de la température, de la pression, du fluide frigorigène et de la taille de la vanne.

Il n'est donc pas possible de définir un délai de fermeture exact pour les vannes, mais une pression plus basse entraîne généralement une durée de fermeture plus longue.

Il est très important de tenir compte des durées de fermeture lors de l'utilisation du dégivrage par gaz chauds dans les évaporateurs.

Un délai supplémentaire de 10 à 20 secondes est nécessaire pour que le liquide de l'évaporateur s'installe au fond sans bulles de vapeur. L'électrovanne ICS ⑪ est ensuite ouverte par l'électrovanne pilote EVM et envoie du gaz chaud dans l'évaporateur.

Pendant le cycle de dégivrage, l'électrovanne pilote EVM de la servovanne ICS ⑮ se ferme de façon à ce que l'ICS ⑮ soit commandée par la vanne pilote à pression différentielle CVPP. L'ICS ⑮ crée ensuite une pression différentielle Δp entre la pression du gaz chaud et la pression du réservoir. Cette chute de pression garantit que le liquide condensé pendant le dégivrage est envoyé dans la ligne liquide via le clapet antiretour NRVA ⑬.

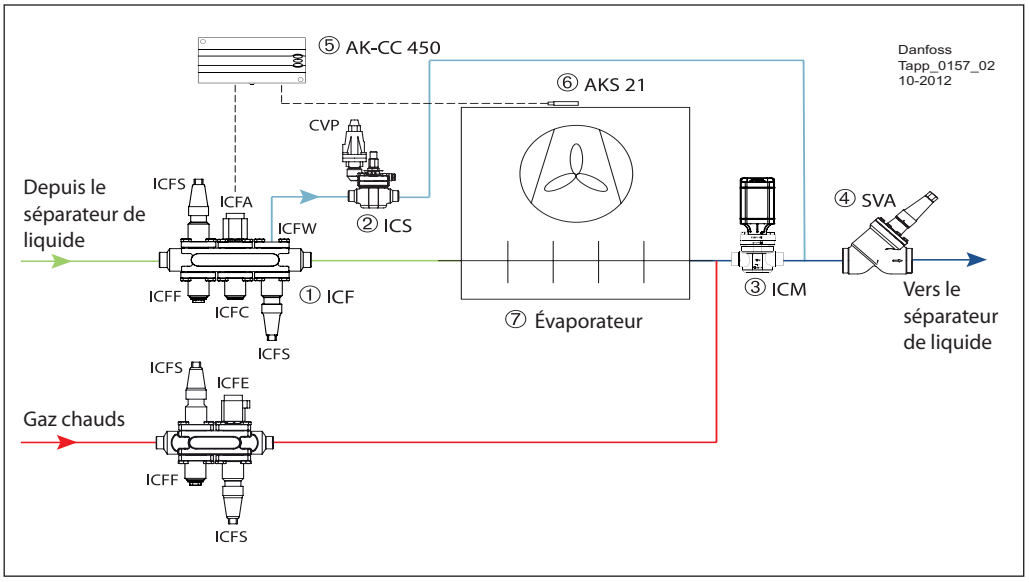
Lorsque la température dans l'évaporateur (mesurée par l'AKS 21 ⑲) atteint la valeur définie, le dégivrage se termine, l'électrovanne ICS ⑪ se ferme, l'électrovanne EVM de l'ICS ⑮ et l'électrovanne GPLX ⑦ s'ouvrent.

En raison de la pression différentielle élevée entre l'évaporateur et la conduite d'aspiration, il est nécessaire d'utiliser une électrovanne à deux temps comme la Danfoss GPLX ou ICLX. Les vannes GPLX/ICLX ont une puissance frigorifique de seulement 10 % à une pression différentielle élevée, ce qui permet d'égaliser la pression avant qu'elles ne s'ouvrent complètement pour garantir un fonctionnement régulier et éviter un coup de bélier dans la conduite d'aspiration.

Après l'ouverture complète de la GPLX, l'EVRAT ③ s'ouvre pour redémarrer le cycle de réfrigération. Le ventilateur démarre après un délai pour geler les gouttes de liquide restantes à la surface de l'évaporateur.

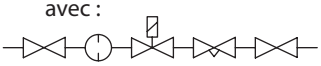
© Danfoss A/S (RC-MDP/MWA), 2014-10

Exemple d'application 5.3.2 : injection de liquide dans un refroidisseur d'air dans un système noyé à l'aide d'une vanne à modulation d'impulsions en durée AKVA avec dégivrage par gaz chauds.



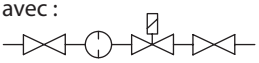
Fluide frigorigène vapeur HP
Mélange de fluide frigorigène liquide/vapeur
Fluide frigorigène liquide BP

① Solution de régulation ICF avec :



Vanne d'arrêt
Filtre
Détendeur électronique
Clapet antiretour
Raccord à souder
Vanne d'arrêt

② Régulateur de pression
③ Régulateur de pression
④ Vanne d'arrêt - Conduite d'aspiration
⑤ Thermostat numérique
⑥ Sonde de température
⑦ Évaporateur
⑧ Solution de régulation ICF avec :



Vanne d'arrêt
Filtre
Détendeur électronique
Vanne d'arrêt

L'exemple d'application 5.3.2 présente une installation pour des évaporateurs à circulation par pompe avec dégivrage par gaz chauds utilisant la solution de régulation ICF.
L'ICF peut recevoir jusqu'à six modules différents assemblés sur le même corps, ce qui constitue une solution de régulation facile à installer.

Cycle de réfrigération
Le module d'électrovanne ICFA de l'ICF ① adapte constamment l'injection de liquide à la demande réelle.
La vanne motorisée ICM ③ de la conduite d'aspiration est maintenue ouverte et l'électrovanne de dégivrage ICFE de l'ICF ① est maintenue fermée.

Cycle de dégivrage
Après le début du cycle de dégivrage, le module de l'électrovanne d'alimentation en liquide ICFA de l'ICF ① se ferme. Le ventilateur continue de tourner pendant 120 à 600 secondes en fonction de la taille de l'évaporateur afin d'évacuer le liquide piégé dans l'évaporateur.
Les ventilateurs s'arrêtent et la vanne ICM se ferme. Un délai de 10 à 20 secondes est nécessaire pour que le liquide de l'évaporateur s'installe au fond sans bulles de vapeur. L'électrovanne ICFE de l'ICF ① s'ouvre ensuite et alimente l'évaporateur en gaz chaud.

Pendant le cycle de dégivrage, le gaz chaud condensé de l'évaporateur est injecté dans le côté basse pression. La pression de dégivrage est régulée par les vannes ICS et CVP. ②.

Lorsque la température dans l'évaporateur atteint la valeur définie ou que le dégivrage se termine, l'électrovanne ICFE de l'ICF ① se ferme, et après un bref délai la vanne motorisée ICM ③ s'ouvre.

En raison de la pression différentielle élevée entre l'évaporateur et la conduite d'aspiration, il est nécessaire de libérer lentement la pression, ce qui permet d'égaliser la pression avant l'ouverture complète pour garantir un fonctionnement régulier et éviter un coup de bélier dans la conduite d'aspiration.

La vanne motorisée ICM ③ présente l'avantage de pouvoir égaliser la pression de dégivrage en ouvrant lentement la vanne. Une manière économique d'effectuer cela est d'utiliser le mode tout ou rien de l'ICM et de sélectionner une vitesse très faible. Ce résultat peut également être obtenu en utilisant le mode modulant, où le degré d'ouverture et la vitesse sont entièrement contrôlés par l'API.

Après l'ouverture totale de l'ICM, l'électrovanne d'alimentation en liquide ICFA de l'ICF ① s'ouvre pour lancer le cycle de réfrigération. Le ventilateur démarre après un délai pour geler les gouttes de liquide restantes à la surface de l'évaporateur.

Les vannes ne sont pas toutes représentées. Ce schéma ne doit pas être utilisé à des fins de construction.

© Danfoss A/S (RC-MDP/MWA), 2014-10

Données techniques

	Servovanne pilotée - ICS
Matériau	Corps : acier basse température
Fluides frigorigènes	Tous les fluides frigorigènes courants, notamment les R717 et R744
Plage de température du fluide [°C]	-60 à 120
Pression de service max. [bar]	52
DN [mm]	20 à 150
Puissance nominale [kW]*	Sur une conduite de gaz chauds : 20 à 4 000 Sur ligne liquide sans changement de phase : 55 à 11 300

* Conditions : R717, $T_{liq.}$ = 30 °C, $P_{refoul.}$ = 12 bar, ΔP = 0,2 bar, $T_{refoul.}$ = 80 °C, T_e = –10 °C, taux de recirculation = 4

	Électrovanne à deux temps - GPLX	Électrovanne à deux temps - ICLX
Matériau	Corps : acier basse température	Corps : fonte basse température
Fluides frigorigènes	Tous les fluides frigorigènes courants ininflammables, notamment le R717	Tous les fluides frigorigènes courants ininflammables, notamment le R717
Plage de température du fluide [°C]	-60 à 150	-60 à 120
Pression de service max. [bar]	40	52
DN [mm]	80 à 150	32 à 150
Puissance nominale [kW]*	Sur conduite d'aspiration sèche : 442 à 1910 Sur conduite d'aspiration humide : 279 à 1205	Sur conduite d'aspiration sèche : 76 à 1299 Sur conduite d'aspiration humide : 48 à 820

* Conditions R717, ΔP = 0,05 bar, T_e = –10°C, T_{liq} = 30 °C, taux de recirculation = 4

	Clapet antiretour - NRVA
Matériau	Corps : acier
Fluides frigorigènes	Tous les fluides frigorigènes courants, notamment le R717
Plage de température du fluide [°C]	-50 à 140
Pression de service max. [bar]	40
DN [mm]	15 à 65
Puissance nominale [kW]*	Sur ligne liquide sans changement de phase : 160,7 à 2411

* Conditions : R717, ΔP = 0,2 bar, T_e = –10 °C, taux de recirculation = 4

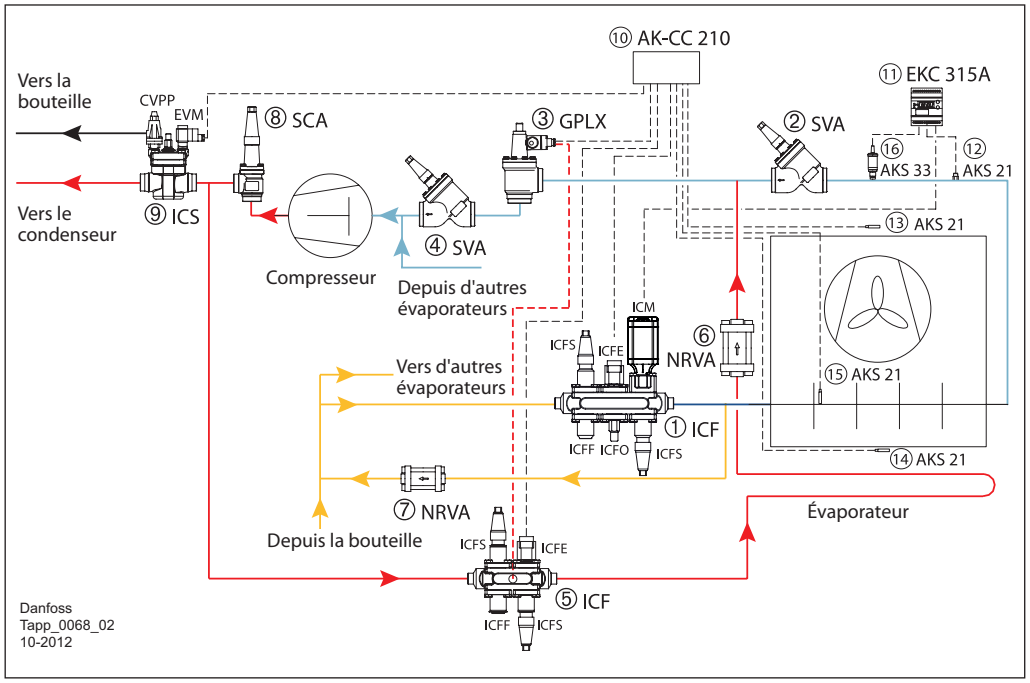
	Filtre - FIA
Matériau	Corps : acier
Fluides frigorigènes	Tous les fluides frigorigènes courants, notamment le R717
Plage de température du fluide [°C]	-60 à 150
Pression de service max. [bar]	52
DN [mm]	15 à 200
Insert de filtre	Maillage en acier inoxydable 100/150/250/500 µ

	Vanne motorisée - ICM comme vanne de régulation
Matériau	Corps : acier basse température
Fluides frigorigènes	Tous les fluides frigorigènes courants, notamment les R717 et R744
Plage de température du fluide [°C]	-60 à 120
Pression de service max. [bar]	52
DN [mm]	20 à 150
Puissance nominale [kW]*	Sur conduite de gaz chauds : 2,3 à 4230 Sur conduite d'aspiration humide : 0,85 à 1570

* Conditions : R717, $T_{liq.}$ = 30 °C, $P_{refoul.}$ = 12 bar, ΔP = 0,2 bar, $T_{refoul.}$ = 80 °C, T_e = –10 °C, taux de recirculation = 4

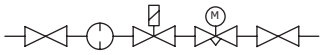
© Danfoss A/S (RC-MDP/MWA), 2014-10

Exemple d'application 5.3.3 : évaporateur DX et système de dégivrage par gaz chauds avec solution de régulation ICF



Fluide frigorigène vapeur HP
Réfrigérant liquide HP
Mélange de fluide frigorigène liquide/vapeur
Fluide frigorigène vapeur BP

① Ligne liquide ICF avec :



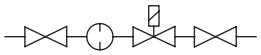
Vanne d'arrêt - Entrée liquide
Filtre
Électrovanne
Robinet manuel
Détendeur ICM
Vanne d'arrêt - Entrée évaporateur

② Vanne d'arrêt - Sortie d'évaporateur

③ Électrovanne à deux temps

④ Vanne d'arrêt - Conduite d'aspiration

⑤ Conduite de gaz chauds ICF avec :



Vanne d'arrêt
Filtre
Électrovanne
Vanne d'arrêt

⑥ Clapet antiretour

⑦ Clapet antiretour

⑧ Vanne clapet sur la conduite de refoulement

⑨ Clapet différentiel

⑩ Régulateur

⑪ Régulateur de surchauffe

⑫ Sondes de température

⑬ Sondes de température

⑭ Sondes de température

⑮ Sondes de température

⑯ Transmetteur de pression

Les vannes ne sont pas toutes représentées. Ce schéma ne doit pas être utilisé à des fins de construction.

L'exemple d'application 5.3.3 présente une installation pour des évaporateurs DX avec dégivrage par gaz chauds utilisant la nouvelle solution de régulation ICF.

L'ICF peut recevoir jusqu'à six modules différents assemblés sur le même corps, offrant ainsi une solution de régulation compacte et facile à installer.

Cycle de réfrigération
L'électrovanne ICFE de l'ICF ① de la ligne liquide est maintenue ouverte. L'injection de liquide est commandée par la vanne motorisée ICM de l'ICF ①.

L'électrovanne GPLX ③ de la conduite d'aspiration est maintenue ouverte et l'électrovanne de dégivrage ICFE de l'ICF ⑤ est maintenue fermée.

La servovanne ICS ⑨ est maintenue ouverte par son électrovanne pilote EVM.

Cycle de dégivrage
Après le début du cycle de dégivrage, l'électrovanne d'alimentation en liquide ICFE de l'ICF ① se ferme. Le ventilateur continue de tourner pendant 120 à 600 secondes en fonction de la taille de l'évaporateur afin d'évacuer le liquide piégé dans l'évaporateur.

Les ventilateurs s'arrêtent et la GPLX se ferme. La vanne GPLX ③ est maintenue en positon ouverte par du gaz chaud.

Le gaz chaud se condense dans la vanne froide et produit du liquide sur le haut du servopiston. Lorsque les vannes pilotes changent de position pour fermer la vanne, la pression des pistons devient égale à la pression d'aspiration.

Cette égalisation prend du temps car du liquide condensé est présent dans la vanne. Le délai exact entre le changement de position des vannes pilotes et la fermeture totale de la vanne dépend de la température, de la pression, du fluide frigorigène et de la taille de la vanne.

Il n'est donc pas possible de définir un délai de fermeture exact pour les vannes, mais une pression plus basse entraîne généralement une durée de fermeture plus longue.

Il est très important de tenir compte des durées de fermeture lors de l'utilisation du dégivrage par gaz chauds dans les évaporateurs.

Un délai supplémentaire de 10 à 20 secondes est nécessaire pour que le liquide de l'évaporateur s'installe au fond sans bulles de vapeur. L'électrovanne ICFE de l'ICF ⑤ s'ouvre ensuite et alimente l'évaporateur en gaz chaud.

Pendant le cycle de dégivrage, l'électrovanne pilote EVM de la servovanne ICS ⑨ se ferme de façon à ce que l'ICS ⑨ soit commandée par la vanne pilote à pression différentielle CVPP. L'ICS ⑨ crée ensuite une pression différentielle Δp entre la pression du gaz chaud et la pression de la bouteille. Cette chute de pression garantit que le liquide condensé pendant le dégivrage est envoyé dans la ligne liquide via le clapet antiretour NRVA ⑦.

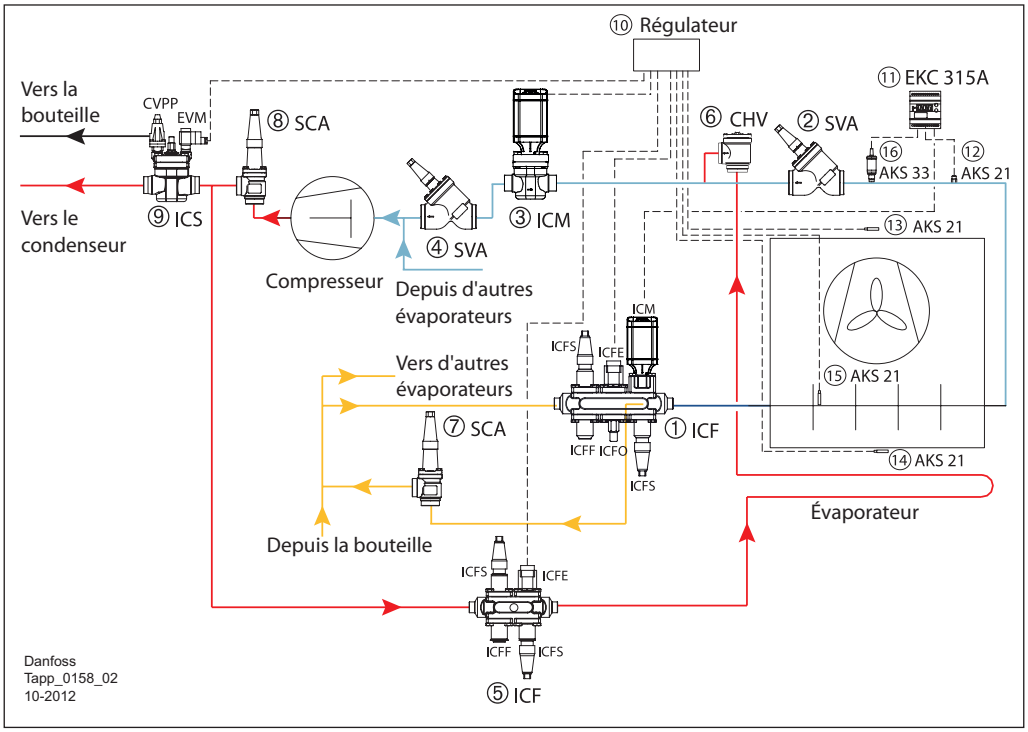
Lorsque la température dans l'évaporateur (mesurée par l'AKS 21 ⑮) atteint la valeur définie, le dégivrage se termine, l'électrovanne ICFE de l'ICF ⑤ se ferme, l'électrovanne pilote EVM de l'ICS ⑨ et l'électrovanne GPLX ③ s'ouvrent

En raison de la pression différentielle élevée entre l'évaporateur et la conduite d'aspiration, il est nécessaire d'utiliser une électrovanne à deux temps comme la Danfoss GPLX ③ ou ICLX. Les vannes GPLX ③/ICLX ont une puissance frigorifique de seulement 10 % à une pression différentielle élevée, ce qui permet d'égaliser la pression avant qu'elles ne s'ouvrent complètement pour garantir un fonctionnement régulier et éviter un coup de bélier dans la conduite d'aspiration.

Après l'ouverture totale de la GPLX ③, l'électrovanne d'alimentation en liquide ICFE de l'ICF ① s'ouvre pour lancer le cycle de réfrigération. Le ventilateur démarre après un délai pour geler les gouttes de liquide restantes à la surface de l'évaporateur.

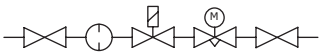
© Danfoss A/S (RC-MDP/MWA), 2014-10

Exemple d'application 5.3.4 : évaporateur DX et système de dégivrage par gaz chauds avec ICF/ICM entièrement soudées



- Fluide frigorigène vapeur HP
- Réfrigérant liquide HP
- Mélange de fluide frigorigène liquide/vapeur
- Fluide frigorigène vapeur BP

① Ligne liquide ICF avec :



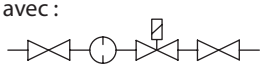
Vanne d'arrêt - Entrée liquide
Filtre
Électrovanne
Robinet manuel
Détendeur ICM
Vanne d'arrêt - Entrée évaporateur

② Vanne d'arrêt - Sortie d'évaporateur

③ Régulateur de pression (vanne motorisée)

④ Vanne d'arrêt - Conduite d'aspiration

⑤ Conduite de gaz chauds ICF avec :



Vanne d'arrêt
Filtre
Électrovanne
Vanne d'arrêt

⑥ Clapet antiretour

⑦ Clapet antiretour

⑧ Vanne clapet sur la conduite de refoulement

⑨ Clapet différentiel

⑩ Régulateur

⑪ Régulateur de surchauffe

⑫ Sondes de température

⑬ Sondes de température

⑭ Sondes de température

⑮ Sondes de température

⑯ Transmetteur de pression

Les vannes ne sont pas toutes représentées. Ce schéma ne doit pas être utilisé à des fins de construction.

L'exemple d'application 5.3.3 présente une installation pour des évaporateurs DX avec dégivrage par gaz chauds utilisant la solution de régulation ICF.

L'ICF peut recevoir jusqu'à six modules différents assemblés sur le même corps, ce qui constitue une solution de régulation facile à installer.

Cycle de réfrigération
L'électrovanne ICFE de l'ICF ⑤ de la ligne liquide est maintenue ouverte. L'injection de liquide est commandée par la vanne motorisée ICM de l'ICF ⑤.

La vanne motorisée ICM ③ de la conduite d'aspiration est maintenue ouverte et l'électrovanne de dégivrage ICFE de l'ICF⑤ est maintenue fermée.

La servovanne ICS ⑨ est maintenue ouverte par son électrovanne pilote EVM.

Cycle de dégivrage
Après le début du cycle de dégivrage, l'électrovanne d'alimentation en liquide ICFE de l'ICF ① se ferme. Le ventilateur continue de tourner pendant 120 à 600 secondes en fonction de la taille de l'évaporateur afin d'évacuer le liquide piégé dans l'évaporateur.

Les ventilateurs s'arrêtent et la vanne motorisée ICM ③ se ferme.

Un délai de 10 à 20 secondes est nécessaire pour que le liquide de l'évaporateur s'installe au fond sans bulles de vapeur. L'électrovanne ICFE de l'ICF ⑤ s'ouvre ensuite et alimente l'évaporateur en gaz chaud.

Pendant le cycle de dégivrage, l'électrovanne pilote EVM de la servovanne ICS ⑨ se ferme de façon à ce que l'ICS ⑨ soit commandée par la vanne pilote à pression différentielle CVPP. L'ICS ⑨ crée ensuite une pression différentielle Δp entre la pression du gaz chaud et la pression de la bouteille.

Cette chute de pression garantit que le liquide condensé pendant le dégivrage est envoyé dans la ligne liquide via le clapet antiretour SCA ⑦.

Lorsque la température dans l'évaporateur (mesurée par l'AKS 21) atteint la valeur définie, le dégivrage se termine, l'électrovanne ICFE de l'ICF ⑤ se ferme, l'électrovanne pilote EVM de l'ICS ⑨ et la vanne motorisée ICM ③ s'ouvrent.

En raison de la pression différentielle élevée entre l'évaporateur et la conduite d'aspiration, il est nécessaire de libérer lentement la pression, ce qui permet d'égaliser la pression avant l'ouverture complète pour garantir un fonctionnement régulier et éviter un coup de bélier dans la conduite d'aspiration.

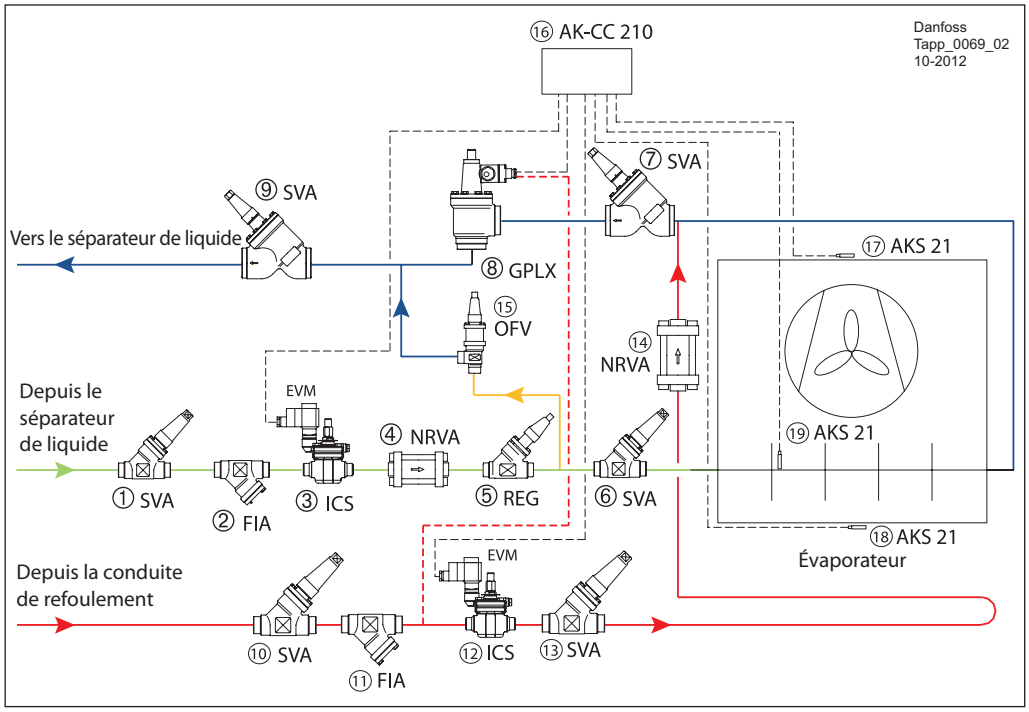
La vanne motorisée ICM ③ présente l'avantage de pouvoir égaliser la pression de dégivrage en ouvrant lentement la vanne. Une manière économique d'effectuer cela est d'utiliser le mode tout ou rien de l'ICM et de sélectionner une vitesse très faible ou d'utiliser le mode modulant, pour que l'API contrôle entièrement le degré d'ouverture et la vitesse.

Après l'ouverture totale de la vanne motorisée ICM ③, l'électrovanne d'alimentation en liquide ICFE de l'ICF ① s'ouvre pour lancer le cycle de réfrigération. Le ventilateur démarre après un délai pour geler les gouttes de liquide restantes à la surface de l'évaporateur.

© Danfoss A/S (RC-MDP/MWA), 2014-10

5.4 Dégivrage par gaz chauds pour les refroidisseurs d'air à circulation par pompe

Exemple d'application 5.4.1 : évaporateur à circulation par pompe, avec système de dégivrage par gaz chauds



Fluide frigorigène vapeur HP
Réfrigérant liquide HP
Mélange de fluide frigorigène liquide/vapeur
Fluide frigorigène liquide BP

Conduite de liquide
① Vanne d'arrêt - Entrée liquide
② Filtre
③ Électrovanne
④ Clapet antiretour
⑤ Régleur manuel
⑥ Vanne d'arrêt - Entrée évaporateur

Conduite d'aspiration
⑦ Vanne d'arrêt - Sortie d'évaporateur
⑧ Électrovanne à deux temps
⑨ Vanne d'arrêt - Conduite d'aspiration

Conduite de gaz chauds
⑩ Vanne d'arrêt
⑪ Filtre
⑫ Électrovanne
⑬ Vanne d'arrêt
⑭ Clapet antiretour

Conduite de retour en cuve
⑮ Vanne de décharge

Régulations
⑯ Régulateur
⑰ Sonde de température
⑱ Sonde de température
⑲ Sonde de température

L'exemple d'application 5.4.1 présente une installation type pour un évaporateur à circulation par pompe avec dégivrage par gaz chauds.

Cycle de réfrigération
L'électrovanne ICS ③ de la ligne liquide est maintenue ouverte. L'injection de liquide est régulée par la vanne de régulation manuelle REG ⑤.

L'électrovanne GPLX ⑧ de la conduite d'aspiration est maintenue ouverte et l'électrovanne de dégivrage ICS ⑫ est maintenue fermée.

Cycle de dégivrage
Après le début du cycle de dégivrage, l'électrovanne d'alimentation en liquide ICS ③ se ferme. Le ventilateur continue de tourner pendant 120 à 600 secondes en fonction de la taille de l'évaporateur afin d'évacuer le liquide piégé dans l'évaporateur.

Les ventilateurs s'arrêtent et la GPLX se ferme. La vanne GPLX ⑧ est maintenue en positon ouverte par du gaz chaud.

Le gaz chaud se condense dans la vanne froide et produit du liquide sur le haut du servopiston. Lorsque les vannes pilotes changent de position pour fermer la vanne, la pression des pistons devient égale à la pression d'aspiration.

Cette égalisation prend du temps car du liquide condensé est présent dans la vanne. Le délai exact entre le changement de position des vannes pilotes et la fermeture totale de la vanne dépend de la température, de la pression, du fluide frigorigène et de la taille de la vanne.

Il n'est donc pas possible de définir un délai de fermeture exact pour les vannes, mais une pression plus basse entraîne généralement une durée de fermeture plus longue.

Il est très important de tenir compte des durées de fermeture lors de l'utilisation du dégivrage par gaz chauds dans les évaporateurs.

Un délai supplémentaire de 10 à 20 secondes est nécessaire pour que le liquide de l'évaporateur s'installe au fond sans bulles de vapeur. L'électrovanne ICS ⑫ s'ouvre ensuite et alimente l'évaporateur en gaz chaud.

Pendant le cycle de dégivrage, la vanne de décharge OFV ⑭ s'ouvre automatiquement en fonction de la pression différentielle. La vanne de décharge permet de libérer les gaz chauds condensés de l'évaporateur vers la conduite d'aspiration humide. L'OFV peut également être remplacée par un régulateur de pression ICS+CVP en fonction de la puissance frigorifique ou par une vanne à flotteur haute pression SV1/3 qui vidange uniquement le liquide vers le côté basse pression.

Lorsque la température dans l'évaporateur (mesurée par l'AKS 21 ⑲) atteint la valeur définie, le dégivrage se termine, l'électrovanne ICS ⑫se ferme et l'électrovanne GPLX à deux temps ⑧ s'ouvre.

Après l'ouverture totale de la GPLX, l'électrovanne d'alimentation en liquide ICS ③ s'ouvre pour lancer le cycle de réfrigération. Le ventilateur démarre après un délai pour geler les gouttes de liquide restantes à la surface de l'évaporateur.

La vanne ICLX a la même fonction (électrovanne à deux temps) qu'une vanne GPLX. La vanne GPLX/ICLX a une puissance frigorifique de seulement 10% à une pression différentielle élevée, ce qui permet d'égaliser la pression avant qu'elle ne s'ouvre complètement pour garantir un fonctionnement régulier et éviter un coup de bélier dans la conduite d'aspiration.

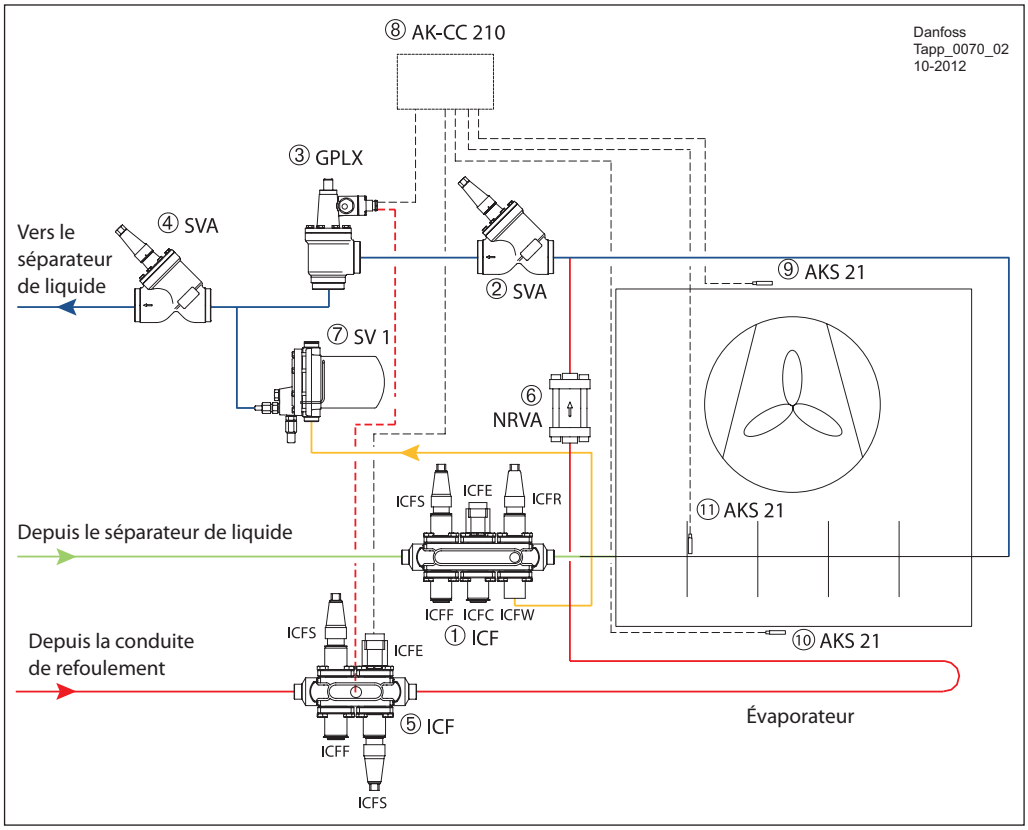
Données techniques

	Vanne de décharge - OFV
Matériau	Corps : acier
Fluides frigorigènes	Tous les fluides frigorigènes courants, notamment le R717
Plage de température du fluide [°C]	-50 à 150
Pression de service max. [bar]	40
DN [mm]	20/25
Plage de pression différentielle d'ouverture [bar]	2 à 8

Les vannes ne sont pas toutes représentées. Ce schéma ne doit pas être utilisé à des fins de construction.

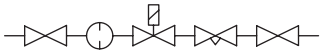
© Danfoss A/S (RC-MDP/MWA), 2014-10

Exemple d'application 5.4.2 : évaporateur à circulation par pompe, avec système de dégivrage par gaz chauds utilisant la station de vannes ICF et la vanne à flotteur SV 1/3



- Fluide frigorigène vapeur HP
- Réfrigérant liquide HP
- Mélange de fluide frigorigène liquide/vapeur
- Fluide frigorigène liquide BP

① Ligne liquide ICF avec :



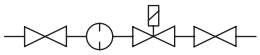
Vanne d'arrêt - Entrée liquide
Filtre
Électrovanne
Clapet antiretour
Régleur manuel
Vanne d'arrêt - Entrée évaporateur

② Vanne d'arrêt - Sortie d'évaporateur

③ Électrovanne à deux temps

④ Vanne d'arrêt - Conduite d'aspiration

⑤ Conduite de gaz chauds ICF avec :



Vanne d'arrêt
Filtre
Électrovanne
Vanne d'arrêt

⑥ Clapet antiretour

⑦ Vanne à flotteur

⑧ Régulateur

⑨ Sondes de température

⑩ Sondes de température

⑪ Sondes de température

Les vannes ne sont pas toutes représentées. Ce schéma ne doit pas être utilisé à des fins de construction.

L'exemple d'application 5.4.2 présente une installation pour les évaporateurs à circulation par pompe avec un dégivrage par gaz chauds utilisant la nouvelle solution de régulation ICF et la vanne à flotteur SV 1/3.

L'ICF peut recevoir jusqu'à six modules différents assemblés sur le même corps, ce qui constitue une solution de régulation compacte et facile à installer.

Cycle de réfrigération
L'électrovanne ICFE de l'ICF ① de la ligne liquide est maintenue ouverte. L'injection de liquide est commandée par la vanne de régulation manuelle ICFR de l'ICF ①.

L'électrovanne GPLX ③ de la conduite d'aspiration est maintenue ouverte et l'électrovanne de dégivrage ICFE de l'ICF ⑤ est maintenue fermée.

Cycle de dégivrage
Après le début du cycle de dégivrage, le module de l'électrovanne d'alimentation en liquide ICFE de l'ICF ① se ferme. Le ventilateur continue de tourner pendant 120 à 600 secondes en fonction de la taille de l'évaporateur afin d'évacuer le liquide piégé dans l'évaporateur.

Les ventilateurs s'arrêtent et la GPLX se ferme. La vanne GPLX ③ est maintenue en positon ouverte par du gaz chaud.

Le gaz chaud se condense dans la vanne froide et produit du liquide sur le haut du servopiston. Lorsque les vannes pilotes changent de position pour fermer la vanne, la pression des pistons devient égale à la pression d'aspiration.

Cette égalisation prend du temps car du liquide condensé est présent dans la vanne. Le délai exact entre le changement de position des vannes pilotes et la fermeture totale de la vanne dépend de la température, de la pression, du fluide frigorigène et de la taille de la vanne.

Il n'est donc pas possible de définir un délai de fermeture exact pour les vannes, mais une pression plus basse entraîne généralement une durée de fermeture plus longue.

Il est très important de tenir compte des durées de fermeture lors de l'utilisation du dégivrage par gaz chauds dans les évaporateurs.

Un délai supplémentaire de 10 à 20 secondes est nécessaire pour que le liquide de l'évaporateur s'installe au fond sans bulles de vapeur. L'électrovanne ICFE de l'ICF ⑤ s'ouvre ensuite et alimente l'évaporateur en gaz chaud.

Pendant le cycle de dégivrage, le gaz chaud condensé de l'évaporateur est injecté dans le côté basse pression. L'injection est commandée par la vanne à flotteur haute pression SV 1 ou 3 ⑦ complétée par un kit spécial interne. Par rapport à la vanne de décharge OFV de la solution 5.4.1, cette vanne à flotteur commande la décharge en fonction du niveau de liquide dans la chambre de flottement.

L'utilisation d'une vanne à flotteur garantit que les gaz chauds ne quittent pas l'évaporateur tant qu'ils n'ont pas été condensés en liquide, ce qui améliore nettement l'efficacité globale. Par ailleurs, la vanne à flotteur a été conçue tout spécialement pour la commande de modulation, offrant une solution de contrôle très stable.

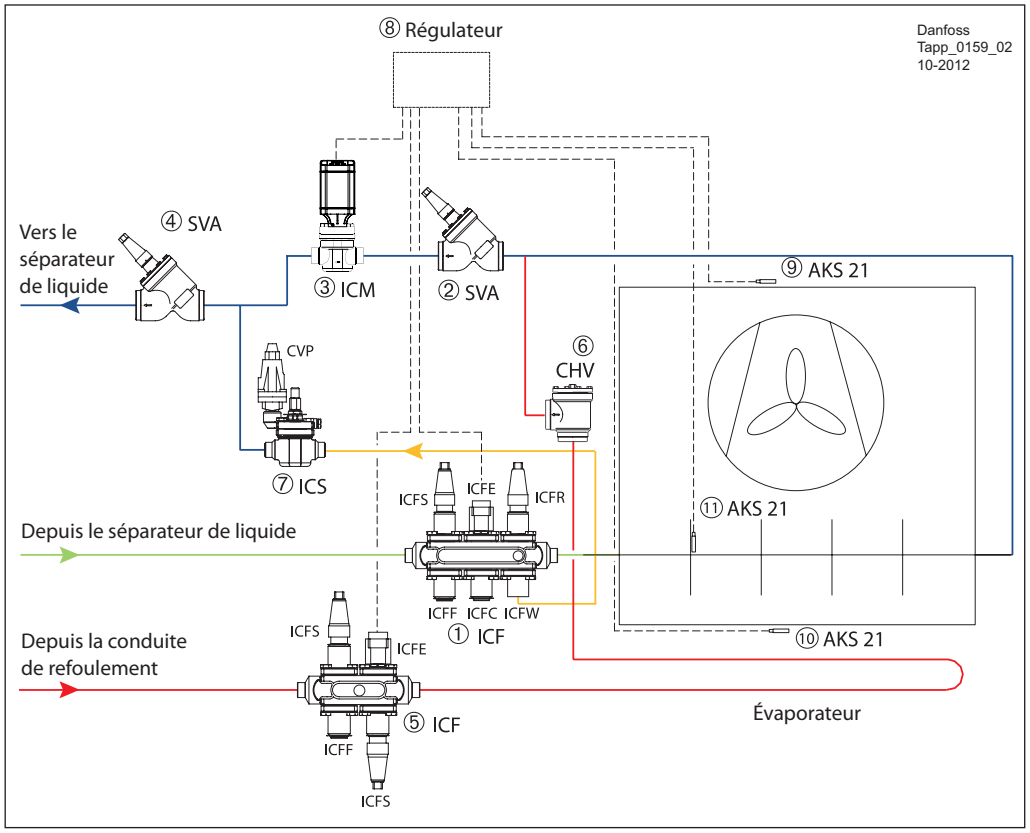
Lorsque la température dans l'évaporateur (mesurée par l'AKS 21 ⑪) atteint la valeur définie, le dégivrage se termine, l'électrovanne ICFE de l'ICF ⑤ se ferme et après un bref délai, l'électrovanne GPLX ③ s'ouvre.

Après l'ouverture totale de la GPLX, l'électrovanne d'alimentation en liquide ICFE de l'ICF ① s'ouvre pour lancer le cycle de réfrigération. Le ventilateur démarre après un délai pour geler les gouttes de liquide restantes à la surface de l'évaporateur.

La vanne ICLX a la même fonction (électrovanne à deux temps) qu'une vanne GPLX. La vanne GPLX/ICLX a une puissance frigorifique de seulement 10% à une pression différentielle élevée, ce qui permet d'égaliser la pression avant qu'elle ne s'ouvre complètement pour garantir un fonctionnement régulier et éviter un coup de bélier dans la conduite d'aspiration.

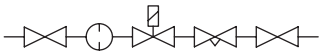
© Danfoss A/S (RC-MDP/MWA), 2014-10

Exemple d'application 5.4.3 : évaporateur à circulation par pompe, avec système de dégivrage par gaz chauds, entièrement soudé, utilisant la station de vannes ICF et l'ICS avec la CVP



- Fluide frigorigène vapeur HP
- Réfrigérant liquide HP
- Mélange de fluide frigorigène liquide/vapeur
- Fluide frigorigène liquide BP

① Ligne liquide ICF avec :



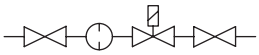
Vanne d'arrêt - Entrée liquide
Filtre
Électrovanne
Clapet antiretour
Détendeur manuel
Vanne d'arrêt - Entrée évaporateur

② Vanne d'arrêt - Sortie d'évaporateur

③ Régulateur de pression (vanne motorisée)

④ Vanne d'arrêt - Conduite d'aspiration

⑤ Conduite de gaz chauds ICF avec :



Vanne d'arrêt
Filtre
Électrovanne
Vanne d'arrêt

⑥ Clapet antiretour

⑦ Régulateur de pression

⑧ Régulateur

⑨ Sondes de température

⑩ Sondes de température

⑪ Sondes de température

Les vannes ne sont pas toutes représentées. Ce schéma ne doit pas être utilisé à des fins de construction.

L'exemple d'application 5.4.3 présente une installation pour des évaporateurs à circulation par pompe avec dégivrage par gaz chauds utilisant la nouvelle solution de régulation ICF.

L'ICF peut recevoir jusqu'à six modules différents assemblés sur le même corps, ce qui constitue une solution de régulation facile à installer.

Cycle de réfrigération
L'électrovanne ICFE de l'ICF ① de la ligne liquide est maintenue ouverte. L'injection de liquide est commandée par la vanne de régulation manuelle ICFR de l'ICF ①.

La vanne motorisée ICM ③de la conduite d'aspiration est maintenue ouverte et l'électrovanne de dégivrage ICFE de l'ICF⑤ est maintenue fermée.

Cycle de dégivrage
Après le début du cycle de dégivrage, le module de l'électrovanne d'alimentation en liquide ICFE de l'ICF ① se ferme. Le ventilateur continue de tourner pendant 120 à 600 secondes en fonction de la taille de l'évaporateur afin d'évacuer le liquide piégé dans l'évaporateur.
Les ventilateurs s'arrêtent et la vanne ICM se ferme. Un délai de 10 à 20 secondes est nécessaire pour que le liquide de l'évaporateur s'installe au fond sans bulles de vapeur. L'électrovanne ICFE de l'ICF ⑤ s'ouvre ensuite et alimente l'évaporateur en gaz chaud.

Pendant le cycle de dégivrage, le gaz chaud condensé de l'évaporateur est injecté dans le côté basse pression. La pression de dégivrage est régulée par les vannes ICS+CVP ⑦.

Lorsque la température dans l'évaporateur (mesurée par l'AKS 21) atteint la valeur définie, le dégivrage se termine, l'électrovanne ICFE de l'ICF ⑤ se ferme et après un bref délai, la vanne motorisée ICM ③ s'ouvre.

En raison de la pression différentielle élevée entre l'évaporateur et la conduite d'aspiration, il est nécessaire de libérer lentement la pression, ce qui permet d'égaliser la pression avant l'ouverture complète pour garantir un fonctionnement régulier et éviter un coup de bélier dans la conduite d'aspiration.

La vanne motorisée ICM ③ présente l'avantage de pouvoir égaliser la pression de dégivrage en ouvrant lentement la vanne. Une manière économique d'effectuer cela est d'utiliser le mode tout ou rien de l'ICM et de sélectionner une vitesse très faible. Ce résultat peut également être obtenu en utilisant le mode modulant, ainsi l'API contrôle entièrement le degré d'ouverture et la vitesse.

Après l'ouverture totale de l'ICM, l'électrovanne d'alimentation en liquide ICFE de l'ICF ① s'ouvre pour lancer le cycle de réfrigération. Le ventilateur démarre après un délai pour geler les gouttes de liquide restantes à la surface de l'évaporateur.

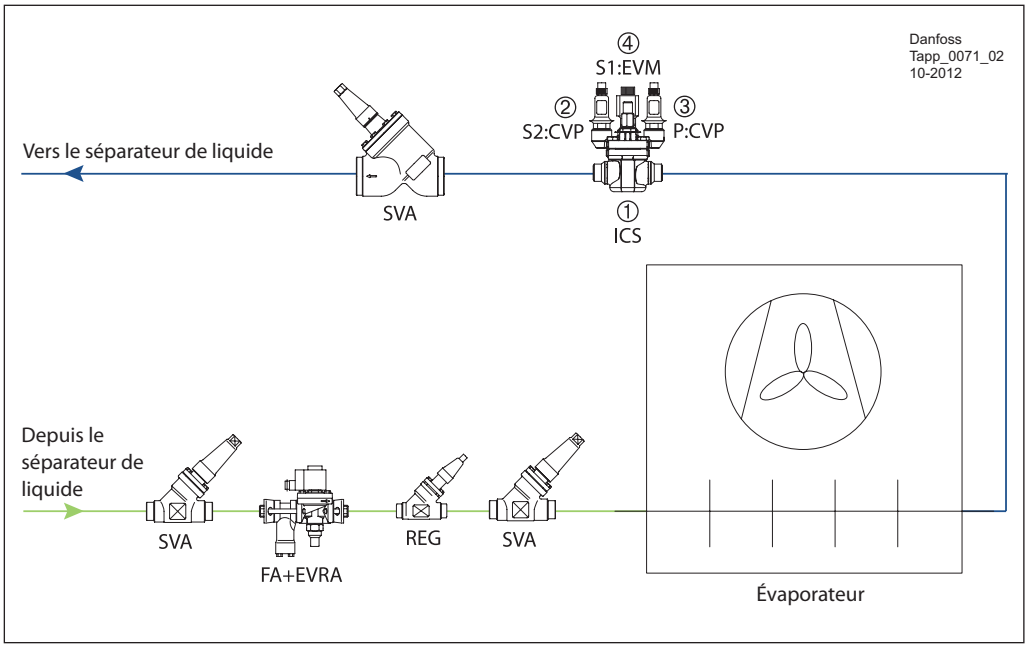
© Danfoss A/S (RC-MDP/MWA), 2014-10

5.5 Régulation multitempératures

Dans les processus de production, il est très courant d'utiliser un évaporateur pour différents réglages de température.

Lorsque le fonctionnement d'un évaporateur est nécessaire à deux pressions d'évaporation différentes, cela peut être obtenu en utilisant une servovanne ICS avec deux vannes pilotes à pression constante.

Exemple d'application 5.5.1 : régulation de la pression d'évaporation, changement entre deux pressions



Mélange de fluide frigorigène liquide/vapeur
Fluide frigorigène liquide BP

① Vanne de régulation de pression
② Vanne pilote de régulation de pression
③ Vanne pilote de régulation de pression
④ Électrovanne pilote

L'exemple d'application 5.5.1 présente une solution de régulation de deux pressions d'évaporation dans les évaporateurs. Cette solution peut être utilisée pour les évaporateurs DX ou à circulation par pompe avec n'importe quel type de système de dégivrage.

La servovanne ICS est équipée d'une électrovanne EVM (NC) dans l'orifice S1 et de deux vannes pilotes à pression constante CVP dans les orifices S2 et P respectivement.

La CVP de l'orifice S2 est réglée sur la pression de fonctionnement la plus basse et la CVP de l'orifice P est réglée sur la pression de fonctionnement la plus élevée.

Lorsque l'électrovanne de l'orifice S1 est alimentée, la pression de l'évaporateur suit le réglage de la vanne pilote CVP de l'orifice S1. Lorsque l'électrovanne est fermée, la pression de l'évaporateur suit le réglage de la vanne pilote CVP de l'orifice P.

Exemple :

	I	II
Température de l'air à la sortie	+3 °C	+8°C
Température d'évaporation	-2 °C	+2°C
Changement de température	5 K	6K
Fluide frigorigène	R 717	R717
Pression d'évaporation	3,0	3,6

S2 : la CVP est réglée sur 3,0 bar et
P : la CVP est réglée sur 3,6 bar.

I : la vanne pilote EVM s'ouvre.
La pression d'évaporation est donc commandée par S2 : CVP.
II : la vanne pilote EVM se ferme.
La pression d'évaporation est donc commandée par P : CVP.

Les vannes ne sont pas toutes représentées.
Ce schéma ne doit pas être utilisé à des fins de construction.

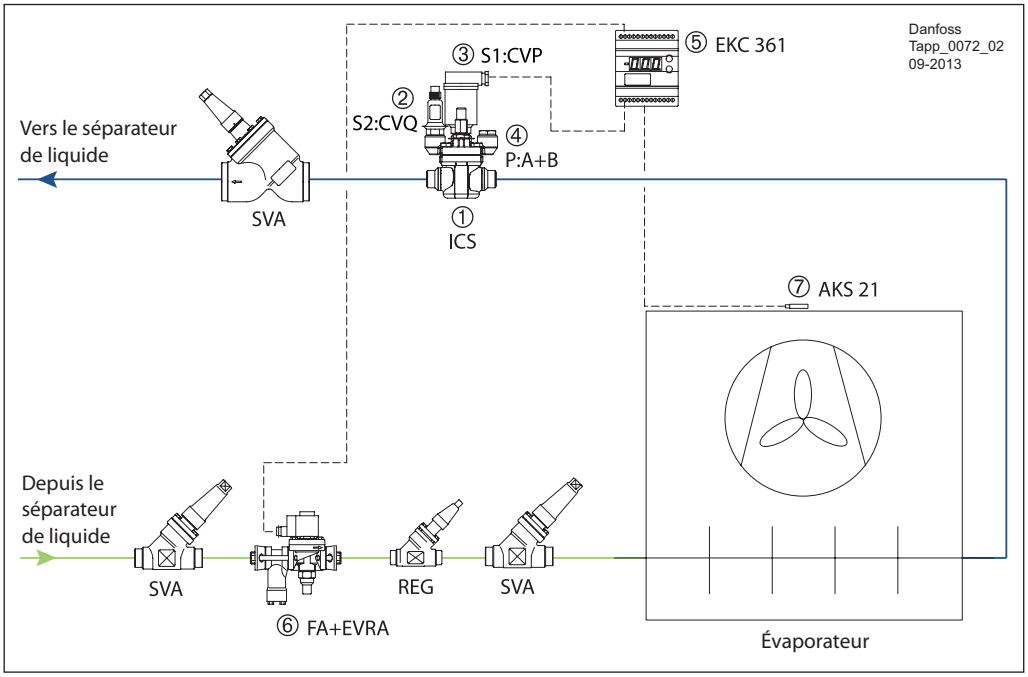
© Danfoss A/S (RC-MDP/MWA), 2014-10

5.6 Régulation de la température du médium

Des solutions sont fournies en cas de conditions sévères exigeant une régulation précise par température en association avec la réfrigération. Exemple :

- Les entrepôts frigorifiques prévus pour les fruits et les produits alimentaires
- Les locaux de l'industrie alimentaire
- Le refroidissement de liquides

Exemple d'application 5.6.1 : régulation de la température du médium via la vanne pilotée ICS



Mélange de fluide frigorigène liquide/vapeur
Fluide frigorigène liquide BP

① Vanne de régulation de pression
② Vanne pilote de régulation de pression
③ Électrovanne pilote
④ Bouchon borgne
⑤ Régulateur
⑥ Électrovanne avec filtre
⑦ Sonde de température

L'exemple d'application 5.6.1 présente une solution de régulation précise de la température du médium. Il est par ailleurs nécessaire de protéger l'évaporateur contre une pression trop faible afin d'éviter le gel des produits dans l'application.

Cette conception peut être utilisée pour les évaporateurs DX ou à circulation par pompe avec n'importe quel système de dégivrage.

La vanne de commande de type ICS 3 avec CVQ dans l'orifice S2 est commandée par le régulateur de température du fluide EKC 361 et CVP dans l'orifice S1. L'orifice P est isolé via le bouchon obturateur A+B.

La CVP est réglée en fonction de la pression la plus faible autorisée pour l'application.

Le régulateur de température EKC 361 règle la température de l'application au niveau souhaité, en contrôlant l'ouverture de la vanne pilote CVQ puis la pression d'évaporation pour qu'elle s'adapte à la charge de refroidissement et à la température.

Cette solution permet de réguler la température avec une précision de +/- 0,25 °C. Si la température passe au-dessous de cette limite, le régulateur EKC peut fermer l'électrovanne de la ligne liquide.

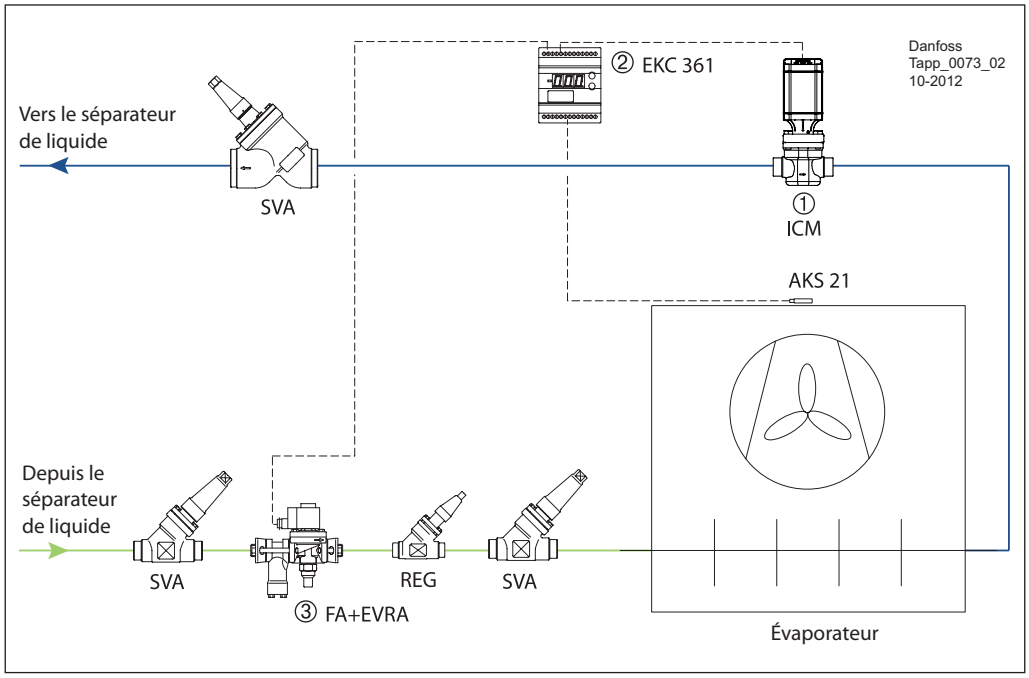
Le régulateur de température du fluide EKC 361 commande toutes les fonctions de l'évaporateur notamment le thermostat et les alarmes.

Pour plus détails, veuillez vous reporter au manuel du régulateur EKC 361.

Les vannes ne sont pas toutes représentées. Ce schéma ne doit pas être utilisé à des fins de construction.

© Danfoss A/S (RC-MDP/MWA), 2014-10

Exemple d'application 5.6.2 : régulation de la température du médium via la vanne à action directe



Mélange de fluide frigorigène liquide/vapeur
Fluide frigorigène liquide BP

① Régulateur de pression (vanne motorisée)
② Régulateur
⑥ Électrovanne avec filtre

L'exemple d'application 5.6.2 présente une solution de régulation précise de la température du médium sans commande marche ou arrêt.

Cette conception peut être utilisée pour les évaporateurs DX ou à circulation par pompe avec n'importe quel type de système de dégivrage.

La vanne motorisée de type ICM commandée par le régulateur de température du fluide EKC 361 est sélectionnée.

Le régulateur de température EKC 361 commande la température dans l'application au niveau souhaité, en contrôlant l'ouverture de la vanne pilote ICM puis en contrôlant la pression d'évaporation pour qu'elle s'adapte à la charge de refroidissement et à la température.

Cette solution permet de réguler la température du fluide avec une précision de +/- 0,25 °C. Si la température passe au-dessous de cette limite, le régulateur EKC peut fermer l'électrovanne de la ligne liquide.

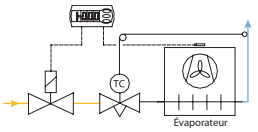
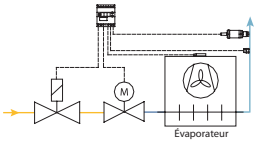
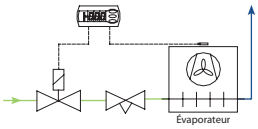
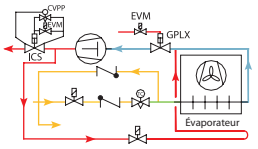
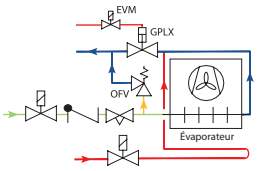
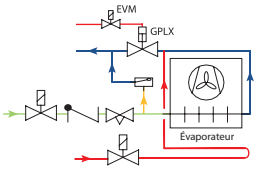
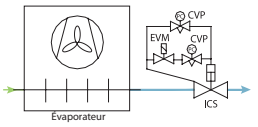
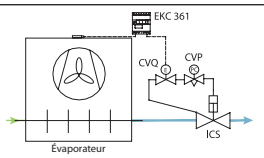
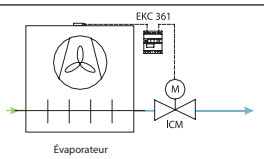
Le régulateur de température du fluide EKC 361 commande toutes les fonctions de l'évaporateur notamment le thermostat et les alarmes.

Pour plus détails, veuillez vous reporter au manuel du régulateur EKC 361 de Danfoss.

Les vannes ne sont pas toutes représentées.
Ce schéma ne doit pas être utilisé à des fins de construction.

© Danfoss A/S (RC-MDP/MWA), 2014-10

5.7 Résumé

Solution		Application	Avantages	Limites
Régulation par détente directe				
Évaporateur DX, régulation du détendeur thermostatique avec TEA, EVRA et EKC 202		Tous les systèmes DX.	Installation simple sans séparateur et système de pompe.	Puissance frigorifique et efficacité plus faibles que sur les systèmes à circulation. Ne convient pas aux fluides frigorigènes inflammables.
Évaporateur DX, régulation du détendeur électronique avec ICM/ICF, EVRA et EKC 315A		Tous les systèmes DX.	Surchauffe optimisée. Réponse rapide. Commande à distance possible. Large puissance frigorifique.	Ne convient pas aux fluides frigorigènes inflammables.
Régulation de la circulation par pompe				
Évaporateur à circulation par pompe, régulation du détendeur avec REG, EVRA et EKC 202		Systèmes à circulation par pompe.	Évaporateur à grande puissance frigorifique et efficacité.	Fluctuations et charge en fluide frigorigène importante.
Dégivrage par gaz chauds pour les refroidisseurs d'air DX				
Évaporateur DX avec dégivrage par gaz chauds		Tous les systèmes DX.	Dégivrage rapide. Le gaz chaud peut permettre d'éliminer l'huile en trop dans l'évaporateur à basse température.	Ne convient pas aux systèmes comportant moins de 3 évaporateurs.
Dégivrage par gaz chauds pour les refroidisseurs d'air à circulation par pompe				
Évaporateur à circulation par pompe avec dégivrage par gaz chauds		Tous les systèmes à circulation par pompe.	Dégivrage rapide. Le gaz chaud peut permettre d'éliminer l'huile en trop dans l'évaporateur à basse température.	Ne convient pas aux systèmes comportant moins de 3 évaporateurs.
Évaporateur à circulation par pompe avec dégivrage par gaz chauds commandée par la SV1/3		Tous les systèmes à circulation par pompe.	Dégivrage rapide. Le gaz chaud peut permettre d'éliminer l'huile en trop dans l'évaporateur à basse température. La vanne à flotteur est efficace et stable dans la régulation du débit de gaz chaud.	Ne convient pas aux systèmes comportant moins de 3 évaporateurs.
Régulation multitempératures				
Régulation multitempératures avec l'ICS et la CVP		Évaporateurs qui ont besoin de fonctionner à différentes températures.	L'évaporateur peut basculer entre 2 niveaux différents de température.	Chute de pression dans la conduite d'aspiration.
Régulation de la température du médium				
Régulation de la température du médium avec l'ICS, la CVQ et la CVP		Régulation très précise de la température associée à une protection de la pression minimum (dégivrage). Option de fonctionnement à différentes températures	La CVQ régule très précisément la température, la CVP peut maintenir la température au-dessus du niveau minimum requis.	Chute de pression dans la conduite d'aspiration.
Régulation de la température du médium avec la vanne motorisée ICM.		Régulation très précise de la température. Option de fonctionnement à différentes températures	L'ICM régule très précisément la température en ajustant le degré d'ouverture.	La puissance frigorifique maximum est ICM 65.

5.8 Documents de référence

Pour obtenir une liste de tous les documents de référence dans l'ordre alphabétique, veuillez vous reporter à la page 146

Fiche technique/manuel

Type	Réf. du document
AKS 21	RK0YG
AKS 33	RD5GH
AKVA	PD.VA1.B
CVP	PD.HN0.A
CVQ	PD.HN0.A
EVM	PD.HN0.A
EKC 202	RS8DZ
EKC 315A	RS8CS
EKC 361	RS8AE
EVRA(T)	PD.BM0.B
FA	PD.FM0.A

Type	Réf. du document
FIA	PD.FN1.A
GPLX	PD.BO0.A
ICF	PD.FT1.A
ICM	PD.HT0.B
ICS	PD.HS2.A
NRVA	PD.FK0.A
OFV	PD.HQ0.A
ICLX	PD.HS1.A
REG	PD.KM1.A
SV 1-3	PD.GE0.B
SVA	PD.KD1.A
TEA	PD.AJ0.A

Instruction produit

Type	Réf. du document
AKS 21	RI14D
AKS 32R	PI.SB0.A
AKS 33	PI.SB0.A
AKVA	PI.VA1.C / PI.VA1.B
CVP	PI.HN0.C
CVQ	PI.VH1.A
EVM	PI.HN0.N
EKC 202	RI8JV
EKC 361	RI8BF
EVRA(T)	PI.BN0.L
FA	PI.FM0.A

Type	Réf. du document
FIA	PI.FN1.A
GPLX	PI.BO0.A
ICF	PI.FT0.C
ICM 20-65	PI.HT0.A
ICM 100-150	PI.HT0.B
ICS 25-65	PI.HS0.A
ICS 100-150	PI.HS0.B
NRVA	PI.FK0.A
OFV	PI.HX0.B
ICLX	PI.HS1.A/B
REG	PI.KM1.A
SV 1-3	PI.GE0.C
SVA	PI.KD1.A
TEA	PI.AJ0.A

Pour télécharger la dernière version de la documentation, visitez le site Internet de Danfoss.

© Danfoss A/S (RC-MDP/MWA), 2014-10

6. Circuits d'huile

Généralement, les compresseurs frigorifiques industriels sont lubrifiés avec de l'huile, laquelle est envoyée par la pompe à huile ou par la différence de pression entre haute et basse pressions vers les pièces mobiles des compresseurs (paliers, rotors, parois de cylindres, etc.). Pour garantir un fonctionnement sûr et efficace du compresseur, il convient de réguler les paramètres relatifs à l'huile, qui sont les suivants :

- Température de l'huile. Elle doit être maintenue dans les limites spécifiées par le fabricant. L'huile doit présenter une bonne viscosité et la température doit être maintenue sous le point d'inflammabilité.
- Pression de l'huile. La différence de pression de l'huile doit être maintenue au-dessus du niveau minimum acceptable.

Des composants et du matériel de support sont généralement utilisés sur les systèmes de réfrigération pour le traitement de l'huile, la séparation de l'huile du fluide frigorigène, le retour de l'huile du côté basse pression, l'égalisation du niveau d'huile sur des systèmes avec plusieurs compresseurs à pistons et des points de désactivation de la purge d'huile. La plupart sont fournis par le fabricant du compresseur.

La conception du système à huile d'une installation frigorifique industrielle dépend du type de compresseur (à vis ou à pistons) et du fluide frigorigène (ammoniac, HFC/HCFC ou CO2). De l'huile non miscible est souvent utilisée pour l'ammoniac et de l'huile miscible est utilisée pour les fluides frigorigènes fluorés.
Comme les systèmes à huile dépendent souvent du compresseur, certains points mentionnés ci-dessus ont été décrits dans la section 2 (Régulations du compresseur) et dans la section 7 (Systèmes de sécurité).

6.1 Refroidissement de l'huile

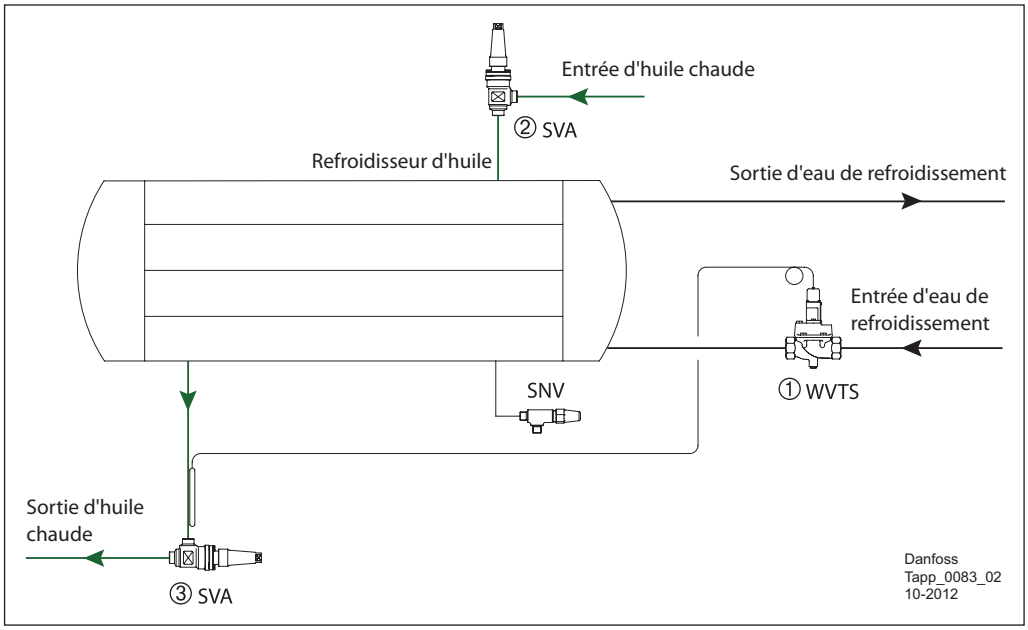
Les compresseurs en réfrigération (notamment tous les compresseurs à vis et certains compresseurs à pistons) requièrent généralement un refroidissement de l'huile. Des températures de refoulement trop élevées peuvent détruire l'huile et provoquer par conséquent des dommages sur le compresseur. Il est aussi important de veiller à ce que l'huile présente une viscosité correcte, ce qui dépend fortement de la température. La température doit être maintenue sous un seuil critique mais elle doit également être régulée. Normalement, la température de l'huile est spécifiée par le fabricant du compresseur.

Plusieurs types de systèmes de refroidissement d'huile sont utilisés dans la réfrigération. Voici les plus courants :

- refroidissement par eau
- refroidissement par air
- refroidissement par thermosiphon

L'huile peut également être refroidie en injectant le fluide frigorigène liquide directement dans l'orifice intermédiaire des compresseurs à vis. Sur les compresseurs à pistons, il est assez courant de ne pas rencontrer de systèmes spéciaux de réfrigération à l'huile.

Exemple d'application 6.1.1 : refroidissement de l'huile avec de l'eau



Eau
Huile

① Vanne à eau
② Vanne d'arrêt
③ Vanne d'arrêt

Ces types de systèmes sont généralement utilisés sur des installations utilisant une source d'eau bon marché. Il est dans le cas contraire nécessaire d'installer une tour de refroidissement pour refroidir l'eau. Les circuits d'huile refroidis à l'eau sont assez courants sur les installations frigorifiques marines.

Le débit d'eau est régulé par la vanne à eau de type WVTS ①, qui régule le débit en fonction de la température de l'huile.

Contacter le revendeur local Danfoss pour vérifier la disponibilité des composants à utiliser avec de l'eau de mer comme fluide de refroidissement.

Données techniques

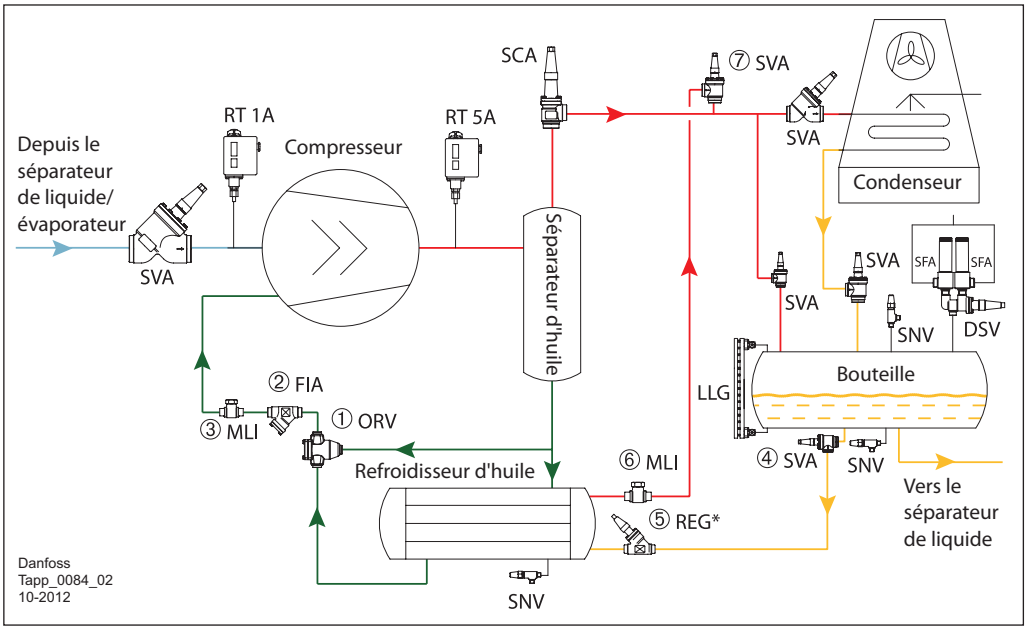
	Vanne à eau - WVTS
Matériaux	Corps de vanne : fonte
Fluide	Eau douce, savon neutre
Pression de service max. [bar]	10
Plage de température de fonctionnement [°C]	Bulbe : 0 à 90 Liquide : -25 à 90
DN [mm]	32 à 100
Valeur K_v max. [m³/h]	12,5 à 125

	Vanne à eau - AVTA
Fluide	Eau douce, savon neutre
Pression de service max. [bar]	16
Plage de température de fonctionnement [°C]	Bulbe : 0 à 90 Liquide : -25 à 130
DN [mm]	10 à 25
Valeur K_v max. [m³/h]	1,4 à 5,5

Les vannes ne sont pas toutes représentées. Ce schéma ne doit pas être utilisé à des fins de construction.

© Danfoss A/S (RC-MDP/MWA), 2014-10

Exemple d'application 6.1.2 : refroidissement de l'huile par thermosiphon



Fluide frigorigène vapeur HP
Réfrigérant liquide HP
Réfrigérant vapeur LP
Huile

① Vanne de régulation d'huile
② Filtre
③ Voyant liquide
④ Vanne d'arrêt
⑤ Vanne de régulation manuelle
⑥ Voyant liquide
⑦ Vanne d'arrêt

Ces types de systèmes sont très pratiques car l'huile est refroidie dans le système. Il est uniquement nécessaire de surdimensionner le condenseur en fonction de la quantité de chaleur obtenue du refroidisseur d'huile. A l'inverse, le refroidissement de l'huile par thermosiphon nécessite une tuyauterie supplémentaire et il est parfois également nécessaire d'installer un autre réservoir prioritaire (lorsque la bouteille de liquide HP est placée trop bas ou n'est pas installée).

Le fluide frigorigène de liquide haute pression s'écoule de la bouteille par gravité dans le refroidisseur d'huile où il s'évapore et refroidit l'huile. La vapeur du fluide frigorigène revient dans la bouteille, ou dans certains cas, à l'entrée du condenseur. Il est essentiel de réduire au minimum la chute de pression dans les tuyaux d'alimentation et de retour.

Le fluide frigorigène risque dans le cas contraire de ne pas sortir du refroidisseur d'huile et le système risque de ne plus fonctionner. Seul un nombre minimum de vannes d'arrêt SVA doit être installé. Aucune électrovanne dépendante de la pression ne peut être utilisée. Sur la conduite de retour, il est conseillé d'installer un voyant liquide MLI ⑥.

La température de l'huile est maintenue au niveau qui convient par la vanne trois voies ORV ①. La vanne ORV maintient la température de l'huile dans les limites définies par son élément thermostatique. Si la température de l'huile augmente trop, l'huile revient dans le refroidisseur d'huile. Si elle est trop basse, l'huile ne traverse pas refroidisseur d'huile.

* La vanne de régulation REG peut être utile si le refroidisseur d'huile est surdimensionné.

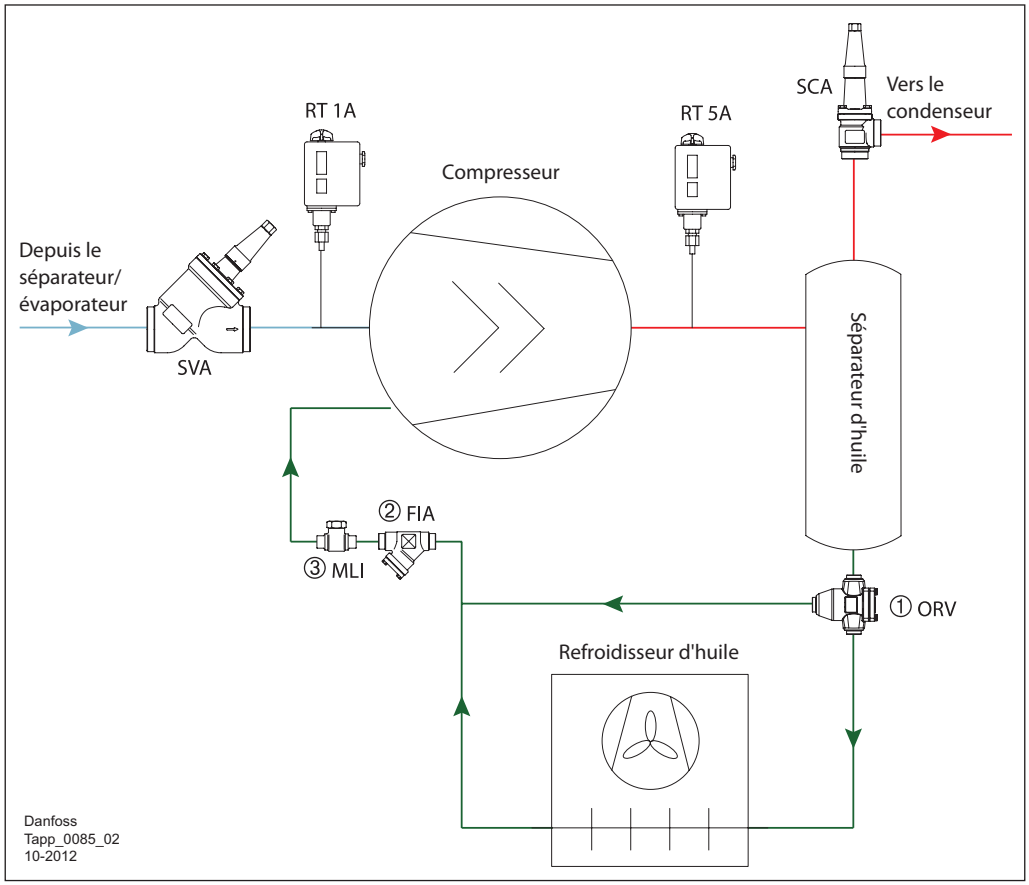
Données techniques

	Vanne de régulation d'huile - ORV
Matériaux	Corps de vanne : acier résistant au froid
Fluide	Toutes les huiles réfrigérantes et les fluides frigorigènes courants, notamment le R717
Pression de service max. [bar]	40
Plage de température [°C]	Fonctionnement continu : -10 à 85 Fonctionnement bref : -10 à 120
DN [mm]	25 à 80

Les vannes ne sont pas toutes représentées. Ce schéma ne doit pas être utilisé à des fins de construction.

© Danfoss A/S (RC-MDP/MWA), 2014-10

Exemple d'application 6.1.3 : refroidissement de l'huile avec de l'air



Fluide frigorigène vapeur HP
Fluide frigorigène vapeur BP
Huile

① Vanne de régulation d'huile
② Filtre
③ Voyant liquide

Il est assez courant d'utiliser des refroidisseurs d'huile à air avec des ensembles de réfrigération à compresseurs à vis semi-hermétiques.

La vanne de température de l'huile est commandée par la vanne de régulation d'huile ORV ①.

Dans ce cas, l'ORV divise le débit en provenance du séparateur d'huile et le régule en fonction du changement de la température de refoulement de l'huile.

Les vannes ne sont pas toutes représentées. Ce schéma ne doit pas être utilisé à des fins de construction.

© Danfoss A/S (RC-MDP/MWA), 2014-10

6.2 Régulateur de pression différentielle de l'huile

Pendant le fonctionnement normal du compresseur frigorifique, l'huile circule grâce à la pompe à huile et/ou à la différence de pression entre les côtés HP et BP. La phase la plus critique est la phase de démarrage.

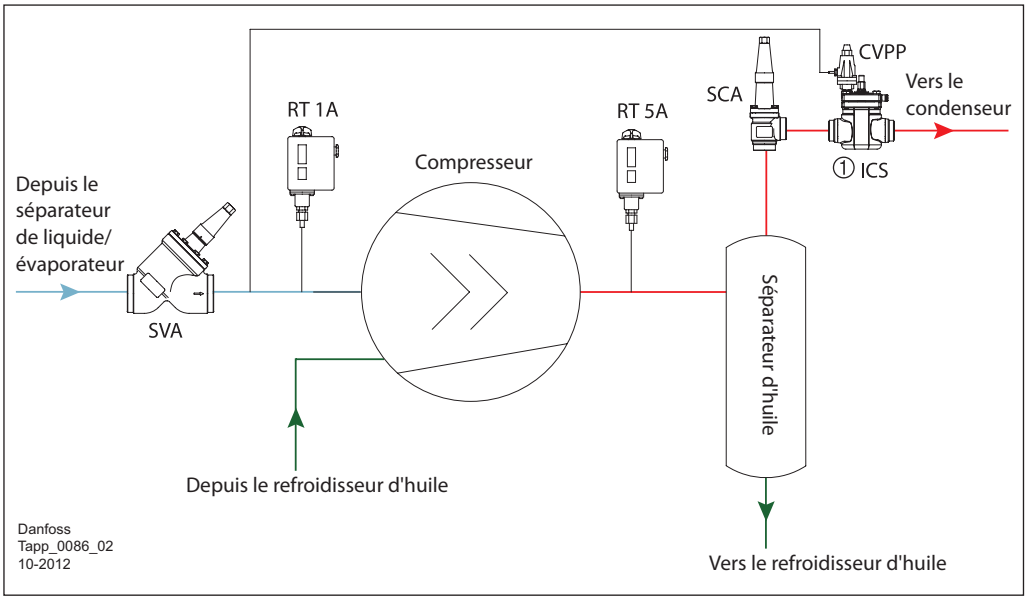
La montée en pression de l'huile doit avoir lieu rapidement afin de ne pas endommager le compresseur.

Deux méthodes principales permettent de faire monter rapidement la pression différentielle de l'huile dans le compresseur frigorifique.

La première consiste à utiliser une pompe à huile externe et la deuxième consiste à installer une vanne de régulation sur la conduite de refoulement du compresseur après le séparateur d'huile.

Avec cette dernière méthode, il convient de vérifier si le fabricant du compresseur autorise un fonctionnement à sec pendant quelques secondes. Normalement, cela est possible pour les compresseurs à vis avec des paliers à billes mais impossible avec des paliers horizontaux.

Exemple d'application 6.2.1 : régulation de la pression différentielle de l'huile avec l'ICS et la CVPP



Fluide frigorigène vapeur HP
Fluide frigorigène vapeur BP
Huile

① Régulateur de pression différentielle

Dans cette application, une vanne servo-commandée ICS ① équipée d'une vanne pilote différentielle CVPP doit être utilisée. La conduite pilote de la vanne CVPP est raccordée à la conduite d'aspiration avant le compresseur. L'ICS ① se ferme au démarrage du compresseur.

Comme le tuyau qui relie le compresseur à la vanne est très court, la pression de refoulement augmente rapidement. Très vite, la vanne s'ouvre complètement et le compresseur fonctionne dans des conditions normales.

Le principal avantage de cette solution réside dans sa flexibilité car la pression différentielle peut être réajustée sur place et l'ICS peut également servir pour d'autres fonctions utilisant d'autres pilotes.

Données techniques

	Servovanne pilotée - ICS
Matériau	Corps : acier basse température
Fluides frigorigènes	Tous les fluides frigorigènes courants, notamment les R717 et R744
Plage de température du fluide [°C]	-60 à 120
Pression de service max. [bar]	52
DN [mm]	20 à 150
Puissance nominale [kW]*	20 à 4000

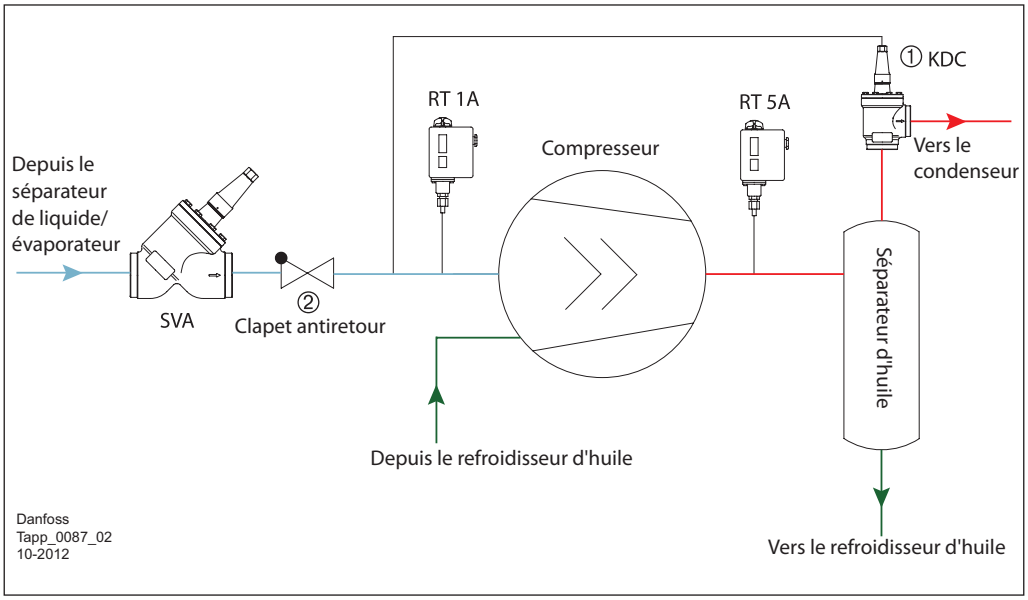
* Conditions : R717, conduite de gaz chauds, T_{liq} = 30 °C, $P_{refoul.}$ = 12 bar, ΔP = 0,2 bar, $T_{refoul.}$ = 80 °C, T_e = –10°C

	Vanne pilote de pression différentielle-CVPP
Matériau	Corps : acier inoxydable
Fluides frigorigènes	Tous les fluides frigorigènes courants ininflammables, notamment le R717
Plage de température du fluide [°C]	-50 à 120
Pression de service max. [bar]	CVPP (BP) : 17 CVPP (HP) : jusqu'à 40
Plage de régulation [bar]	CVPP (BP) : 0 à 7 CVPP (HP) : 0 à 22
Valeur K, m^3/h	0,4

Les vannes ne sont pas toutes représentées. Ce schéma ne doit pas être utilisé à des fins de construction.

© Danfoss A/S (RC-MDP/MWA), 2014-10

Exemple d'application 6.2.2 : régulation de la pression différentielle de l'huile avec la KDC



Fluide frigorigène vapeur HP
Fluide frigorigène vapeur BP
Huile

① Vanne multifonction
② Clapet antiretour (normalement intégré dans le compresseur)

Le principe de fonctionnement de cet exemple est le même que dans l'exemple 6.2.1. La vanne multifonction KDC ① ne s'ouvre que jusqu'à ce que la différence de pression entre le séparateur d'huile et la conduite d'aspiration dépasse la valeur de réglage et jusqu'à ce que la pression dans le séparateur d'huile soit supérieure à la pression de condensation.

La vanne KDC ① présente certains avantages car elle peut aussi faire office de clapet antiretour (elle ne peut pas s'ouvrir par contre-pression) et elle permet une chute de pression moindre pendant l'ouverture.

Toutefois, la KDC ① présente également des limites. La vanne n'est pas ajustable et le nombre de réglages de pression différentielle disponibles est limité. Un clapet antiretour ② est par ailleurs nécessaire dans la conduite d'aspiration.

En l'absence de clapet antiretour, l'écoulement inversé peut être très important dans le compresseur depuis le séparateur d'huile. Il n'est pas non plus possible de placer un clapet antiretour entre le compresseur et le séparateur d'huile. Dans le cas contraire, la vanne KDC mettrait trop de temps à se fermer.

Données techniques

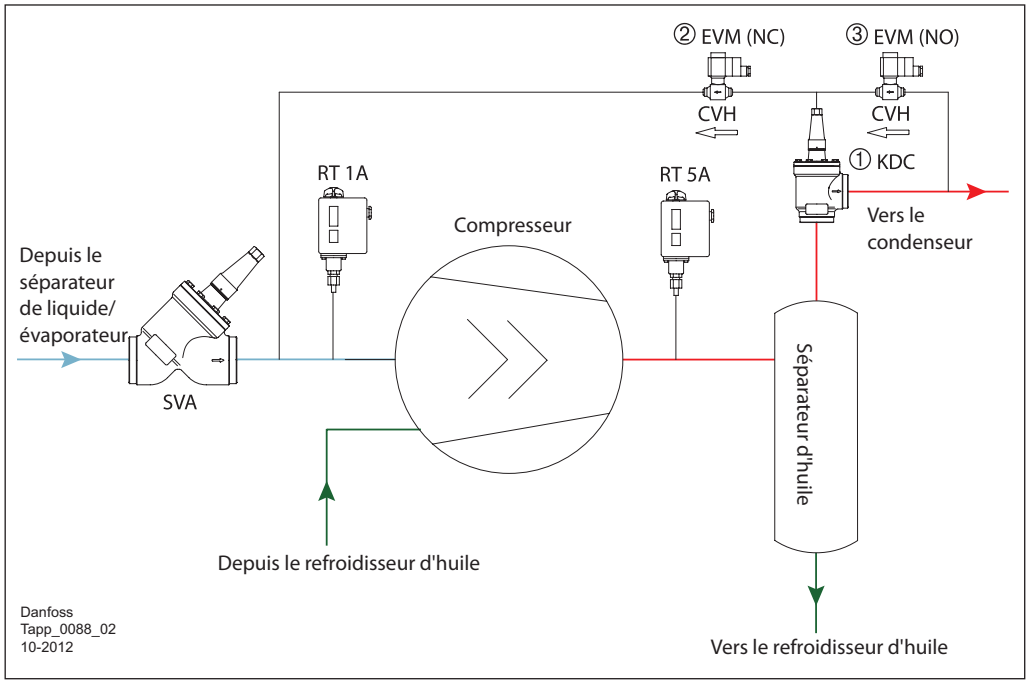
	Vanne multifonction - KDC
Matériau	Acier basse température
Fluides frigorigènes	Tous les fluides frigorigènes courants, notamment le R717
Plage de température du fluide [°C]	-50 à 150
Pression de service max. [bar]	40
DN [mm]	65 à 200
Puissance nominale [kW]*	435 à 4207

* Conditions : R717, +35 °C/-15 °C, ΔP = 0,05 bar

Les vannes ne sont pas toutes représentées. Ce schéma ne doit pas être utilisé à des fins de construction.

© Danfoss A/S (RC-MDP/MWA), 2014-10

Exemple d'application 6.2.3 : régulation de la pression différentielle de l'huile avec les vannes pilotes KDC et EVM



Fluide frigorigène vapeur HP
Fluide frigorigène vapeur BP
Huile

① Vanne multifonction
② Électrovanne pilote (normalement fermée)
③ Électrovanne pilote (normalement ouverte)

Lorsqu'il est impossible d'installer un clapet antiretour sur la conduite d'aspiration ou si un clapet antiretour est installé entre le compresseur et le séparateur d'huile, il est possible d'utiliser la KDC ① équipée de vannes pilotes EVM.

Ces vannes EVM sont installées sur des conduites externes via des corps CVH comme présenté sur le schéma. Au démarrage du compresseur, le système fonctionne comme dans l'exemple précédent (6.2.2).

Lorsque le compresseur s'arrête, l'EVM NC ② doit être fermée et l'EVM NO ③ s'ouvre. Cela égalise la pression sur le ressort de la KDC, ce qui permet de la fermer.

Noter le sens d'installation des vannes pilotes CVH et EVM.

Les vannes ne sont pas toutes représentées. Ce schéma ne doit pas être utilisé à des fins de construction.

© Danfoss A/S (RC-MDP/MWA), 2014-10

6.3 Système de récupération de l'huile

Les compresseurs au sein des systèmes de réfrigération industrielle à l'ammoniac sont généralement les seuls composants qui nécessitent une lubrification. Par conséquent, la fonction du séparateur d'huile du compresseur est d'éviter que l'huile de lubrification ne passe dans le système de réfrigération.

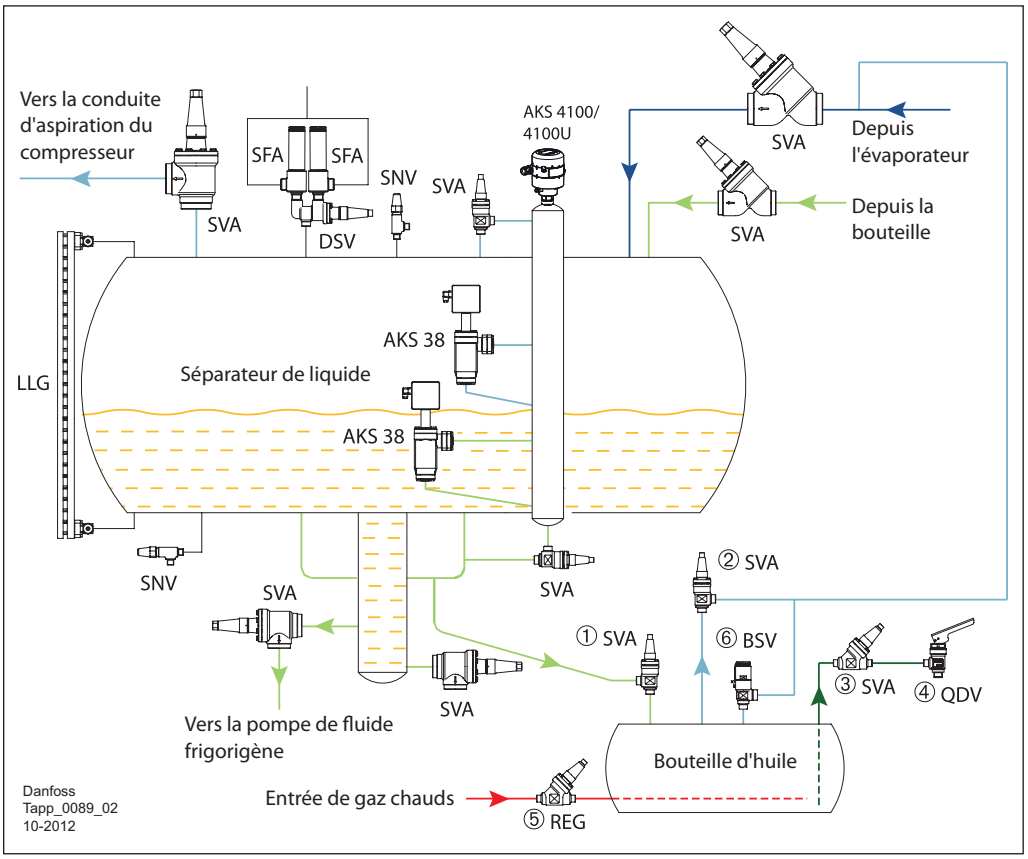
Toutefois, l'huile peut traverser le séparateur d'huile vers le système de réfrigération et elle s'accumule souvent du côté basse pression des séparateurs de liquide et des évaporateurs, ce qui réduit leur efficacité.

Si la quantité d'huile issue du compresseur et envoyée dans le système est trop importante, le niveau d'huile dans le compresseur diminue et il risque de chuter en dessous de la limite minimum définie par le fabricant du compresseur. Les systèmes de récupération d'huile sont essentiellement utilisés avec des fluides frigorigènes qui peuvent être mélangés avec de l'huile, comme les systèmes HFC/HCFC. Le système de récupération d'huile peut donc avoir deux fonctions :

- Éliminer l'huile du côté basse pression ;
- Renvoyer l'huile vers le compresseur.

Il est cependant extrêmement important de garder à l'esprit que l'huile éliminée du côté basse pression du système de refroidissement à l'ammoniac est généralement inadaptée pour un usage ultérieur avec le compresseur et qu'elle doit être extraite du système de réfrigération et mise au rebut.

Exemple d'application 6.3.1 : vidange de l'huile des systèmes à l'ammoniac



Fluide frigorigène vapeur HP
Mélange de fluide frigorigène liquide/vapeur
Fluide frigorigène vapeur BP
Fluide frigorigène liquide BP
Huile

① Vanne d'arrêt
② Vanne d'arrêt
③ Vanne d'arrêt
④ Vanne de purge d'huile à fermeture rapide
⑤ Vanne de régulation
⑥ Soupape de sécurité

Dans des systèmes à l'ammoniac, de l'huile non miscible est utilisée. Comme l'huile est plus lourde que l'ammoniac liquide, elle reste au fond du séparateur de liquide et ne peut pas retourner dans le compresseur via la conduite d'aspiration.

Par conséquent, l'huile des systèmes à l'ammoniac est normalement vidangée du séparateur de liquide dans la bouteille d'huile. Cela facilite la séparation de l'huile et de l'ammoniac.

Lors de la vidange de l'huile, fermer la vanne d'arrêt ① et ②, puis ouvrir la conduite de gaz chauds, ce qui permet d'augmenter la pression et de chauffer l'huile froide.

Vidanger ensuite l'huile en utilisant la vanne de purge d'huile QDV ④, qui peut être fermée rapidement après l'évacuation de l'huile et lorsque l'ammoniac commence à s'écouler.

Une vanne d'arrêt SVA ③ doit être installée entre le QDV et la bouteille. Cette vanne s'ouvre avant l'évacuation de l'huile et se ferme après.

Toutes les précautions nécessaires doivent être prises pendant la vidange de l'huile de l'ammoniac.

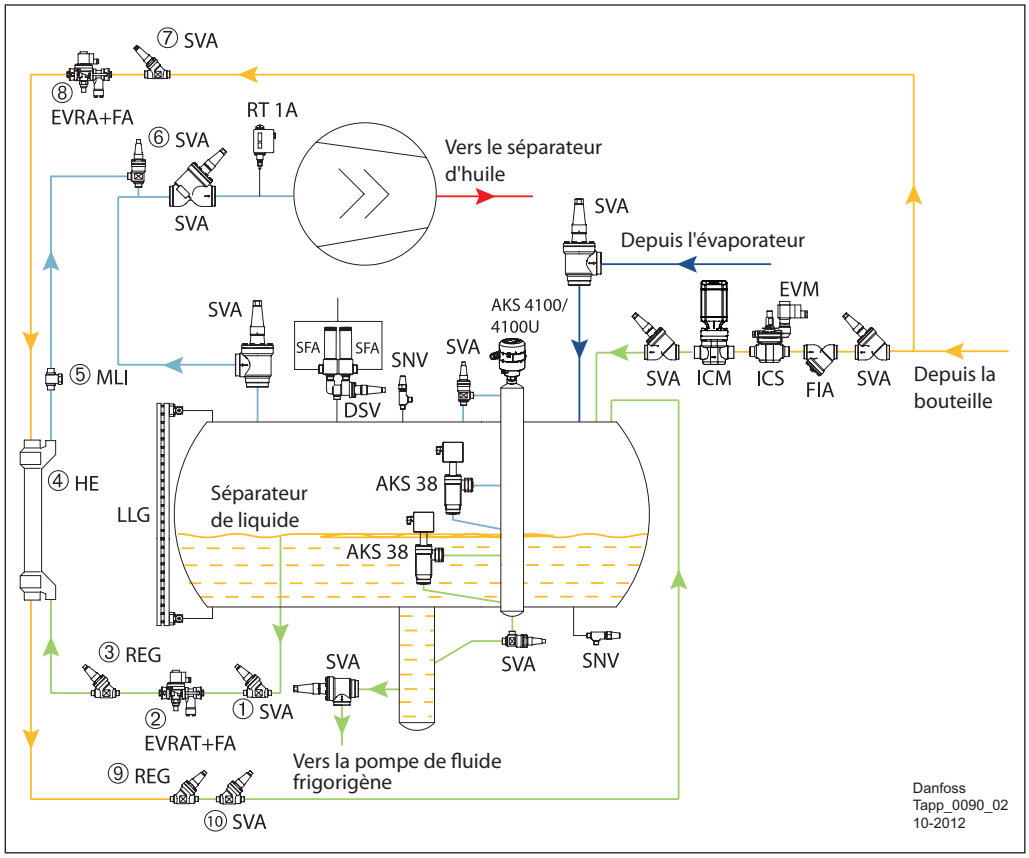
Données techniques

	Robinet de vidange à fermeture rapide - QDV
Matériau	Boîtier : acier
Fluides frigorigènes	Généralement utilisé avec du R717. Convient à tous les fluides frigorigènes ininflammables courants.
Plage de température du fluide [°C]	-50 à 150
Pression de service max. [bar]	25
DN [mm]	15

Les vannes ne sont pas toutes représentées. Ce schéma ne doit pas être utilisé à des fins de construction.

© Danfoss A/S (RC-MDP/MWA), 2014-10

Exemple d'application 6.3.2 : vidange de l'huile à partir des systèmes fluorés



Fluide frigorigène vapeur HP
Réfrigérant liquide HP
Mélange de fluide frigorigène liquide/vapeur
Fluide frigorigène vapeur BP
Fluide frigorigène liquide BP

① Vanne d'arrêt
② Électrovanne
③ Vanne de régulation
④ Échangeur de chaleur
⑤ Voyant liquide
⑥ Vanne d'arrêt
⑦ Vanne d'arrêt
⑧ Électrovanne
⑨ Vanne de régulation
⑩ Vanne d'arrêt

L'huile miscible est généralement utilisée sur les systèmes fluorés. Sur des systèmes qui ont recours à de bonnes pratiques en matière de canalisations (pentes, boucles d'huile, etc.), il n'est pas nécessaire de récupérer l'huile car elle revient avec la vapeur de fluide frigorigène.

Sur des installations basse température, l'huile peut toutefois stagner dans les réservoirs basse pression. L'huile est plus légère que les fluides frigorigènes fluorés courants. Il est donc impossible de la vidanger de façon simple comme sur les systèmes à l'ammoniac.

L'huile stagne au-dessus du fluide frigorigène et le niveau fluctue en fonction du niveau de fluide frigorigène.

Dans ce système, le fluide frigorigène passe du séparateur de liquide dans l'échangeur de chaleur ④ par gravité.

Le fluide frigorigène basse pression est chauffé par le fluide frigorigène liquide haute pression et s'évapore.

La vapeur de fluide frigorigène mélangée à l'huile revient dans la conduite d'aspiration. Le fluide frigorigène du séparateur de liquide est obtenu à partir du niveau de fonctionnement.

La vanne de régulation REG ③ est réglée de façon à ce qu'aucune goutte de fluide frigorigène liquide soit visible au niveau du voyant liquide MLI ⑤. L'échangeur de chaleur Danfoss de type HE peut être utilisé pour récupérer l'huile.

Le fluide frigorigène peut également être obtenu des conduites de refoulement de la pompe. Dans ce cas, peu importe que le fluide frigorigène soit obtenu du niveau opérationnel ou non.

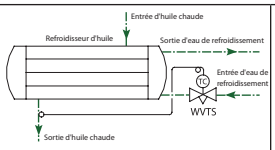
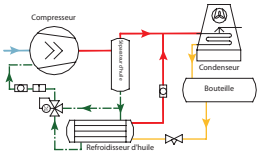
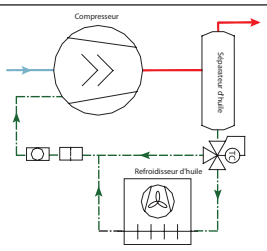
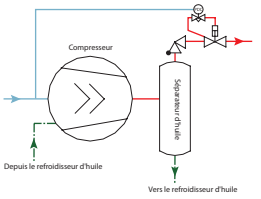
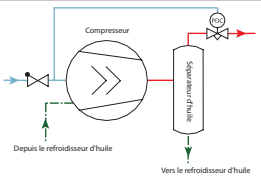
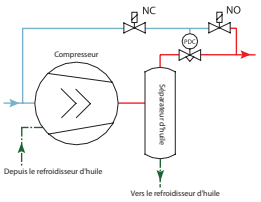
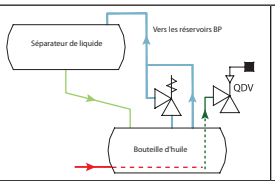
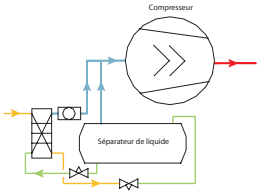
Données techniques

	Échangeur de chaleur - HE
Fluides frigorigènes	Tous les fluides frigorigènes fluorés
Plage de température du fluide [°C]	-60 à 120
Pression de service max. [bar]	HE0.5, 1.0, 1.5, 4.0 : 28 HE8.0 : 21,5
DN [mm]	Ligne liquide : 6 à 16 Conduite d'aspiration : 12 à 42

Les vannes ne sont pas toutes représentées. Ce schéma ne doit pas être utilisé à des fins de construction.

© Danfoss A/S (RC-MDP/MWA), 2014-10

6.4 Résumé

Solution		Application	Avantages	Limites
Systèmes de refroidissement de l'huile				
Refroidissement par l'eau, vanne à eau thermostatique WVTS		Installations marines, installations disposant d'une source d'eau peu onéreuse.	Simple et efficace.	Peut être onéreux, requiert des tuyaux d'eau séparés.
Refroidissement par thermosiphon, ORV		Tous types d'installations frigorifiques.	L'huile est refroidie par le fluide frigorigène sans perte d'efficacité de l'installation.	Requiert l'installation de tuyaux supplémentaires et d'une bouteille de liquide HP installé à une hauteur bien définie.
Refroidissement par l'air, ORV		Systèmes de réfrigération commerciaux lourds avec blocs d'alimentation.	Simple, sans tuyaux et sans eau supplémentaires.	Possibilité de fluctuations importantes de la température de l'huile en fonction des saisons. Le refroidisseur d'air peut être trop gros pour des installations importantes.
Régulateur de pression différentielle de l'huile				
ICS + CVPP		Compresseurs à vis (à confirmer par le fabricant du compresseur).	Flexible, différents réglages possibles.	Requiert l'installation du clapet antiretour.
KDC			Clapet antiretour non nécessaire, chute de pression inférieure à la solution ICS.	Il convient d'installer le clapet antiretour sur la conduite d'aspiration. Impossible de changer les réglages.
KDC+EVM			Comme précédemment mais l'installation du clapet antiretour de la conduite d'aspiration n'est pas nécessaire.	Requiert des tuyaux externes. Impossible de changer les réglages.
Systèmes de récupération de l'huile				
Récupération de l'huile à partir des systèmes à l'ammoniac, QDV		Toutes les installations à l'ammoniac.	Simple et sûr.	Requiert un fonctionnement manuel.
Récupération de l'huile à partir des systèmes fluorés, HE		Systèmes fluorés à basse température.	Ne requiert aucun fonctionnement manuel.	Le réglage peut être compliqué.

© Danfoss A/S (RC-MDP/MWA), 2014-10

6.5 Documents de référence

Pour obtenir une liste de tous les documents de référence dans l'ordre alphabétique, veuillez vous reporter à la page 146

Fiche technique/manuel

Type	Réf. du document
BSV	PD.IC0.A
CVPP	PD.HN0.A
EVM	PD.HN0.A
FIA	PD.FN0.A
HE	PD.FD0.A
ICS	PD.HS2.A
KDC	PD.FQ0.A

Type	Réf. du document
MLI	PD.GH0.A
ORV	PD.HP0.B
QDV	PD.KL0.A
REG	PD.KM1.A
SVA	PD.KD1.A

Instruction produit

Type	Réf. du document
BSV	PI.IC0.A
CVPP	PI.HN0.C
EVM	PI.HN0.N
FIA	PI.FN0.A
HE	PI.FD0.A
ICS 25-65	PI.HS0.A
ICS 100-150	PI.HS0.B
KDC	PI.FQ0.A

Type	Réf. du document
MLI	PI.GH0.A
ORV	PI.HP0.A
QDV	PI.KL0.A
REG	PI.KM1.A
SVA	PI.KD1.A

Pour télécharger la dernière version de la documentation, visitez le site Internet de Danfoss.

7. Systèmes de sécurité

Tous les systèmes de réfrigération industrielle ont été conçus avec différents systèmes de sécurité qui les protègent des éventuels risques tels qu'une pression excessive.
Une pression interne excessive prévisible doit être évitée ou libérée avec un risque minimum sur les personnes, les biens et l'environnement.

L'état des systèmes de sécurité est lourdement contrôlé par les autorités et il est donc toujours nécessaire de vérifier les conditions de la législation locale de chaque pays.

Les limiteurs de pression, comme les soupapes de sécurité, ont été conçus pour libérer automatiquement toute pression excessive afin qu'elle ne dépasse pas la limite autorisée. Elles se ferment dès que la pression passe sous la limite acceptable.

Le limiteur de température ou régulateur de température est un dispositif actionné par température, conçu pour éviter les températures dangereuses de façon à ce que le système puisse s'arrêter partiellement ou complètement en cas de défaut ou de dysfonctionnement.

Le limiteur de pression est un dispositif qui protège des pressions trop faibles ou trop élevées par un réarmement automatique.

Pressostat de sécurité
Les pressostats de sécurité ont été conçus pour limiter la pression par un réarmement manuel.

La coupure de niveau de liquide est un dispositif actionné par le niveau de liquide, conçu pour éviter les niveaux de liquide trop dangereux.

Le détecteur de fluide frigorigène est un dispositif détectant une concentration prédéfinie de gaz fluide frigorigène dans l'environnement. Danfoss produit des détecteurs de fluide frigorigène de type GD. Consulter le guide d'application spécifique pour en savoir plus.

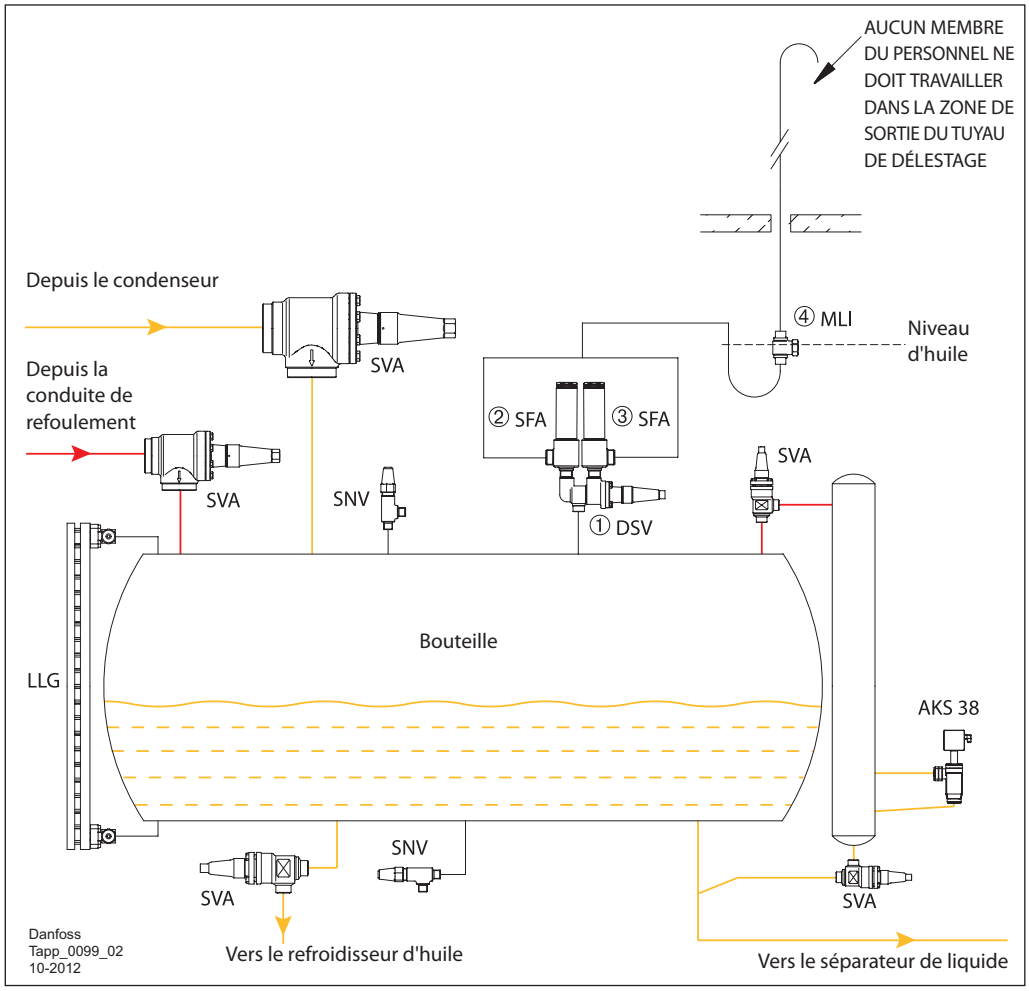
7.1 Limiteurs de pression

Des soupapes de sécurité sont installées afin d'empêcher la pression du système de dépasser le niveau maximum autorisé sur chaque composant et sur le système dans son ensemble. En cas de pression excessive, les soupapes de sécurité libèrent du fluide frigorigène du système de réfrigération.

Les principaux paramètres des soupapes de sécurité sont la surpression et la pression de fermeture. Normalement, la surpression ne doit pas excéder 10 % des pressions définies. Par ailleurs, si la soupape ne se ferme pas ou se ferme à une pression trop faible, on peut assister à une perte significative de fluide frigorigène.

© Danfoss A/S (RC-MDP/MWA), 2014-10

Exemple d'application 7.1.1 : soupape de sécurité SFA + DSV



Fluide frigorigène vapeur HP
Réfrigérant liquide HP

① Vanne double
② Soupape de sécurité
③ Soupape de sécurité
④ Voyant liquide

Des limiteurs de pression doivent être installés sur tous les réservoirs des systèmes ainsi que sur les compresseurs.

Des soupapes de sécurité dont l'actionnement dépend de la contre-pression (SFA) sont généralement utilisées. Des soupapes de sécurité doivent être montées avec un robinet de jumelage DSV ① pour permettre l'entretien d'une soupape pendant que l'autre est en fonctionnement.

Des limiteurs de pression doivent être montés près de la partie du système qu'ils protègent. Pour vérifier si la soupape de sécurité s'est déchargée dans l'atmosphère, un purgeur en U rempli d'huile et équipé d'un voyant liquide MLI ④ peut être monté après la vanne.

Remarque : dans certains pays, l'installation d'un purgeur en U est interdite.

Les tuyaux de sortie de la soupape de sécurité doivent être conçus pour garantir la sécurité des personnes en cas de libération du fluide frigorigène.

La chute de pression dans les tuyaux de sortie vers les soupapes de sécurité est importante pour le fonctionnement des soupapes. Il est conseillé de vérifier les normes correspondant aux recommandations relatives au dimensionnement de ces tuyaux.

Les vannes ne sont pas toutes représentées. Ce schéma ne doit pas être utilisé à des fins de construction.

© Danfoss A/S (RC-MDP/MWA), 2014-10

Données techniques

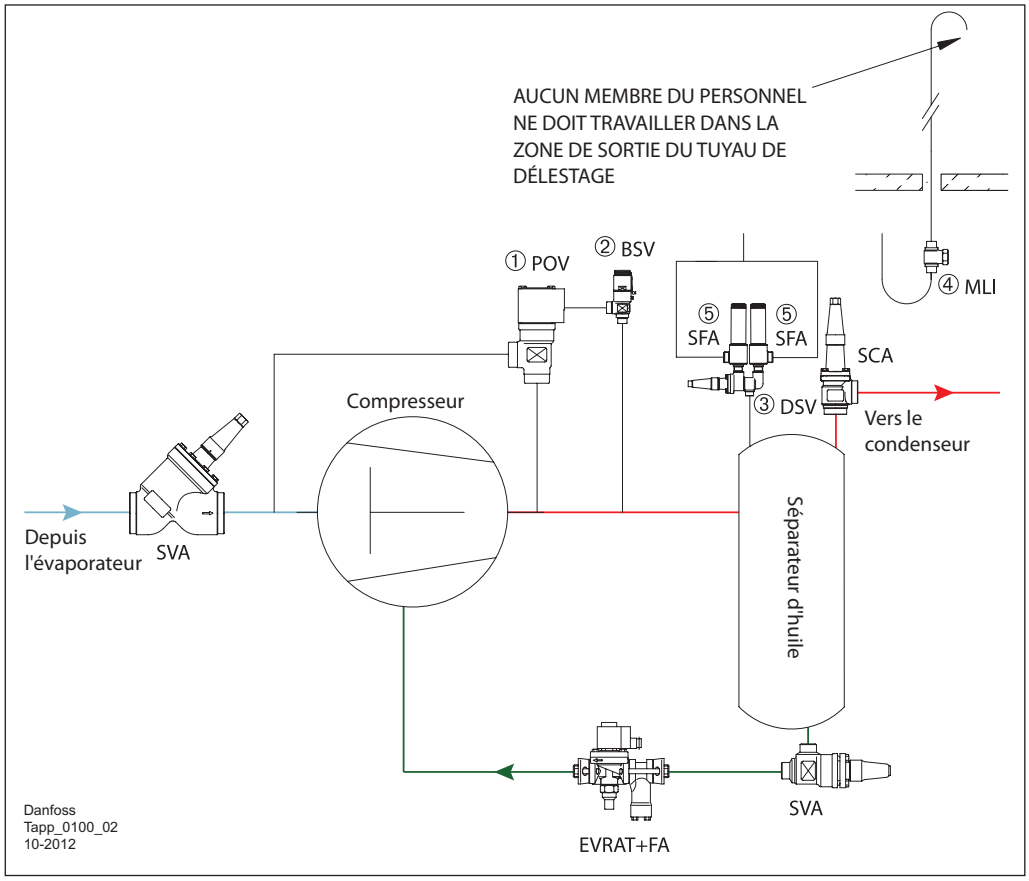
	Soupape de sécurité - SFA 15 (dont l'actionnement dépend de la contre-pression)
Matériau	Boîtier : acier spécial approuvé pour un fonctionnement à basse température
Fluides frigorigènes	R717, R744, HFC, HCFC, autres fluides frigorigènes (en fonction de la compatibilité avec le matériau d'étanchéité)
Plage de température du fluide [°C]	-30 à 100
Surface du flux [mm^2]	133
Pression de consigne [bar]	10 à 40

	Soupape de sécurité - SFV 20-25 (dont l'actionnement dépend de la contre-pression)
Matériau	Boîtier : acier spécial approuvé pour un fonctionnement à basse température
Fluides frigorigènes	R717, R744, HFC, HCFC, autres fluides frigorigènes (en fonction de la compatibilité avec le matériau du joint)
Plage de température du fluide [°C]	-30 à 100
Surface du flux [mm^2]	SFV 20 : 254/SFV 25 : 415
Pression de consigne [bar]	10 à 25

	Vanne double - DSV 1/2
Matériau	Boîtier : acier spécial approuvé pour un fonctionnement à basse température
Fluides frigorigènes	Tous les fluides frigorigènes courants ininflammables, notamment le R717
Plage de température du fluide [°C]	-50 à 100
Pression de service max. [bar]	40
Valeur K_v [m^3/h]	DSV1 : 17,5 DSV2 : 30

© Danfoss A/S (RC-MDP/MWA), 2014-10

Exemple d'application 7.1.2 : soupape de sécurité interne - BSV et POV



Fluide frigorigène vapeur HP
Fluide frigorigène vapeur BP
Huile

① Soupape de sécurité interne pilotée
② Soupape de sécurité interne
③ Vanne double
④ Voyant liquide
⑤ Soupape de sécurité

Pour libérer le fluide frigorigène du côté haute pression vers le côté basse pression, il convient d'utiliser uniquement des soupapes de sécurité dont l'actionnement ne dépend pas de la contre-pression (BSV/POV).

Les soupapes BSV ② peuvent agir comme soupapes de sécurité directe avec une faible puissance frigorifique ou comme soupape pilote pour la vanne principale POV ①. Lorsque la pression de refoulement dépasse la pression établie, la BSV ouvre la POV pour libérer de la vapeur sous haute pression du côté basse pression.

Les soupapes de sécurité dont l'actionnement ne dépend pas de la contre-pression sont montées sans robinet de jumelage. Pour remplacer ou réajuster les soupapes, il convient d'arrêter le compresseur.

Si une vanne d'arrêt est montée sur la conduite de refoulement après le séparateur d'huile, il convient de protéger le séparateur d'huile et le compresseur contre toute pression excessive provoquée par une chaleur externe ou engendrée par la compression.

Cette protection peut être obtenue avec des soupapes de sécurité standard SFA ⑤ associées à un robinet de jumelage DSV ③.

Données techniques

	Soupape de sécurité - BSV (dont l'actionnement ne dépend pas de la contre-pression)
Matériau	Boîtier : acier spécial approuvé pour un fonctionnement à basse température
Fluides frigorigènes	R717, R744, HFC, HCFC et autres fluides frigorigènes (en fonction de la compatibilité avec le matériau d'étanchéité)
Plage de température du fluide [°C]	-30 à 100 en tant que soupape de sécurité externe -50 à 100 en tant que vanne pilote pour POV
Pression de consigne [bar]	10 à 25
Surface du flux [mm²]	50

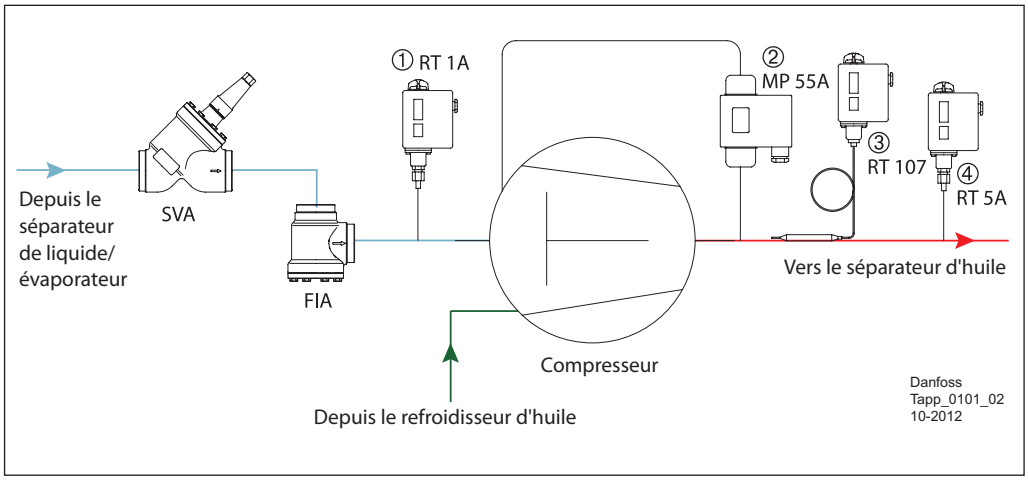
	Soupape de sécurité interne pilotée - POV
Matériau	Boîtier : acier
Fluides frigorigènes	R717, HFC, HCFC et autres fluides frigorigènes (en fonction de la compatibilité du matériau d'étanchéité)
Plage de température du fluide [°C]	-50 à 150 en tant que vanne pilote pour POV
Pression de consigne [bar]	15 à 25
Surface du flux [mm²]	POV 600 : 835 POV 1050 1244 POV 2150 : 2734
DN [mm]	40/50/80

Les vannes ne sont pas toutes représentées. Ce schéma ne doit pas être utilisé à des fins de construction.

© Danfoss A/S (RC-MDP/MWA), 2014-10

7.2 Limiteurs de pression et de température

Exemple d'application 7.2.1 : coupure de la pression/ température des compresseurs



Fluide frigorigène vapeur HP
Fluide frigorigène vapeur BP
Huile

① Coupure de la basse pression
② Coupure de la basse pression différentielle
③ Coupure de la haute température
③ Coupure de la haute pression

Pour protéger le compresseur contre une pression et une température de refoulement trop élevées ou contre une pression d'aspiration trop faible, on utilise des pressostats KP/RT.
Le RT1A ① est un régulateur de basse pression, le RT 5A ④ est un régulateur de haute pression et le RT 107 ③ est un thermostat.

Le point de consigne haute pression doit être inférieur à celui des soupapes de sécurité du côté haute pression. Le point de consigne basse pression est spécifié par le fabricant du compresseur.

Pour les compresseurs à pistons, le pressostat différentiel d'huile MP 54/55 ② est utilisé pour arrêter les compresseurs lorsque la pression de l'huile est trop faible.

Le pressostat différentiel d'huile coupe le compresseur s'il ne crée par assez de pression différentielle au démarrage au bout d'un certain temps (0-120 s).

Données techniques

	Thermostat - RT
Fluides frigorigènes	Fluides frigorigènes R717 et fluorés
Protection	IP66/54
Température max. du bulbe [°C]	65 à 300
Température ambiante [°C]	-50 à 70
Plage de régulation [°C]	-60 à 150
Température différentielle [°C]	1,0 à 25,0

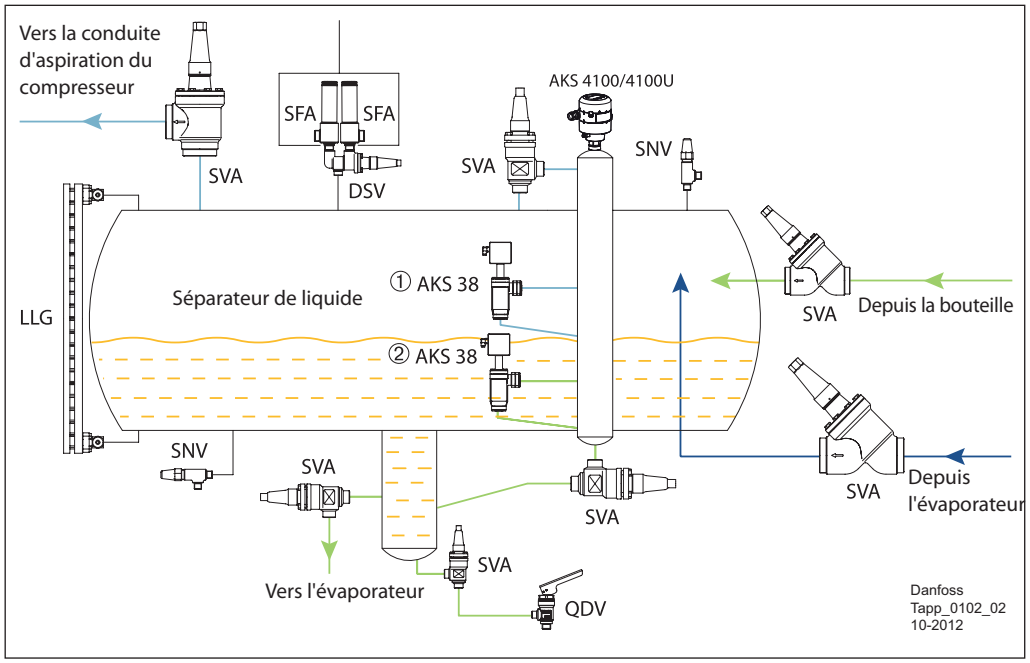
	Régulation de la pression différentielle - MP 54/55/55A
Fluides frigorigènes	MP 54/55 : fluides frigorigènes fluorés MP 55A : R717
Protection	IP 20
Plage de régulation [bar]	MP 54 : 0,65/0,9 MP 55/55A : 0,3 à 4,5
Pression de service max. [bar]	17
Pression maxi de test. [bar]	22
Plage de fonctionnement du côté BP [bar]	-1 à 12

Les vannes ne sont pas toutes représentées.
Ce schéma ne doit pas être utilisé à des fins de construction.

© Danfoss A/S (RC-MDP/MWA), 2014-10

7.3 Régulateurs de niveau de liquide

Exemple d'application 7.3.1 : commandes bas/haut niveau du séparateur de liquide



Mélange de fluide frigorigène liquide/vapeur
Fluide frigorigène vapeur BP
Fluide frigorigène liquide BP

① Contrôleur de niveau haut
② Contrôleur de niveau bas

Les réservoirs du côté haute pression et du côté basse pression sont équipés d'indicateurs de niveau de liquide.

Les bouteilles haute pression doivent seulement être équipées de contrôleur de niveau bas (AKS 38) afin de garantir un niveau minimum de fluide frigorigène permettant d'alimenter les dispositifs détente.

Un indicateur de niveau de liquide LLG permettant de contrôler visuellement le niveau de liquide peut également être installé.

Les réservoirs basse pression sont normalement équipés de contrôleur de niveau haut et bas.

Le contrôleur de niveau bas est installé dans le but de garantir que la hauteur de fluide frigorigène est suffisante pour éviter la cavitation des pompes.

Un contrôleur de niveau haut est installé pour protéger les compresseurs des coups de liquide.

Un indicateur de niveau de liquide LLG pour le contrôle visuel du niveau doit également être installé.

Des indicateurs de niveau de liquide LLG dans les réservoirs basse pression peuvent nécessiter le montage d'un adaptateur de voyant liquide qui permet d'observer le niveau, même lorsque du gel est présent sur l'indicateur de niveau de liquide.

Données techniques

	Contrôleur de niveau - AKS 38
Matériau	Boîtier : fonte chromate de zinc
Fluides frigorigènes	Tous les fluides frigorigènes courants ininflammables, notamment le R717
Plage de température du fluide [°C]	-50 à +65
Pression de service max. [bar]	28
Plage de mesure [mm]	12,5 à 50

	Indicateur de niveau de liquide - LLG
Fluides frigorigènes	Tous les fluides frigorigènes courants ininflammables, notamment le R717
Plage de température du fluide [°C]	-10 à 100 ou -50 à 30
Pression de service max. [bar]	25
Longueur [mm]	185 à 1550

Les vannes ne sont pas toutes représentées. Ce schéma ne doit pas être utilisé à des fins de construction.

© Danfoss A/S (RC-MDP/MWA), 2014-10

7.4 Détecteur de fluide frigorigène

Un détecteur de gaz est généralement utilisé dans une installation fixe équipée de divers capteurs situés dans des zones où le fluide frigorigène peut s'accumuler en cas de fuite de l'installation.

Ces emplacements dépendent de la configuration de la salle des machines et des espaces adjacents, de la configuration de l'installation et du fluide frigorigène en question.

Avant de sélectionner le détecteur de gaz approprié, il convient de répondre aux questions suivantes :

Quels gaz doivent être mesurés et dans quelles quantités ?
Quel type de capteur convient le mieux ?

Combien de capteurs sont requis ? Où et quand doivent-ils être positionnés et étalonnés ? Quelles alarmes de limite sont appropriées ? Combien d'alarmes sont requises ? Comment les informations des alarmes sont-elles traitées ?

7.4.1 Technologie des capteurs

Danfoss a sélectionné, en fonction du fluide frigorigène et de la plage réelle de ppm requis, le capteur le plus approprié pour le gaz fluide frigorigène cible.

Quel capteur convient à un fluide frigorigène donné ?

	Semi-conducteur	Électrochimique	Catalytique	Infrarouge
Concentration en ammoniac « faible » (< 100 ppm)	–	✔	–	–
Concentration en ammoniac « moyenne » (< 1 000 ppm) [1]	(✔)	✔	–	(✔)
Concentration en ammoniac « élevée » (< 10 000 ppm)	✔	–	✔	(✔)
Concentration en ammoniac « très élevée » (> 10 000 ppm)	–	–	✔	(✔)
Dioxyde de carbone CO_2	–	–	–	✔
HC Hydrocarbures	(✔)	–	✔	(✔)
HCFC - HFC Hydrocarbures halogénés	✔	–	–	(✔)

✔ Meilleure solution (✔) Adaptée - mais moins attrayante – Inadaptée

[1]) Plage de mesure de 0 à1 000 ppm. Peut être ajustée sur toute la plage.

© Danfoss A/S (RC-MDP/MWA), 2014-10

7.4.2
Détection de gaz nécessaire

Il existe différentes raisons pour lesquelles la détection de gaz est requise. Il est évident que la régulation est un élément de poids, ainsi que

- la réduction des frais d'entretien (coûts de remplacement du gaz et des interventions),
- la réduction du coût de la consommation d'énergie due à manque de fluide frigorigène,
- le risque d'endommagement des produits stockés suite à une fuite importante,
- l'éventuelle réduction des frais d'assurance,
- les taxes sur les fluides frigorigènes non écologiques,
- différentes application de réfrigération nécessitent la détections de gaz pour différentes raisons.

L'ammoniac est classé parmi les substances toxiques, et son odeur caractéristique en fait un produit « à alarme intégrée ». Il est cependant très utile de disposer de détecteurs de gaz dans la salle des machines car, souvent, le personnel n'est pas présent pour prendre les mesures nécessaires. De plus, l'ammoniac est le seul fluide frigorigène courant plus léger que l'air.

Les hydrocarbures sont classés comme inflammables. Il est donc essentiel de vérifier que la concentration autour du système de réfrigération ne dépasse pas la limite d'inflammabilité.

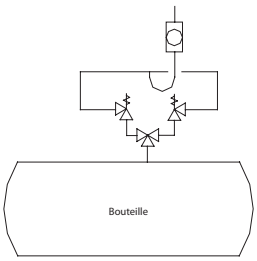
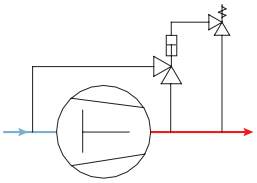
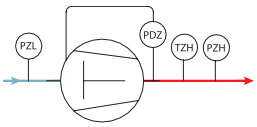
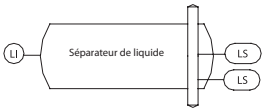
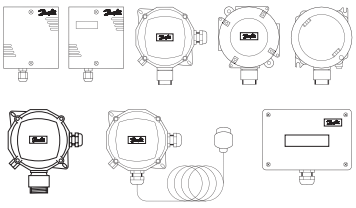
Les fluides frigorigènes fluorés ont tous un certain impact sur l'environnement. Il est donc essentiel d'éviter les fuites de ces derniers.

Le CO_2 (dioxyde de carbone) intervient directement dans le processus respiratoire et doit être traité en conséquence. Environ 0,04 % de CO_2 est présent dan l'air. En cas de concentration plus élevée, certains effets indésirables sont signalés, comme l'augmentation du rythme respiratoire (~100 % à une concentration en CO_2 de 3 %) qui entraîne la perte de perte de connaissance et la mort à des concentration en CO_2 supérieures à 10 %.

Oxygène - Des capteurs de manque d'oxygène peuvent être utilisés dans certaines applications, mais ils ne sont pas proposés par Danfoss et ne sont pas décrits en détail dans ce guide.
Remarque : les capteurs d'oxygène ne doivent jamais être utilisés dans des installations au CO_2.

Législation et normes
Les exigences en matière de détection de gaz sont différentes dans de nombreux pays.

7.5 Résumé

Solution		Application
Soupapes de sécurité		
Soupapes de sécurité SFA + robinet de jumelage DSV		Protection des réservoirs, des compresseurs et des échangeurs de chaleur contre l'excès de pression.
Vanne de décharge BSV + vanne de décharge pilotée POV		Protection des compresseurs et des pompes contre l'excès de pression.
Pressostats et thermostats de sécurité		
Pressostat : RT		Protection des compresseurs contre un refoulement trop élevé et une pression d'aspiration trop faible.
Pressostats différentiels d'huile MP 55		Protection des compresseurs à pistons contre une pression trop faible de l'huile.
Thermostat RT		Protection des compresseurs contre une température de refoulement trop élevée.
Régulateurs de niveau du liquide		
Contrôleurs de niveau du liquide - AKS 38		Protection du système contre un niveau de fluide frigorigène trop faible/élevé dans les réservoirs.
Indicateur de niveau liquide LLG		Contrôle visuel du niveau de fluide frigorigène liquide dans les réservoirs.
Détection de fluide frigorigène		
Détecteurs de gaz, GD		Détection de gaz fluide frigorigène dans l'atmosphère.

7.6 Documents de référence

Pour obtenir une liste de tous les documents de référence dans l'ordre alphabétique, veuillez vous reporter à la page 146

Fiche technique/manuel

Type	Réf. du document
AKS 38	PD.GD0.A
BSV	PD.IC0.A
DSV	PD.IE0.A
LLG	PD.GG0.A
MLI	PD.GH0.A
MP 55 A	PD.CG0.B

Type	Réf. du document
POV	PD.ID0.A
RT 1A	PD.CB0.A
RT 107	PD.CB0.A
RT 5A	PD.CB0.A
SFA	PD.IF0.A
GD	PD.S00.A

Instruction produit

Type	Réf. du document
AKS 38	PI.GD0.A
BSV	PI.IC0.A
DSV	PI.IE0.A / PI.IE0.B1
LLG	PI.GG0.A
MLI	PI.GH0.A
MP 55 A	PI.CG0.E

Type	Réf. du document
POV	PI.ID0.A
RT 1A	RI5BC
RT 5A	RI5BC
SFA	PI.IB0.A
GD	PI.S00.A

Pour télécharger la dernière version de la documentation, visitez le site Internet de Danfoss.

© Danfoss A/S (RC-MDP/MWA), 2014-10

8. Régulations de la pompe de fluide frigorigène

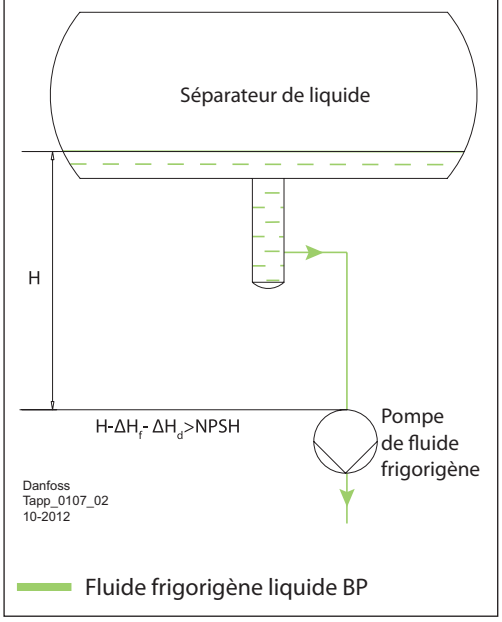
Généralement, les systèmes de réfrigération industrielle sont équipés d'un système à circulation par pompe du fluide frigorigène liquide. La circulation par pompe présente plusieurs avantages par rapport aux systèmes de type DX :

- Les pompes offrent une distribution efficace de fluide frigorigène liquide dans les évaporateurs et retournent un mélange liquide-vapeur dans le séparateur de pompe ;
- Il est possible de réduire la surchauffe jusqu'à quasiment 0 K, ce qui augmente l'efficacité des évaporateurs, sans risque de coup de liquide au compresseur.

Il convient d'éviter la cavitation pendant l'utilisation de la pompe. La cavitation peut survenir si la pression de liquide fluide frigorigène statique à l'entrée de la pompe est inférieure à la pression de saturation correspondant à la température du liquide à ce point.

La hauteur du liquide H au-dessus de la pompe doit donc au moins pouvoir compenser la perte de pression de friction ΔH_f dans le tuyau et les vannes, la perte à l'entrée du tuyau ΔH_d, et l'accélération du liquide dans la roue de la pompe ΔH_p (hauteur d'aspiration positive nette ou NPSH) comme indiqué sur le schéma 8.1.

Fig. 8.1
Mise en place de la pompe



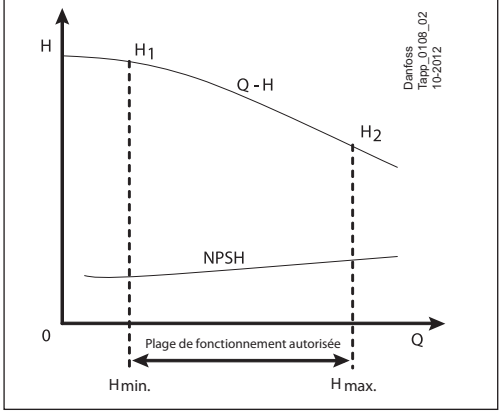
Pour maintenir la pompe de fluide frigorigène en fonctionnement, le débit dans la pompe doit être maintenu dans la plage de fonctionnement autorisée, fig. 8.2

Si le débit est trop bas, la chaleur du moteur peut entraîner l'évaporation du fluide frigorigène et provoquer une marche à sec ou une cavitation de la pompe.

Lorsque le débit est trop élevé, la NPSH (hauteur d'aspiration positive nette) caractéristique de la pompe se détériore de telle sorte que la hauteur d'aspiration positive disponible devient trop faible pour empêcher la cavitation.

Les systèmes ont donc été conçus pour que la pompe de fluide frigorigène maintienne ce débit dans la plage de fonctionnement.

Fig. 8.2
Courbe Q-H type pour les pompes



8.1 Protection de la pompe avec régulateur de pression différentielle

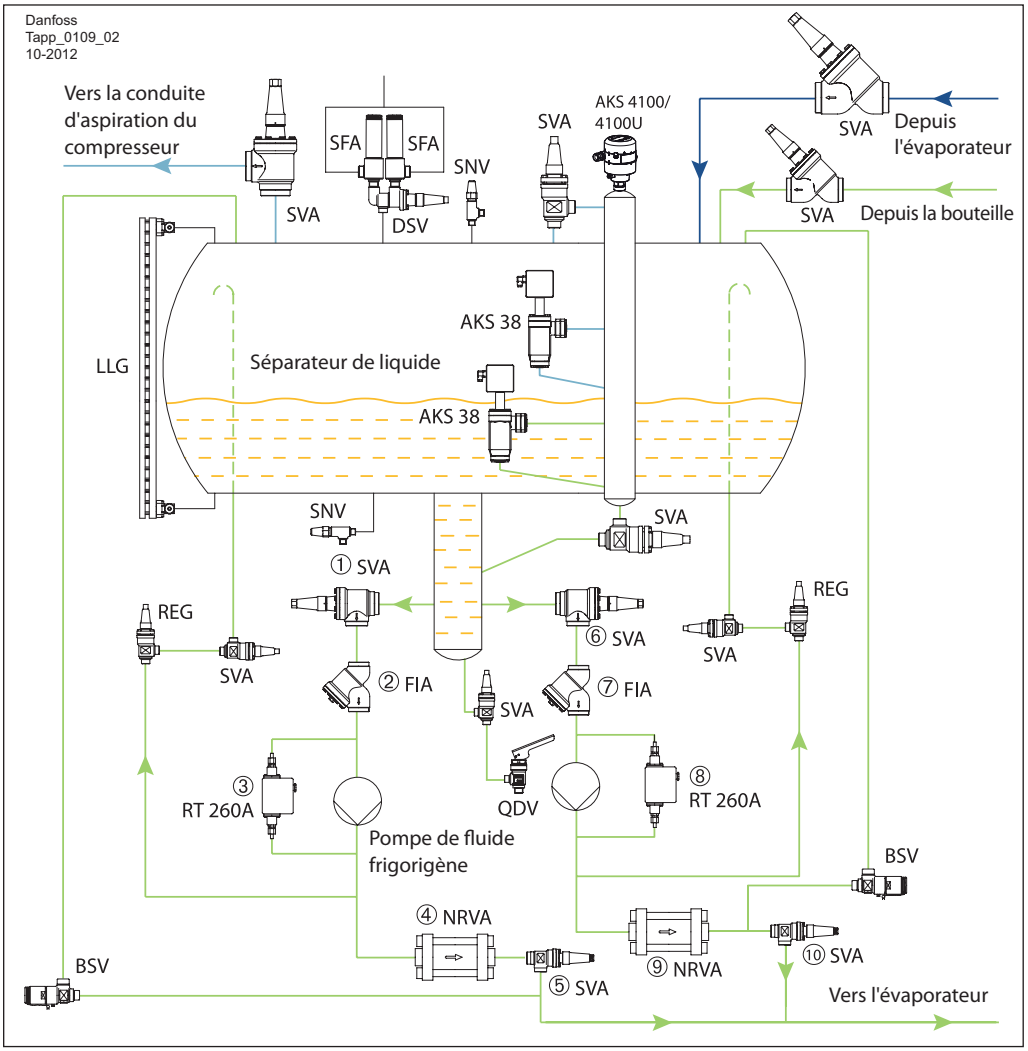
Les pompes sont facilement endommagées par la cavitation. Pour éviter la cavitation, il est important de maintenir une hauteur d'aspiration positive suffisante pour la pompe. Pour atteindre une hauteur d'aspiration suffisante, le contrôleur de niveau bas AKS 38 est installé sur le séparateur de liquide.

Toutefois, même si le contrôleur de niveau bas est installé sur le séparateur de liquide et maintenu au-dessus du niveau minimum admissible, la cavitation peut toujours survenir.

Des opérations incorrectes réalisées sur les évaporateurs peuvent par exemple provoquer l'augmentation du débit dans la pompe, le contrôleur de niveau bas peut tomber en panne, le filtre devant la pompe peut se boucher, etc.

Tout cela peut entraîner une cavitation. Il est donc nécessaire d'arrêter la pompe pour la protéger lorsque la pression différentielle descend au-dessous de H_2 sur la fig. 8.2 (équivalent à $Q_{max.}$).

Exemple d'application 8.1.1 : protection de la pompe avec régulateur de pression différentielle RT 260A



Mélange de fluide frigorigène liquide/vapeur
Fluide frigorigène vapeur BP
Fluide frigorigène liquide BP

① Vanne d'arrêt
② Filtre
③ Pressostat différentiel
④ Clapet antiretour
⑤ Vanne d'arrêt
⑥ Vanne d'arrêt
⑦ Filtre
⑧ Pressostat différentiel
⑨ Clapet antiretour
⑩ Vanne d'arrêt

Des pressostats différentiels sont utilisés éviter une différence de pression trop faible. Des régulateurs RT 260A ③ et ⑧ sont fournis sans relais de temporisation et entraînent une coupure momentanée lorsque la pression différentielle chute au-dessous du point de réglage des régulateurs de pression.

Les filtres FIA ② et ⑦ sont installés sur la conduite de la pompe afin d'éliminer les particules et protéger les vannes de régulation automatique et les pompes contre les dommages, les blocages et l'usure générale. Le filtre peut être installé sur la conduite d'aspiration ou sur la conduite de refoulement de la pompe.

Si le filtre est installé sur la conduite d'aspiration avant la pompe, il protège d'abord la pompe contre les particules. Il est particulièrement important de les nettoyer lors de la mise en service.

Comme une chute de pression peut entraîner une cavitation, il est recommandé d'installer une maille de 500 µ. Des mailles plus fines peuvent être utilisées pendant le nettoyage mais il convient de prendre en compte la chute de pression lors de la conception des canalisations. Il est par ailleurs nécessaire de remplacer la maille au bout d'un certain temps.

Si un filtre est installé sur la conduite de refoulement, la chute de la pression n'est pas aussi cruciale et un filtre de 150-200 µ peut être utilisé. Il est important de noter que sur cette installation, des particules peuvent toujours entrer dans la pompe avant d'être éliminées du système.

Les clapets antiretour NRVA ④ et ⑨ sont installées sur les conduites de refoulement des pompes pour protéger les pompes contre l'écoulement inverse (contre pression) pendant l'arrêt. La vanne clapet SCA peut également être utilisée à cette fin (les NRVA et SVA sont remplacées par la SCA, voir l'exemple d'application 8.1.2).

Données techniques

	Régulateur de pression différentielle - RT 260A/252A/265A/260AL
Fluides frigorigènes	Fluides frigorigènes R717 et fluorés
Protection	IP 66/54
Température ambiante [°C]	-50 à 70
Plage de régulation [bar]	0,1 à 11
Pression de service max. [bar]	22/42

Les vannes ne sont pas toutes représentées. Ce schéma ne doit pas être utilisé à des fins de construction.

© Danfoss A/S (RC-MDP/MWA), 2014-10

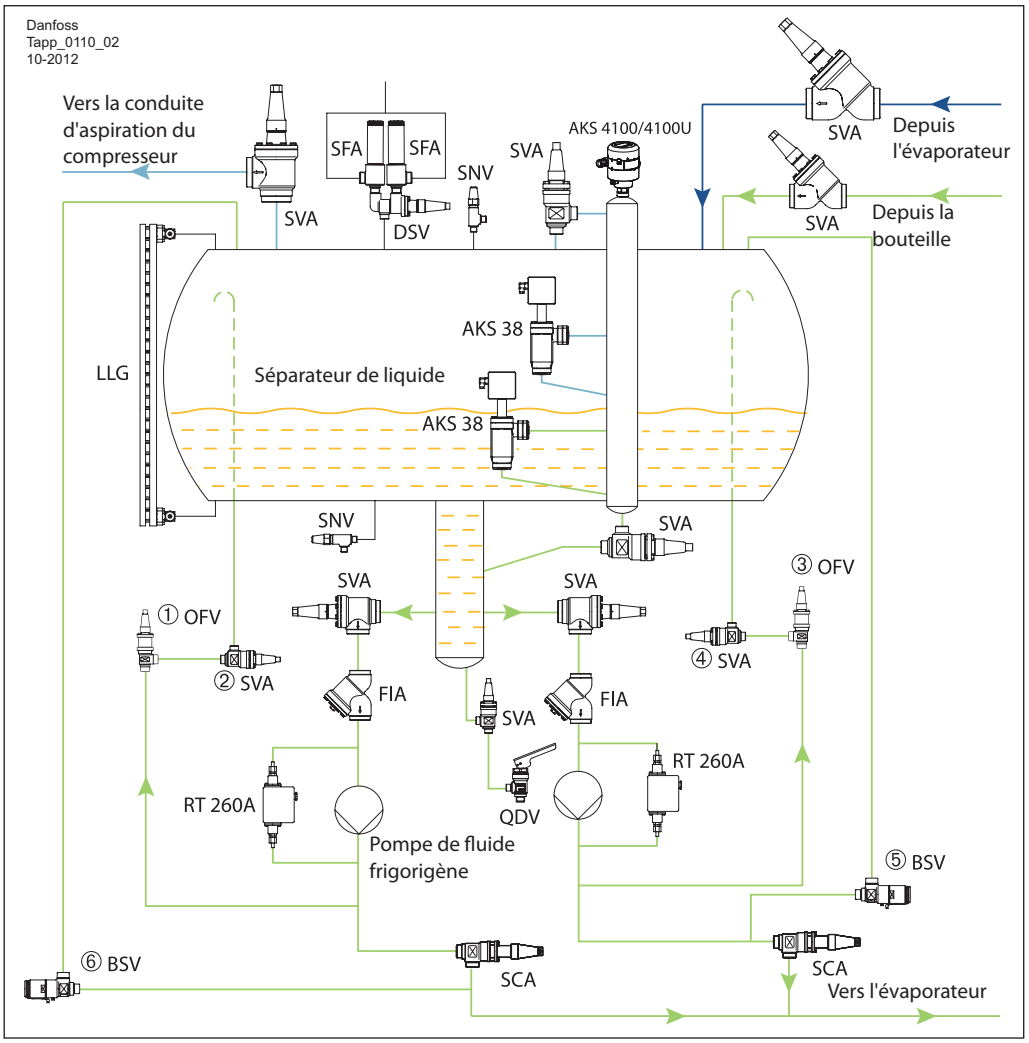
8.2 Régulation du débit de dérivation de la pompe

La méthode la plus utilisée pour maintenir le débit dans la pompe au-dessus de la valeur minimum autorisée (Q_{min} sur la fig. 8.2) consiste à installer une conduite de dérivation.

La conduite de dérivation peut être conçue avec une vanne de régulation REG, une vanne de décharge de pression différentielle OFV ou un simple orifice calibré.

Même si la distribution de liquide dans tous les évaporateurs du système est interrompue, la conduite de dérivation peut maintenir un débit minimum dans la pompe.

Exemple d'application 8.2.1 : régulation du débit de dérivation de la pompe avec OFV



Mélange de fluide frigorigène liquide/vapeur
Fluide frigorigène vapeur BP
Fluide frigorigène liquide BP

① Vanne de décharge
② Vanne d'arrêt
③ Vanne de décharge
④ Vanne d'arrêt
⑤ Soupape de sécurité interne
⑥ Soupape de sécurité interne

La conduite de dérivation a été conçue pour chaque pompe avec une vanne de décharge OFV.
La vanne de décharge interne BSV a été conçue pour faire office de sécurité en cas de pression excessive. Par exemple, lorsque les vannes d'arrêt sont fermées, le fluide frigorigène liquide bloqué dans les conduites peut atteindre une pression trop élevée.

Données techniques

	Vanne de décharge - OFV
Matériau	Corps : acier
Fluides frigorigènes	Tous les fluides frigorigènes courants, notamment le R717
Plage de température du fluide [°C]	-50 à 150
Pression de service max. [bar]	40
DN [mm]	20/25
Plage de pression différentielle d'ouverture [bar]	2 à 8

	Soupape de sécurité - BSV (dont l'actionnement ne dépend pas de la contre-pression)
Matériau	Boîtier : acier spécial approuvé pour un fonctionnement à basse température
Fluides frigorigènes	R717, R744, HFC, HCFC et autres fluides frigorigènes (en fonction de la compatibilité avec le matériau d'étanchéité)
Plage de température du fluide [°C]	-30 à 100 en tant que soupape de sécurité externe -50 à 100 en tant que vanne pilote pour POV
Pression de consigne [bar]	10 à 25
Surface du flux [mm²]	50

Les vannes ne sont pas toutes représentées. Ce schéma ne doit pas être utilisé à des fins de construction.

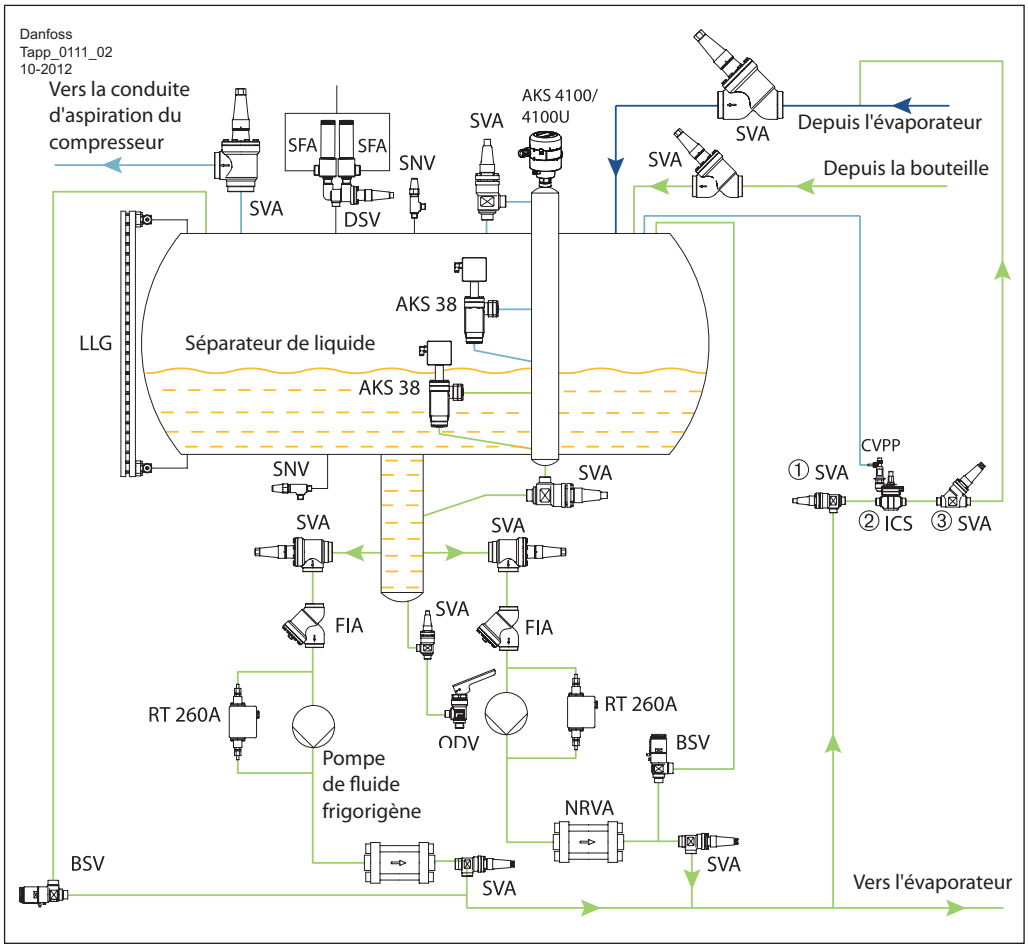
© Danfoss A/S (RC-MDP/MWA), 2014-10

8.3 Régulateur de pression de la pompe

Sur certains types de systèmes à circulation par pompe, il est très important de maintenir une pression différentielle constante dans la vanne d'étranglement réglée de manière fixe avant l'évaporateur.

En utilisant une servovanne pilotée ICS et une vanne pilote CVPP, il est possible de maintenir une pression différentielle constante dans la pompe et donc une pression différentielle constante dans la vanne d'étranglement.

Exemple d'application 8.3.1 : régulation de la pression différentielle de la pompe avec l'ICS et la CVPP



Mélange de fluide frigorigène liquide/vapeur
Fluide frigorigène vapeur BP
Fluide frigorigène liquide BP

① Vanne d'arrêt
② Clapet différentiel
③ Vanne d'arrêt

Données techniques

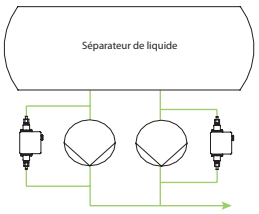
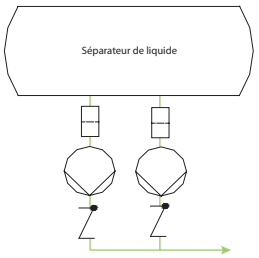
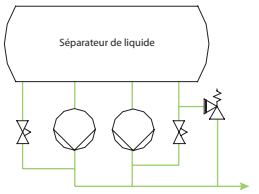
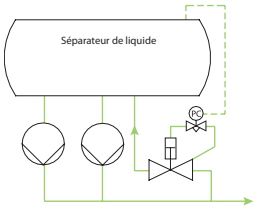
	Servovanne pilotée - ICS
Matériau	Corps : acier basse température
Fluides frigorigènes	Tous les fluides frigorigènes courants, notamment les R717 et R744
Plage de température du fluide [°C]	-60 à 120
Pression de service max. [bar]	52
DN [mm]	20 à 150

	Vanne pilote de pression différentielle-CVPP
Fluides frigorigènes	Tous les fluides frigorigènes courants ininflammables, notamment le R717
Plage de température du fluide [°C]	-50 à 120
Pression de service max. [bar]	CVPP (BP) : 17 CVPP (HP) : jusqu'à 40
Plage de régulation [bar]	CVPP (BP) : 0 à 7 CVPP (HP) : 0 à 22
Valeur K_v m^3/h	0,4

Les vannes ne sont pas toutes représentées.
Ce schéma ne doit pas être utilisé à des fins de construction.

© Danfoss A/S (RC-MDP/MWA), 2014-10

8.4 Résumé

Solution		Application	Avantages	Limites
Protection de la pompe avec régulateur de pression différentielle				
Protection de la pompe avec régulateur de pression différentielle RT 260A		S'applique à tous les systèmes à circulation par pompe.	Simple. Efficace pour protéger la pompe contre une pression différentielle faible (correspondant à un débit élevé).	Ne convient pas pour les fluides frigorigènes inflammables.
Filtre et clapet antiretour				
Filtre FIA et clapet antiretour NRVA sur la conduite de la pompe		S'applique à tous les systèmes à circulation par pompe.	Simple. Efficace pour protéger la pompe contre un retour d'eau et des particules.	Le filtre de la conduite d'aspiration peut entraîner une cavitation lorsqu'il est bouché. Le filtre de la conduite de refoulement laisse toujours des particules pénétrer dans la pompe.
Régulation du débit de dérivation de la pompe				
Régulation du débit dérivation de la pompe avec une REG et protection avec une soupape de sécurité BSV		S'applique à tous les systèmes à circulation par pompe.	Simple. Efficace et sûr pour maintenir le débit minimum de la pompe. La soupape de sécurité peut empêcher efficacement toute pression excessive.	Une partie de l'énergie de la pompe est gaspillée.
Régulateur de pression de la pompe				
Régulateur de pression de la pompe avec une ICS et une CVPP		S'applique aux systèmes à circulation par pompe qui requièrent une pression différentielle constante dans les vannes de régulation avant les évaporateurs.	Envoie une pression différentielle et un taux de circulation constants pour les évaporateurs.	Une partie de l'énergie de la pompe est gaspillée.

8.5 Documents de référence

Pour obtenir une liste de tous les documents de référence dans l'ordre alphabétique, veuillez vous reporter à la page 146

Fiche technique/manuel

Type	Réf. du document
BSV	PD.IC0.A
CVPP	PD.HN0.A
FIA	PD.FM1.A
ICS	PD.HS2.A

Type	Réf. du document
NRVA	PD.FK0.A
REG	PD.KM1.A
RT 260A	PD.CB0.A
SVA	PD.KD1.A

Instruction produit

Type	Réf. du document
BSV	PI.IC0.A
CVPP	PI.HN0.C
FIA	PI.FN1.A
ICS 25-65	PI.HS0.A
ICS 100-150	PI.HS0.B

Type	Réf. du document
NRVA	PI.FK0.A
REG	PI.KM1.A
RT 260A	RI5BB
SVA	PI.KD1.A

Pour télécharger la dernière version de la documentation, visitez le site Internet de Danfoss.

9. Autres

9.1 Filtres déshydrateurs dans les systèmes fluorés

L'eau, les acides et les particules apparaissent naturellement dans les systèmes de réfrigération fluorés. L'eau peut entrer dans le système suite à l'installation, à l'entretien, à des fuites, etc.

L'acide est généré par la décomposition de fluides frigorigènes et d'huiles.

Les particules sont souvent issues des résidus de soudage et de brasage, de la réaction entre des fluides frigorigènes et de l'huile, etc.

L'impossibilité de maintenir la teneur en acide, la quantité d'eau et de particules dans des limites acceptables réduit la durée de vie du système de réfrigération et entraîne l'arrêt du compresseur.

Un taux d'humidité trop élevé dans les systèmes associé à des températures d'évaporation inférieures à 0 °C risque de provoquer la formation de glace, ce qui peut ensuite entraîner un blocage des vannes de régulation, des électrovannes, des filtres, etc. Les particules peuvent provoquer l'usure du compresseur et des vannes et entraîner un blocage. Les acides ne sont pas corrosifs s'il n'y a pas d'eau. Mais dans une solution aqueuse, les acides peuvent corroder les canalisations et électrogalvaniser les surfaces chauffées dans le compresseur.

Cette électrogalvanisation se produit sur les surfaces chaudes, notamment la pompe à huile, le vilebrequin, les bielles, les bagues de pistons, les cavités des vannes d'aspiration et de refoulement, etc. Cette électrogalvanisation entraîne une augmentation de la chaleur des paliers et la lubrification dans les paliers se réduit lorsque l'électrogalvanisation s'épaissit.

Le refroidissement des paliers est réduit car l'huile circule peu dans les paliers. Par conséquent, ces composants chauffent. Les plaques porte-soupapes commencent à fuir, ce qui provoque un effet de surchauffe plus important sur le refoulement. Lorsque les problèmes s'accumulent, la panne du compresseur devient imminente.

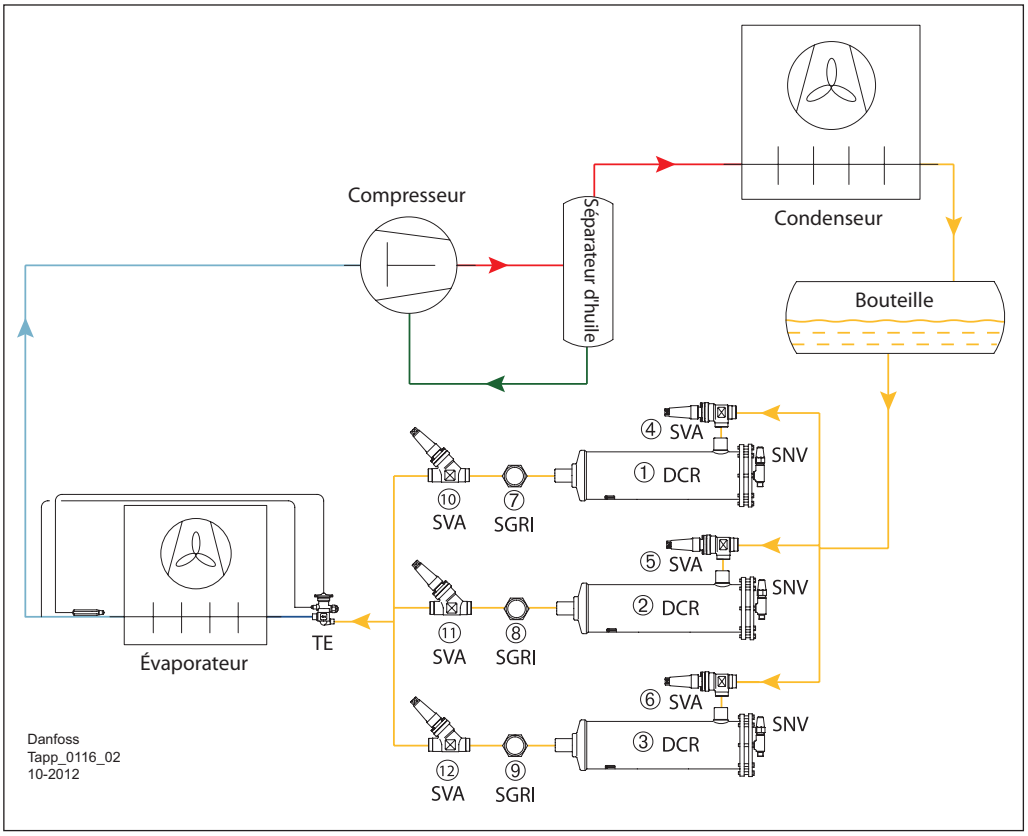
Des filtres déshydrateurs ont été conçus pour éviter les problèmes décrits ci-dessus. Les filtres déshydrateurs ont deux fonctions : une fonction de déshumidification et une fonction de filtration.

La fonction de déshumidification est une protection chimique et permet l'absorption d'eau et d'acides. L'objectif est d'éviter la corrosion des surfaces métalliques, la décomposition de l'huile et du fluide frigorigène et la casse des moteurs.

La fonction de filtration permet la protection physique mais aussi la rétention des particules et impuretés de toutes sortes. Cela réduit l'usure du compresseur, le protège contre les dommages et prolonge significativement sa vie.

© Danfoss A/S (RC-MDP/MWA), 2014-10

Exemple d'application 9.1.1 : filtre déshydrateur dans les systèmes fluorés



- Fluide frigorigène vapeur HP
- Réfrigérant liquide HP
- Mélange de fluide frigorigène liquide/vapeur
- Fluide frigorigène vapeur BP
- Huile

① Filtre déshydrateur
② Filtre déshydrateur
③ Filtre déshydrateur
④ Vanne d'arrêt
⑤ Vanne d'arrêt
⑥ Vanne d'arrêt
⑦ Voyant liquide
⑧ Voyant liquide
⑨ Voyant liquide
⑩ Vanne d'arrêt
⑪ Vanne d'arrêt
⑫ Vanne d'arrêt

Pour des systèmes fluorés, des filtres déshydrateurs sont normalement installés sur la ligne liquide avant le détendeur. Sur cette ligne, seul un débit liquide pur traverse le filtre déshydrateur (contrairement à l'écoulement diphasique après le détendeur).

La chute de pression dans le filtre déshydrateur est faible et la chute de pression dans cette ligne a peu d'influence sur la performance du système. L'installation d'un filtre déshydrateur empêche également la formation de glace dans le détendeur.

Sur les installations industrielles, la capacité d'un filtre déshydrateur n'est normalement pas suffisante pour sécher le système complet. Plusieurs filtres déshydrateurs peuvent donc être installés en parallèle.

Le DCR est un filtre déshydrateur à cartouches solides interchangeables. Il existe trois types de cartouches solides : DM, DC et DA.

- **DM** - Cartouches solides composées de 100 % de tamis moléculaire adaptées pour les fluides frigorigènes HFC CO_2 ;
- **DC** - Cartouches solides composées de 80 % de tamis moléculaire et de 20 % d'alumine activée adaptées pour les fluides frigorigènes CFC et HCFC et compatible avec des fluides frigorigènes HFC ;
- **DA** - Cartouches solides composées de 30 % de tamis moléculaire et de 70 % d'alumine activée adaptées pour le nettoyage après l'arrêt du compresseur et compatible avec les fluides frigorigènes CFC/HCFC/HFC.

Outres les cartouches solides classiques mentionnées ci-dessus, Danfoss fournit également d'autres cartouches solides personnalisées. Danfoss propose également des filtres déshydrateurs avec cartouches solides fixes. Pour plus d'informations, veuillez vous reporter au catalogue des produits ou contacter le revendeur local.

Le voyant liquide avec indicateur pour HCFC/CFC, de type SGRI, est installé après le filtre déshydrateur pour indiquer la teneur en eau après déshumidification. Des voyants liquides avec indicateur pour d'autres types de fluides frigorigènes peuvent également être fournis. Pour plus d'informations, veuillez vous reporter au catalogue des produits Danfoss.

Données techniques

	Filtre déshydrateur - DCR
Fluides frigorigènes	CFC/HFC/HCFC/R744
Matériau	Boîtier : acier
Pression de service max. [bar]	HP : 46
Plage de température de fonctionnement [°C]	-40 à 70
Cartouches solides	DM/DC/DA

Les vannes ne sont pas toutes représentées. Ce schéma ne doit pas être utilisé à des fins de construction.

© Danfoss A/S (RC-MDP/MWA), 2014-10

9.2 Élimination de l'eau des systèmes à l'ammoniac

Le problème de l'eau dans les systèmes à l'ammoniac est unique par rapport aux systèmes fluorés et au CO_2 :
la structure moléculaire de l'ammoniac et de l'eau est similaire. Les deux présentent une structure petite et polaire et sont par conséquent complètement solubles.

A cause de la similarité moléculaire de l'ammoniac et de l'eau, aucun filtre déshydrateur n'est efficace pour l'ammoniac. Par ailleurs, à cause de la haute solubilité de l'eau dans l'ammoniac, il est difficile d'extraire l'eau libre de la solution.

L'eau et l'ammoniac cohabitent et agissent comme une sorte de fluide frigorigène zéotrope dont la relation P-T saturée n'est plus la même que celle de l'ammoniac anhydre.

Ces facteurs font que les systèmes à l'ammoniac sont rarement conçus comme des systèmes DX : d'une part, l'ammoniac liquide est difficile à vaporiser complètement en présence d'eau, ce qui entraîne des coups de liquide. D'autre part, comment un détendeur thermostatique peut-il fonctionner correctement lorsque la relation P-T saturée change ?

Les systèmes à circulation par pompe peuvent éviter les dommages potentiels de l'eau sur les compresseurs. En faisant uniquement pénétrer de la vapeur dans la conduite d'aspiration, les coups de bélier sont évités. Et tant qu'il n'y a pas trop d'eau dans le liquide, la vapeur ne contient presque pas d'eau (< à la valeur maximum recommandée de 0,3 %), ce qui permet de lutter efficacement contre la pollution de l'huile par l'eau.

Alors que les systèmes à circulation par pompe permettent de lutter efficacement contre les dommages sur les compresseurs, ils ont par ailleurs d'autres conséquences invisibles sur l'eau :

- **Le COP du système est réduit**
  En cas de teneur en eau, la relation P-T saturée du fluide frigorigène est différente de l'ammoniac pur. Le fluide frigorigène s'évapore à une température plus élevée pour une pression donnée. Cela réduit la puissance frigorifique du système et augmente la consommation d'énergie.
- **Corrosion**
  L'ammoniac devient corrosif en présence d'eau et commence à corroder les canalisations, les vannes, les réservoirs, etc.
- **Problèmes de compresseur**
  Si de l'eau entre dans les compresseurs, à cause de l'inefficacité des séparateurs de liquide par exemple, cela pose des problèmes d'huile et de corrosion.

Par conséquent, pour maintenir le système en état de fonctionnement il est recommandé de surveiller régulièrement l'eau et d'utiliser une méthode d'élimination de l'eau lorsque la teneur de cette dernière est supérieure au niveau acceptable.

Il existe trois moyens de traiter la contamination de l'eau :

- **Changement de la charge**
  Cette méthode convient aux petites charges (les refroidisseurs équipés d'évaporateurs à plaques) et doit être conforme à la législation locale.
- **Purge à partir de certains évaporateurs**
  Cette méthode convient aux systèmes drainés par gravité sans dégivrage par gaz chauds. Sur ces systèmes, l'eau reste dans le liquide lorsque l'ammoniac est vaporisé et s'accumule dans les évaporateurs.
- **Rectificateur**
  Une partie de l'ammoniac contaminé est drainé dans le rectificateur, où il est chauffé. L'ammoniac est ensuite vaporisé et l'eau est drainée. Cela constitue le seul moyen d'éliminer l'eau des systèmes à circulation par pompe.

Pour plus d'informations sur la contamination de l'eau et son élimination dans des systèmes de réfrigération à l'ammoniac, veuillez vous reporter au bulletin 108 IIAR.

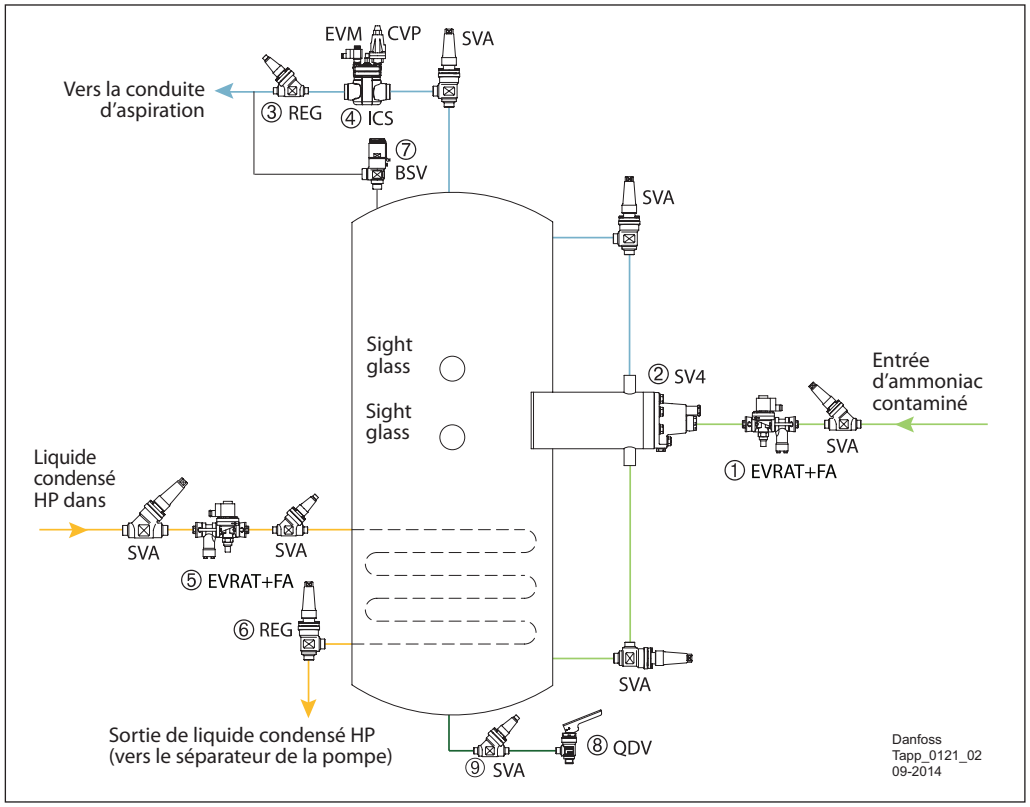
Il est nécessaire d'indiquer la présence éventuelle d'une faible teneur en eau car il existe un risque de corrosion de l'acier. Elle est toutefois peu probable sur une installation réelle.

© Danfoss A/S (RC-MDP/MWA), 2014-10

Exemple d'application 9.2.1 : rectificateur chauffé par gaz chaud régulé par des vannes à flotteur

- Fluide frigorigène vapeur HP
- Réfrigérant liquide HP
- Fluide frigorigène vapeur BP
- Fluide frigorigène liquide BP
- Huile

① Électrovanne
② Vanne à flotteur
③ Vanne de régulation manuelle
④ Vanne de régulation de pression
⑤ Électrovanne
⑥ Vanne de régulation manuelle
⑦ Soupape de sécurité interne
⑧ Vanne de purge rapide
⑨ Vanne d'arrêt



Procédure d'élimination de l'eau :

1. Ouvrir les électrovannes EVRAT À et ICS+EVM ④. L'ammoniac contaminé est vidangé dans le rectificateur. La vanne à flotteur SV4 ② se ferme dès que le niveau de liquide dans le réservoir atteint le niveau défini.
   Ouvrir l'électrovanne EVRA ⑤.

2. Du liquide condensé est envoyé dans la bobine qui se trouve à l'intérieur du réservoir et commence à chauffer l'ammoniac contaminé. L'ammoniac commence à s'évaporer et le liquide contaminé reste dans le réservoir. Lorsque l'ammoniac s'évapore dans le réservoir et que le niveau de liquide baisse, la vanne à flotteur SV4 ② s'ouvre et envoie davantage d'ammoniac contaminé dans le réservoir.
   D'après nos constatations, après un certain temps, la préparation de la purge du liquide contaminé peut commencer.

3. Fermer l'électrovanne EVRAT ①.
   Après un certain temps, tout l'ammoniac s'évapore et seul le liquide contaminé reste dans le réservoir.
   Pour purger le liquide contaminé du réservoir, la pression à l'intérieur du réservoir doit être augmentée et dépasser 0 °C.
   Pour ce faire, fermer l'électrovanne ICS+EVM ④.
   La pression à l'intérieur du réservoir est à présent régulée par les vannes ICS+CVP ④.
   Ouvrir la vanne d'arrêt SVA ⑨ de quelques tours, ouvrir la vanne de purge QDV ⑧ avec précaution et purger le liquide contaminé restant dans le réservoir.

4. Fermer la vanne de purge QDV ⑧ et la vanne d'arrêt SVA ⑨.
   Fermer ensuite l'électrovanne ⑤ pour arrêter le processus d'élimination du liquide contaminé ou répéter l'étape 1 si nécessaire pour poursuivre le processus.

   Pour des raisons de sécurité, la vanne de sécurité BSV ⑦ est installée sur le réservoir pour éviter tout excès de pression.

Les vannes ne sont pas toutes représentées.
Ce schéma ne doit pas être utilisé à des fins de construction.

© Danfoss A/S (RC-MDP/MWA), 2014-10

9.3 Systèmes d'épuration de l'air

Présence de gaz non condensables
Des gaz non condensables sont présents dans des systèmes réfrigération au début du processus d'installation avec des tuyaux et des raccords pleins d'air. Par conséquent, sans un système d'évacuation efficace, l'air peut rester dans le système.

L'air peut par ailleurs pénétrer dans le système à cause d'une fuite dans le système, lorsque le système est ouvert pour la maintenance, en cas de pénétration dans les composants du système, en cas de fuite au niveau des soudures où la pression de l'ammoniac est inférieure à la pression atmosphérique (température d'évaporation inférieure à -34 °C), en cas d'ajout d'huile, etc.

De plus, des impuretés dans le fluide frigorigène et/ou une décomposition du fluide frigorigène ou de l'huile de lubrification à cause de températures de refoulement élevées peuvent générer des gaz non condensables (l'ammoniac se décompose en azote et en hydrogène par exemple).

Emplacement et détection
Des gaz non condensables sont contenus du côté haute pression du système de réfrigération, principalement au niveau des points les plus froids et les moins agités du condenseur.

Un moyen simple de vérifier la présence de gaz non condensables dans le système est de comparer la différence de pression entre la pression de condensation réelle lue avec le manomètre de la bouteille et la pression saturée correspondant à la température mesurée à la sortie du condenseur.

Par exemple, si une température de 30 °C est mesurée à la sortie du condenseur dans un système à l'ammoniac, la température saturée correspondante est de 10,7 bar. Si le manomètre indique 11,7 bar, la différence est donc de 1 bar et ceci est dû à la présence de gaz non condensables.

Problèmes générés
L'air a tendance à former un film sur les tuyaux du condenseur, ce qui isole la surface de transfert de chaleur du fluide frigorigène dans le condenseur. Ceci entraîne une réduction de la puissance frigorifique du condenseur puis une augmentation de la pression de condensation. L'efficacité énergétique diminue donc et en fonction de la pression de condensation, le risque de problèmes associés à l'huile augmente.

La puissance frigorifique réduite dans le condenseur est une réalité mais elle est très difficile à déterminer. Les fabricants de systèmes d'épuration de l'air ont fourni des données qui indiquent une réduction de 9-10 % de la puissance frigorifique pour chaque bar d'augmentation de la pression de condensation. Si un calcul plus précis est nécessaire, ASHRAE donne des conseils sur la façon de l'estimer ainsi que des exemples de recherches entreprises avec les résultats obtenus. (Manuel sur les systèmes et les équipements HVAC, gaz non condensables).

D'autres fabricants évaluent les risques et les coûts dérivés du compresseur. Lorsque la pression de condensation et la température de refoulement augmentent, les risques pour les paliers dus à des problèmes d'huile et les coûts de fonctionnement du compresseur augmentent également. L'estimation du coût est associée au type de compresseur et à sa taille sur l'installation.

Dans tous les cas, la présence de gaz non condensables est aussi indésirable qu'inévitable et des équipements d'épuration de l'air sont souvent utilisés.

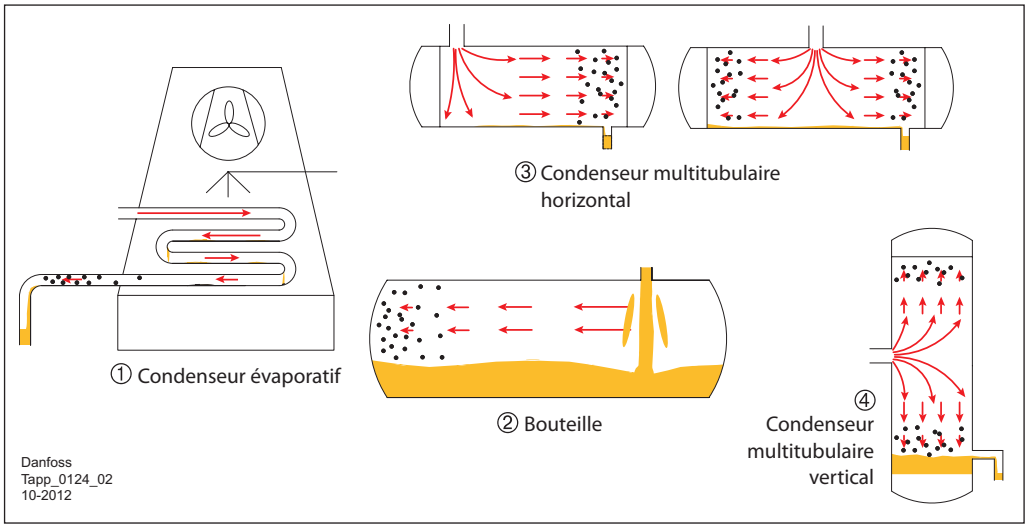
Systèmes d'épuration de l'air
L'air et les gaz non condensables peuvent être éliminés du système manuellement. Ces opérations sont réalisées par le personnel de maintenance et peuvent entraîner des pertes excessives de fluide frigorigène.

Il existe une autre méthode de purge appelée « purge réfrigérée » : les gaz issus des points d'échantillonnage sont refroidis dans une chambre avec une bobine de refroidissement pour condenser le fluide frigorigène avant de le renvoyer dans le système. Les gaz restés dans la chambre doivent être purgés dans l'atmosphère. Le refroidissement et la condensation visent à réduire la quantité de fluide frigorigène libéré.

Le fluide frigorigène utilisé dans la bobine de refroidissement peut être identique à l'installation frigorifique. Il peut aussi être différent.

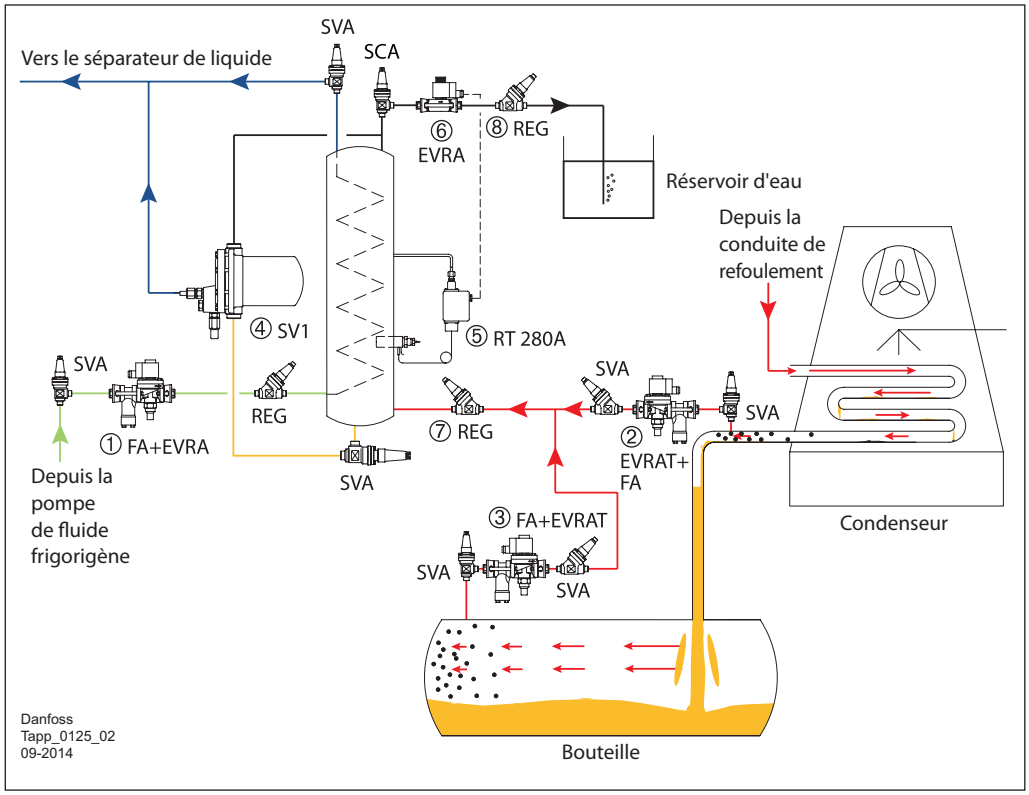
L'emplacement du raccord de purge est assez difficile à définir et dépend du système et du type de condenseur. Voici quelques exemples de points de purge. Sur le schéma, les flèches des batteries du condenseur et des réservoirs représentent les vitesses d'écoulement. La longueur des flèches diminue lorsque la vitesse diminue.

L'accumulation d'air est indiquée par les points noirs. Les endroits où la teneur en air est élevée sont les endroits où des purges doivent être réalisées.



© Danfoss A/S (RC-MDP/MWA), 2014-10

Exemple d'application 9.3.1 : système d'épuration de l'air via le fluide frigorigène à partir de l'installation



Fluide frigorigène vapeur HP
Réfrigérant liquide HP
Mélange de fluide frigorigène liquide/vapeur
Fluide frigorigène liquide BP
Air

① Électrovanne
② Électrovanne
③ Électrovanne
④ Vanne à flotteur
⑤ Pressostat
⑥ Électrovanne
⑦ Vanne de régulation manuelle
⑧ Vanne de régulation manuelle

Procédure d'épuration de l'air :

1. Ouvrir l'électrovanne EVRA ① de façon à ce que le fluide frigorigène liquide basse pression pénètre dans la bobine et refroidisse le fluide frigorigène contenu dans le réservoir.

2. Ouvrir l'électrovanne EVRAT ② ou ③ (uniquement l'UNE des deux). Le fluide frigorigène gazeux et l'air accumulé sont envoyés dans le réservoir à l'intérieur du quel la vapeur du fluide frigorigène se condense et où l'air monte jusqu'en haut. La vanne à flotteur SV1 ④ draine automatiquement le fluide frigorigène liquide condensé.

   La vanne de régulation ⑦ doit être réglée à un degré d'ouverture relativement faible afin qu'elle puisse créer une chute de pression pour permettre une pression aussi basse que possible à l'intérieur du purgeur d'air. Un petit orifice peut également être installé en aval de la vanne de régulation ⑦.

3. Comme l'air s'accumule dans le haut du réservoir, la pression totale à l'intérieur du réservoir par rapport à la pression saturée du fluide frigorigène liquide augmente. Lorsque cette pression atteint le réglage sur le pressostat, le RT 280A ⑤ ouvre l'électrovanne EVRA ⑥ et purge l'air du réservoir.

   La vanne de régulation ⑧ doit être réglée à un degré d'ouverture relativement faible pour permettre une purge régulée/lente de l'air du réservoir.

Les vannes ne sont pas toutes représentées. Ce schéma ne doit pas être utilisé à des fins de construction.

© Danfoss A/S (RC-MDP/MWA), 2014-10

9.4 Système de récupération de l'huile

La chaleur gratuite issue de la désurchauffe et/ou de la condensation dans le condenseur peut être utilisée en cas de besoin de chauffage dans l'installation. Cela comprend le chauffage de l'air dans les bureaux ou les magasins, le chauffage de l'eau pour le nettoyage ou le traitement, le préchauffage de l'eau d'alimentation de chaudière, etc.

Pour que la récupération de chaleur constitue une solution économique, il est important de garantir que la chaleur gratuite et les conditions de chauffage répondent aux conditions de temps, de température et de flux de chaleur. Pour la production d'eau chaude par exemple, c'est-à-dire lorsqu'une température élevée est nécessaire, la désurchauffe peut être utilisée. Pour chauffer l'ensemble du bureau, il convient généralement de récupérer toute la chaleur du condenseur.

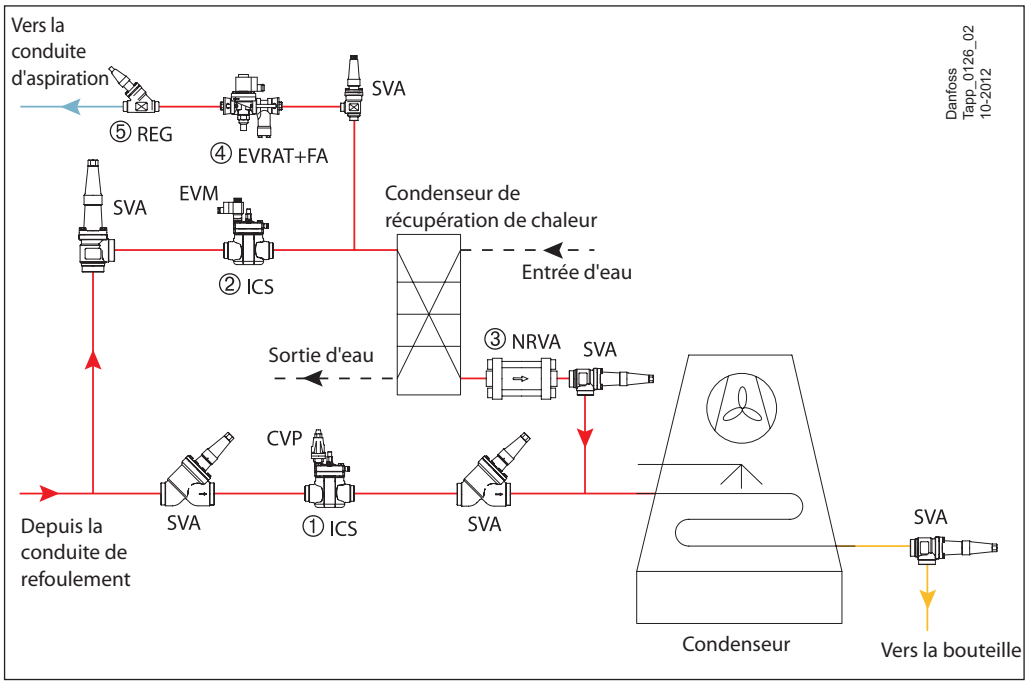
Un système de régulation bien conçu est essentiel pour un fonctionnement efficace et sans problèmes d'installations frigorifiques avec récupération de chaleur.

L'objet de cette régulation est de coordonner la récupération de chaleur et la réfrigération :

1. La fonction de base de la réfrigération doit être garantie, que la récupération de chaleur fonctionne ou non. La pression de condensation ne doit pas être trop élevée lorsque la récupération de chaleur cesse. Sur les systèmes DX, la pression de condensation ne doit pas être trop faible (voir la section 3).
2. Les conditions relatives à la récupération de chaleur, la température et le flux de chaleur par exemple, doivent être respectées.
3. Activation/désactivation sans problèmes de la boucle de récupération de chaleur en fonction de la demande.

La régulation de la récupération de chaleur doit être conçue de façon sophistiquée et peut varier d'une installation à une autre. Voici quelques exemples :

Exemple d'application 9.4.1 : commande de la disposition en série du condenseur et de l'échangeur de chaleur de récupération



Fluide frigorigène vapeur HP
Réfrigérant liquide HP
Réfrigérant vapeur LP
Eau

① Régulateur de pression
② Électrovanne
③ Clapet antiretour
④ Électrovanne
⑤ Vanne de régulation manuelle

Ce système de récupération de chaleur s'applique à l'air et à l'eau.

Cycle de refroidissement sans récupération de chaleur
Le gaz chaud de la conduite de refoulement est envoyé directement dans le condenseur principal via la servovanne pilotée ICS ① avec une vanne pilote à pression constante CVP (HP). Le clapet antiretour NRVA ③ empêche l'écoulement inversé vers le condenseur de récupération de chaleur.

Cycle de récupération de chaleur
La servovanne pilotée ICS ② est commandée par la commutation du pilote EVM, via une minuterie, un thermostat, etc. Les gaz chauds entre dans le condenseur de récupération.

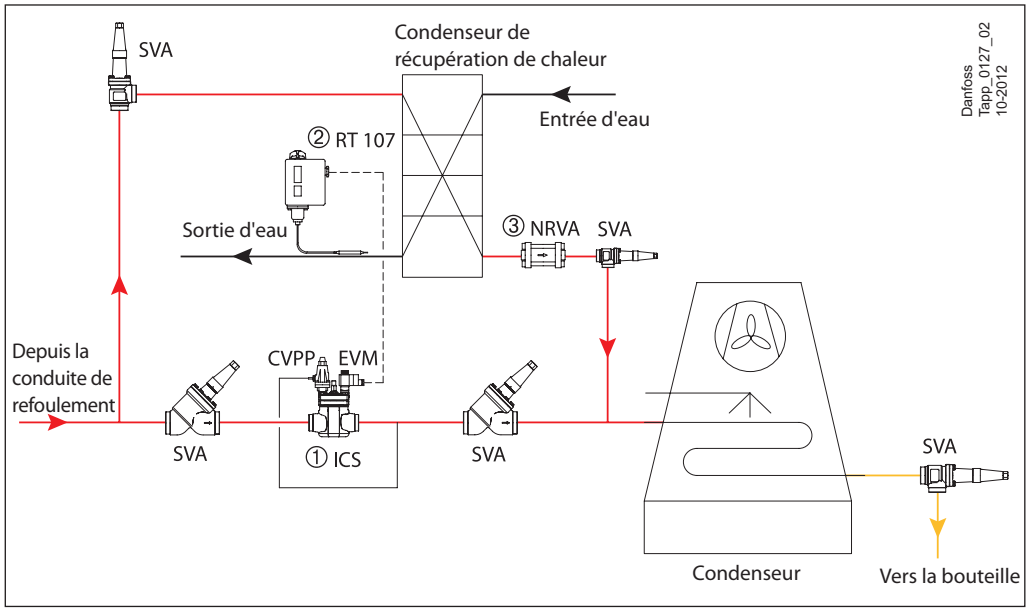
L'ICS ① se ferme normalement en raison de l'augmentation de la capacité de condensation et de la réduction de la pression de refoulement. Si la pression de refoulement augmente, la vanne pilote à pression constante CVP (HP) ouvre la servovanne ICS ①. Cette partie des gaz chauds peut alors s'écouler vers le condenseur principal.

Durant l'été, le condenseur de récupération de chaleur reste inactif pendant de longues périodes. Pour éviter le risque d'accumulation de liquide dans ce condenseur, une électrovanne EVRA ④ et une vanne de régulation REG ⑤ garantissent l'évaporation périodique des condensats dans le condenseur de récupération.

Les vannes ne sont pas toutes représentées. Ce schéma ne doit pas être utilisé à des fins de construction.

© Danfoss A/S (RC-MDP/MWA), 2014-10

Exemple d'application 9.4.2 : commande de la disposition en série du condenseur et de l'échangeur de chaleur de récupération



Fluide frigorigène vapeur HP
Réfrigérant liquide HP
Eau

① Clapet différentiel
② Thermostat
③ Clapet antiretour

Ce système de récupération de chaleur convient aux installations frigorifiques centrales avec plusieurs compresseurs.

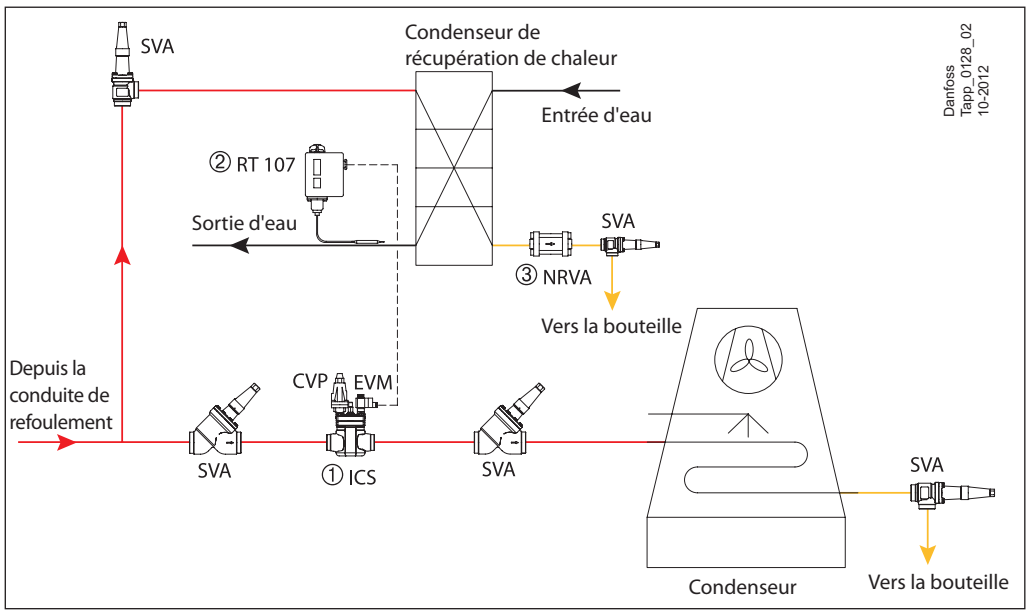
A faible puissance frigorifique, tout le gaz de refoulement traverse le condenseur de récupération et entre dans le condenseur principal.

Plus la puissance frigorifique du compresseur utilisée est élevée, plus la chute de pression est importante dans le condenseur de récupération.

Lorsque cette chute de pression dépasse le réglage de la vanne pilote de pression différentielle CVPP (HP) sur la servovanne, l'ICS ① s'ouvre partiellement et le gaz en surpression est envoyé directement dans le condenseur principal.

Dès que la température de l'eau ou de l'air souhaitée a été atteinte via le condenseur de récupération de chaleur, le thermostat RT 107 ② active la vanne pilote tout ou rien EVM et la servovanne ICS ① s'ouvre complètement.

Exemple d'application 9.4.3 : commande de la disposition en parallèle du condenseur et de l'échangeur de chaleur de récupération



Fluide frigorigène vapeur HP
Réfrigérant liquide HP
Eau

① Régulateur de pression et électrovanne
② Thermostat
③ Clapet antiretour

Ce système de récupération de chaleur convient aux systèmes équipés de plusieurs compresseurs, pour le chauffage de l'eau d'un chauffage central par exemple.

En fonctionnement normal, la servovanne ICS ① est maintenue ouverte par la commutation de l'électrovanne pilote EVM activée par un régulateur externe raccordé au thermostat RT 107.

En hiver, lorsque la demande de chauffage nécessite une récupération de chaleur, l'électrovanne pilote EVM se ferme, ce qui entraîne la fermeture de la servovanne ICS①. Si la pression de condensation dépasse le réglage de la vanne pilote à pression constante CVP (HP), la servovanne ICS 3 s'ouvre et le trop-plein de gaz en surpression est envoyé dans le condenseur principal.

Le clapet antiretour NRVA empêche le retour de fluide frigorigène vers le condenseur de récupération.

Les vannes ne sont pas toutes représentées. Ce schéma ne doit pas être utilisé à des fins de construction.

© Danfoss A/S (RC-MDP/MWA), 2014-10

9.5 Documents de référence

Pour obtenir une liste de tous les documents de référence dans l'ordre alphabétique, veuillez vous reporter à la page 146

Fiche technique/manuel

Type	Réf. du document
BSV	PD.IC0.A
CVP	PD.HN0.A
DCR	PD.EJ0.A
EVM	PD.HN0.A
EVRA(T)	PD.BM0.B
ICS	PD.HS2.A
NRVA	PD.FK0.A

Type	Réf. du document
REG	PD.KM1.A
RT 107	PD.CB0.A
SGR	PD.EK0.A
SNV	PD.KB0.A
SVA	PD.KD1.A
SV 1-3	PD.GE0.B
SV 4-6	PD.GE0.D

Instruction produit

Type	Réf. du document
BSV	PI.IC0.A
CVP	PI.HN0.C
DCR	PI.EJ0.B
EVM	PI.HN0.N
EVRA(T)	PI.BN0.L
ICS 25-65	PI.HS0.A
ICS 100-150	PI.HS0.B
NRVA	PI.FK0.A

Type	Réf. du document
REG	PI.KM1.A
SGR	PI.EK0.A
SNV	PI.KB0.A
SVA	PI.KD1.A
SV 1-3	PI.GE0.C
SV 4-6	PI.GE0.B

Pour télécharger la dernière version de la documentation, visitez le site Internet de Danfoss.

© Danfoss A/S (RC-MDP/MWA), 2014-10

10. Utilisation du CO_2 dans les systèmes de réfrigération

L'utilisation de dioxyde de carbone (CO_2) dans les systèmes de réfrigération n'est pas nouvelle. Le dioxyde de carbone a été proposé comme fluide frigorigène pour la première fois par Alexander Twining (réf. [1]), qui l'a mentionné dans son brevet anglais en 1850. Thaddeus S.C. Lowe a réalisé des expériences avec du CO_2 pour des ballons militaires, et il a également conçu une machine à glace au CO_2 en 1867. Lowe a créé une machine à bord d'un bateau pour le transport de la viande surgelée.

La documentation révèle que les systèmes de réfrigération au CO_2 ont été développés au cours des années suivantes et qu'ils ont atteint leur apogée dans les années1920 et au début des années 1930. Le CO_2 était généralement préféré dans l'industrie du transport car il n'était ni toxique ni inflammable, alors que l'ammoniac (NH_3 ou R717) était plus courant dans les applications industrielles (réf. [2]). Le CO_2 a disparu du marché, principalement car le Fréon, nouveau « fluide frigorigène miracle », était disponible et commercialisé avec beaucoup de succès.

L'ammoniac est resté, au fil des ans, le fluide frigorigène principal des application de réfrigération industrielle. Dans les années 1990, les avantages de l'utilisation du CO_2 ont connu un regain d'intérêt, en raison du PACO (potentiel d'appauvrissement de la couche d'ozone) et du PRG (potentiel de réchauffement global), ce qui a restreint l'utilisation des CFC et des HFC et a entraîné la limitation des charges de fluide frigorigène dans les systèmes à l'ammoniac de grande taille.

Le CO_2 est classé comme fluide frigorigène naturel, tout comme l'ammoniac, l'eau et les hydrocarbures comme le propane et le butane. Tous ces fluides frigorigènes présentent des inconvénients respectifs. L'ammoniac est toxique, les hydrocarbures sont inflammables et l'eau a un potentiel d'application limité. À l'inverse, le CO_2 est non toxique et ininflammable.

Le CO_2 diffère des autres fluides frigorigènes communs à de nombreux égards et il est doté de propriété uniques. Les évolutions techniques depuis 1920 ont supprimé de nombreux obstacles relatifs à l'utilisation du CO_2 mais les utilisateurs doivent demeurer parfaitement conscients de ses propriétés uniques et prendre les précautions nécessaires afin d'éviter des problèmes dans leurs systèmes de réfrigération.

Le graphique de la figure 10.1 représente les courbes de pression/température du CO_2, du R134a et de l'ammoniac. Les points forts des propriétés du CO_2 par rapport aux autres fluides frigorigènes comprennent :

- Une pression de fonctionnement plus élevée pour une température donnée
- Une plage plus restreinte de températures de fonctionnement
- Un point triple à une pressure beaucoup plus élevée
- Un point critique à une température très basse.

Alors que le point triple et le point critique ne sont normalement pas importants pour les fluides frigorigènes courants, le CO_2 est différent. Le point triple est relativement élevé à 5,2 bar [75,1 psi], mais il est surtout supérieur à la pression atmosphérique normale.
Ceci peut générer des problèmes si les précautions nécessaires ne sont pas prises. Le point critique du CO_2 est également très bas : 31,1 °C [88,0 °F], ce qui a une forte incidence sur les exigences de conception.

Dans le tableau ci-dessous. différentes propriétés du CO_2 sont comparées à celles du R134a et de l'ammoniac.

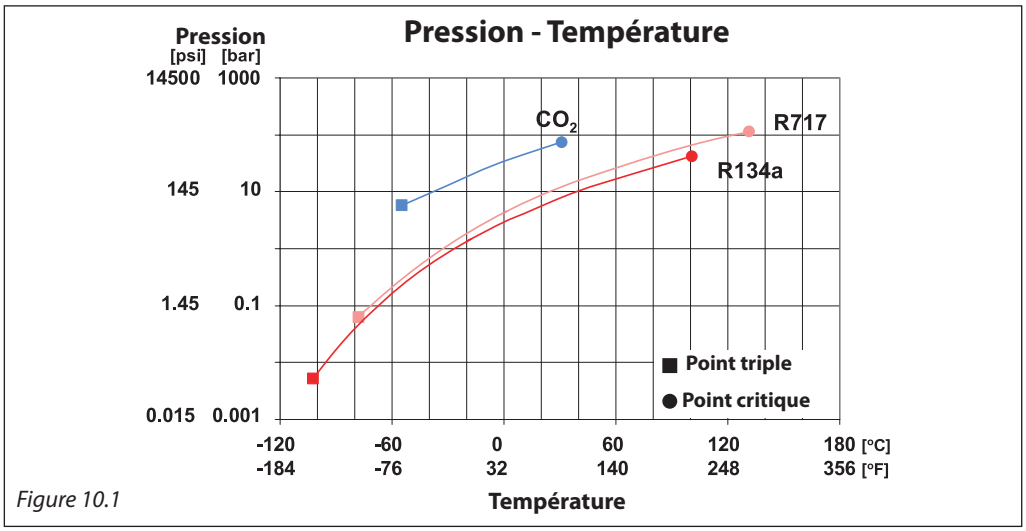


Figure 10.1

Fluide frigorigène			R 134a		NH_3		CO_2	
Substance naturelle			NON		OUI		OUI	
Potentiel d'appauvrissement de la couche d'ozone (PACO)*			0		0		0	
Potentiel de réchauffement global (PRG)*			1300		-		1	
Point critique	bar	[psi]	40,7	[590]	113	[1640]	73,6	[1067]
	°C	[°F]	101,2	[214]	132,4	[270]	31,1	[87,9]
Point triple	bar	[psi]	0,004	[0,06]	0,06	[0,87]	5,18	[75,1]
	°C	[°F]	-103	[-153]	-77,7	[-108]	-56,6	[-69,9]
Inflammable ou explosif			NON		(OUI)		NON	
Toxique			NON		OUI		NON	

© Danfoss A/S (RC-MDP/MWA), 2014-10

10.1 CO_2 comme fluide frigorigène

Le CO_2 peut être utilisé comme fluide frigorigène dans de nombreux types de systèmes différents, notamment subcritique et supercritique. Pour chaque type de système au CO_2, le point critique et le point triple doivent être pris en considération.

Le cycle de réfrigération classique que nous connaissons tous est subcritique, c.-à-d. que la gamme complète des températures et des pressions est inférieure au point critique et supérieure au point triple.
Un système subcritique au CO_2 à un seul étage est simple, mais il présente également des inconvénients en raison de sa plage de température limitée et de sa pression élevée (figure 10.1.2).

Les systèmes transcritiques au CO_2 sont actuellement uniquement intéressant pour les applications de petite taille et commerciales, comme les systèmes de climatisation mobiles, les petites pompes à chaleur et les systèmes de réfrigération de supermarchés mais ils ne conviennent pas aux systèmes industriels (figure 10.1.3). Les systèmes transcritiques ne sont pas décrits dans ce manuel.

Les pressions de fonctionnement pour les cycles subcritiques sont généralement comprises dans une plage allant de 5,7 à 35 bar [83 à 507 psi], ce qui correspond à –55 à 0 °C [–67 à 32 °F]. Si les évaporateurs sont dégivrés à l'aide de gaz chauds, la pression de fonctionnement est alors supérieure d'environ 10 bar [145 psi].

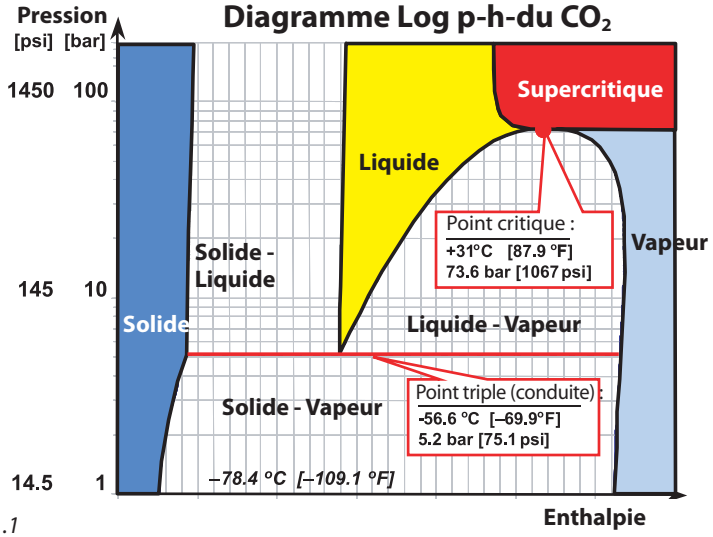


Figure 10.1.1

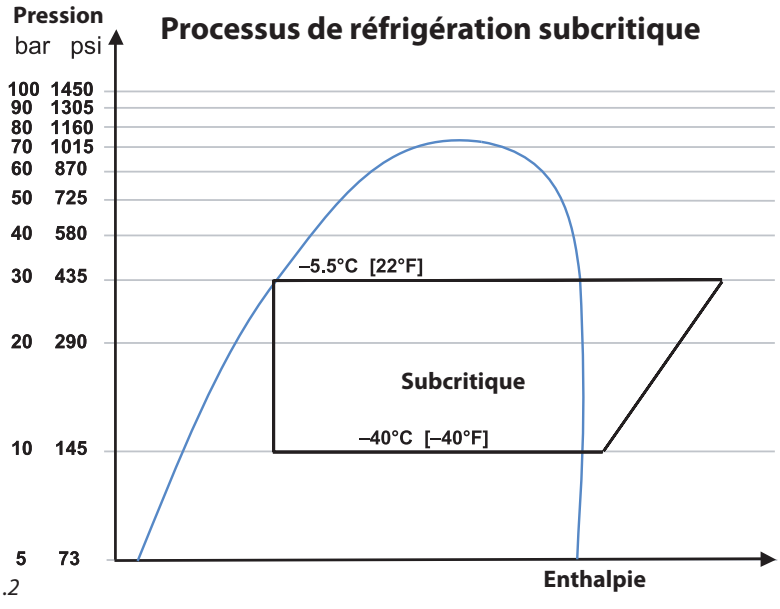


Figure 10.1.2

© Danfoss A/S (RC-MDP/MWA), 2014-10

10.1 CO_2 comme fluide frigorigène *(suite)*

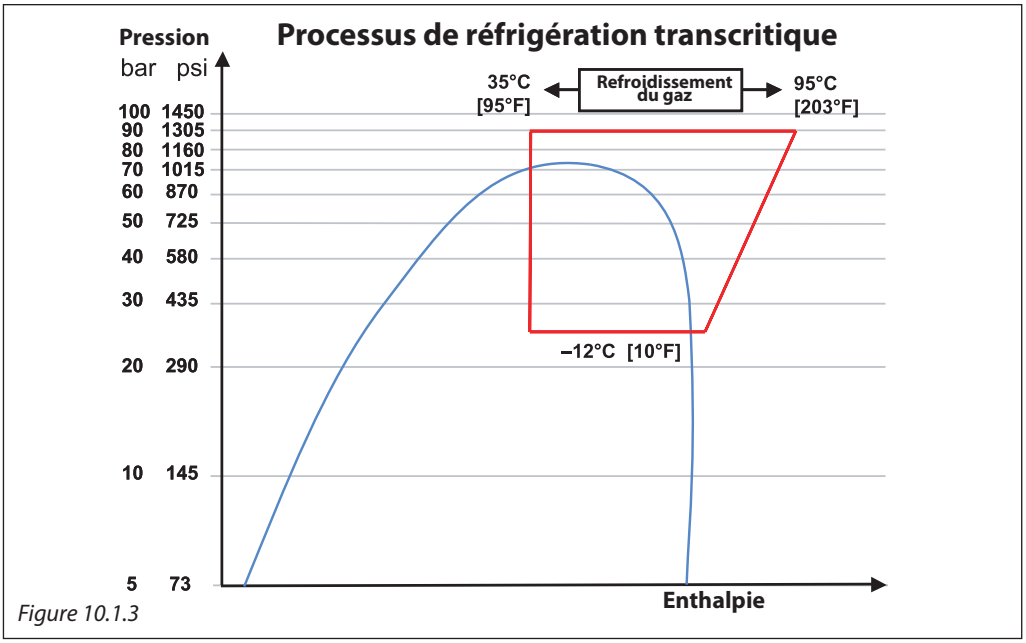


Figure 10.1.3

Le CO_2est le plus souvent utilisé dans des systèmes de réfrigération industrielle en cascade ou hybrides, car sa pression peut être limitée pour permettre l'utilisation de composants déjà disponibles sur le marché, comme des compresseurs, des régulateurs et des vannes.

Les systèmes en cascade au CO_2 peuvent être conçus de différentes manières. Il peut s'agir par exemple de systèmes à détente, de systèmes à circulation par pompe, de systèmes de saumure secondaire volatile au CO_2 ou d'une combinaison de ces systèmes.

10.2 Utilisation du CO_2 comme fluide frigorigène dans les systèmes industriels

La figure 10.2.1 représente un système basse température fonctionnant à -40 °C [–40 °F] et utilisant du CO_2 comme fluide frigorigène de changement de phase dans un système en cascade, avec de l'ammoniac côté haute pression.

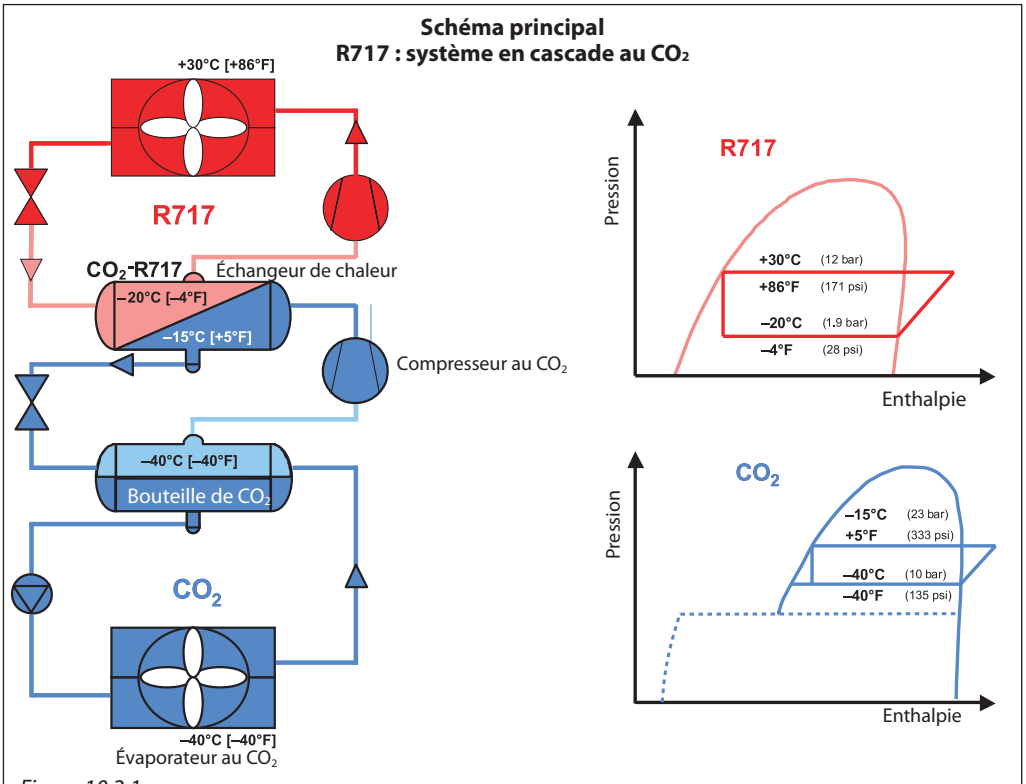


Figure 10.2.1

10.2 Utilisation du CO_2 comme fluide frigorigène dans les systèmes industriels *(suite)*

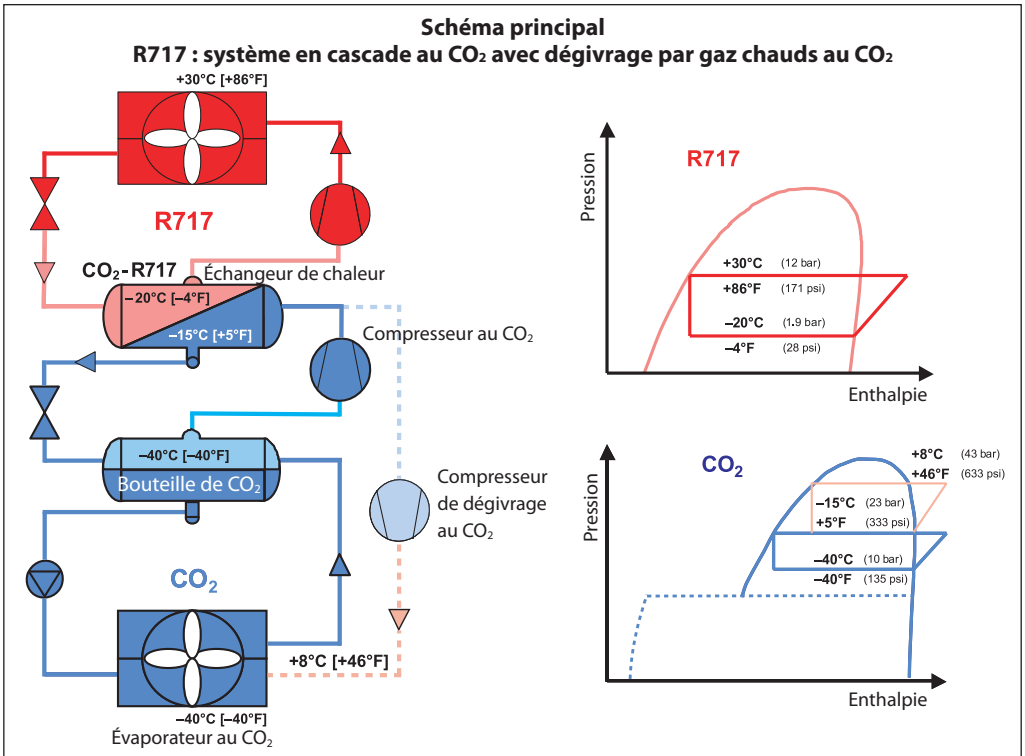


Figure 10.2.2

Le système au CO_2 est un système à circulation par pompe, dans lequel le CO_2 liquide est pompé depuis la bouteille jusqu'à l'évaporateur, puis est partiellement évaporé avant de retourner dans la bouteille. Le CO_2 évaporé est ensuite compressé dans un compresseur au CO_2 et condensé dans l'échangeur de chaleur au CO_2-NH_3. L'échangeur de chaleur fait office d'évaporateur dans le système au NH_3. Par rapport à un système à ammoniac traditionnel, la charge d'ammoniac dans le système en cascade mentionné ci-dessus peut être réduite par un facteur d'environ 10.

La figure. 10.2.2 représente le même système que la figure 10.2.1, mais inclut un système de dégivrage par gaz chauds au CO_2.

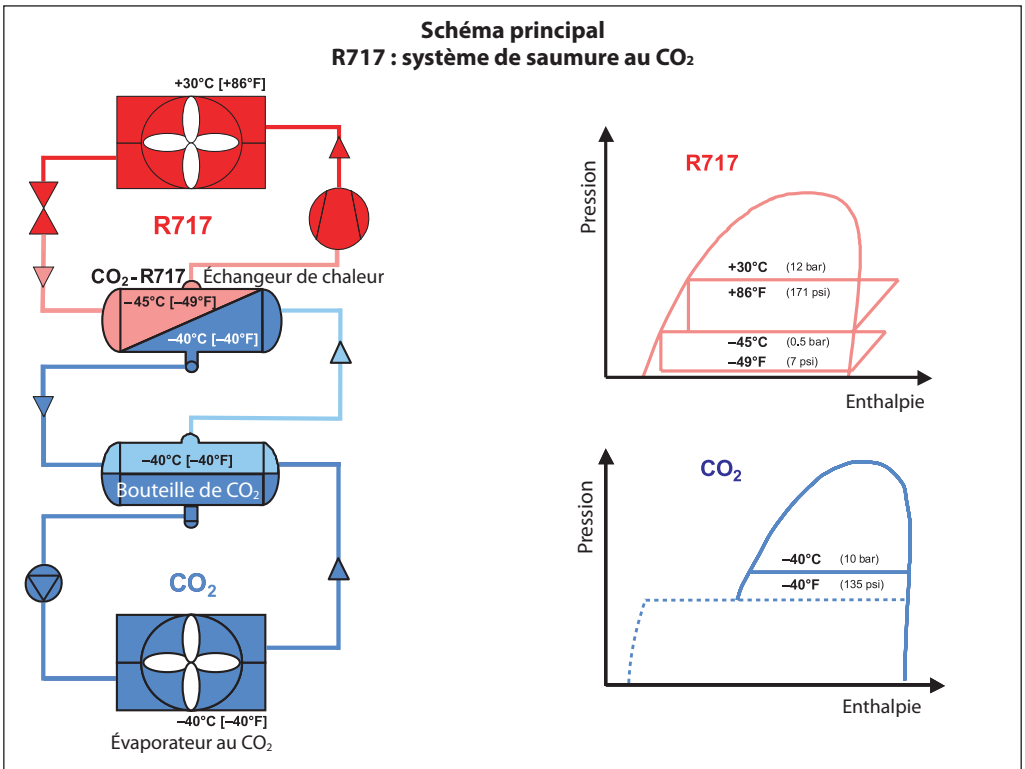


Figure 10.2.3

© Danfoss A/S (RC-MDP/MWA), 2014-10

10.2 Utilisation du CO_2 comme fluide frigorigène dans les systèmes industriels *(suite)*

Schéma principal
Système en cascade au CO_2 avec 2 niveaux de température
(p. ex. réfrigération de supermarché)

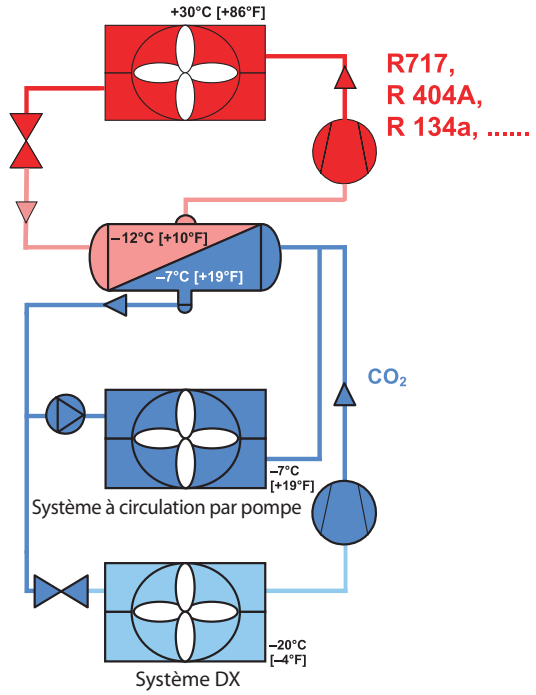


Figure 10.2.4

La figure 10.2.3 représente un système basse température fonctionnant à -40 °C [–40 °F] et utilisant du CO_2 comme système de saumure, avec de l'ammoniac côté haute pression.
Le système au CO_2 est un système à pompe de circulation dans lequel le CO_2 liquide est pompé depuis la bouteille vers l'évaporateur. Il est alors évaporé en partie avant de retourner dans la bouteille.

Le CO_2 évaporé est ensuite condensé dans l'échangeur de chaleur au CO_2- NH_3. L'échangeur de chaleur fait office d'évaporateur dans le système au NH_3.

La figure 10.2.4 représente un système mixte avec un système noyé et DX, pour un système de réfrigération de supermarché par exemple, où 2 niveaux de température sont requis.

10.3 Pression de calcul

Lors de la définition de la pression de calcul pour les systèmes au CO_2, les deux principaux facteurs à prendre en compte sont :

- La pression *à l'arrêt*
- la pression requise lors du dégivrage.

Lors d'un *arrêt*, (système désactivé, par exemple), lorsqu'il n'y a pas de régulateur de pression, la pression augmente en raison de l'absorption de la chaleur de l'air ambiant. Si la température atteint 0 °C [32 °F], la pression est de 34,9 bar [505 psi] ou de 57,2 bar [830 psi] à 20 °C [68 °F]. Pour les systèmes de réfrigération industrielle, il peut être coûteux de concevoir un système pouvant résister à l'équilibrage de pression (par exemple la pression de saturation correspond à la température ambiante) lors d'un *arrêt*. L'installation d'un petit groupe de condensation auxiliaire est une solution couramment utilisée pour limiter la pression maximum *à l'arrêt* un niveau raisonnable, autour de 30 bar [435 psi].

Avec le CO_2, de nombreuses méthodes de dégivrage peuvent être utilisées (par exemple le dégivrage naturel, à l'eau, électrique ou par gaz chauds). Le dégivrage par gaz chauds constitue la solution la plus efficace, en particulier à basse température, mais elle nécessite également la pression la plus élevée. Avec une pression de calcul de 52 bar-g [754 psig], il est possible d'atteindre une température de dégivrage d'environ 10 °C [50 °F].

La pression saturée à 10 °C [50 °F] est de 45 bar [652 psi]. En ajoutant 10 % pour les soupapes de sécurité et environ 5 % pour les pics de pression, la pression de service maximum autorisée doit être d'environ 52 barg [754 psig] (figures 10.3.2 et 10.3.3).

10.3 Pression de calcul *(suite)*

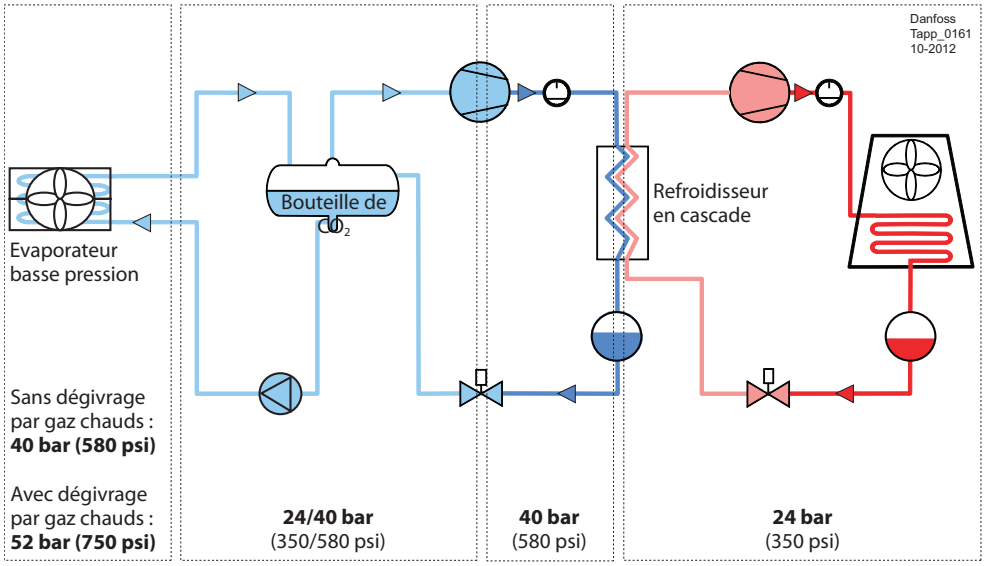


Figure 10.3.1 : système en cascade au CO_2/NH_3, pressions de calcul généralement utilisées

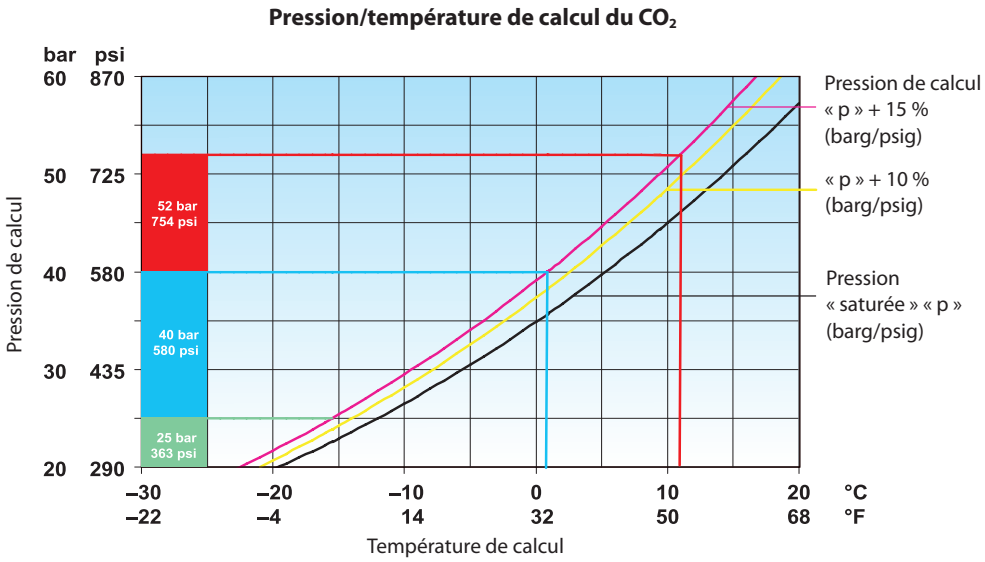


Figure 10.3.2

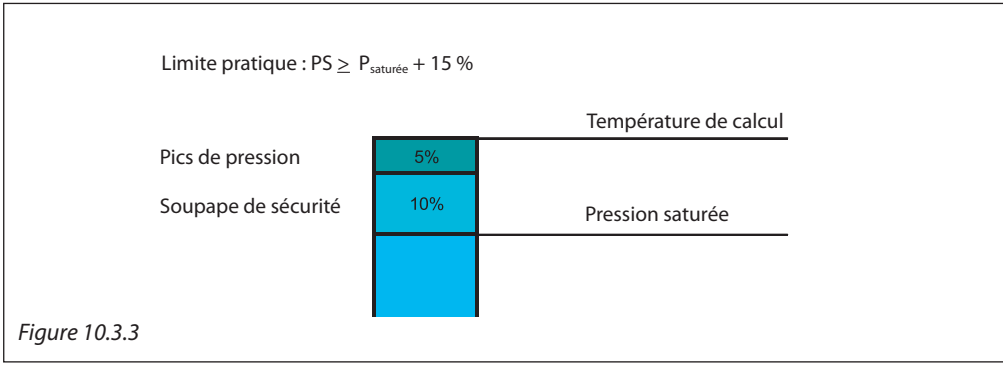


Figure 10.3.3

© Danfoss A/S (RC-MDP/MWA), 2014-10

10.4 Sécurité

Le CO_2 est une substance inodore et incolore classé comme fluide frigorigène inflammable et non toxique, mais bien que toutes ses propriétés semblent très positives, le CO_2 présente également quelques inconvénients.

Le CO_2 étant inodore, il ne permet pas de détecter des fuites lorsqu'elles se produisent (réf. [6]).

Le CO_2 est plus lourd que l'air, il descend donc au niveau du sol. Cela peut créer des situations dangereuses, en particulier dans des trous ou des espaces confinés. Le CO_2 peut remplacer l'oxygène à tel point que le mélange obtenu peut être mortel. La densité relative du CO_2 est de 1,529 (air = 1 à 0 °C [32 °F]). Ce risque requiert une attention particulière au cours de la conception et de l'utilisation. Le détection de fuites et/ou la ventilation d'urgence sont toujours nécessaires. En comparaison avec l'ammoniac, le CO_2 est un fluide frigorigène plus sûr. La VLE (valeur limite d'exposition) est la concentration maximum de CO_2 vapeur dans l'air qui peut être tolérée pendant des journées de huit heures de travail au cours d'une semaine de 40 heures. La limite de sécurité de la VLE est de 25 ppm pour l'ammoniac et de 5 000 ppm (0,5 %) pour le CO_2.

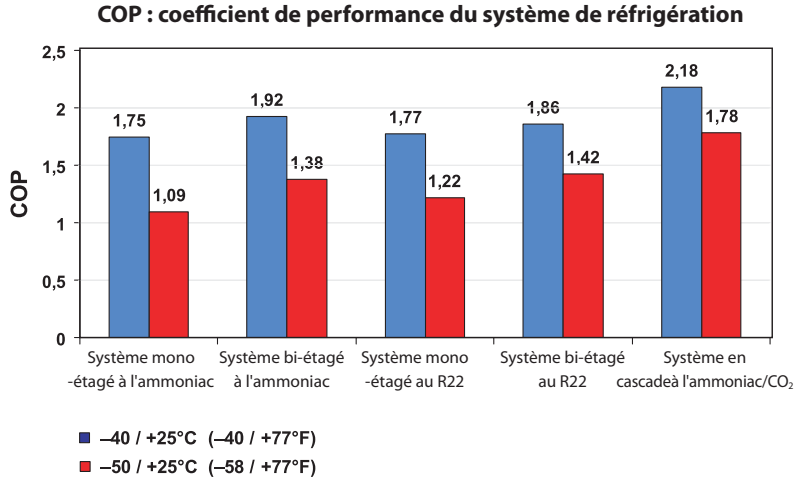
Environ 0,04 % de CO_2 est présent dan l'air.
À une concentration supérieure, des effets indésirables sont signalés :

2 %	Augmentation de 50 % du rythme respiratoire
3 %	Augmentation de 100 % du rythme respiratoire
5 %	Augmentation de 300 % du rythme respiratoire
8-10 %	La respiration naturelle est perturbée et il devient pratiquement impossible de respirer. Maux de tête, vertiges, sudation et désorientation.
> 10 %	Peut entraîner la perte de perte de connaissance et la mort.
> 30 %	Entraîne rapidement la mort.

10.5 Efficacité

Dans les systèmes en cascade au CO_2- NH_3, il est nécessaire d'utiliser un échangeur de chaleur. L'utilisation d'échangeurs de chaleur réduit l'efficacité du système en raison de la différence de température nécessaire entre les fluides. Cependant, les compresseurs fonctionnant avec du CO_2 sont plus efficaces et disposent d'un transfert de chaleur supérieur. L'efficacité globale d'un système en cascade au CO_2- NH_3 n'est pas réduite par rapport à un système traditionnel au NH_3 (figure 10.5.1 et réf. [3]).

Exemple :



Source : IIAR Albuquerque, Nouveau Mexique 2003, P.S Nielsen & T.Lund
Introduction d'un nouveau concept en cascade à l'ammoniac/CO_2 pour les grands bateaux de pêche.

Figure 10.5.1

10.6 Huile dans les systèmes au CO_2

Dans les systèmes au CO_2 avec des compresseurs de la réfrigération traditionnelle, des types d'huile miscible et non miscible sont utilisés (voir le tableau ci-dessous).

Pour les lubrifiants non miscibles comme les polyalphaoléfines (PAO), le système de surveillance du lubrifiant est relativement compliqué. La densité des PAO est inférieure à celle du CO_2 liquide. Le lubrifiant flotte donc à la surface du fluide frigorigène, ce qui rend son élimination plus difficile dans les systèmes à l'ammoniac. De plus, pour éviter l'encrassement des évaporateurs, la séparation de l'huile miscible et non miscible du compresseur doit très efficace : un système pratiquement sans huile est souhaitable.

Avec les lubrifiants miscibles comme le polyol-ester (POE), le système de gestion d'huile peut être beaucoup plus simple. Les huiles POE ont une forte affinité avec l'eau, le défi est donc de garantir la stabilité du lubrifiant lors de l'utilisation de POE.

Dans les systèmes de type *saumure* utilisant du CO_2 comme fluide frigorigène secondaire, et dans les systèmes de recirculation avec compresseurs sans huile, le CO_2 est exempt d'huile. Du point de vue de l'efficacité, cette absence d'huile est optimale car elle entraîne de bons coefficients de transfert de chaleur dans les évaporateurs. Cependant, tous les régulateurs, vannes et autres composants doivent pouvoir fonctionner *à sec*.

CO_2 et huile

Type d'huile	**PAO** **Huile polyalphaoléfine** *(huile synthétique)*	**POE** **Huile Polyol ester** *(huile d'ester)*
Solubilité	Faible (non miscible)	Élevée (miscible)
Hydrolyse	Faible	Grande affinité avec l'eau

Système de séparation d'huile	**Exigences particulières :**
	• Performance de filtration élevée
	  • Filtres coalescents à plusieurs étages
	  • Filtre à charbon actif
		Aucune exigence particulière
		(Exigences du systèmes comme HCFC/HFC)

Système de récupération d'huile	**Exigence particulière :** • Vidange d'huile de la bouteille basse température (densité de l'huile inférieure au CO_2 - opposé au NH_3)	**Simple** (Exigences du systèmes comme HCFC/HFC)
Obstacle	• Système de séparation et de récupération d'huile • Accumulation d'huile à long terme dans les évaporateurs par exemple	• Grande affinité avec l'eau • Stabilité de l'huile à long terme • Système de réfrigération « propre » requis

© Danfoss A/S (RC-MDP/MWA), 2014-10

10.6 Huile dans les systèmes au CO_2 *(suite)*

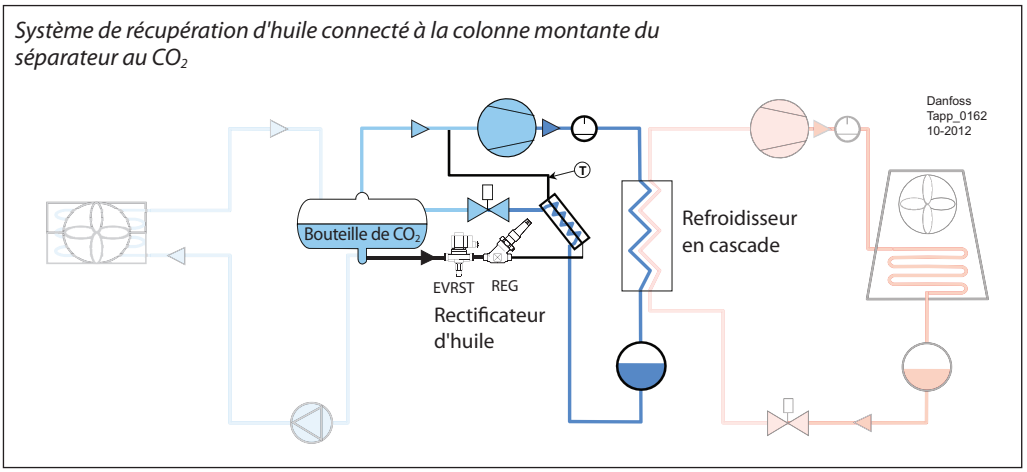
La concentration en huile dans la bouteille basse pression augmente progressivement car l'huile ne peut pas être directement réaspirée dans le compresseur avec le gaz. Si la concentration en huile dans l'évaporateur devient trop élevée, la force d'adhérence entraîne un colmatage de l'huile sur les surfaces de transfert de chaleur. Ceci réduit la puissance frigorifique de l'installation.

En provoquant une ébullition constante d'une partie de l'huile/CO_2 séparateur basse pression cela maintient une faible concentration dans l'installation. Durant le processus d'ébullition dans le rectificateur d'huile, le CO_2 liquide est sous-refroidi et le mélange d'huile/CO_2 liquide du séparateur CO_2 est porté à ébullition et réaspiré dans le compresseur CO_2.
Du CO_2 liquide pur ne doit jamais être renvoyé dans le compresseur car cela endommagerait le compresseur. Il est donc impératif que le CO_2 à la sortie de l'échangeur de chaleur soit surchauffé.

La surchauffe peut être controlée par un Régleur REG installé en aval de l'électrovanne.

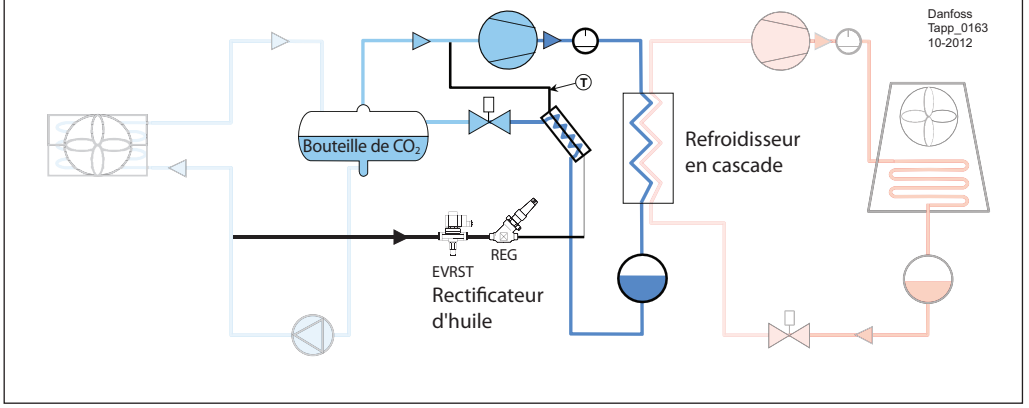
Exemple 10.6.1
Système de gestion d'huile pour les systèmes avec huiles solubles (miscibles)

Système de récupération d'huile connecté à la colonne montante du séparateur au CO_2



Exemple 10.6.2
Système de gestion d'huile pour les systèmes avec huiles solubles (miscibles)

Système de récupération d'huile connecté en aval de la pompe de liquide



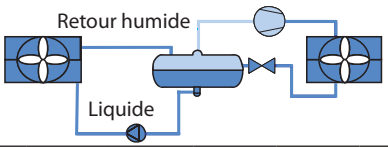
Les vannes ne sont pas toutes représentées.
Ce schéma ne doit pas être utilisé à des fins de construction.

© Danfoss A/S (RC-MDP/MWA), 2014-10

10.7 Comparaison des exigences des matériaux dans les systèmes au CO_2, à l'ammoniac et au R134a

En comparaison à l'ammoniac et au R134a, le CO_2 diffère par de nombreux aspects. La comparaison suivante illustre cette réalité : pour une véritable comparaison, les conditions de fonctionnement, comme la température d'évaporation et la température de condensation, restent constantes.

Comparaison de la section de tuyauterie
Conduite de retour humide / ligne liquide

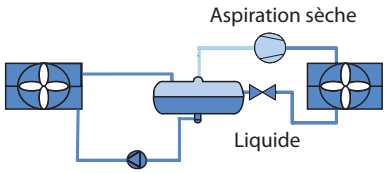


	Fluide frigorigène			R 134a		R 717		CO_2	
	Puissance frigorifique	kW	[TR]	250	[71]	250	[71]	250	[71]
Conduite de « retour humide »	ΔT	K	[F]	0,8	[1,4]	0,8	[1,4]	0,8	[1,4]
	Δp	bar	[psi]	0,0212	[0,308]	0,0303	[0,439]	0,2930	[4,249]
	Vitesse	m/s	[ft/s]	11,0	[36,2]	20,2	[66,2]	8,2	[26,9]
	Diamètre	mm	[inch]	215	[8,5]	133	[5,2]	69	[2,7]
	Zone de « retour humide »	mm^2	[$inch^2$]	36385	[56,40]	13894	[21,54]	3774	[5,85]
Ligne « liquide »	Vitesse	m/s	[ft/s]	0,8	[2,6]	0,8	[2,6]	0,8	[2,6]
	Diamètre	mm	[inch]	61	[2,4]	36	[1,4]	58	[2,3]
	Zone « liquide »	mm^2	[$inch^2$]	2968	[4,6]	998	[1,55]	2609	[4,04]
Surface totale de la section de tuyau	Zone « retour humide » + « liquide »	mm^2	[$inch^2$]	39353	[61,0]	14892	[23,08]	6382	[9,89]
Surface de la section de liquide			%	8		7		41	

L_{eqv} = 50 [m]/194 [ft] - Circulation par pompe : n_{circ} = 3 - Temp. d'évap. : TE = –40 [°C]/–40 [°F]

Tableau 1

Comparaison de la section de tuyauterie
Conduite d'aspiration sèche / ligne liquide



	Fluide frigorigène			R 134a		R 717		CO_2	
	Puissance frigorifique	kW	[TR]	250	[71]	250	[71]	250	[71]
Conduite d'aspiration « sèche »	ΔT	K	[F]	0,8	[1,4]	0,8	[1,4]	0,8	[1,4]
	Δp	bar	[psi]	0,0212	[0,308]	0,0303	[0,439]	0,2930	[4,249]
	Vitesse	m/s	[ft/s]	20,4	[67]	37,5	[123]	15,4	[51]
	Diamètre	mm	[inch]	168	[6,6]	102	[4,0]	53	[2,1]
	Zone « d'aspiration sèche »	mm^2	[$inch^2$]	22134	[34,31]	8097	[12,55]	2242	[3,48]
Ligne « liquide »	Vitesse	m/s	[ft/s]	0,8	[2,6]	0,8	[2,6]	0,8	[2,6]
	Diamètre	mm	[inch]	37	[1,5]	21	[0,8]	35	[1,4]
	Zone « liquide »	mm^2	[$inch^2$]	1089	[1,69]	353	[0,55]	975	[1,51]
Surface totale de la section de tuyau	Zone « d'aspiration sèche + liquide »	mm^2	[$inch^2$]	23223	[36,00]	8450	[13,10]	3217	[4,99]
Surface de la section de liquide			%	5		4		30	

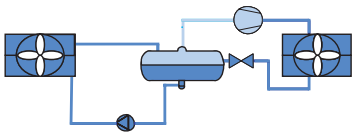
L_{eqv} = 50 [m]/194 [ft] - Temp. d'évap. : TE = –40 [°C]/–40 [°F] - Temp. de condensation : TE = -15 [°C]/-5 [°F]

Tableau 2

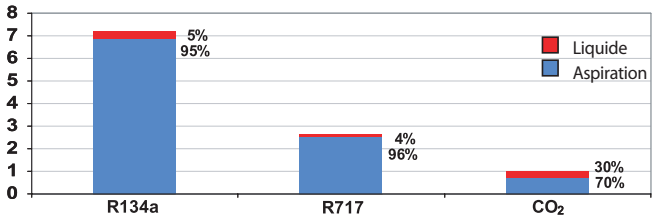
© Danfoss A/S (RC-MDP/MWA), 2014-10

10,7 Comparaison des exigences des matériaux dans les systèmes au CO_2, à l'ammoniac et au R134a *(suite)*

Comparaison de la section de tuyauterie
Conduite d'aspiration sèche / ligne liquide



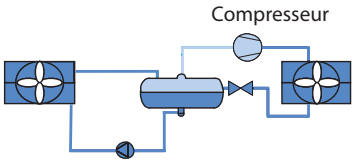
Fluide frigorigène				R 134a		R 717		CO_2	
	Puissance frigorifique	kW	[TR]	250	[71]	250	[71]	250	[71]
Conduite d'aspiration « sèche »	Zone « d'aspiration sèche »	mm^2	[$inch^2$]	22134	[34,31]	8097	[12,55]	2242	[3,48]
Ligne « liquide »	Zone « liquide »	mm^2	[$inch^2$]	1089	[1,69]	353	[0,55]	975	[1,51]
Surface totale de la section de tuyau	Zone « d'aspiration sèche + liquide »	mm^2	[$inch^2$]	23223	[36,00]	8450	[13,10]	3217	[4,99]
Surface relative de la section		-		7,2		2,6		1,0	
Surface de la section de liquide		%		5		4		30	
Surface de la section de vapeur		%		95		96		70	



L_{eqv} = 50 [m]/194 [ft] - Temp. d'évap. : TE = –40 [°C]/–40 [°F] - Temp. de condensation : TE = -15 [°C]/-5 [°F]

Tableau 3

Comparaison du debit volumique du compresseur

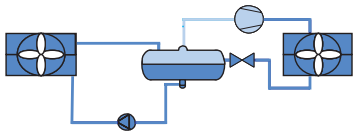


Fluide frigorigène			R 134a		R 717		CO_2	
Puissance frigorifique du fluide frigorigène	kW	[TR]	250	[71]	250	[71]	250	[71]
Débit Volumique requis du compresseur	m^3/h	[ft^3/h]	1628	[57489]	1092	[38578]	124	[4387]
Volume relatif	-	-	13,1		8,8		1,0	

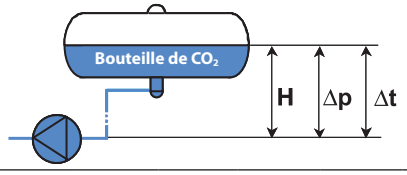
Temp. d'évap. / TE = –40 [°C]/–40 [°F] - Temp. de condensation : TE = -15 [°C]/-5 [°F]

Tableau 4

Comparaison de la pression/du sous-refroidissement produit dans les colonnes montantes de liquide



Fluide frigorigène			R 134a		R 717		CO_2	
Hauteur de la colonne montante de liquide « H »	m	[ft]	3	[9,8]	3	[9,8]	3	[9,8]
Pression produite dans la colonne montante de liquide « Δp »	bar	[psi]	0,418	[6,06]	0,213	[2,95]	0,329	[4,77]
Sous-refroidissement produit dans la colonne montante de liquide « Δt »	K	[°F]	14,91	[26,8]	5,21	[9,4]	0,88	[1,6]



Temp. d'évap. / TE = –40 [°C]/–40 [°F]

Tableau 5

Conduites de retour humides dans les systèmes à recirculation :

Une comparaison des systèmes à circulation par pompe révèle que pour les conduites « de retour sèches », les systèmes au CO_2 nécessitent des tuyauteries beaucoup plus petites que pour les systèmes à l'ammoniac ou au R134a (tableau 3). Dans les conduites « de retour sèches » de CO_2, la chute de pression autorisée pour une chute de température équivalente est 10 fois supérieure aux conduites de retour sèches de l'ammoniac ou du R134a. Ce phénomène est dû à la densité relativement élevée de la vapeur de CO_2. La comparaison ci-dessus est basée sur un taux de recirculation de 3. Ces résultats sont légèrement différents si le taux de recirculation est optimisé pour chaque fluide frigorigène.

Conduites d'aspiration dans des systèmes à détente sèche :

Dans la comparaison des conduites « d'aspiration sèches », les résultats sont très proches de la comparaison précédente, à la fois en termes de chute de pression et de taille de conduite (tableau 2).

Lignes liquide :

Pour les systèmes de recirculation et à détente sèche, les tailles calculées des lignes liquide de CO_2 sont beaucoup plus grandes que celles de l'ammoniac, mais seulement légèrement plus grandes que celle du R134a (tableaux 1 et 2). Ceci s'explique par le fait que la chaleur latente de l'ammoniac est beaucoup plus élevée que celle du CO_2 et du R134a. Comme l'indique le tableau relatif aux surfaces des sections de liquide et de vapeur relatives pour les trois fluides frigorigènes (tableau 1), la surface totale de la section des systèmes au CO_2 est environ 2,5 fois inférieure à celle d'un système à l'ammoniac et environ sept fois inférieure à celle d'un système au R134a. Ces résultats ont des répercussions intéressantes sur les coûts d'installation relatifs des trois fluides frigorigènes. En raison du volume de vapeur relativement réduit du système au CO_2 et de la forte puissance de réfrigération volumétrique, le système au CO_2 est relativement sensible aux fluctuations de puissance frigorifique. Il est donc important de concevoir un séparateur de liquide avec un volume suffisant pour compenser le volume de vapeur réduit dans les tuyaux.

La capacité frigorifique requise du compresseur pour des charges de réfrigération identiques est calculée pour les trois fluides frigorigènes (tableau 4). Il apparaît que le système au CO_2 requiert un compresseur beaucoup plus petit que les systèmes à l'ammoniac ou R134a.

Pour les compresseurs dont le déplacement est identique, la puissance frigorifique du compresseur pour le CO_2 est 8,8 fois supérieure à l'ammoniac et 13 fois supérieure au R134a.

Le sous-refroidissement produit dans une colonne montante de liquide d'une hauteur « H » donnée est calculé pour les trois fluides frigorigènes (tableau 5). Le sous-refroidissement de la colonne montante de CO_2 est beaucoup plus faible que pour l'ammoniac et le R134a. Cette caractéristique doit être prise en compte lors de la conception de systèmes au CO_2 afin d'éviter la cavitation et d'autres problèmes pour les pompes de CO_2 liquide.

10.8 Eau dans les systèmes au CO_2

Dans les systèmes à l'ammoniac, l'huile est régulièrement remplacée et les incondensables sont fréquemment vidangés afin de réduire l'accumulation d'huile, d'eau et de contaminants solides pouvant causer des problèmes.

En comparaison aux systèmes à l'ammoniac, les systèmes au CO_2 sont moins sensibles, mais en cas de présence d'eau, des problèmes peuvent se produire. Certaines des premières installations au CO_2 ont connu des problèmes avec les équipements de régulation, parmi d'autres composants. Des recherches ont révélé qu'un grand nombre de ces problèmes étaient causés par de l'eau gelant dans le système. Les systèmes modernes utilisent des filtres déshydrateurs pour maintenir la teneur en eau du système à un niveau acceptable.

Le niveau acceptable d'eau dans les systèmes au CO_2 est nettement inférieur à celui d'autres fluides frigorigènes courants. Le diagramme de la figure 10.8.1 indique la solubilité de l'eau en phases liquide et vapeur du CO_2 liquide et vapeur en fonction de la température. La solubilité en phase liquide est beaucoup plus élevée qu'en phase vapeur. La solubilité en phase vapeur est également appelée *point de rosée*.

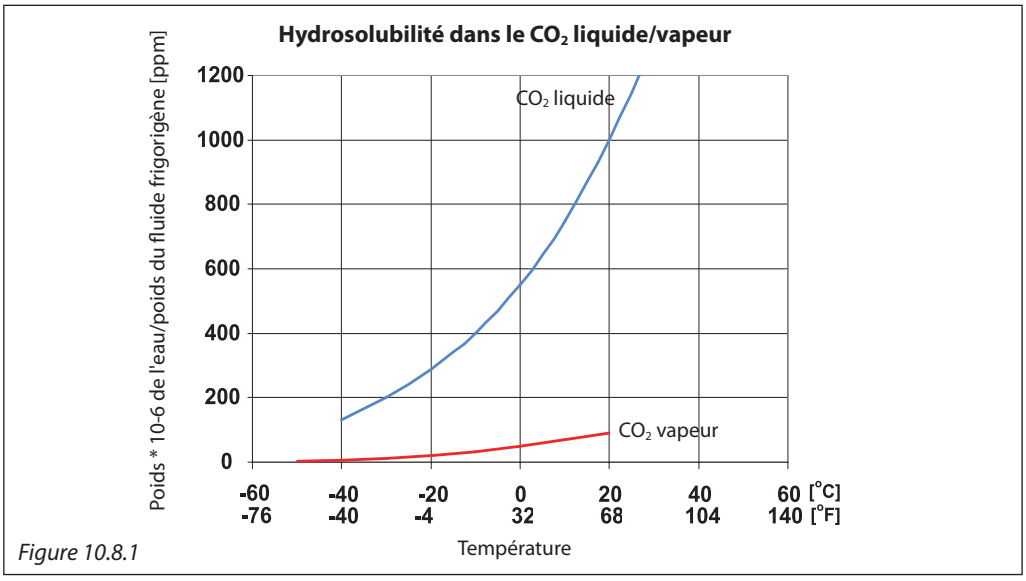


Figure 10.8.1

© Danfoss A/S (RC-MDP/MWA), 2014-10

10.8
Eau dans les systèmes au CO_2
(suite)

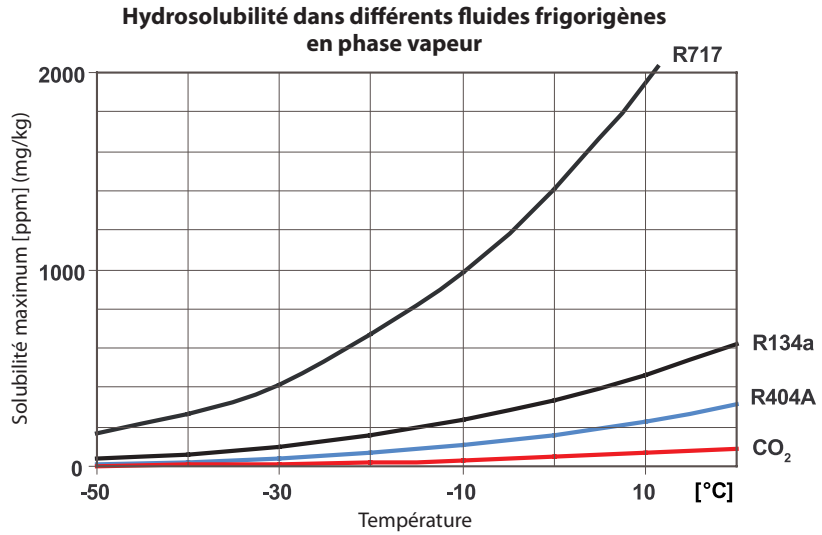


Figure 10.8.2

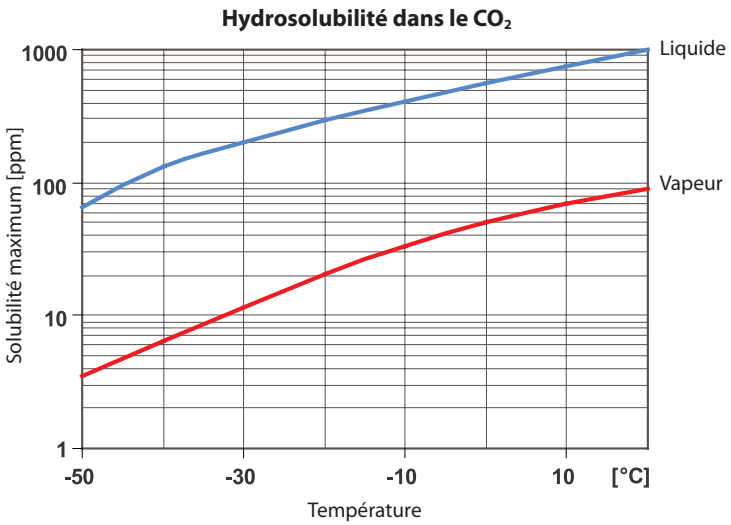


Figure 10.8.3

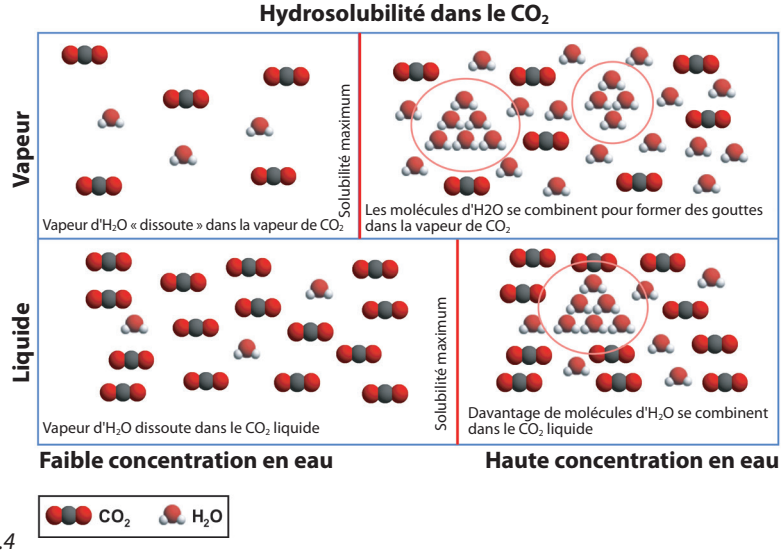


Figure 10.8.4

10.8 Eau dans les systèmes au CO_2 *(suite)*

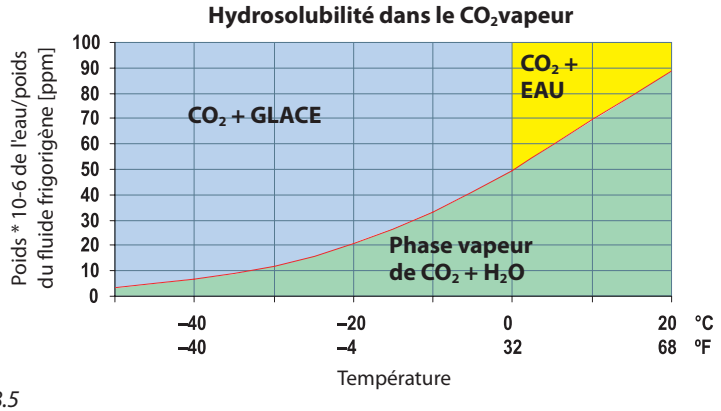


Figure 10.8.5

Le diagramme de la figure 10.8.1 indique que l'hydrosolubilité dans le CO_2 est nettement inférieure au R134a ou à l'ammoniac. À –20 °C [–4 °F], l'hydrosolubilité dans la phase liquide est de :

- 20,8 ppm pour le CO_2
- 158 ppm pour le R134a
- 672 ppm pour l'ammoniac

Sous ces niveaux, l'eau reste dissoute dans le fluide frigorigène et n'endommage pas le système. Comme présenté dans la figure 10.8.4, les molécules d'eau (H2O) sont dissoutes si la concentration est inférieure à la limite de solubilité maximum mais elles se précipitent hors de la solution sous la forme de gouttes si la concentration en eau est supérieure à la limite de solubilité maximum. Si l'eau dépasse cette limite dans un système au CO_2, des problèmes peuvent se produire, en particulier si la température est inférieure à 0 °C. Dans ce cas, l'eau gèle et les cristaux de glace risquent de bloquer les vannes, les électrovannes, les filtres et les autres équipements. (figure 10.8.5). Ce problème est particulièrement important dans les systèmes au CO_2 noyés et à détente directe, mais moins dans les systèmes secondaires volatiles car des équipements moins sensible sont utilisés.

Réactions chimiques

Il est important de noter que les réactions décrites ci-dessous ne se produisent pas dans les systèmes au CO_2 bien entretenus où la teneur en eau est inférieure à la limite de solubilité maximum.

Dans un système fermé comme un système de réfrigération, le CO_2 peut réagir avec l'huile, l'oxygène et l'eau, en particulier à des températures et des pressions élevées. Par exemple, si la teneur en eau dépasse la limite de solubilité maximum, le CO_2 peut former de l'acide carbonique, comme suit (réf. [4] et [5]) :

$CO_2 + H_2O \rightarrow H_2CO_3$

(CO_2 + eau → acide carbonique)

Dans les systèmes de production au CO_2 où la concentration en eau peut atteindre des nivaux élevés, il est connu que l'acide carbonique peut être très corrosif pour différents types de métaux. Cependant, cette réaction ne se produit pas dans les systèmes au CO_2 si la teneur en eau est maintenue sous la limite de solubilité maximum.

Eau dans la phase vapeur

Si la concentration en eau est relativement élevée, le CO_2 et l'eau dans la phase vapeur peuvent réagir et former des hydrates de CO_2 :

$CO_2 + 8\ H_20 \rightarrow CO_2(H_2O)_8$

(CO_2 + eau → CO_2 hydraté)

Les hydrates de CO_2 sont des molécules de grande taille qui peuvent exister au-dessus de 0 °C [32 °F]. Elles peuvent créer des problèmes dans l'équipement de régulation et les filtres, tout comme les problèmes dus à la glace.

Lubrifiant POE

Généralement les esters comme le POE réagissent avec l'eau comme suit :

$RCOOR' + H_2O \rightarrow R'OH + RCOOH$

(ester + water → alcool + acide organique)

Comme illustré, en cas de présence d'eau, le POE réagit avec l'eau et forme de l'alcool et un acide organique (acide carboxylique), qui est relativement puissant et qui peut corroder les métaux dans le système. Il est donc essentiel de limiter la concentration en eau dans les systèmes au CO_2 en cas d'utilisation de lubrifiants POE.

Lubrifiant PAO

$2RCH_3 + 3\ O_2 \rightarrow 2\ H_20_2 + 2RCOOH$

(huile + oxygène → eau + acide)

Le lubrifiant PAO est également appelé huile synthétique. D'ordinaire, le PAO est très stable. Toutefois, si une quantité suffisante d'oxygène libre est présente, telle que peut être produite par la corrosion dans les tuyaux, l'oxygène réagit avec le lubrifiant et forme de l'acide carboxylique.

© Danfoss A/S (RC-MDP/MWA), 2014-10

10.9 Élimination de l'eau

La régulation de la teneur en eau dans un système de réfrigération est un moyen très efficace d'éviter les réactions chimiques mentionnées ci-dessus.

Dans les systèmes au Fréon, des filtres déshydrateurs, généralement équipés de cartouches en zéolite, sont couramment utilisés pour éliminer l'eau. La zéolite a des pores extrêmement petits et elle agit comme tamis moléculaire (figure 10.9.1).

Les molécules d'eau sont assez petites pour passer à travers le tamis et sont, en raison de leur forte polarité, absorbées par les molécules de zéolite. Les molécules de R134a sont trop grosses pour pénétrer dans le tamis. Lorsque la cartouche déshydratante est remplacée, l'eau est ainsi éliminée.

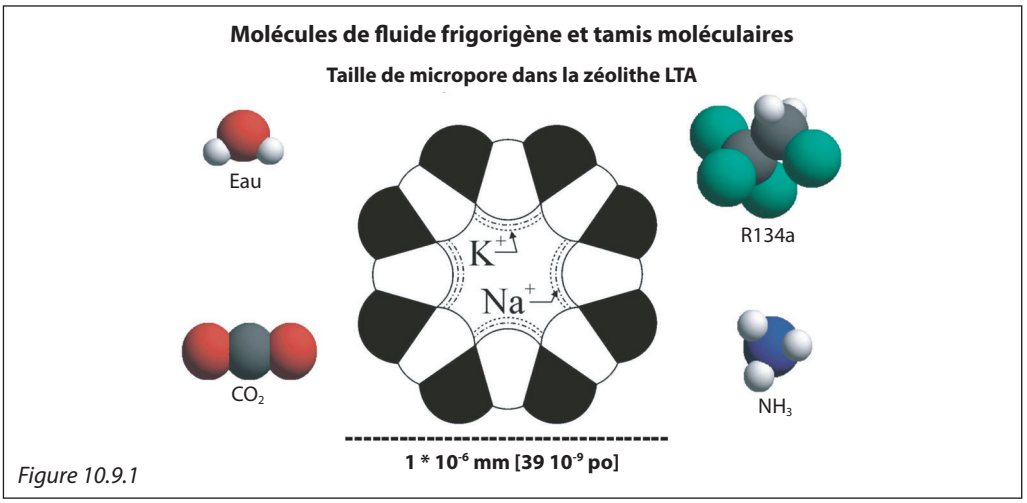


Figure 10.9.1

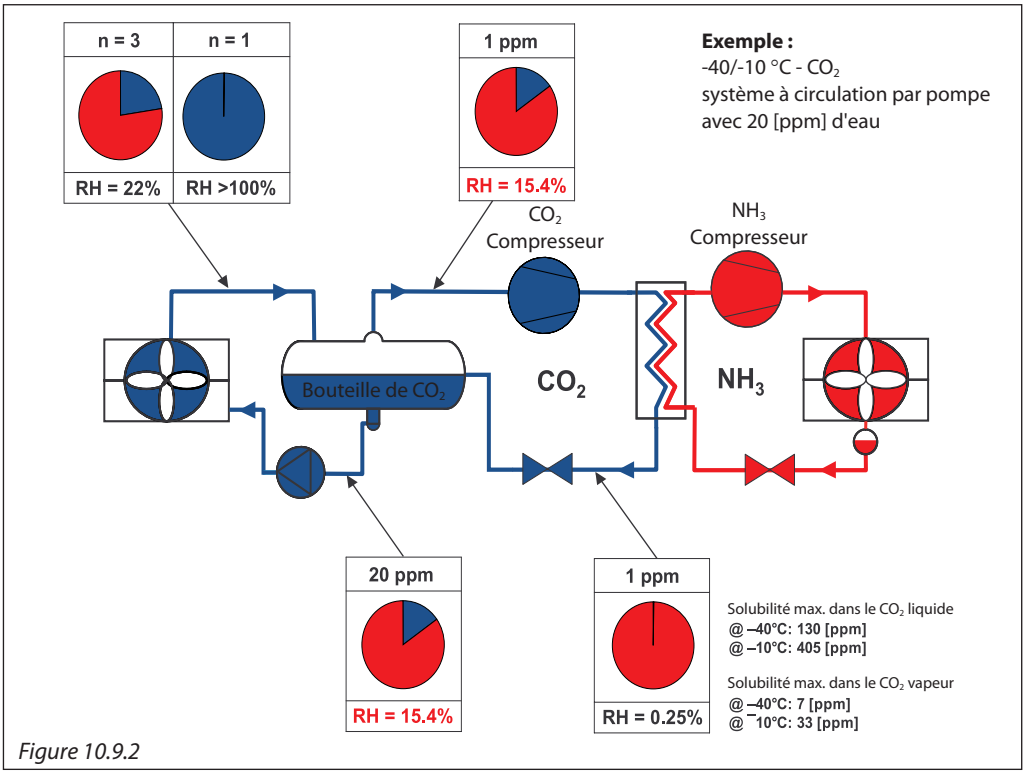


Figure 10.9.2

10.9 Élimination de l'eau *(suite)*

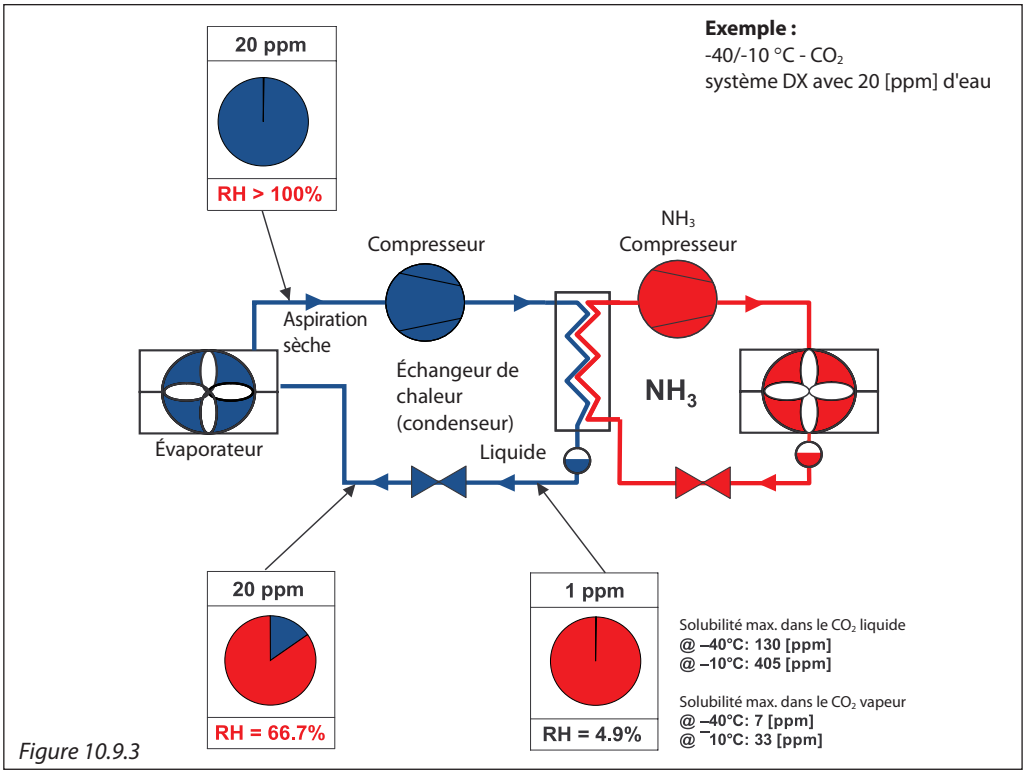


Figure 10.9.3

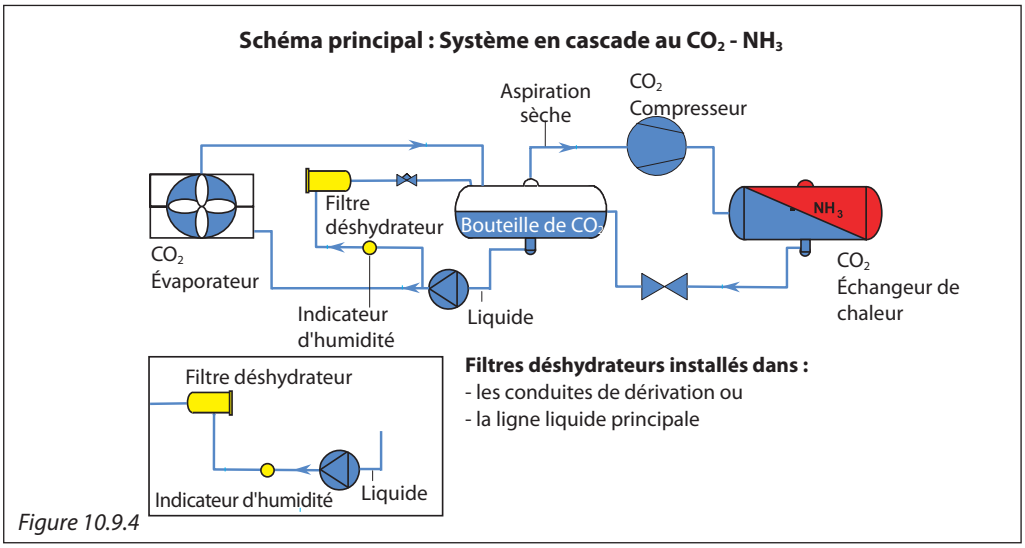


Figure 10.9.4

Le CO_2 est une molécule non polaire, le processus d'élimination est donc différent. Les molécules de CO_2, comme les molécules d'eau, sont assez petites pour passer à travers le tamis moléculaire. Toutefois, les molécules absorbées par le tamis moléculaire ont tendance à supplanter les molécules de CO_2 en raison de la différence de polarité. Les filtres déshydrateurs à zéolites ne peuvent pas être utilisés dans les systèmes à l'ammoniac car l'eau et l'ammoniac sont fortement polaires. Bien qu'à cet égard les déshydrateurs fonctionnent différemment dans les systèmes au CO_2, ils sont assez efficaces. La capacité de rétention de l'eau est approximativement identique dans les systèmes au R134a.

L'emplacement le plus efficace pour éliminer l'eau est là où la concentration est élevée. La solubilité de l'eau dans le CO_2 est beaucoup plus faible dans la phase vapeur que dans la phase liquide, une plus grande quantité d'eau peut donc être transportée dans les lignes liquides.

La fig. 10.9.2 illustre les variations de l'humidité relative dans un système à circulation par pompe fonctionnant à –40 °C. L'illustration indique que l'humidité relative est plus élevée dans la conduite de retour sèche et qu'elle dépend du débit de circulation. Dans un système DX les variations de l'humidité relative est différente et la concentration la plus élevée se trouve dans la conduite d'aspiration (fig. 10.9.3).

Sur la base de ce principe, les indicateurs d'humidité et les filtres déshydrateurs sont généralement installés dans une ligne liquide ou une conduite de dérivation de liquide de la bouteille (figure 10.9.4 et figure 10.9.5).

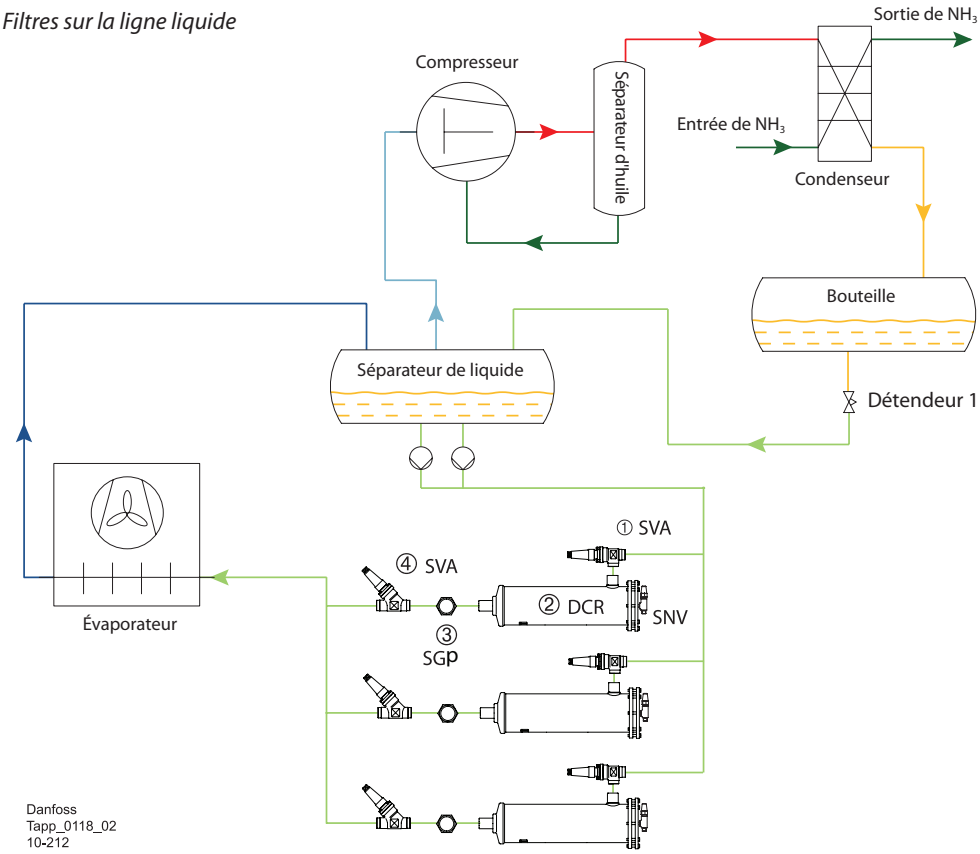
© Danfoss A/S (RC-MDP/MWA), 2014-10

Exemple d'application 10.9.5 : filtres déshydrateurs dans les systèmes à circulation par pompe au CO2

- Fluide frigorigène vapeur HP
- Réfrigérant liquide HP
- Mélange de fluide frigorigène liquide/vapeur
- Fluide frigorigène vapeur BP
- Fluide frigorigène liquide BP
- Huile

① Vanne d'arrêt
② Filtre déshydrateur
③ Voyant liquide
④ Vanne d'arrêt

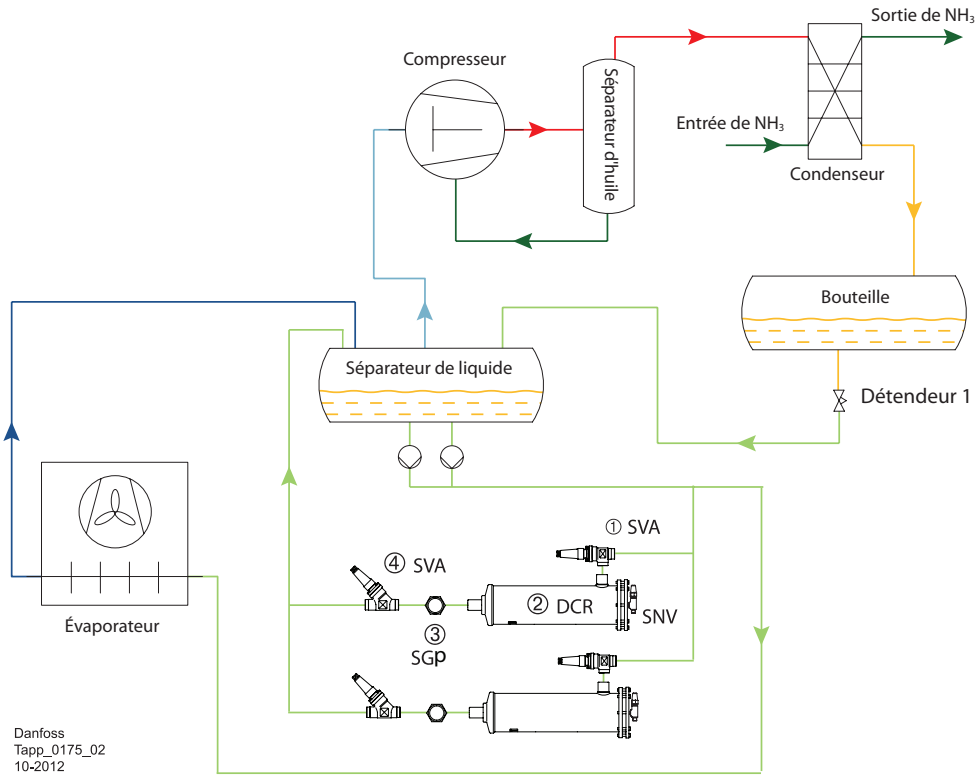
Filtres sur la ligne liquide



- Fluide frigorigène vapeur HP
- Réfrigérant liquide HP
- Mélange de fluide frigorigène liquide/vapeur
- Fluide frigorigène vapeur BP
- Fluide frigorigène liquide BP
- Huile

① Vanne d'arrêt
② Filtre déshydrateur
③ Voyant liquide
④ Vanne d'arrêt

Filtres en dérivation



Les vannes ne sont pas toutes représentées. Ce schéma ne doit pas être utilisé à des fins de construction.

© Danfoss A/S (RC-MDP/MWA), 2014-10

Exemple d'application 10.9.6 : filtres déshydrateurs dans les systèmes à circulation par pompe au CO2 (suite)

Pour installer un filtre déshydrateur sur un système au CO_2, il convient de tenir compte des critères suivants :

- **Humidité relative**
  L'humidité relative doit être élevée.
- **Chute de pression**
  La chute de la pression dans le filtre déshydrateur doit être faible. La performance du système ne doit pas être altérée par cette chute de pression.
- **Écoulement diphasique**
  Tout écoulement diphasique dans le filtre déshydrateur doit être évité car il existe des risques de gel et de blocage dus aux caractéristiques uniques d'hydrosolubilité.

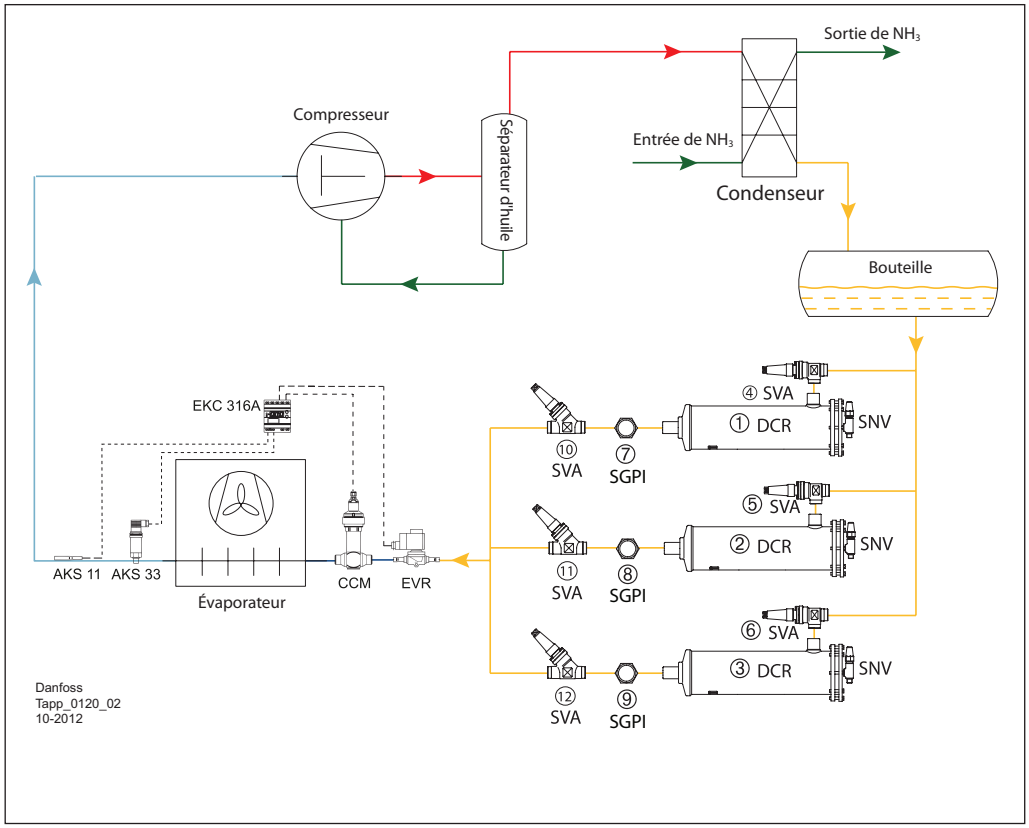
Dans des systèmes à circulation par pompe au CO_2, il est recommandé d'installer des filtres déshydrateurs sur les lignes liquide avant les évaporateurs. Sur ces conduites, la RH est élevée, il n'y a pas d'écoulement diphasique et il n'est pas sensible à la chute de pression.

L'installation dans d'autres positions n'est pas conseillée pour les raisons suivantes :

1. Dans la boucle compresseur-condenseur-vanne de détente, la RH est faible. Dans le séparateur de liquide, plus de 90 % de l'eau existe dans la phase liquide à cause de la solubilité moindre de CO_2 vapeur par rapport au CO_2 liquide. La quantité d'eau envoyée dans la boucle du compresseur par la vapeur d'aspiration est donc moindre. Si des filtres déshydrateurs sont installés dans cette boucle, la capacité du déshydrateur sera trop faible.
2. La conduite d'aspiration humide est exposée au gel à cause de l'écoulement diphasique comme indiqué.
3. Dans la ligne liquide avant les pompes de fluide frigorigène, la chute de pression augmente le risque de cavitation des pompes.

Si la capacité d'un filtre déshydrateur est insuffisante, plusieurs filtres déshydrateurs pourront être montés en parallèle.

Exemple d'application 10.9.7 : filtres déshydrateurs dans les systèmes DX CO_2



Fluide frigorigène vapeur HP
Réfrigérant liquide HP
Mélange de fluide frigorigène liquide/vapeur
Fluide frigorigène vapeur BP
Huile

① Filtre déshydrateur
② Filtre déshydrateur
③ Filtre déshydrateur
④ Vanne d'arrêt
⑤ Vanne d'arrêt
⑥ Vanne d'arrêt
⑦ Voyant liquide
⑧ Voyant liquide
⑨ Voyant liquide
⑩ Vanne d'arrêt
⑪ Vanne d'arrêt
⑫ Vanne d'arrêt

Dans un système DX CO_2, la concentration de l'eau est la même dans tout le système. La RH est légèrement supérieure à l'hydrosolubilité du fluide frigorigène.

Même si la RH dans la ligne liquide avant le détendeur est relativement faible à cause de l'hydrosolubilité élevée du CO_2 liquide haute température, il est toujours recommandé d'installer les filtres déshydrateurs sur cette ligne (dans la même position que sur le système fluoré) pour les raisons suivantes :

1. Les conduites d'aspiration et de refoulement sont sensibles à la chute de la pression et le risque de gel dans la conduite d'aspiration est élevé. Il n'est pas recommandé d'installer des filtres déshydrateurs ici même lorsque les RH sont élevées.
2. Dans la ligne liquide après le détendeur, l'installation d'un filtre déshydrateur doit également être évitée à cause de l'écoulement diphasique.

Les vannes ne sont pas toutes représentées. Ce schéma ne doit pas être utilisé à des fins de construction.

© Danfoss A/S (RC-MDP/MWA), 2014-10

10.10 Comment l'eau pénètre-t-elle dans un système au CO_2 ?

Contrairement à certains systèmes à l'ammoniac, la pression dans les systèmes au CO_2 est toujours au-dessus de la pression atmosphérique. Cependant, l'eau peut toujours pénétrer dans les systèmes au CO_2.

L'eau peut contaminer un système au CO_2 par le biais de cinq processus différents :

1. Diffusion
2. Opérations de maintenance et de réparation
3. Élimination incomplète de l'eau au cours de l'installation/mise en service
4. Charge dans le système de lubrifiant contaminé par l'eau
5. Charge dans le systèmede CO_2 contaminé par l'eau

Évidemment, tous ces processus doivent être évités ou réduits.

Pour illustrer un scénario dans lequel l'eau peut contaminer un système, imaginez un sous-traitant qui, croyant que le CO_2 est un fluide frigorigène très sûr, pense qu'il peut être manipulé sans suivre les normes de sécurité standard de l'ammoniac. Il peut ouvrir le système pour effectuer une réparation. Lorsque le système est ouvert, l'air entre et l'humidité de l'air se condense dans la tuyauterie. Si le sous-traitant ne vidange pas complètement le système, de l'eau peut rester dans le système.

Dans un autre scénario, le sous-traitant oublie que le lubrifiant utilisé dans le système, le POE, a une forte affinité avec l'eau et ne referme pas le réservoir. Une fois que le POE est chargé dans le système, l'eau peut créer des problèmes dans le système.

10.11 Diverses caractéristiques à prendre en compte dans les systèmes de réfrigération au CO_2

Détente de CO_2 expansion : changements de phases
Soupapes de sécurité

Soupape de sécurité

Le point triple particulièrement élevé du CO_2 peut entraîner la formation de CO_2 solide dans certaines conditions. La figure 10.11.1 illustre la détente survenant dans les soupapes de sécurité à partir de trois conditions différentes. Si la pression de consigne d'une soupape de sécurité dans la phase vapeur est de 35 bar [507 psi] ou moins, voir la ligne la plus à droite, la pression dans la conduite de détente passe au point triple à 5,2 bar [75,1 psi]. Au-dessous du point triple, le CO_2 se trouve sous forme de vapeur pure.

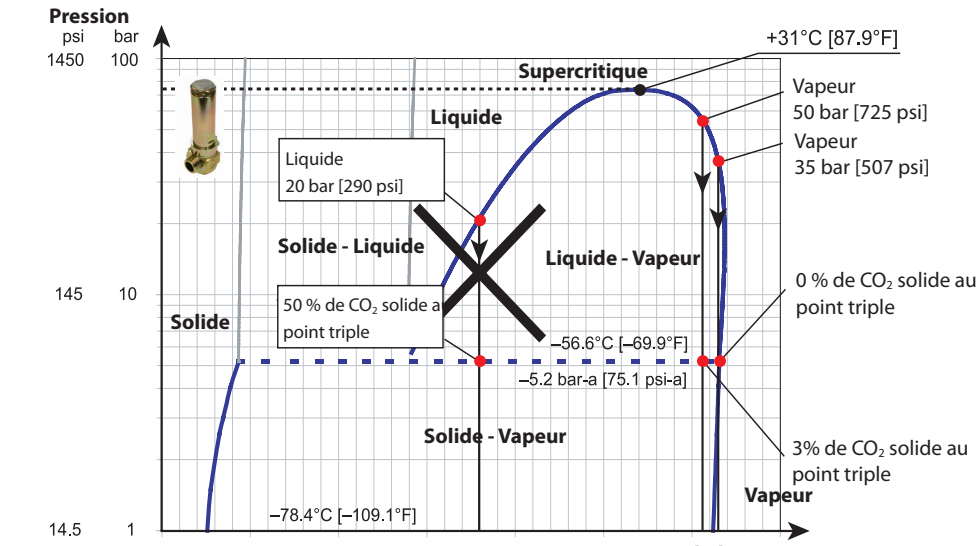


Figure 10.11.1

Si la pression de consigne d'une soupape de sécurité dans la phase vapeur est de 50 bar [725 psi], voir la ligne centrale, la pression dans la conduite de détente passe au point triple et 3 % du CO_2 devient solide au cours de la détente. Dans des circonstances complexes (p. ex. une grande conduite de détente avec de nombreux coudes), le CO_2 solide peut boucher cette conduite. La solution la plus efficace à ce problème serait d'installer la soupape de sécurité sans conduite de sortie et de vidanger le système directement dans l'atmosphère. Le changement de phase du CO_2 ne s'effectue pas dans la soupape, mais juste après celle-ci, dans ce cas, dans l'atmosphère.

Si une soupape de sécurité est réglée pour évacuer le liquide à 20 bar [290 psi], les produits évacués passent au point triple, après quoi 50 % du CO_2 devient solide à la poursuite de la détente, exposant la conduite de détente à un risque élevé de blocage. Ainsi, afin de protéger les lignes liquides contre la formation de glace sèche, connectez les soupapes de sécurité à un point du système dont la pression est supérieure à celle du point triple de 5,2 bar [75,1 psi].

© Danfoss A/S (RC-MDP/MWA), 2014-10

Charge du CO_2

Il est important de commencer avec du CO_2 en phase vapeur et de continuer jusqu'à ce que la pression atteigne 5,2 bar [75,1 psi]. Il est donc fortement recommandé de rédiger une procédure de charge des systèmes au CO_2. Lors de la charge d'un système de réfrigération, il faut être conscient que jusqu'à ce que la pression atteigne le point triple, le CO_2 peut uniquement être présent sous forme solide ou vapeur dans le système de réfrigération. De plus, le système produit des températures très basses jusqu'à ce que la pression soit suffisamment élevée (figure 10.11.1). Par exemple, à 1 bar [14,5 psi], la température de sublimation est de –78,4 °C [–109 °F].

Nettoyage du filtre

Les mêmes considérations s'appliquent au nettoyage des filtres liquide. Bien que le CO_2 soit non toxique, il n'est pas possible de simplement évacuer le liquide du système. Une fois que le CO_2 liquide entre en contact avec l'atmosphère, la phase liquide devient partiellement solide, et la température chute considérablement, comme dans l'exemple décrit ci-dessus. Cette soudaine chute de température constitue un choc thermique pour les matériaux du système et peut causer des dommages mécaniques aux matériaux. Une telle procédure serait considérée comme une erreur de sécurité car les équipements traditionnels ne sont pas conçus pour des températures aussi basses.

Liquide emprisonné

Le liquide emprisonné représente un risque potentiel pour la sécurité des systèmes de réfrigération et doit tout toujours être évité. Ce risque est encore plus élevé pour les systèmes au CO_2 que pour les systèmes à l'ammoniac ou au R134a. Le diagramme de la figure 10.11.2 illustre le changement de volume de liquide relatif pour les trois fluides frigorigènes. Comme illustré, le CO_2 liquide se dilate beaucoup plus que l'ammoniac et le R134a, en particulier lorsque la température s'approche du point critique du CO_2.

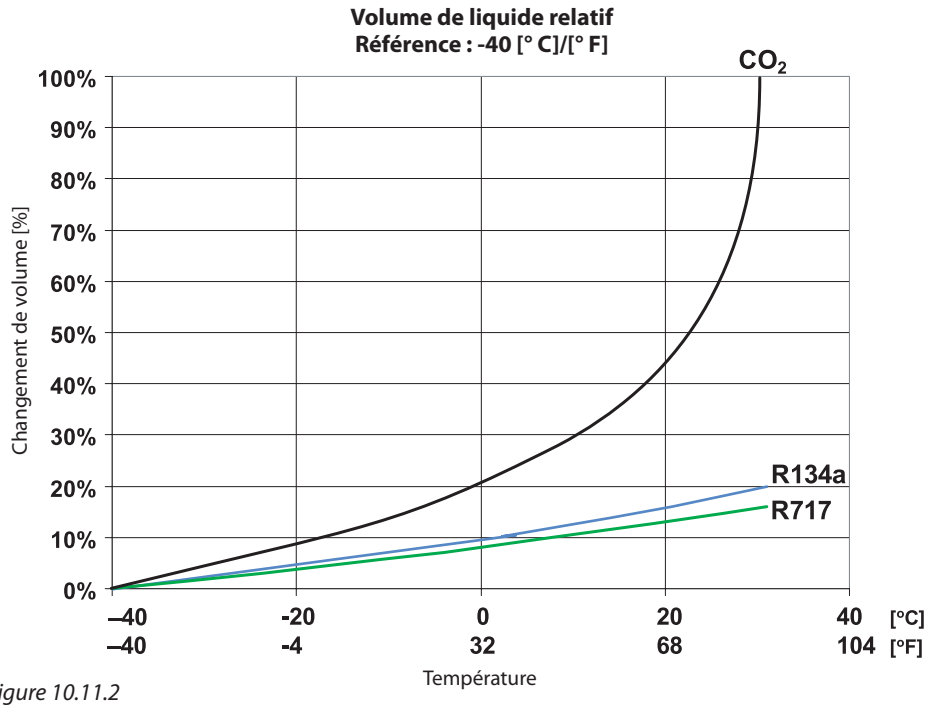


Figure 10.11.2

Fuites dans les systèmes en cascade au CO_2- NH_3

La fuite la plus problématique dans un système en cascade au CO_2- NH_3est située dans les échangeurs de chaleur entre le CO_2 et le NH_3. La pression du CO_2 est supérieure à celle du NH_3, la fuite se produit donc dans le système au NH_3, qui est contaminé.

CO_2 + 2 NH_3 → **$H_2NCOONH_4$**
CO_2 ammoniac carbamate d'ammonium

Le carbamate d'ammonium solide se forme dès que CO_2 entre en contact avec le NH_3. Le carbamate d'ammonium est corrosif (réf. [5]).

Compatibilité du matériau

Le CO_2 est compatible avec la plupart des matériaux métalliques, contrairement au NH_3. Il n'existe pas de restrictions du point de vue de la compatibilité concernant l'utilisation du cuivre ou du laiton. La compatibilité du CO_2 et des polymères est beaucoup plus complexe Le CO_2 étant une substance très inerte et stable, les réactions chimiques critiques avec les polymères ne sont pas un problème. Le problème principal du CO_2 réside dans les effets physicochimiques, comme la perméation, le gonflement et la génération de cavités et de ruptures internes. Ces effets sont liés à la solubilité et à la diffusivité du CO_2 dans le matériau concerné.

Danfoss a réalisé un grand nombre d'essais pour garantir que les composants proposés pour une utilisation avec le CO_2 peuvent résister à tous les aspects de l'impact du CO_2.

Ces essais ont montré le comportement différent du CO_2 et ont entraîné des modifications sur certains produits La grande quantité de CO_2 qui peut se dissoudre dans les polymères doit être prise en compte. Certains polymères communément utilisés ne sont pas compatibles avec le CO_2, et d'autres nécessitent des méthodes de fixation différentes, par ex. des matériaux d'étanchéité. Lorsque la pression approche du point critique et que la température est élevée, l'impact sur les polymères est beaucoup plus extrême. Ces conditions ne sont cependant pas importantes en réfrigération industrielle compte tenu des pressions et des températures plus basses dans ces systèmes.

Conclusion

Le CO_2 présente de bonnes propriétés, en particulier à basse température, mais il ne se substitue pas à l'ammoniac. Les systèmes de réfrigération industrielle au CO_2 les plus courants sont des systèmes hybrides avec de l'ammoniac du côté haute température du système.

Le CO_2 est un fluide frigorigène simple à de nombreux égards, mais il est important de noter que le CO_2 dispose de caractéristiques uniques par rapport à d'autres fluides frigorigènes courants. La connaissance des différences et leur prise en compte lors de la conception, de l'installation, de la mise en service et du fonctionnement permet d'éviter les problèmes.

De nombreux composants pour les systèmes de réfrigération industrielle au CO_2 avec des pressions allant jusqu'à environ 40 bar sont disponibles Plusieurs fabricants d'équipement pour les systèmes de réfrigération traditionnels peuvent également fournir certains composants pour les systèmes au CO_2. La disponibilité des composants pour les systèmes de réfrigération industrielle haute pression au CO_2 est limitée, et la disponibilité des composants critiques est un facteur important du taux d'augmentation de l'utilisation de CO_2.

Sources

[1] Bondinus, William S — ASHRAE Journal, avril 1999

[2] Lorentzen, Gustav, — Réimpression des actes de la conférence de l'IIF de 1994 « Nouvelles applications des fluides actifs naturels dans la réfrigération et la climatisation »

[3] P.S Nielsen & T.Lund — IIAR - Albuquerque, Nouveau Mexique, 2003, Introduction d'un nouveau concept en cascade à l'ammoniac/CO2 pour les grands bateaux de pêche.

[4] Broesby-Olsen, Finn — Laboratoire de chimie physique, Danfoss A/S
Symposium international sur les fluides frigorigènes HCFC alternatifs. Kobe, 1998
Commission B1, B2 et E2 de l'IFF, Université de Purdue

[5] Broesby-Olsen, Finn — Laboratoire de chimie physique, Danfoss A/S
Commission B1, B2, E1 et E2 de l'IFF, Aarhus, Danmark, 1996

[6] IoR (institut de réfrigération du Royaume-Uni). Code de sécurité des systèmes de réfrigération utilisant du dioxyde de carbone
Institut du Froid. 2003.

[7] Vestergaard N.P. — IIAR – Orlando, 2004. Le CO2 dans les systèmes de réfrigération subcritique

[8] Vestergaard N.P. — RAC – Magazine de réfrigération et de climatisation, janvier 2004. Mieux connaître le dioxyde de carbone.

© Danfoss A/S (RC-MDP/MWA), 2014-10

11. Systèmes de réfrigération industrielle à CO_2 pompé

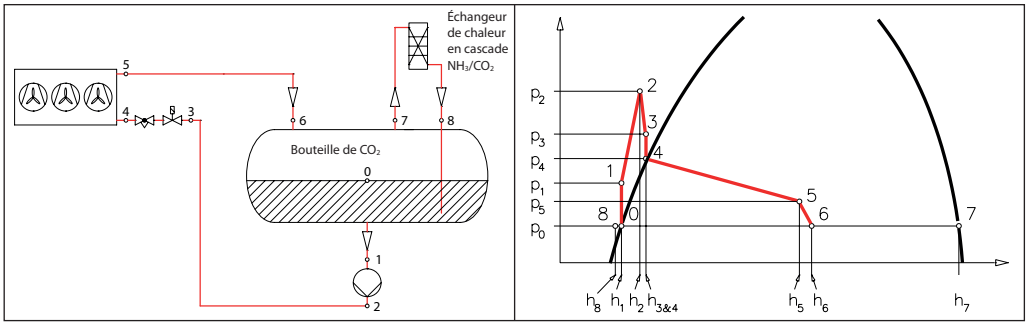


Figure 11.1 : schéma général d'un système à CO_2 pompé.

Description générale des systèmes

Schéma typique d'un système au NH_3/CO_2 basse/moyenne température (fig. 11.1) constitué

- d'un système de réfrigération au NH_3 standard et d'un échangeur de chaleur en cascade qui fait office d'évaporateur
- Le CO_2 joue le rôle de fluide volatile dans les évaporateurs (système noyé (1-6))

Le CO_2 circule par gravité dans l'échangeur de chaleur en cascade, ce qui permet de réguler avec précision la température du CO_2 dans la bouteille.

Le CO_2 sous forme de gaz, passe (7) dans l'échangeur de chaleur en cascade, où il est refroidi par le NH_3, se condense, et retourne dans la bouteille de CO_2 sous forme de CO_2 liquide (8). Du côté ammoniac, le cycle de réfrigération peut être contrôlé à l'aide d'une vanne à flotteur haute pression (HFI) ou par détente directe dans l'évaporateur (p.ex. avec un détendeur électronique de type ICM et un régulateur en cascade de type EKC 313).

Différences par rapport aux systèmes traditionnels au NH_3/saumure

Performances du système :
Les systèmes au NH_3/CO_2 consomment considérablement moins d'énergie que les systèmes traditionnels au NH_3 et de saumures à base d'eau. Le COP du système est plus élevé en raison des éléments suivants :

- *Température d'évaporation et efficacité de l'échangeur de chaleur à plaques*
  En général la température d'évaporation du côté haute pression du système au NH_3.est plus élevée de quelques degrés Cette différence est due au meilleur coefficient de transfert de chaleur du CO_2 dans les refroidisseurs d'air et dans l'échangeur de chaleur à plaques, ce qui entraîne une différence de température moins importante dans les échangeurs de chaleur. Ceci réduit directement la consommation d'énergie des compresseurs au NH_3. Certains chiffres indiquent que le COP des systèmes au NH_3/CO_2 est proche de celui des systèmes au NH_3 pur.
- *Énergie de la pompe*
  L'énergie de la pompe nécessaire à la circulation du CO2 dans les refroidisseurs d'air est nettement moins élevée car les besoins en CO_2 sont plus faibles, mais également grâce à la densité plus faible du CO_2. Le taux de recirculation de la pompe pour le CO2 est également relativement bas (généralement entre 1,1 et 2), ce qui permet d'utiliser une pompe plus petite.

Dimensions des conduites et des composants dans un système noyé :
En raison de la capacité calorifique spécifique élevé du CO_2 et de sa densité plus faible, des composants et des conduites plus petits que ceux d'un système de saumure traditionnel peuvent être utilisés à la fois pour les conduites aller ou de retour.

Plus le volume de CO_2 circulant est réduit, plus de petites pompes peuvent être utilisées, ce qui permet de réduire la consommation d'énergie pour la puissance frigorifique distribuée.

Les tuyaux de CO_2 plus petits ont une surface plus petite, et leur perte de chaleur est donc inférieure aux tuyaux de saumure/glycol.

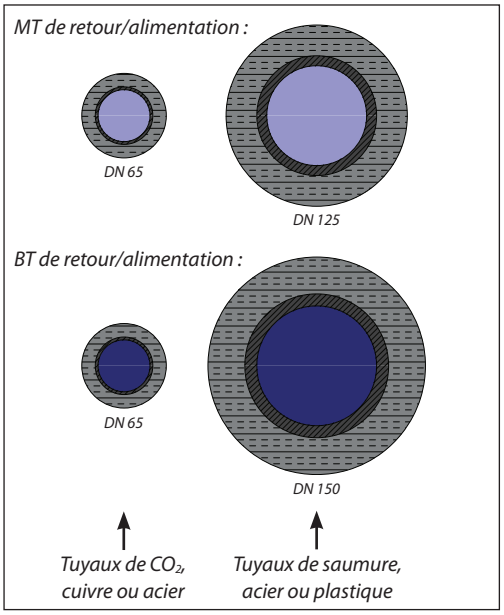


Figure 11.2 : comparaison de la dimension des tuyaux

Différences par rapport aux systèmes traditionnels au NH_3/saumure. (suite)

Optimisation de la gestion de l'énergie :
Il est possible de réduire d'avantage la consommation d'énergie des systèmes au NH_3/CO_2 à l'aide d'algorithmes de commande intelligents. Un bon moyen d'améliorer l'efficacité (COP) du système est de réduire le rapport de pression dans le compresseur au NH_3. Il existe deux manières de procéder :

- Maintenir le condenseur à la pression la plus faible possible
- Maintenir l'évaporation à la pression la plus élevée possible.

La régulation du condenseur est identique à celle des systèmes traditionnels : les ventilateurs peuvent être commandés par un variateur de fréquence AKD 102, et la pression de condensation peut varier en fonction de la température ambiante.

Pour ce faire, il convient d'utiliser le régulateur de centrale frigorifique AK-PC 730/840 de Danfoss.

Il existe également des différences dans la gestion de la pression d'aspiration entre les systèmes en cascade au CO_2 et les systèmes de saumure/glycol. Dans le cas d'un type de système comme représenté sur la fig. 11.3, un signal de pression de la bouteille de CO_2 peut être utilisé pour réguler la puissance frigorifique des compresseurs en cascade (système au NH_3).
Si la pression de la bouteille de CO_2 diminue, la vitesse des compresseurs en cascade diminue également afin de maintenir la pression du CO_2. Cette fonction peut être remplie par le régulateur de centrale frigorifique AK-PC 730/840.

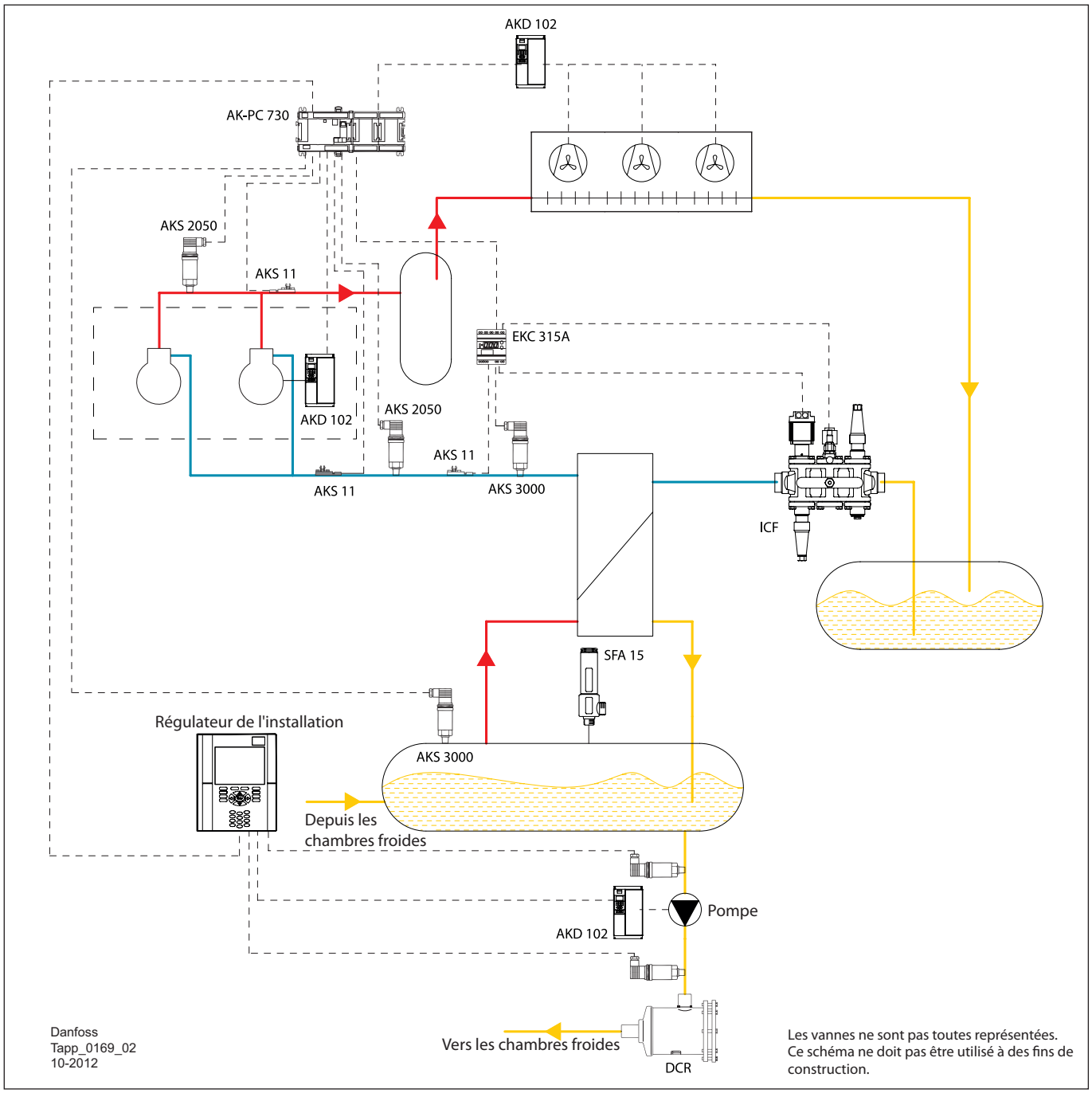


Figure 11.3 : Régulation intégrée des systèmes au CO_2 à circulation par pompe

© Danfoss A/S (RC-MDP/MWA), 2014-10

Régulation de la fréquence des pompes au CO_2

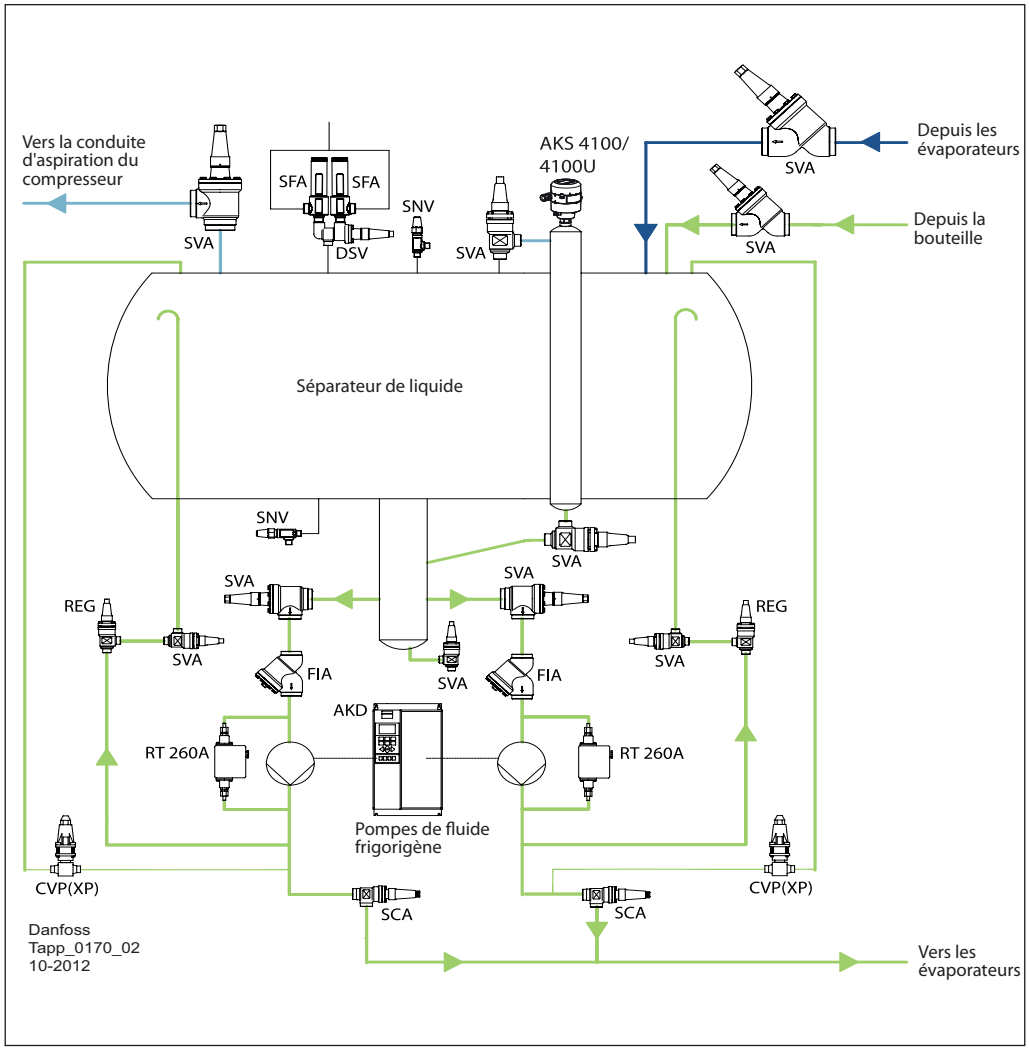


Figure 11.4 : Stations de pompage au CO_2 avec variateur AKD et les vannes et régulateurs nécessaires

Il existe deux moyens de contrôler les pompes à CO_2 liquide : utiliser une simple commande tout ou rien ou utiliser un variateur de fréquence (de type AKD).
L'utilisation d'un variateur de fréquence est de plus en plus répandue, pour deux raisons : les économies d'énergie et la meilleure répartition du liquide dans les évaporateurs.

Économies d'énergie
Les pompes à CO_2 sont généralement contrôlées par une différence de pression constante. Dans des conditions standard, la consommation d'énergie est identique ou légèrement supérieure à celle d'une pompe à vitesse fixe. En cas de fonctionnement en charge partielle, une pompe à vitesse fixe continue à consommer de l'énergie en raison de l'augmentation de la différence de pression. Une pompe à CO_2 liquide équipée d'un variateur de fréquence fonctionne à une vitesse inférieure et consomme moins d'énergie.

Les économies réalisées varient en fonction de la durée de fonctionnement et des conditions de fonctionnement réelles. Toutefois, les économies peuvent atteindre 50 % par rapport aux pompes à commande tout ou rien fonctionnant à pleine vitesse.

Meilleure répartition du liquide dans les évaporateurs
Une exigence en matière de bonnes performances des évaporateurs/refroidisseurs d'air est une bonne répartition du liquide fluide frigorigène dans le système.

Une pression différentielle stable dans les évaporateurs constitue une condition préalable pour une bonne répartition du liquide fluide frigorigène.

Les pompes commandées par des variateurs de fréquence peuvent garantir le maintien de la pression à un niveau stable dans toutes les conditions de charge. Pour une puissance frigorifique faible, la consommation d'énergie est faible et pour une puissance frigorifique élevée un débit de CO_2 suffisant.

Une configuration de tuyauterie typique avec des pompes à CO_2 contrôlées par des variateurs de fréquence (de type AKD 102) est représentée sur la figure 11.4. Autre avantage des pompes à variateurs de fréquence : les orifices de Q-max ne sont pas nécessaires.

Les vannes ne sont pas toutes représentées. Ce schéma ne doit pas être utilisé à des fins de construction.

© Danfoss A/S (RC-MDP/MWA), 2014-10

Dégivrage des systèmes à CO_2 pompé

Il existe plusieurs moyens de dégivrer les systèmes à CO_2 pompé

- **Dégivrage électrique.** Cette méthode de dégivrage est plus simple et la moins écoénergétique. La consommation électrique supplémentaire du dégivrage peut être assez importante dans certains cas.
- **Dégivrage par gaz chauds.** Le dégivrage par gaz chauds au CO_2 peut être utilisé si un compresseur est installé dans le système pour prendre en charge le dégivrage. Ce compresseur fonctionne uniquement durant le dégivrage . Cette méthode est plus économique que le dégivrage électrique.

Le processus est similaire à celui d'un système de dégivrage au NH_3 traditionnel.

- **Dégivrage par saumure** L'utilisation de saumure permet d'utiliser la chaleur du système en cascade pour dégivrer les évaporateurs au CO_2. Cette méthode se révèle particulièrement intéressante si le condenseur à l'ammoniac est refroidi par eau.
- **Dégivrage à eau.** Dans certains cas (en particulier dans les chambres où la température est supérieure à zéro), les évaporateurs peuvent être dégivrés en pulvérisant de l'eau.

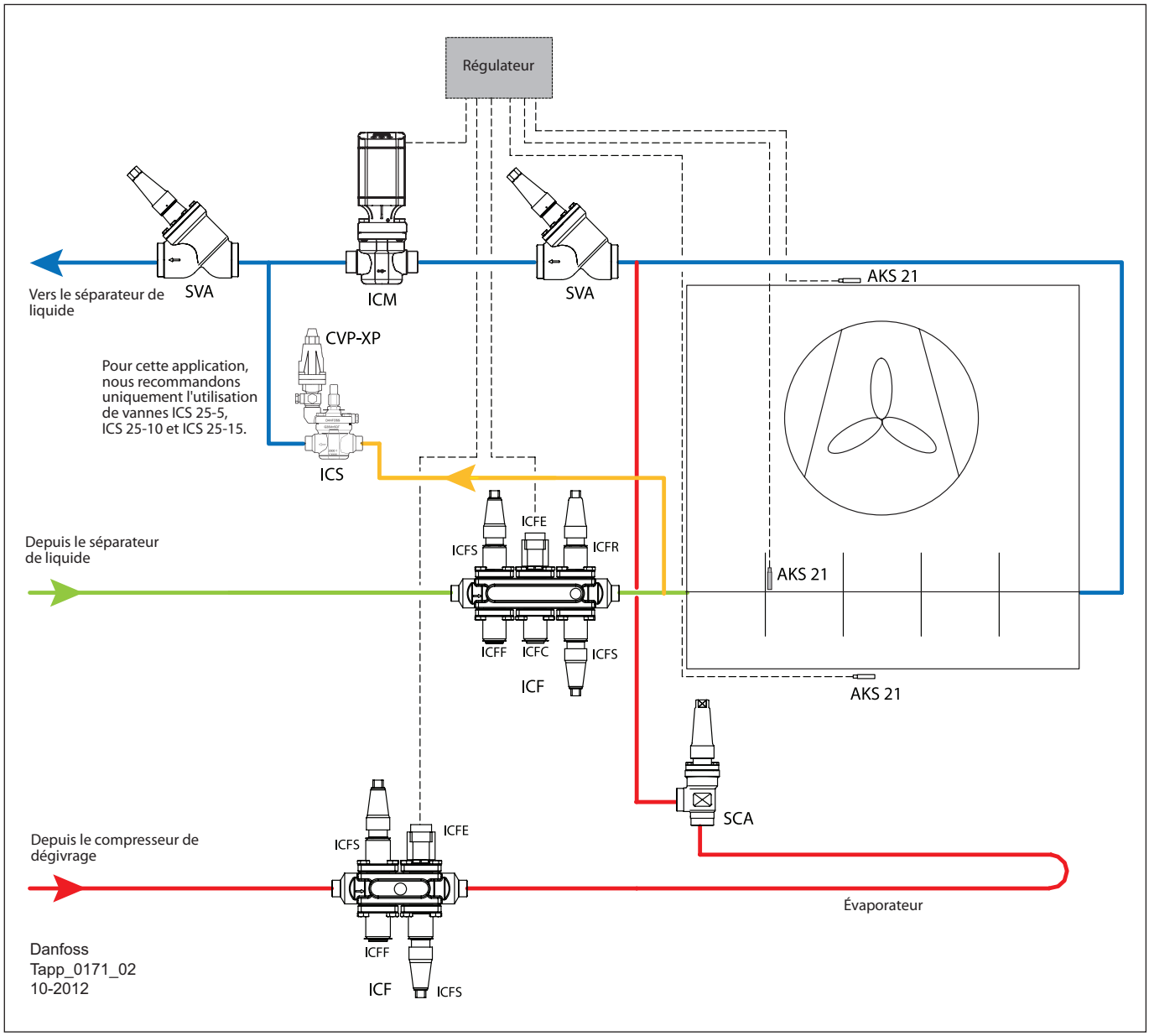


Figure 11.5 : dégivrage par gaz chauds au CO_2

Les vannes ne sont pas toutes représentées. Ce schéma ne doit pas être utilisé à des fins de construction.

© Danfoss A/S (RC-MDP/MWA), 2014-10

Dégivrage des systèmes à CO_2 pompé (suite)

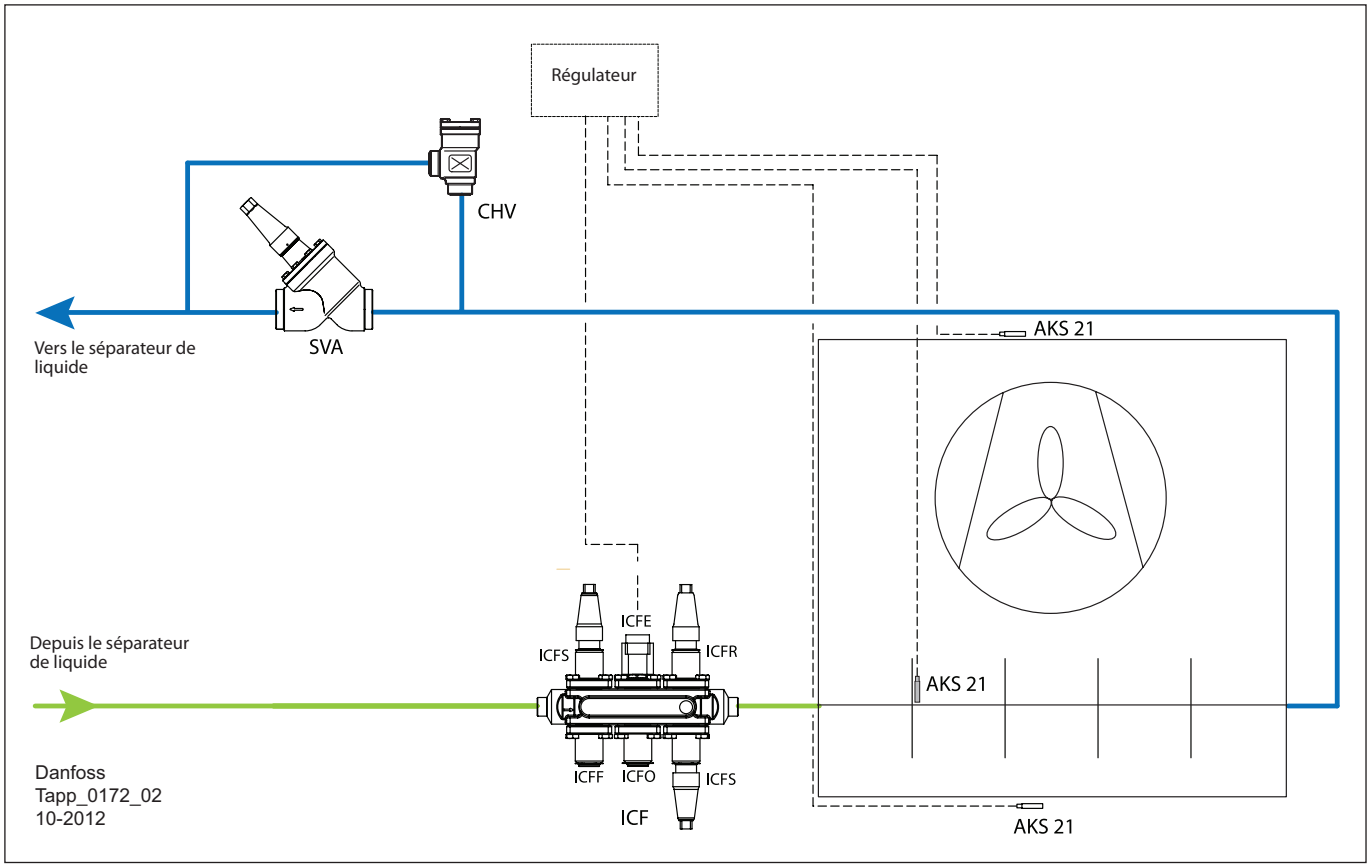


Figure 11.6 : dégivrage électrique ou par saumure au CO_2

Régulateur de l'évaporateur dans les systèmes à CO_2 pompé

Les systèmes de réfrigération industrielle traditionnels sont des systèmes noyés (par pompe). Dans un système noyé, la quantité de liquide injectée dans les évaporateurs dépasse la quantité nécessaire à l'évaporation complète. La quantité de liquide injectée dans les évaporateurs est définie par le « Taux de circulation ».

Le débit de circulation est de 1 lorsque la quantité exacte de liquide pouvant être complètement évaporée est injectée dans le refroidisseur. Cependant, si le double de liquide est injecté, le taux de circulation est de 2. Voir le tableau ci-dessous.

N° de débit de circulation	Débit massique de gaz créé	Débit massique de liquide fourni	Sortie de débit massique de liquide
1	x	x	0

La suralimentation en liquide a pour avantage d'augmenter l'efficacité des refroidisseurs, en raison de l'utilisation améliorée de la surface de l'évaporateur et d'améliorer le transfert de chaleur, en raison d'un coefficient de transfert de chaleur plus élevé. De plus, la régulation des systèmes noyés est relativement facile.

Le liquide à la bonne température est pompé depuis un séparateur vers les évaporateurs.

Lorsque du liquide est requis, une électrovanne située à l'avant de l'évaporateur est ouverte. Une vanne de régulation manuelle est généralement installée après l'électrovanne pour permettre le réglage du débit requis et l'équilibrage hydraulique du système.

Les vannes ne sont pas toutes représentées. Ce schéma ne doit pas être utilisé à des fins de construction.

© Danfoss A/S (RC-MDP/MWA), 2014-10

Régulateur de l'évaporateur dans les systèmes à CO_2 pompé (suite)

La régulation de température dans les évaporateur peut être gérée comme suit :

- Un régleur pour régulation de débit + électrovanne tout ou rien pour régulation de la température
- Vannes AKV à durée d'impulsions pour la régulation de débit (dimension de l'orifice) et régulation de la température

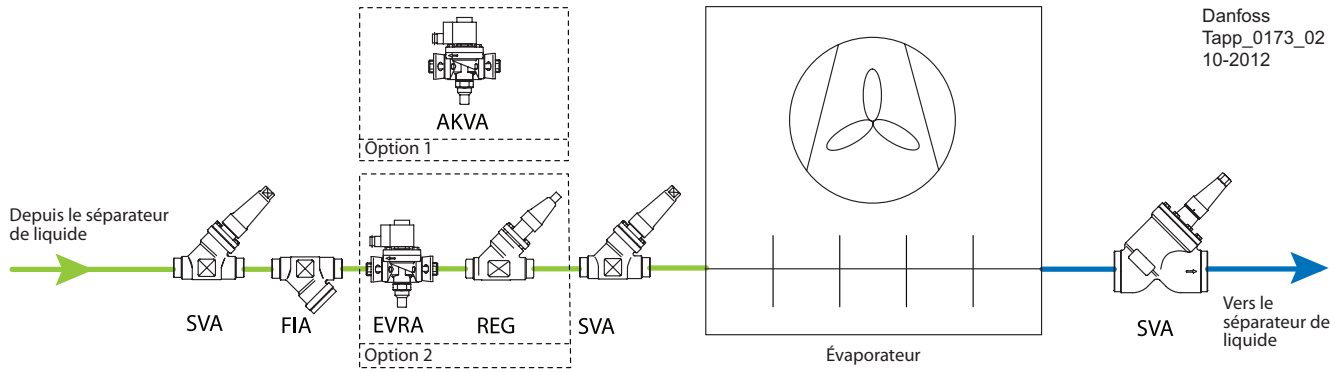


Figure 11.7

Vanne d'injection traditionnelle dans les systèmes à CO_2 pompé

Dans un système noyé traditionnel, l'injection de liquide est contrôlée par un thermostat qui mesure constamment la température de l'air.

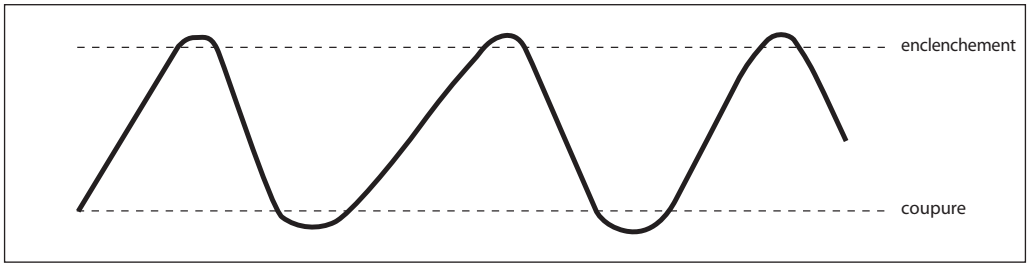
L'électrovanne est ouverte pendant plusieurs minutes au moins, jusqu'à ce que la température de l'air atteigne le point de consigne. Pendant l'injection, la masse du débit de fluide frigorigène est constante.

Il s'agit là d'un moyen très simple pour contrôler la température de l'air, cependant, les variations de température entraînées par le différentiel du thermostat peuvent parfois avoir des effets secondaires indésirables dans certaines applications, tels que la déshumidification ou une régulation imprécise.

Puissance frigorifique du refroidisseur d'air
La puissance frigorifique d'un refroidisseur d'air est décrite par les équations suivantes :

Côté fluide frigorigène :
Q du refroidisseur = débit massique × Δh (1)
Débit massique [liquide évaporé kg/s]
Δh [kJ/K]

Côté fluide frigorigène/air :
Q du refroidisseur = k × A × ΔT (2)
K [W/(m2.K] : le coefficient de transfert de chaleur total (en fonction du coefficient de transfert de chaleur de l'air et du fluide frigorigène, qui dépend du débit d'air/fluide frigorigène) et la conductivité thermique des matériaux utilisés dans les refroidisseurs.
A [m2] : surface du refroidisseur
ΔT [K] : la différence entre les températures d'évaporation et de l'air



Les vannes ne sont pas toutes représentées.
Ce schéma ne doit pas être utilisé à des fins de construction.

© Danfoss A/S (RC-MDP/MWA), 2014-10

Injection dans un refroidisseur d'air à l'aide d'une vanne AKV(A) à modulation d'impulsions en durée

Au lieu de procéder à une injection périodique, comme décrit plus haut, il est également possible d'adapter en continu l'injection de liquide en fonction des besoins réels. Pour ce faire, utiliser une vanne de type PWM AKV(A) régulée par un régulateur AK-CC 450.

La température de l'air est constamment mesurée et comparée à la température de référence. Lorsque la température atteint le point de consigne, l'ouverture de l'AKV(A) est réduite, ce qui réduit son temps d'ouverture pendant un cycle et entraîne une réduction de la puissance frigorifique et inversement. La durée d'un cycle peut être réglée sur 30 à 900 secondes.

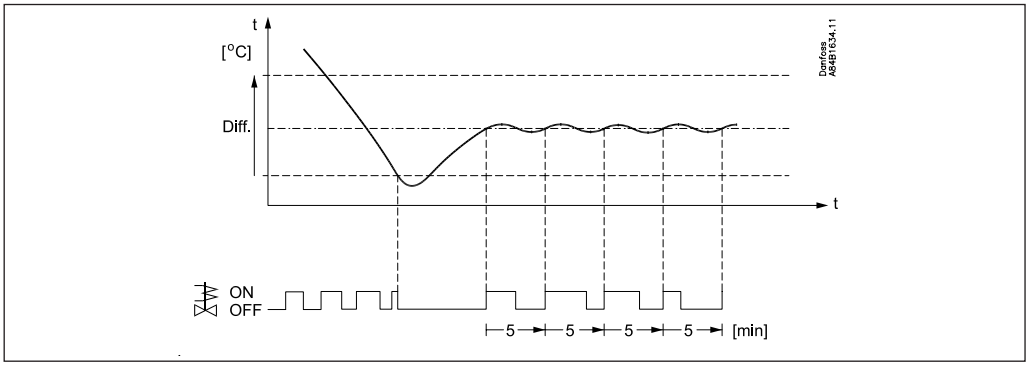
En principe, la régulation dans ce type de système est effectuée avec une fonction PI. Il en résulte des variations réduites de la température de l'air régulé avec des charges stables, ce qui entraîne une humidité plus constante de l'air.

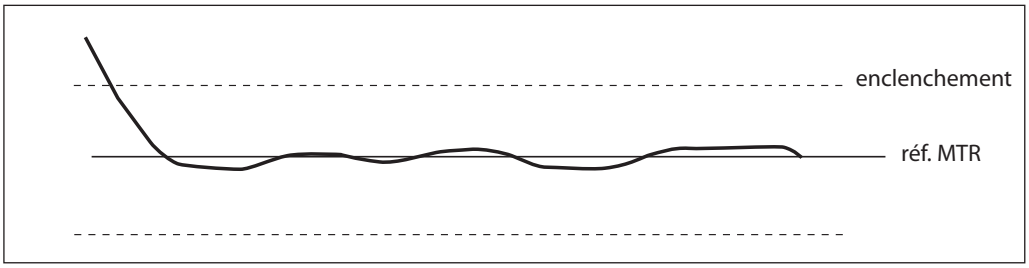
La fonction permet une régulation constante de la température avec une valeur de température qui se trouve à mi-chemin entre les valeurs de marche et d'arrêt du thermostat.

Les paramètres de fonctionnement de la régulation PI sont automatiquement optimisés via les valeurs prédéfinies de marche et d'arrêt et le degré d'ouverture de la vanne.
Le différentiel affecte l'amplification du régulateur et ne peut donc pas être inférieur à 2 K afin de garantir la stabilité de la régulation.

Dans un système noyé, cela signifie que le débit de fluide frigorigène moyen est constamment régulé et adapté à la demande, et que le débit de circulation diminue lorsque la quantité de fluide frigorigène injectée diminue.

Cette approche de l'injection de liquide dans un système noyé est très polyvalente. La quantité de liquide injecté peut être régulée avec exactitude. Ceci a pour effet direct de réduire la température de surface moyenne du refroidisseur d'air, ce qui entraîne une réduction de la température entre le fluide frigorigène et l'air.
Ceci augmente la précision et le rendement énergétique du système.





Il ressort des équations (1) et (2) que la réduction de l'injection entraîne :

- une diminution de la température (la température d'évaporation se rapproche de la température ambiante)
- une diminution de la valeur k
- une diminution de la surface de transfert de chaleur sur le refroidisseur d'air (surface « mouillé »réduite)

Ceci entraîne une réduction de la puissance frigorifique du refroidisseur.

Cette approche de l'injection de liquide dans un système noyé permet d'obtenir un niveau élevé de flexibilité de fonctionnement. La quantité de liquide injecté peut être régulée avec exactitude, ce qui améliore la précision et le rendement énergétique du système.

Les applications typiques sont des chambres frigorifiques pour les fruits et les légumes, où une adaptation à la charge réelle est fréquemment nécessaire. Un cycle de refroidissement (vanne AKV entièrement ouverte) nécessite une puissance frigorifique beaucoup plus élevée qu'un cycle de stockage (vannes AKV en mode modulation d'impulsions).

Ces types de chambres froides sont également souvent utilisées pour différentes quantités et types de fruits, l'adaptation à la charge est donc indispensable.

Pour plus détails, veuillez vous reporter au manuel de l'AK-CC 450 de Danfoss.

Comment sélectionner une vanne AKV(A) dans une application CO_2 noyée ?

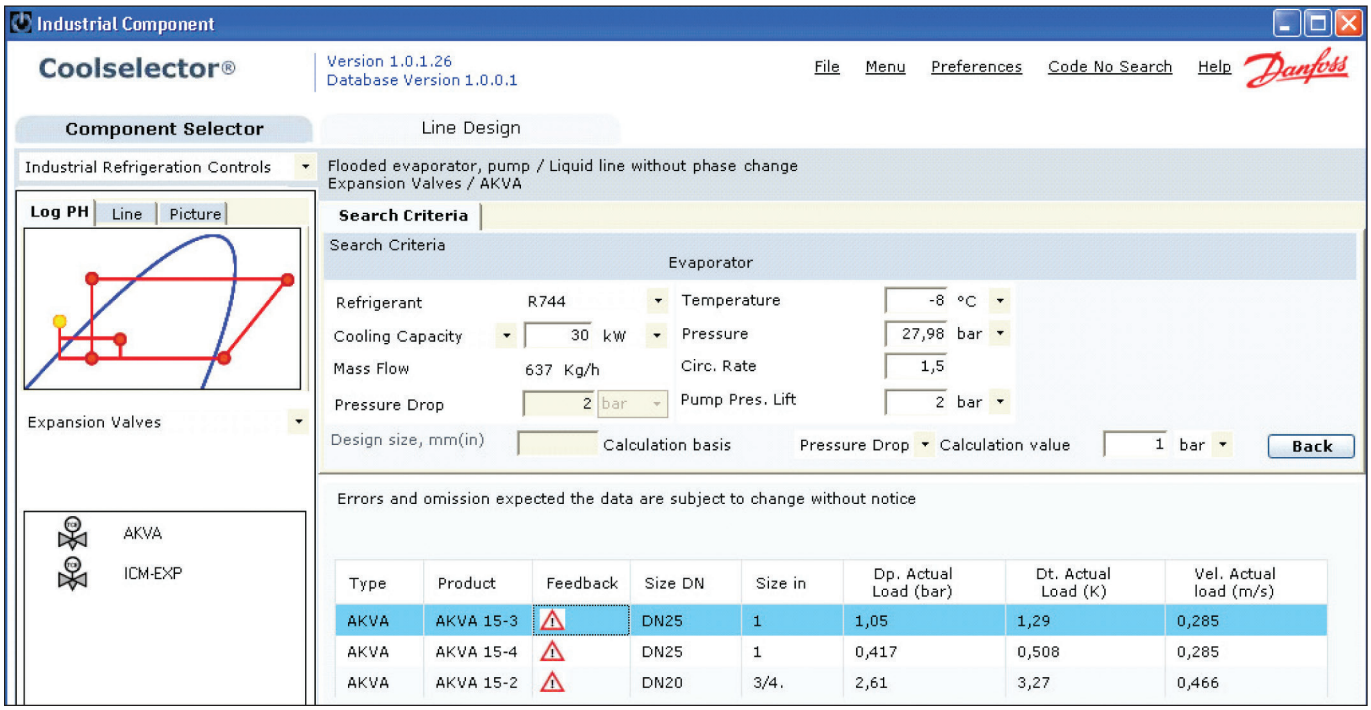
Pour la sélection d'une vanne pour un système noyé, il convient de connaître la puissance frigorifique maximum requise du refroidisseur, compte tenu du débit de circulation le plus élevé, ce qui correspond à la quantité maximum de liquide à injecter. Il convient également de définir la chute de pression nette disponible dans la vanne AKV(A). La sélection peut facilement être effectuée à l'aide de CoolSelector.

Attention : la pression totale de la pompe requise dépend de plusieurs facteurs, comme la chute de pression du système (distributeurs/gicleurs des refroidisseurs d'air, composants, conduites, coudes, hauteur statique, etc.)

La chute de pression minimum requise en pratique pour qu'une vanne AKV(A) fonctionne correctement dans un système noyé est de 1 bar (ou plus si une pression suffisante de la pompe est disponible).

Exemple :

- Fluide frigorigène : CO_2
- N = 1,5
- T_o = –8 °C
- Chute de pression disponible à travers la vanne 1 bar
- Puissance frigorifique du refroidisseur : 30 kW



CoolSelector recommande une AKVA 15-3, (kV = 0,63 m^3/h) qui produit 30 kW à un débit de circulation de 1,5 et une chute de pression dans la vanne de 1 bar. Si une puissance frigorifique plus élevée est nécessaire, une vanne de plus grande taille ou une chute de pression plus importante dans la vanne devraient être fournies.

Gardez à l'esprit que toutes les versions AKVA ont une PS de 42 bar, les versions AKV ont uniquement une PS de 42 bar dans les séries AKV10 et AKV15-1,2,3

© Danfoss A/S (RC-MDP/MWA), 2014-10

Systèmes à circulation par pompe avec ICF

L'exemple de la page précédente est appliqué a une vanne AKVA standard. Une vanne multimodulaire de type ICF conviendrait tout aussi bien à cette application.

Si les refroidisseurs sont dégivrés à l'aide de $CO_{2\ gaz\ chauds}$, une version dotée d'un clapet antiretour est nécessaire.
az chauds

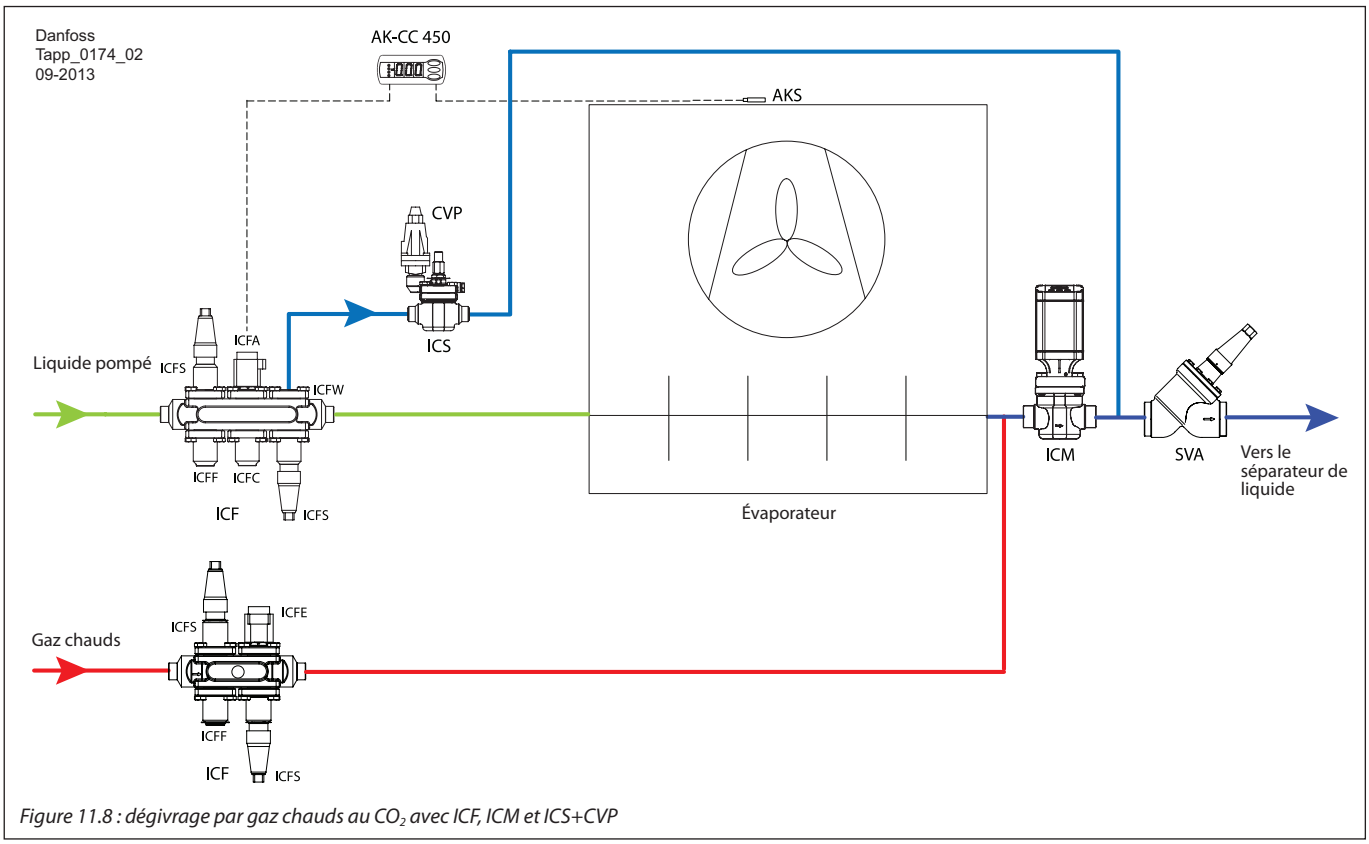


Figure 11.8 : dégivrage par gaz chauds au CO_2 avec ICF, ICM et ICS+CVP

Une attention particulière doit être accordée à l'électrovanne de la conduite d'aspiration humide. La température de dégivrage couramment utilisée est d'environ 9-10 °C, ce qui correspond à une pression de 44-45 bar (a) en amont de cette électrovanne.

En fonction de la pression du séparateur, la MOPD de cette vanne peut être trop faible pour qu'elle s'ouvre. Il est recommandé d'utiliser une vanne de dérivation EVRST (PS = 50 bar) pour égaliser la pression avant d'ouvrir la vanne principale. La MOPD de l'CM 20-32 est de 52 bar, elle peut donc toujours s'ouvrir après un cycle de dégivrage, y compris lorsque la pression du séparateur est proche du point triple de 5,2 bar.

La vanne ICM présente l'avantage de pouvoir égaliser la pression de dégivrage en ouvrant lentement la vanne. Une manière économique d'effectuer cela est d'utiliser le mode tout ou rien de l'ICM et de sélectionner une vitesse très faible (paramètre I04) ou d'utiliser le mode modulant, pour que l'API contrôle entièrement le degré d'ouverture
et la vitesse.

Les vannes ne sont pas toutes représentées. Ce schéma ne doit pas être utilisé à des fins de construction.

© Danfoss A/S (RC-MDP/MWA), 2014-10

Pour obtenir une liste de tous les documents de référence dans l'ordre alphabétique, veuillez vous reporter à la page 146

Fiche technique/manuel

Type	Réf. du document
AK-CC 450	RS8EU
AKD 102	PD.R1.B
AK-PC 730	RS8EG
AKS 21	RK0YG
AKS 33	RD5GH
AKS 4100/ 4100U	PD.SC0.C
AKVA	PD.VA1.B
CVC-XP	PD.HN0.A
CVC-LP	PD.HN0.A
CVP	PD.HN0.A
CVPP	PD.HN0.A
DCR	PD.EJ0.A
EKC 315A	RS8CS

Type	Réf. du document
EKC 347	PS.G00.A
EVM	PD.HN0.A
EVRA / T	PD.BM0.B
FIA	PD.FN1.A
ICF	PD.FT1.A
ICM / ICAD	PD.HT0.B
ICS	PD.HS2.A
NRV	PD.FE0.A
OFV	PD.HQ0.A
REG	PD.KM1.A
RT 260A	PD.CB0.A
SCA	PD.FL1.A
SGR	PD.EK0.A
SNV	PD.KB0.A
SVA-S/L	PD.KD1.A

Instruction produit

Type	Réf. du document
AKD 102	MG11L
AKS 21	RI14D
AKS 32R	PI.SB0.A
AKS 33	PI.SB0.A
AKS 4100/ 4100U	PI.SC0.D / PI.SC0.E
AKVA	PI.VA1.B PI.VA1.C
CVC-XP	PI.HN0.A
CVC-LP	PI.HN0.M
CVP	PI.HN0.C
CVPP	PI.HN0.C
DCR	PI.EJ0.B
EKC 347	PI.RP0.A
EVM	PI.HN0.N

Type	Réf. du document
EVRA / T	PI.BN0.L
FIA	PI.FN1.A
ICF	PI.FT0.C
ICM / ICAD	PI.HT0.A (ICM) PI.HT0.B (ICAD)
ICS	PI.HS0.A / PI.HS0.B
NRV	PI.FE0.A
OFV	PI.HX0.B
REG	PI.KM1.A
RT 260A	RI5BB
SCA	PI.FL1.A
SGR	PI.EK0.A
SNV	PI.KB0.A
SVA-S/L	PI.KD1.A

Pour télécharger la dernière version de la documentation, visitez le site Internet de Danfoss.

© Danfoss A/S (RC-MDP/MWA), 2014-10

12. Méthodes de régulation pour les systèmes au CO_2

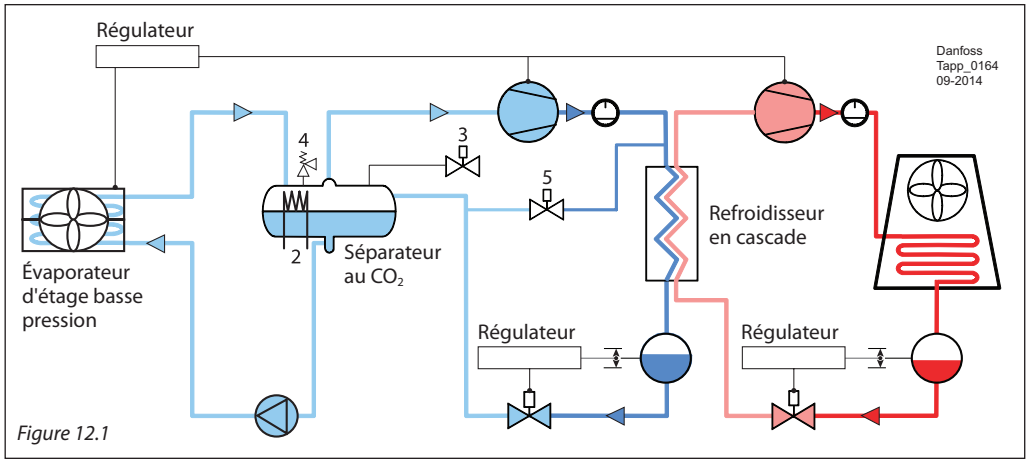


Figure 12.1

2 Système de réfrigération auxiliaire/unité d'arrêt (refroidissement)
3 Électrovanne
4 Soupape de sécurité
5 Vanne bypass

Régulation du compresseur
Il n'existe pas de différence entre la régulation des systèmes au CO_2 et celle d'une installation de réfrigération industrielle normale, mais comme il s'agit de systèmes en cascade, veillez à ce que le compresseur au NH_3 soit en marche/prêt à démarrer avant que le compresseur au CO_2 ne reçoive le signal de démarrage (voir la section relative à la régulation du compresseur).

Régulation du niveau de liquide
Il n'existe pas de différence entre la régulation du niveau de liquide des systèmes au CO_2 et celle d'une installation de réfrigération industrielle normale (voir la section relative à la régulation du niveau de liquide).

Dispositifs de régulation possibles en cas de pression élevée dans le séparateur au CO_2
Si la pression du séparateur au CO_2 dépasse la plage normale, les étapes ci-dessous peuvent être suivies afin de réduire la fuite de CO_2 :

1. Il est possible de forcer le démarrage du compresseur au CO_2 et l'arrêt de la pompe à CO_2 liquide pour éviter le retour de liquide relativement chaud vers le séparateur au CO_2.
2. En cas de panne empêchant le compresseur au CO_2 de démarrer, la pression continue d'augmenter. Ceci force le démarrage de l'unité d'arrêt.
3. Si la pression continue à augmenter, l'ouverture de l'électrovanne peut être forcée afin de fournir un relâchement régulé de la pression de CO_2 pressure jusqu'à une pression définie.
4. Le dernier dispositif est une soupape de sécurité, qui s'ouvre à sa pression de consigne.

Dispositifs de régulation possibles en cas de basse pression dans le séparateur au CO_2
Si la pression du séparateur au CO_2 chute sous la plage de fonctionnement normale, les étapes ci-dessous peuvent être suivies afin de réduire le risque de formation de glace sèche :

5. L'ouverture d'une vanne de dérivation permet au système de maintenir une pression d'aspiration suffisamment élevée dans le séparateur au CO_2. Ceci permet également d'éviter l'arrêt du compresseur en cas de chute soudaine de la charge de refroidissement, p. ex. en cas de processus de congélation avec variations dans la charge de refroidissement. Le fonctionnement du compresseur est ainsi garanti et le système reste prêt pour une augmentation soudaine de la charge de refroidissement.
6. L'arrêt du compresseur au CO_2 peut être forcé, ce qui évite la formation de glace sèche.

13. Conception d'une installation subcritique au CO_2

En général, la conception et la sélection des vannes pour une installation subcritique au CO_2 ne sont pas différentes de celle d'une installation au HN_3 traditionnelle, à l'exception des pressions de service plus élevées et du système de récupération de l'huile.

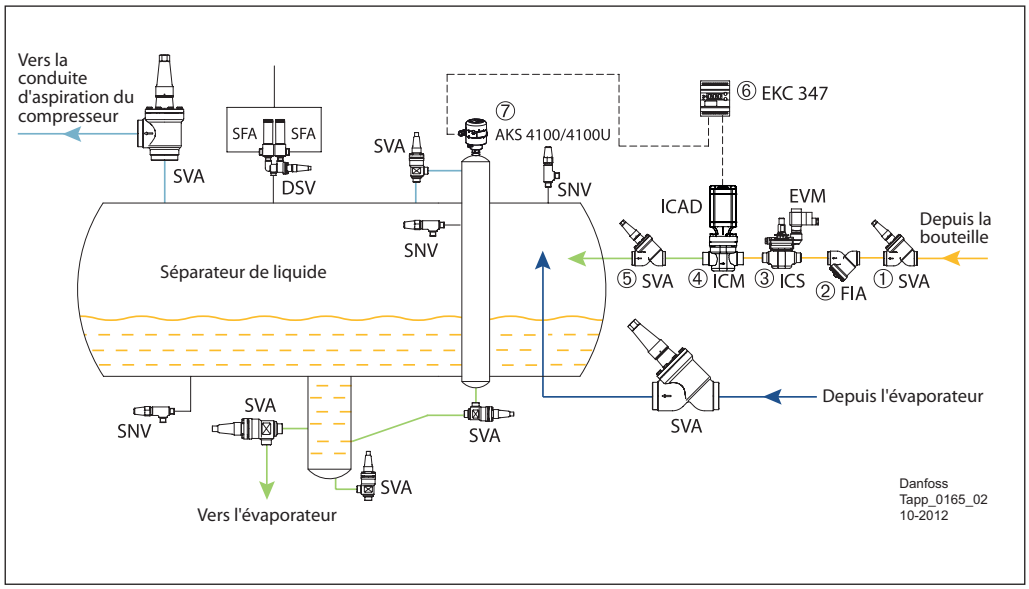
Les exemples fournis dans les sections précédentes de ce manuel s'appliquent donc aux systèmes au CO_2. Cependant, il est généralement recommandé d'éviter les raccords à brides dans les systèmes au CO_2 lorsque cela est possible.

13.1 Solution électronique pour la régulation du niveau de liquide

Exemple d'application 13.1.1 : solution électronique pour la régulation du niveau de liquide BP

- Fluide frigorigène liquide HP
- Mélange de fluide frigorigène liquide/vapeur
- Fluide frigorigène vapeur BP
- Fluide frigorigène liquide BP

① Vanne d'arrêt
② Filtre
③ Électrovanne
④ Vanne motorisée
⑤ Vanne d'arrêt
⑥ Régulateur
⑦ Transmetteur de niveau



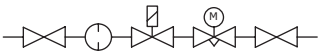
Le transmetteur de niveau AKS 4100/4100U ⑦, surveille le niveau de liquide du séparateur et envoie un signal de niveau au régulateur de niveau de liquide EKC 347 ⑥, qui envoie à son tour un signal modulant à l'actuateur de la vanne motorisée ICM ④. La vanne motorisée ICM agit comme détendeur.

Le régulateur de niveau de liquide EKC 347 ⑥ dispose également de sorties relais pour les limites supérieure et inférieure et pour l'alarme de niveau.

Exemple d'application 13.1.2 : solution électronique pour la régulation du niveau de liquide BP

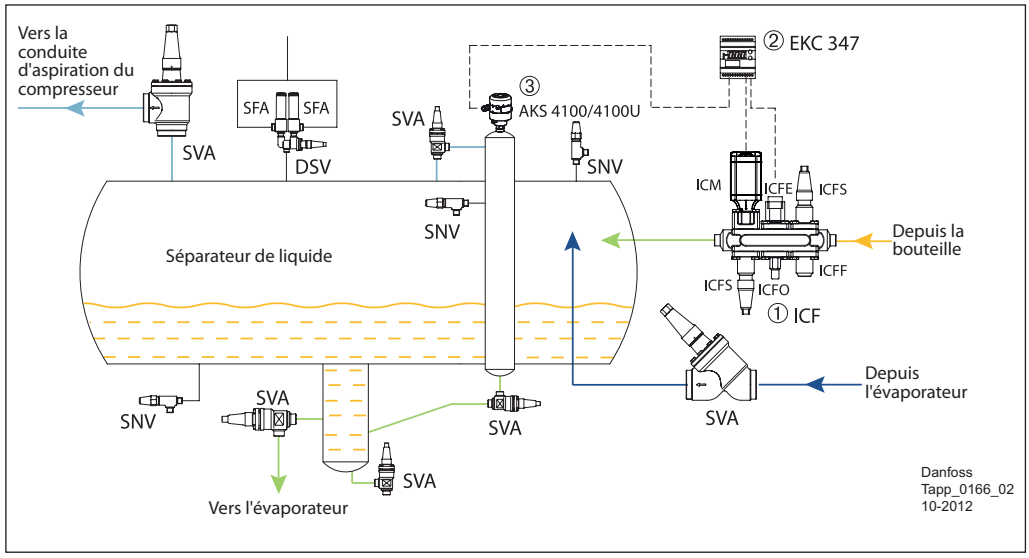
- Fluide frigorigène liquide HP
- Mélange de fluide frigorigène liquide/vapeur
- Fluide frigorigène vapeur BP
- Fluide frigorigène liquide BP

① Station de vannes ICF avec :



Vanne d'arrêt
Filtre
Électrovanne
Robinet manuel
Vanne motorisée
Vanne d'arrêt

② Régulateur
③ Transmetteur de niveau



Danfoss peut fournir une station de vannes de type ICF ① très compacte. Jusqu'à six modules différents peuvent être installés dans le même corps et sont faciles à installer.
Le module ICM agit comme un détendeur et le module ICFE est une électrovanne.

Cette solution fonctionne de la même façon que dans l'exemple 13.1.1. Consulter les brochures ICF pour plus d'information.

Les vannes ne sont pas toutes représentées. Ce schéma ne doit pas être utilisé à des fins de construction.

© Danfoss A/S (RC-MDP/MWA), 2014-10

13.2 Dégivrage par gaz chauds pour les refroidisseurs d'air à circulation par pompe

Exemple d'application 13.2.1 : évaporateur à circulation par pompe, avec système de dégivrage par gaz chauds

- Fluide frigorigène vapeur HP
- Réfrigérant liquide HP
- Mélange de fluide frigorigène liquide/vapeur
- Fluide frigorigène liquide BP

Ligne liquide

① Vanne d'arrêt - Entrée liquide
② Filtre
③ Électrovanne
④ Clapet antiretour
⑤ Détendeur manuel
⑥ Vanne d'arrêt - Entrée évaporateur

Conduite d'aspiration

⑦ Vanne d'arrêt - Sortie évaporateur
⑧ Vanne motorisée
⑨ Vanne d'arrêt - Conduite d'aspiration

Conduite de gaz chauds

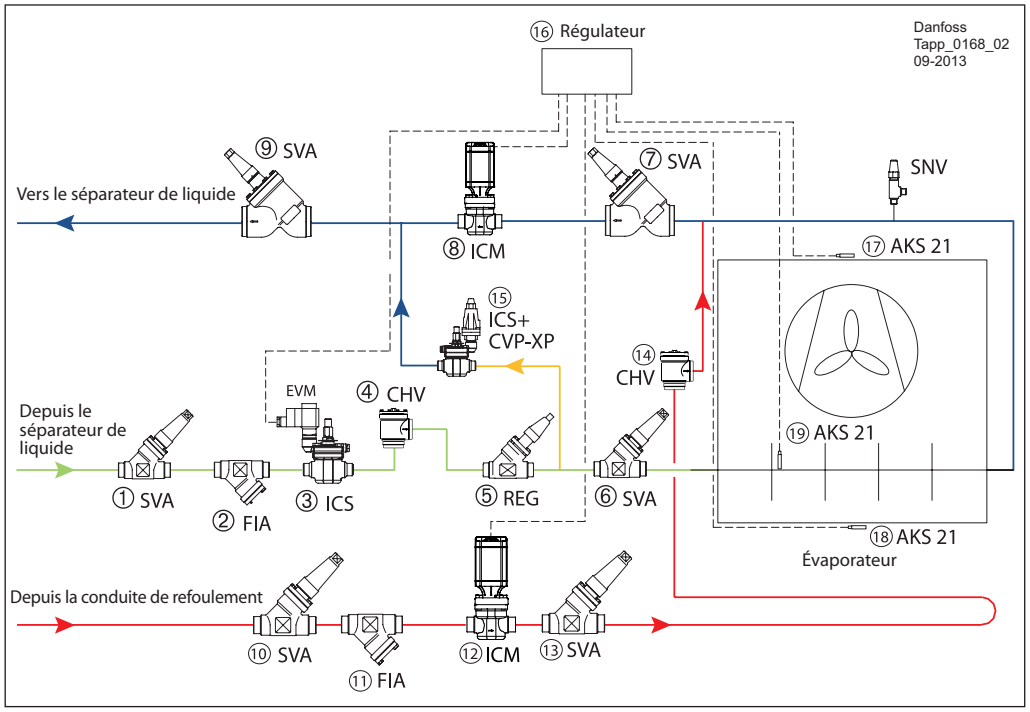
⑩ Vanne d'arrêt
⑪ Filtre
⑫ Vanne motorisée
⑬ Vanne d'arrêt
⑭ Clapet antiretour

Conduite de retour en cuve

⑮ Vanne de décharge

Régulations

⑯ Régulateur
⑰ Régulateur
⑱ Régulateur
⑲ Régulateur



L'exemple d'application 13.2.1 présente une installation pour des évaporateurs à circulation par pompe avec dégivrage par gaz chauds utilisant les vannes ICV.

Cycle de réfrigération
L'électrovanne ICS ③ de la ligne liquide est maintenue ouverte. L'injection de liquide est régulée par la vanne de régulation manuelle REG ⑤.
La vanne motorisée ICM ⑧ de la conduite d'aspiration est maintenue ouverte, et la vanne motorisée de dégivrage ICM ⑫ est maintenue fermée.

Cycle de dégivrage
Après le début du cycle de dégivrage, l'électrovanne d'alimentation en liquide de l'ICS ③ se ferme. Le ventilateur continue de tourner pendant 120 à 600 secondes en fonction de la taille de l'évaporateur afin d'évacuer le liquide piégé dans l'évaporateur.

Les ventilateurs s'arrêtent et la vanne ICM ⑧ se ferme.

Un délai de 10 à 20 secondes est fourni pour permettre au liquide de l'évaporateur de s'installer au bas sans bulles de vapeur. La vanne motorisée ICS ⑫ s'ouvre ensuite et alimente l'évaporateur en gaz chaud.

En raison de la pression différentielle élevée entre la conduite gaz chauds et l'évaporateur, il est recommandé d'augmenter lentement la pression, ce qui permet d'égaliser la pression avant l'ouverture complète pour garantir un fonctionnement régulier et éviter un coup de bélier dans l'évaporateur.

L'utilisation d'une vanne motorisée ICM ⑫ présente l'avantage de pouvoir égaliser la pression de dégivrage en ouvrant lentement la vanne. Une manière économique d'effectuer cela est d'utiliser le mode tout ou rien de l'ICM et de sélectionner une vitesse très faible ou d'utiliser le mode modulant, pour que l'API contrôle entièrement le degré d'ouverture et la vitesse.

Pendant le cycle de dégivrage, le gaz chaud condensé de l'évaporateur est injecté dans le côté basse pression. La pression de dégivrage est régulée par les vannes ICS+CVP ⑮.

Lorsque la température dans l'évaporateur (mesurée par l'AKS 21) atteint la valeur définie, le dégivrage se termine, la vanne ICM ⑫ se ferme et après un bref délai, la vanne motorisée ICM ⑧ s'ouvre.

En raison de la pression différentielle élevée entre l'évaporateur et la conduite d'aspiration, il est nécessaire de libérer lentement la pression, ce qui permet d'égaliser la pression avant l'ouverture complète pour garantir un fonctionnement régulier et éviter un coup de bélier dans la conduite d'aspiration.

La vanne motorisée ICM ⑧ présente l'avantage de pouvoir égaliser la pression de dégivrage en ouvrant lentement la vanne. Une manière économique d'effectuer cela est d'utiliser le mode tout ou rien de l'ICM et de sélectionner une vitesse très faible ou d'utiliser le mode modulant, pour que l'API contrôle entièrement le degré d'ouverture et la vitesse.

Après l'ouverture totale de l'ICM, l'électrovanne d'alimentation en liquide ICS ③ s'ouvre pour lancer le cycle de réfrigération. Le ventilateur démarre après un délai pour geler les gouttes de liquide restantes à la surface de l'évaporateur.

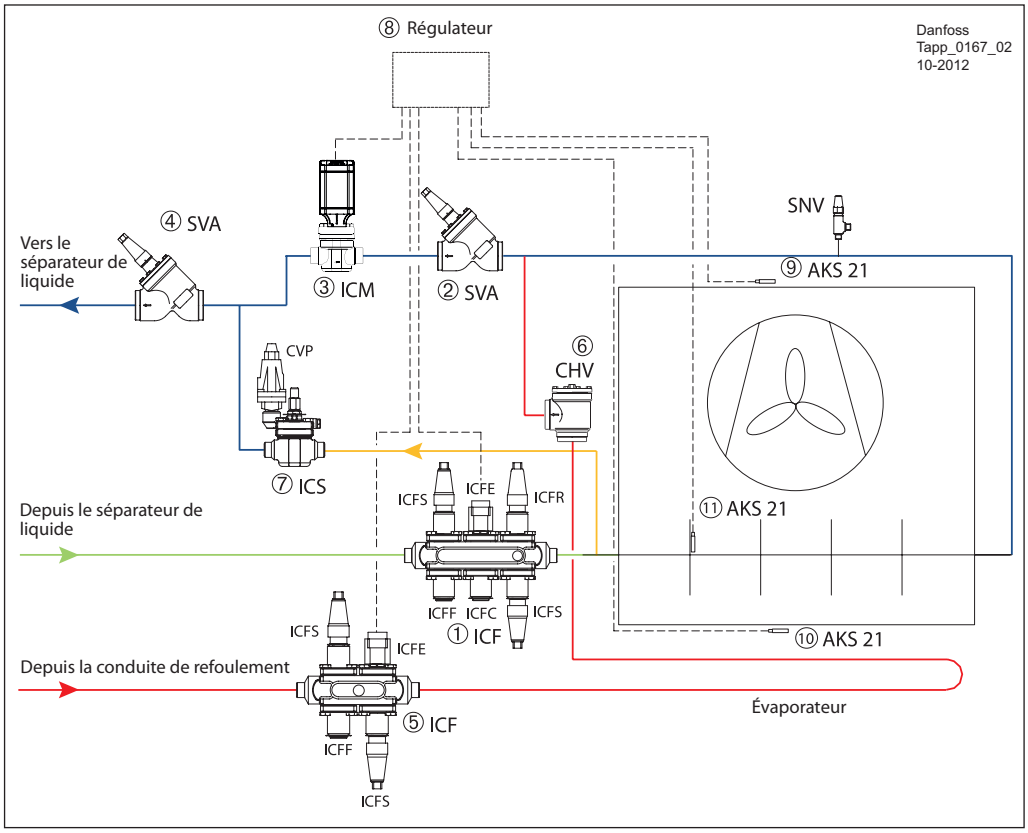
Dans un filtre FIA, pos. 2 et 11 (et dans les systèmes au CO_2 en général), il est recommandé d'utiliser un insert plissé avec une surface très importante et une conception plus robuste.}

Les vannes ne sont pas toutes représentées. Ce schéma ne doit pas être utilisé à des fins de construction.

© Danfoss A/S (RC-MDP/MWA), 2014-10

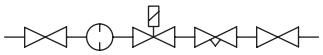
13.2 Dégivrage par gaz chauds pour les refroidisseurs d'air par circulation par pompe

Exemple d'application 13.2.2 : évaporateur à circulation par pompe, avec système de dégivrage par gaz chauds, entièrement soudé, utilisant la station de vannes ICF pour évaporateur avec dégivrage par gaz chauds



- Fluide frigorigène vapeur HP
- Réfrigérant liquide HP
- Mélange de fluide frigorigène liquide/vapeur
- Fluide frigorigène liquide BP

① Ligne liquide ICF avec :



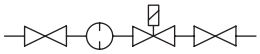
Vanne d'arrêt
Filtre
Électrovanne
Clapet antiretour
Détendeur manuel
Vanne d'arrêt - Entrée évaporateur

② Vanne d'arrêt - Sortie évaporateur

③ Régulateur de pression (vanne motorisée)

④ Vanne d'arrêt - Conduite d'aspiration

⑤ Conduite de gaz chauds ICF avec :



Vanne d'arrêt
Filtre
Électrovanne
Vanne d'arrêt

⑥ Clapet antiretour

⑦ Régulateur de pression

⑧ Régulateur

⑨ Sondes de température

⑩ Sondes de température

⑪ Sondes de température

Les vannes ne sont pas toutes représentées. Ce schéma ne doit pas être utilisé à des fins de construction.

L'exemple d'application 13.2.2 présente une installation pour des évaporateurs à circulation par pompe et dégivrage par gaz chauds utilisant la nouvelle station de vannes type ICF.

L'ICF peut recevoir jusqu'à six modules différents installés dans le même corps, offrant ainsi une solution de régulation compacte et facile à installer.

Cycle de réfrigération
L'électrovanne ICFE de l'ICF ① de la ligne liquide est maintenue ouverte. L'injection de liquide est commandée par la vanne de régulation manuelle ICFR de l'ICF ①.

La vanne motorisée ICM ③de la conduite d'aspiration est maintenue ouverte et l'électrovanne de dégivrage ICFE de l'ICF⑤ est maintenue fermée.

Cycle de dégivrage
Après le début du cycle de dégivrage, le module de l'électrovanne d'alimentation en liquide ICFE de l'ICF ① se ferme. Le ventilateur continue de tourner pendant 120 à 600 secondes en fonction de la taille de l'évaporateur afin d'évacuer le liquide piégé dans l'évaporateur.
Les ventilateurs s'arrêtent et la vanne ICM se ferme. Un délai de 10 à 20 secondes est fourni pour permettre au liquide de l'évaporateur de s'installer au fond sans bulles de vapeur. L'électrovanne ICFE de l'ICF ⑤ s'ouvre ensuite et alimente l'évaporateur en gaz chaud.

Pendant le cycle de dégivrage, le gaz chaud condensé de l'évaporateur est injecté dans le côté basse pression. La pression de dégivrage est régulée par les vannes ICS+CVP ⑦.

Lorsque la température dans l'évaporateur (mesurée par l'AKS 21) atteint la valeur définie, le dégivrage se termine, l'électrovanne ICFE de l'ICF ⑤ se ferme et après un bref délai, la vanne motorisée ICM ③ s'ouvre.

En raison de la pression différentielle élevée entre l'évaporateur et la conduite d'aspiration, il est nécessaire de libérer lentement la pression, ce qui permet d'égaliser la pression avant l'ouverture complète pour garantir un fonctionnement régulier et éviter un coup de bélier dans la conduite d'aspiration.

La vanne motorisée ICM ③ présente l'avantage de pouvoir égaliser la pression de dégivrage en ouvrant lentement la vanne. Une manière économique d'effectuer cela est d'utiliser le mode tout ou rien de l'ICM et de sélectionner une vitesse très faible. Ce résultat peut également être obtenu en utilisant le mode modulant, afin que l'API contrôle entièrement le degré d'ouverture et la vitesse.

Après l'ouverture totale de l'ICM, l'électrovanne d'alimentation en liquide ICFE de l'ICF ① s'ouvre pour lancer le cycle de réfrigération. Le ventilateur démarre après un délai pour geler les gouttes de liquide restantes à la surface de l'évaporateur.

© Danfoss A/S (RC-MDP/MWA), 2014-10

14. Composants des systèmes au CO_2 Danfoss

Danfoss propose désormais une large gamme de composants industriels adaptés au CO_2.

La majorité des composants listés ci-dessous ont été testés et améliorés, et conviennent donc aux systèmes au CO_2 dans les plages de pression et de température indiquées dans la documentation technique. La pression en particulier est le facteur limitatif pour ce groupe de composants.

Des composants spéciaux pour les applications CO_2 haute pression ont été développés. Les types de vannes les plus courants figurent dans les pages suivantes.

Veuillez noter que les versions spéciales haute pression sont généralement uniquement disponibles sur demande et qu'il convient de tenir compte des délais de livraison plus longs.

PED (Directive relative aux équipements sous pression)
Les vannes de réfrigération industrielle sont conformes aux normes européennes mentionnées dans la directive relative aux équipements et portent le marquage CE.

Produits de réfrigération industrielle

Systèmes subcritiques au CO_2 Danfoss, composants Produits de réfrigération industrielle			DN	**PS 40 bar [580 psi]**	**PS 52 bar [754 psi]**
Vannes principales, électrovannes	ICS 1 ICS 3	toutes	20-150		
Vanne multifonction	ICF	toutes	20-40		
Pilotes pour vannes ICS	CVP-XP				
	CVP-XP				
	CVC-XP				
	CVP-HP				
	CVPP-HP				
	EVM (NF)				**65 bar**
	EVM (NO)				
Vannes d'arrêt	SVA-S	toutes	6-200		
	SVA-L	toutes	15-40		
Vannes de régulation	REG-SA/SB	toutes	15 - 65		
Vannes clapets	SCA-X	toutes	15-125		
Filtres	FIA	tous	15-200		
Clapets antiretour	CHV-X	tous	15- 125		
Électrovannes	EVRS/EVRST	toutes	3-20		
	ICS + EVM	toutes	20-150		
Vanne de détente électrique	AKVA	toutes	10-20		
	ICM	toutes	20-65		
	ICMTS	toutes	25		**140 bar**
	CCMT	toutes	15		**140 bar**
	CCM	toutes	15-25		**90 bar**
Soupapes de sécurité et robinets de jumelage	SFA	15	-		
	DSV	1, 2	20-32		
	POV	40, 50, 80	40-80		
Filtre déshydrateur	DCRH	version haute pression			**46 bar**
Transmetteur de niveau de liquide	AKS 4100/4100U	-	-		
Détecteurs de gaz	GD				

Le produit peut être utilisé en version standard.
Tous les produits sont homologués CE

Le produit doit être fabriqué en version spéciale
(pression de test plus élevée, marquage et documentation).
Tous les produits sont homologués CE

14.1 Composants des systèmes subcritiques au CO_2 Danfoss *(suite)*

Produits de réfrigération commerciale

Systèmes subcritiques au CO_2 Danfoss, composants Produits de réfrigération commerciale		PS 42 bar [609 psi]	PS 46 bar [667 psi]	PS 52 bar [754 psi]	PS 90 bar [1305 psi]	PS 140 bar [2031 psi]
Électrovannes	EVR 2 - EVR 15					
	EVUL					
	EVUB					
Vannes d'arrêt (vannes à boule)	GBC pour CO2					
Clapets antiretour	NRV pour CO2					
Détendeur électronique	AKVH 10					
	AKV 15					
	ETS 12.5 -100					
	CCM10 - 40					
	CCMT2 - 8					
	ICMTS					
Régulateurs de pression automatiques	ICV					
	MBR					
Filtres déshydrateurs	DCR					
	DML					
	DMT					
Indicateur d'humidité	SG (en ligne)					
	SG (emboîtement)					

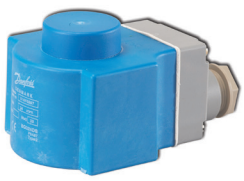
Le produit peut être utilisé en version standard. Tous les produits sont homologués CE

Le produit doit être fabriqué en version spéciale (pression de test plus élevée, marquage et documentation). Tous les produits sont homologués CE

Régulateurs électroniques pour CO_2

Régulateurs de meuble frigorifique :	AK-CC 550A, AK-CC 750
Régulateurs d'évaporateur :	EKC 315A, AKC 316, EKD 316, EKC 312
Régulateurs de centrale frigorifique :	EKC 331T, AK-PC 530, AK-PC 420, AK-PC 781, AK-PC 840
Régulateurs de refroidisseur :	AK-CH 650, AK-CH 650A
Régulateur en cascade :	EKC 313
Régulateur de pression :	EKC 326A

Bobines pour électrovannes



En raison de la différence de pression élevée entre le condenseur et l'évaporateur, la pression différentielle d'ouverture maximale (MOPD) requise pour l'électrovanne dans certaines applications peut dépasser les capacités standard de bobine.

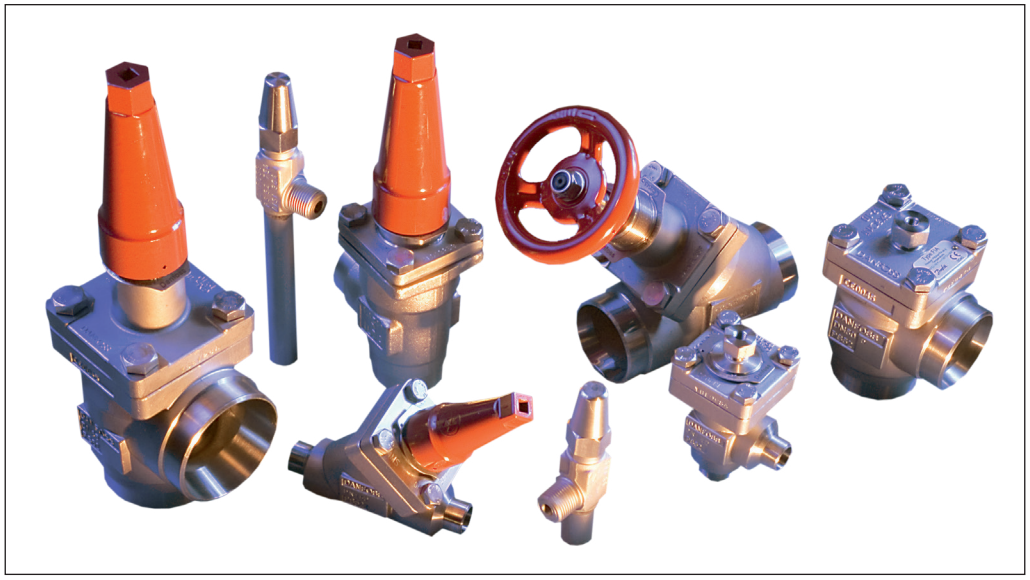
Exemples d'applications typiques :

- Injection de liquide pour le refroidissement du compresseur
- Dégivrage par gaz chauds
- Vanne d'arrêt en amont du détendeur

Danfoss propose une bobine de 20 W qui couvre une plage de MOPD allant jusqu'à 40 bar.
La gamme de bobines de 20 W comprend des bobines pour des tensions d'alimentation de 24, 110 et 230 Vca /50 Hz.

© Danfoss A/S (RC-MDP/MWA), 2014-10

15. Gamme complète de produits en acier inoxydable



La protection des surfaces est importante, en particulier pour les systèmes de réfrigération du secteur de l'industrie alimentaire, où le nettoyage à l'aide d'agents nettoyants puissants est courant.

Danfoss propose donc des vannes en acier inoxydable en version droite ou équerre de DN 15 mm (1/2 in) à DN 125 mm (5 in).

- Vannes d'arrêt SVA-SS
- Vannes de régulation manuelle REG-SS
- Vannes clapet SCA-SS (équerre uniquement)
- Clapets antiretour SCA-SS (équerre uniquement)
- Filtres FIA-SS
- Vannes de décharge OFV-SS (équerre uniquement)
- Robinets à aiguille SNV-SS

Cette gamme répond à des exigences plus sévères dues à :

1. La nécessité d'une meilleure protection des surfaces extérieures sur les vannes et les raccords.
2. La nécessité de répondre aux tendances actuelles en matière de conception des installations.

Dans certaines zones spécifiques telles que les applications extérieures et les milieux corrosifs, comme les installations en bord de mer, une protection élevée des surfaces est nécessaire pour éviter les pannes dues à la corrosion.

Les normes de sécurité alimentaire actuelles imposent souvent un traitement quotidien à l'aide de détergents qui, s'ils sont destinés à assurer une protection contre le développement des bactéries, entraînent simultanément un besoin de protection de surface élevé.

- Compatible avec tous les fluides frigorigènes non inflammables courants, notamment le R717, mais aussi avec les gaz et liquides non corrosifs, selon le matériau d'étanchéité.
- Accessoires en option :

	Capuchon à évent	Volant
SVA-SS	X	X
REG-SS	X	
SCA-SS	X	
CHV-SS		
FIA-SS		
OFV-SS	X	

- Conçu pour donner des conditions de débit favorables.
- Le contre-siège interne permet de remplacer le presse-étoupe quand la vanne est en service, c'est-à-dire quand elle est sous pression (SVA-SS, REG-SS, SCA-SS, OFV-SS).
- Le logement est fabriqué dans un acier inoxydable spécial, résistant au froid et agréé pour le fonctionnement à basse température.
- Aisément démontables, ce qui facilite les inspections et entretiens.
- Les vannes d'arrêt SVA-SS peuvent laisser le fluide circuler dans les deux sens.
- Raccord soudé bout-à-bout DIN.
- Pressions max. de fonctionnement : 52 bar g (754 psig)
- Plage de température : -60 à +150 °C (-76 à 302 °F)
- Vannes compactes et légères, pour simplifier la manipulation et l'installation.
- Classification : contactez votre distributeur Danfoss pour obtenir la liste actuelle des certifications des produits.

© Danfoss A/S (RC-MDP/MWA), 2014-10

Électrovannes EVRS et EVRST en acier inoxydable

Les EVRS 3 sont des électrovannes à action directe.
Les EVRS 10, 15 et 20 sont des vannes servo-commandées.
Les EVRST 10, 15 et 20 sont des vannes servo-commandées
ces électrovannes sont utilisées sur les conduites de liquide, d'aspiration, de gaz chauds et de retour d'huile avec de l'ammoniac ou des fluides frigorigènes fluorés.

Les EVRS 3 et EVRST sont conçues pour rester ouvertes en cas de chute de pression de 0 bar.
EVRS/EVRST 10,15 et 20 sont équipées d'une ouverture manuelle.
Les EVRS et EVRST sont vendues seules, le corps de vanne et le la bobine doivent être achetés séparément.

Caractéristiques

- Corps de vanne et raccords en acier inoxydable.
- Pression de service max. : 50 bar.
- Utilisées pour l'ammoniac et tous les fluides frigorigènes fluorés.
- MOPD jusqu'à 38 bar avec bobine de 20 Wca.
- Large choix de bobines pour tension c.a. et c.c.
- Conçues pour des températures de fluide jusqu'à 105 °C.
- Tige manuelle sur les EVRS et les EVRST 10, EVRST 15 et EVRST 20.

© Danfoss A/S (RC-MDP/MWA), 2014-10

16. Annexe

16.1 types de systèmes de réfrigération

Les systèmes de réfrigération sont généralement caractérisés par le cycle de refroidissement et la façon d'envoyer le fluide frigorigène dans l'évaporateur. En ce qui concerne le cycle de réfrigération, les systèmes de réfrigération industrielle sont classés en trois catégories :

Système à un seul étage
C'est le cycle le plus basique : compression-condensation-détente-évaporation.

Système à deux étages
Dans ce type de système, la compression s'effectue en deux étapes, généralement par deux compresseurs. Le refroidissement intermédiaire est souvent utilisé pour optimiser les performances du système.

Système en cascade
Ce système correspond en fait à deux cycles basiques en cascade. L'évaporateur dans le cycle haute température agit également comme le condenseur du cycle basse température.

En ce qui concerne la façon d'envoyer le fluide frigorigène dans les évaporateurs, les systèmes peuvent être classés en deux catégories principales :

Système à détente directe
Le mélange liquide/vapeur du fluide frigorigène après la détente est envoyé directement dans les évaporateurs.

Système à circulation
Le liquide et la vapeur de fluide frigorigène après la détente sont séparés dans un séparateur de liquide et seul le liquide est envoyé dans les évaporateurs. La circulation du liquide peut se faire par gravité ou par pompe.

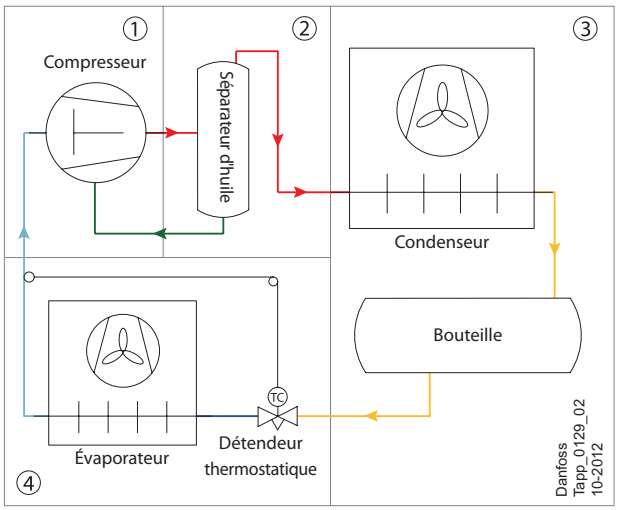
Ces types de systèmes de réfrigération seront présentés dans quelques exemples :

Système à un seul étage à détente directe (DX)

- Fluide frigorigène vapeur HP
- Réfrigérant liquide HP
- Mélange de fluide frigorigène liquide/vapeur
- Fluide frigorigène vapeur BP
- Huile

① Zone de régulation du compresseur
② Zone de régulation de l'huile
③ Zone de régulation du condenseur
④ Zone de régulation de l'évaporateur

Fig. 16.1.1 : système de réfrigération à un seul étage à détente directe



Le système de réfrigération à un seul étage et à détente directe est le système de réfrigération le plus basique. Il est très souvent utilisé sur les systèmes de climatisation ou sur les petits systèmes de réfrigération, fig. 16.1.1. Déroulement du cycle de réfrigération : le fluide frigorigène vapeur basse pression est comprimé par le compresseur dans le condenseur où la vapeur haute pression se condense en liquide haute pression. Le liquide haute pression est détendu par le détendeur thermostatique vers l'évaporateur où le liquide basse pression s'évapore. Les vapeurs sont en suite re-aspirées par le compresseur.

Le séparateur d'huile et la bouteille n'interviennent pas dans le cycle de réfrigération mais ils sont essentiels à la régulation :
Le séparateur d'huile sépare et collecte l'huile à partir du fluide frigorigène puis la renvoie dans le compresseur. La boucle d'huile est importante pour garantir un fonctionnement sûr et efficace du compresseur, avec une bonne lubrification par exemple. La régulation de l'huile (section 6) est essentielle pour maintenir la température et la pression de l'huile à un niveau acceptable.

La bouteille peut contenir/libérer le fluide frigorigène lorsque la quantité en fluide frigorigène dans les différents composants varie en fonction de la charge ou lorsque certains composants sont arrêtés pour être entretenus. La bouteille peut aussi maintenir une alimentation de fluide frigorigène liquide à une pression constante dans le détendeur.

Le détendeur thermostatique est régulé par la surchauffe. Ceci est très important pour les fonctions de l'évaporateur et du compresseur :

- En maintenant une surchauffe constante à la sortie de l'évaporateur, le détendeur thermostatique envoie une quantité de fluide frigorigène liquide qui convient dans l'évaporateur en fonction de la charge.
- Une bonne surchauffe garantit que seule de la vapeur arrive à l'aspiration du compresseur. Des gouttes de liquide à l'aspiration entraineraient des coups de liquide, ce qui équivaut à des coups dans le moteur.

Veuillez noter que le détendeur thermostatique peut seulement maintenir une surchauffe constante et non pas une température d'évaporation constante. Si aucune autre régulation n'est effectuée, la température d'évaporation augmente et entraîne une augmentation de la charge puis baisse avec une diminution de la charge. Comme la température d'évaporation constante est le but de la réfrigération, d'autres régulations sont aussi nécessaires, la régulation du compresseur et celle de l'évaporateur par exemple. Le **régulateur du compresseur** permet d'ajuster la puissance frigorifique du système et le **régulateur de l'évaporateur** peut garantir un débit correct du fluide frigorigène vers l'évaporateur. Les détails de ces deux types de régulateur sont disponibles aux sections 2 et 5.

En théorie, plus la température de condensation est faible, plus l'efficacité de la réfrigération est importante. Sur un système à détente directe, si la pression dans la bouteille est trop faible, la différence de pression dans le détendeur sera trop faible pour fournir un débit suffisant de fluide frigorigène. Par conséquent, des régulateurs doivent être mis en place pour empêcher une pression de condensation trop faible, si la capacité de condensation d'un système à détente directe est exposée à des variations trop importantes. Ce thème est abordé dans les **régulations du condenseur** (Section 3).

Le principal inconvénient de la détente directe est sa faible efficacité. Comme il convient de maintenir une certaine surchauffe :

- Une partie de la surface de transfert de chaleur de l'évaporateur est occupée par la vapeur et l'efficacité du transfert de chaleur est plus faible.
- Le compresseur consomme plus d'énergie pour comprimer la vapeur surchauffée que pour comprimer la vapeur saturée.

Cet inconvénient devient particulièrement important sur des installations frigorifiques à basse température ou de grande capacité. Dans ces systèmes de réfrigération, les systèmes à circulation par pompe ou à circulation naturelle ont été conçus pour économiser de l'énergie.

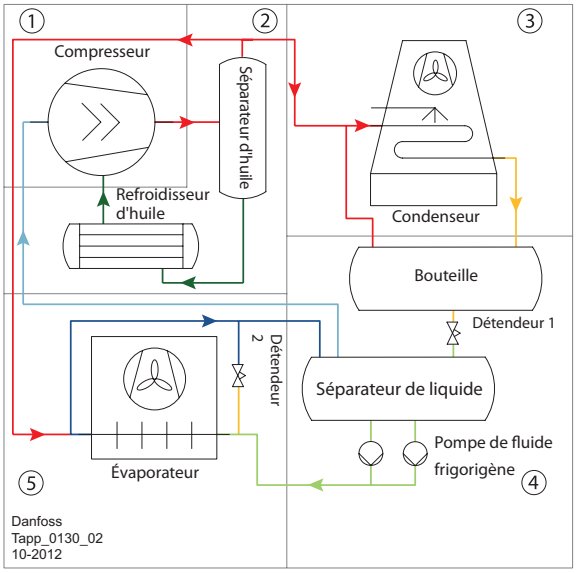
© Danfoss A/S (RC-MDP/MWA), 2014-10

Système à un seul étage à circulation par pompe du fluide frigorigène

- Fluide frigorigène vapeur HP
- Réfrigérant liquide HP
- Mélange de fluide frigorigène liquide/vapeur
- Fluide frigorigène vapeur BP
- Fluide frigorigène liquide BP
- Huile

① Zone de régulation du compresseur
② Zone de régulation de l'huile
③ Zone de régulation du condenseur
④ Zone de régulation du niveau de liquide
⑤ Zone de régulation de l'évaporateur

Fig. 16.1.2 : système de réfrigération à un seul étage avec circulation par pompe et dégivrage par gaz chauds



Le circuit pour un système de réfrigération à un seul étage présenté sur la figure 16.1.2 est presque identique à celui du système DX présenté sur la figure 16.1.1. La principale différence réside dans le fait que sur ce système, la vapeur de fluide frigorigène qui pénètre dans la conduite d'aspiration du compresseur est de la vapeur saturée et non de la vapeur surchauffée.

Cela est lié à l'installation d'un séparateur de liquide entre l'évaporateur et le compresseur. Dans le séparateur de liquide, le liquide provenant du mélange liquide/vapeur vient en partie de l'évaporateur et en partie du détendeur 1. Seule la vapeur saturée passe dans la conduite d'aspiration du compresseur tandis que le liquide est envoyé par les pompes de fluide frigorigène vers l'évaporateur.

Si la vapeur d'aspiration n'est pas surchauffée, la température d'évaporation sera inférieure à celle d'un système DX. Grâce à cette température d'évaporation réduite, le compresseur fonctionne plus efficacement. L'évaporateur offre une plus grande puissance frigorifique car sa surface est utilisée en totalité, et non partiellement, pour surchauffer le fluide frigorigène. Par conséquent, un système à circulation est plus efficace qu'un système DX similaire.

La conduite entre l'entrée du condenseur et la bouteille permet d'égaliser la pression afin de garantir un bon écoulement du liquide du condenseur vers la bouteille.

Sur des systèmes à circulation par pompe, il est très important d'entretenir le bon fonctionnement de la pompe, c'est-à-dire que le fonctionnement de la pompe ne doit pas être interrompu de façon imprévue. La régulation de la pompe est donc importante afin de garantir que le différentiel de la pompe soit correct, qu'une alimentation constante en liquide est assurée et que la pompe est en bon état. Ce thème est abordé à la section 8.

Dans les systèmes à circulation, la surchauffe n'est pas utilisée comme variable de régulation pour le fonctionnement du détenteur thermostatique.

Le détendeur 1 est généralement régulé par le niveau dans le séparateur de liquide ou parfois par le niveau dans la bouteille/le condenseur. C'est ce que l'on appelle également le contrôle du niveau de liquide, présentée dans la section 4.

Avec des évaporateurs à air équipés de tubes à ailettes et une température d'évaporation inférieure à 0 °C, une couche de gel/glace, due à la présence d'eau/humidité dans l'air, se forme sur la surface de l'évaporateur. La couche doit être éliminée régulièrement car elle risque dans le cas contraire de restreindre le débit d'air de l'évaporateur et de réduire sa puissance frigorifique.

Les méthodes de dégivrage possibles sont les gaz chauds, résistances électrique, à air et à l'eau. Sur la figure 16.1.2, le gaz chaud est utilisé pour le dégivrage. Une partie du gaz chaud du compresseur est envoyée vers l'évaporateur pour le dégivrage.

Le gaz chaud réchauffe l'évaporateur et fait fondre la couche de glace sur l'évaporateur. Simultanément, le gaz chaud se condense et se transforme en liquide haute pression. Grâce à une vanne de décharge, ce liquide haute pression peut être renvoyé vers le séparateur de liquide ou dans la conduite d'aspiration.

Le dégivrage par gaz chauds s'applique uniquement aux systèmes qui comportent au moins trois évaporateurs.

Lors du dégivrage, au moins deux tiers des évaporateurs (en termes de puissance frigorifique) doivent être en cours de refroidissement et un tiers au maximum doit être en dégivrage. Dans le cas contraire, le gaz chaud disponible pour le dégivrage est insuffisant.

La méthode pour passer d'un cycle de réfrigération à un cycle de dégivrage est abordée dans la section sur la régulation de l'évaporateur (section 5).

Les vannes ne sont pas toutes représentées. Ce schéma ne doit pas être utilisé à des fins de construction.

© Danfoss A/S (RC-MDP/MWA), 2014-10

Système à deux étages

Un système à deux étages est représenté sur la fig. 16.1.3. Une partie du fluide frigorigène liquide de la bouteille se détend d'abord à la pression intermédiaire et s'évapore pour refroidir l'autre partie du fluide frigorigène liquide dans le refroidisseur intermédiaire.

La vapeur à la pression intermédiaire est ensuite envoyée dans la conduite de refoulement du compresseur d'étage basse pression. Elle refroidit la vapeur refoulée par le compresseur d'étage inférieur et cette vapeur est aspirée par le compresseur d'étage haute pression.

L'énergie utilisée pour comprimer cette partie de la vapeur à partir de la pression d'aspiration vers la pression intermédiaire est conservée et la température de refoulement du compresseur d'étage haute pression est plus faible.

Le système à deux étages convient donc tout particulièrement aux systèmes de réfrigération à basse température, pour sa grande efficacité et sa faible température de refoulement.

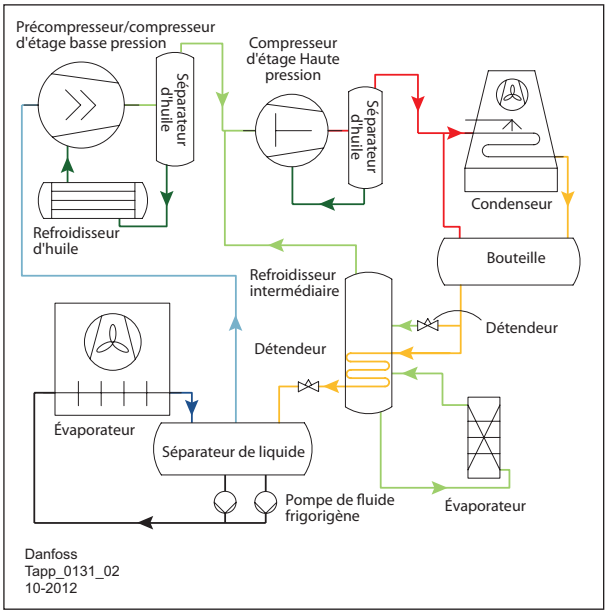
Le refroidisseur intermédiaire peut aussi envoyer du fluide frigorigène dans les évaporateurs à la température intermédiaire. Sur la fig. 16.1.3, le refroidisseur intermédiaire envoie du fluide frigorigène dans l'évaporateur à plaques par gravité.

Comparée à la circulation par pompe, la circulation par gravité est obtenue grâce à l'effet de thermosiphon dans l'évaporateur, à la place de la pompe. La circulation naturelle est plus simple et plus fiable (pour éviter les pannes de la pompe) mais le transfert de chaleur n'est généralement pas aussi efficace qu'avec la circulation par pompe.

Le système à deux étages peut en théorie être efficace. Toutefois, il est difficile de trouver un type de fluide frigorigène adapté pour les hautes et les basses températures sur les systèmes de réfrigération basse température.

À hautes températures, la pression du fluide frigorigène est très élevée, ce qui entraîne une forte sollicitation du compresseur. À basses températures, la pression du fluide frigorigène peut être en dépression, ce qui entraîne une entrée d'air dans le système (l'air dans le système réduit le transfert de chaleur du condenseur, voir la section 9.3). Par conséquent, les systèmes en cascade conviennent mieux aux systèmes de réfrigération basse température.

Fig.16.1.3 : système de réfrigération à deux étages



- Fluide frigorigène vapeur HP
- Réfrigérant liquide HP
- Mélange de fluide frigorigène liquide/vapeur
- Fluide frigorigène vapeur BP
- Fluide frigorigène liquide BP
- Fluide frigorigène liquide à pression intermédiaire
- Fluide frigorigène vapeur à pression intermédiaire
- Autres fluides (huile, eau, etc.)

Les vannes ne sont pas toutes représentées.
Ce schéma ne doit pas être utilisé à des fins de construction.

© Danfoss A/S (RC-MDP/MWA), 2014-10

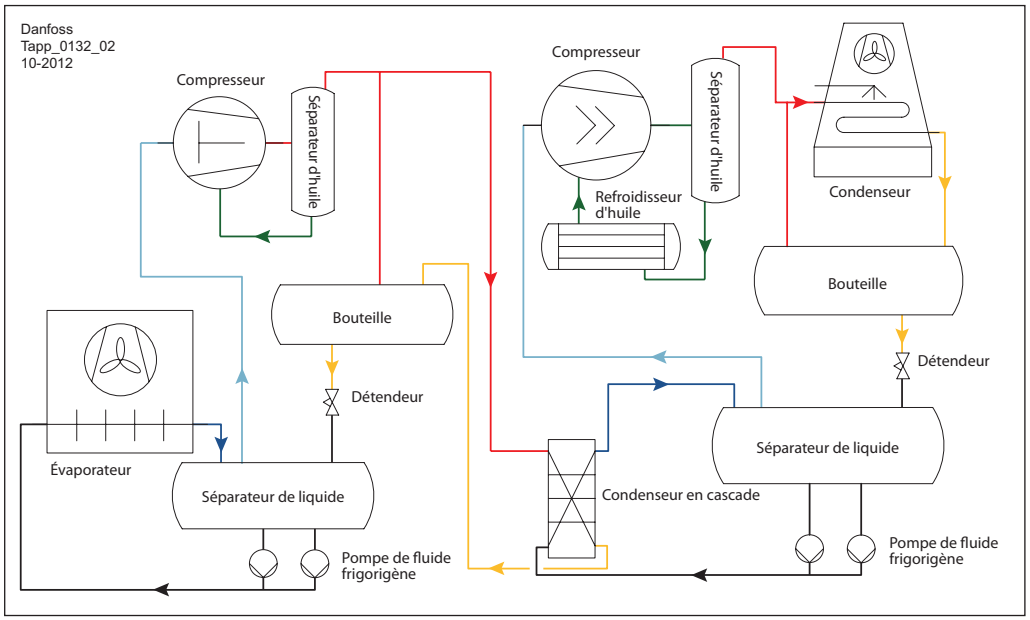
Système en cascade

Un système en cascade est composé de deux circuits de réfrigération séparés comme indiqué sur la fig. 16.1.4. Un condenseur en cascade relie les deux circuits en agissant comme le condenseur du circuit haute température et l'évaporateur du circuit basse température.

Le fluide frigorigène des deux circuits peut être différent et optimisé pour chaque circuit. Le fluide frigorigène peut par exemple être du NH_3 pour le circuit haute température et du CO_2 pour le circuit basse température.

Ce système au CO_2/NH_3 a besoin d'une charge d'ammoniac moindre et semble plus efficace pour la réfrigération à basse température qu'un système à l'ammoniac similaire à deux étages.

Fig.16.1.4 : système de réfrigération en cascade



- Fluide frigorigène vapeur HP
- Réfrigérant liquide HP
- Mélange de fluide frigorigène liquide/vapeur
- Fluide frigorigène vapeur BP
- Fluide frigorigène liquide BP
- Autres fluides (huile, eau, etc.)

Les vannes ne sont pas toutes représentées. Ce schéma ne doit pas être utilisé à des fins de construction.

© Danfoss A/S (RC-MDP/MWA), 2014-10

17. Commande tout ou rien et régulation modulante

Voici la théorie de base du tout ou rien et de la régulation modulante. L'objectif est de fournir une description de base de la théorie de régulation et de détailler les termes techniques utilisés. Certains conseils pratiques seront ensuite donnés.

Abréviations et définitions

P	Proportionnel
I	Intégration
D	Dérivée
BP	Bande proportionnelle [%] sur un régulateur P, PI ou PID. Nombre en pourcentage que la variable du processus (PV) doit modifier pour que le régulateur puisse changer le débit (y) entre 0 et 100 %
K_p	Facteur d'amplification sur un régulateur P, PI ou PID
T_i	Temps d'intégration [s] sur un régulateur PI ou PID
T_d	Temps différentiel [s] sur un régulateur PID
PID	Régulateur type comprenant des fonctions P, I et D
SP	Point de consigne
PV	Variable du processus (paramètre régulé : température, pression, niveau de liquide, etc.)
écart (x)	Différence entre le point de consigne (SP) et la variable du processus (PV)
y	Débit calculé d'un régulateur
temps mort	Si la mesure de la variable du processus (PV) est physiquement montée, le signal présente toujours un temps de retard contrairement à ce qui se produit si la mesure de la variable du processus (PV) a été installée localement sans temps de retard.

Sources

[1] Reguleringsteknik, Thomas Heilmann/L. Alfred Hansen

© Danfoss A/S (RC-MDP/MWA), 2014-10

17.1 Commande tout ou rien

Dans certains cas, une régulation peut être obtenue par commande tout ou rien. Cela signifie que le dispositif de régulation (vanne, thermostat) présente seulement deux positions : contact fermé ou ouvert. Ce principe de régulation est appelé commande tout rien.
Historiquement le tout ou rien était largement utilisé dans la réfrigération, en particulier sur des réfrigérateurs équipés de thermostats.

Toutefois, les principes de tout ou rien peuvent aussi être utilisés sur des systèmes avancés où des principes PID sont utilisés. Une vanne tout ou rien (de type Danfoss AKV/A) est par exemple utilisée pour réguler la surchauffe avec les paramètres PID disponibles sur le régulateur électronique dédié. (Type Danfoss EKC 315A)

Le régulateur tout ou rien réagit uniquement dans certaines valeurs limites données (minimum et maximum). Hors de ces limites, le régulateur tout ou rien ne peut réaliser aucune action.

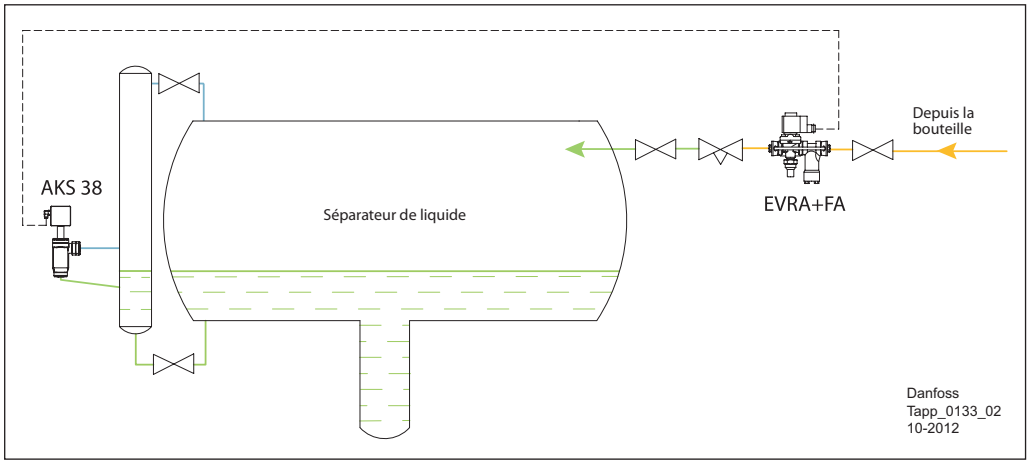
Le tout ou rien est utilisé pour les raisons suivantes :

- Prix bas, système moins compliqué, pas de boucle d'asservissement.
- La PV peut être légèrement différente du SP lorsque le dispositif tout rien fonctionne.
- Le processus présente une puissance frigorifique tellement importante que le fonctionnement tout ou rien n'a pas d'influence sur la PV.
- Sur des systèmes avec temps mort, la commande tout ou rien peut être avantageuse.

Les systèmes tout ou rien sont équipés d'un retour comme les systèmes modulants mais la principale caractéristique des systèmes tout ou rien est que la PV varie. Le système ne peut donc pas supprimer les écarts.

Exemple d'application 17.1.1 : commande tout ou rien

Pour réguler le niveau de liquide entre un niveau minimum et un niveau maximum, il convient d'utiliser un dispositif tout ou rien tel que l'AKS 38 de Danfoss. L'AKS 38 est un niveau à flotteur qui peut régler la commutation des électrovannes tout ou rien.



Fluide frigorigène liquide HP
Réfrigérant vapeur LP
Réfrigérant liquide LP

Les vannes ne sont pas toutes représentées. Ce schéma ne doit pas être utilisé à des fins de construction.

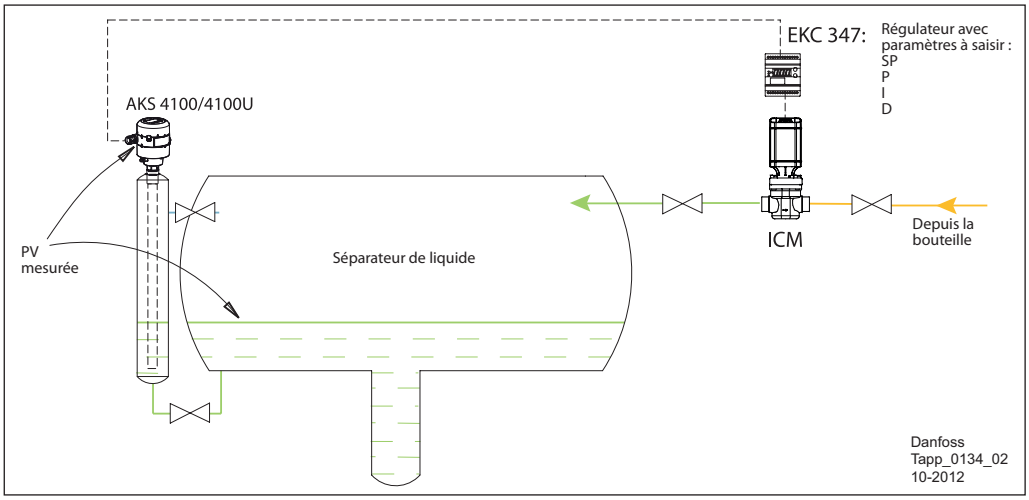
© Danfoss A/S (RC-MDP/MWA), 2014-10

17.2 Régulation modulante

La principale différence entre les régulateurs modulants et les systèmes tout ou rien réside dans le fait que les systèmes modulants réagissent constamment en cas de changement de PV.

Le régulateur électronique offre par ailleurs une flexibilité pour changer les différents paramètres de commande tels que P, I et D. Cela confère un niveau élevé de flexibilité qui est là encore très utile car le régulateur peut alors être ajusté pour s'adapter aux différentes applications.

Exemple d'application 17.2.1 : Régulation modulante

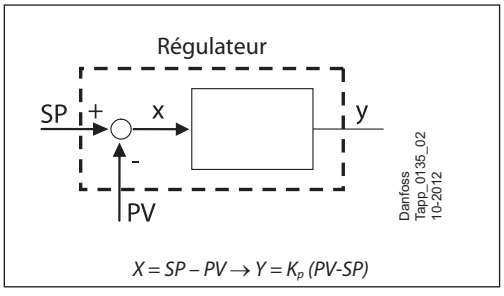


Fluide frigorigène liquide HP
Fluide frigorigène liquide BP

Principes de base P, I et D
Généralement, sur les régulateurs les plus courants, il est facile d'ajuster les paramètres P, PI ou PID.

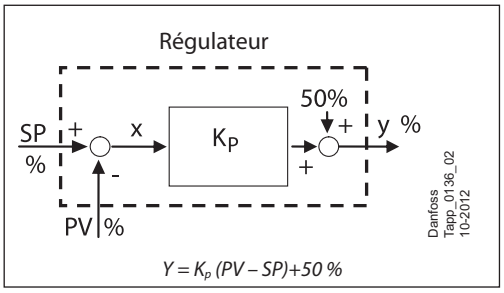
- Sur un régulateur P, il est possible de régler : la BP ou le K_p ;
- Sur un régulateur PI, il est possible de régler : la BP ou le K_p et le T_i ;
- Sur un régulateur PID, il est possible de régler : la BP ou le K_p et le T_i et le T_d.

Régulateur P
Un composant P existe sur chaque régulateur. Sur un régulateur P, il existe une relation linéaire entre l'entrée et la sortie.



Des régulateurs P pratiques ont été conçus de façon à ce que lorsque SP=PV, le régulateur doit donner une sortie correspondant à la charge normale du système.

Normalement, cela signifie que la sortie correspond à 50 % de la sortie maximum. Une vanne motorisée par exemple fonctionne à un degré d'ouverture de 50 % pour maintenir le SP.



Certains régulateurs n'utilisent pas de BP mais un K_p. La relation entre BP et K_p est la suivante : PB[%] = 100/K_p

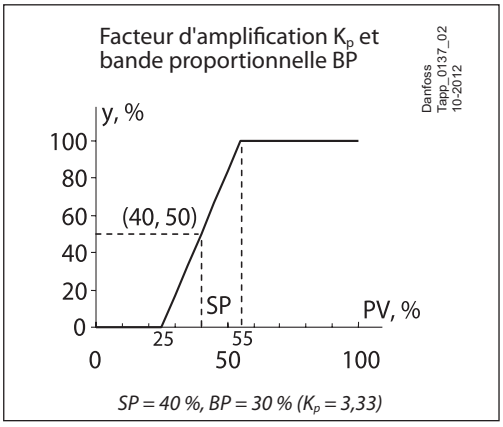
Veuillez noter que la BP peut être supérieure à 100 %, ce qui correspond à un K_p inférieur à 1.

Les vannes ne sont pas toutes représentées. Ce schéma ne doit pas être utilisé à des fins de construction.

© Danfoss A/S (RC-MDP/MWA), 2014-10

17.2
Régulation modulante
(suite)

Régulateur P (suite)



Lorsque PV = SP = 40 %, le régulateur donne un débit (y) de 50 %. (Cela signifie que la vanne a un degré d'ouverture de 50 %.)

Lorsque la PV atteint 46 %, il y a un écart de 6 % entre la PV et le SP. Comme on considère que Kp = 3,33, un écart de 6 % signifie que le débit augmente de 6 % x 3,33 = 20 %, c'est-à-dire lorsque la PV atteint 46 %, le débit s'élève à 50 % + 20 % = 70 %.

L'écart de 6 % est un écart qu'un régulateur P ne peut pas compenser. L'écart obtenu est le résultat de la fonction de base d'un régulateur P.

Pour obtenir un écart minimum, il est important que le dispositif de régulation (la vanne) soit conçu de manière à ce que le débit (y) du régulateur puisse commander le processus de façon à ce qu'il soit égal à la charge moyenne normale. L'écart est donc toujours aussi réduit que possible et se rapproche petit à petit de zéro.

Caractéristiques de réglage du régulateur P

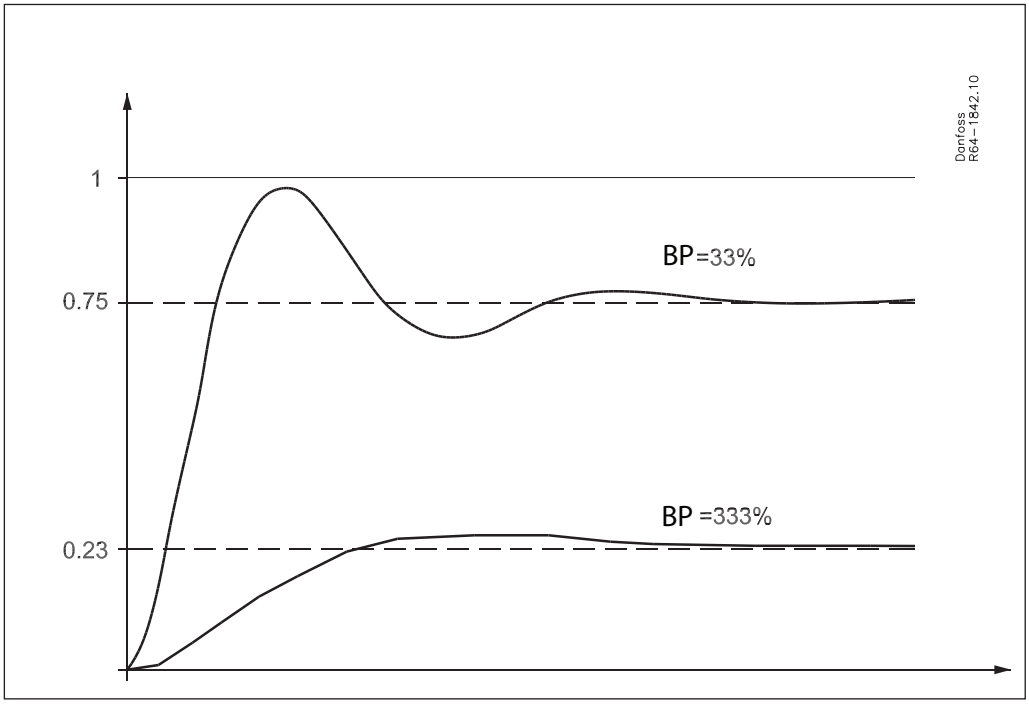
P correspond au composant de régulation primaire. Dans la plupart des cas, P crée un écart permanent qui peut être très petit mais aussi trop important. La commande P est toutefois mieux que rien (pas de retour, pas de circuit fermé).

Le changement de BP a deux effets importants :

- Une PB plus petite (amplification plus importante) entraîne un écart moindre, c'est-à-dire un meilleur effet sur les changements de charge mais aussi une plus grande tendance aux fluctuations.
- Une bande P plus importante (amplification moindre) donne plus d'écart mais une tendance moindre aux fluctuations.
- Une PB plus réduite signifie théoriquement que la commande se rapproche du fonctionnement tout ou rien.

Le schéma ci-après présente une validité universelle pour la boucle à commande P directe.

Il présente les différentes réponses avec une boucle dont la BP = 33 % et la BP = 333 % lorsque la boucle à commande P est influencée par le SP et change d'une unité.



17.2
Régulation modulante
(suite)

Régulateur I
La principale caractéristique d'un régulateur I consiste à éliminer l'écart et c'est la raison de son utilisation. Le régulateur I continue à changer son débit tant que l'écart persiste. Toutefois, la capacité à supprimer complètement l'écart est associée au fait qu'il est en pratique correctement proportionné.

L'intérêt du régulateur I qui consiste à supprimer l'écart a également une action négative : cela augmente la tendance aux fluctuations dans une boucle de régulation. La tendance aux fluctuations est plus importante sur un régulateur I que sur un régulateur P.

La capacité à réagir aux changements de charge est plus lente pour un régulateur I que pour un régulateur P.

Régulateur PI
Les avantages et les inconvénients de P et I font qu'il est avantageux de combiner P et I dans un régulateur PI.

Sur un régulateur PI, il est possible de régler : la BP et le T_i. Le T_i est normalement saisi en secondes ou en minutes.

Lorsque le T_i doit être saisi, il doit correspondre à un compromis entre stabilité et suppression de l'écart.

Un T_i moindre (influence de l'intégrale plus importante) signifie une suppression plus rapide de l'écart mais également une augmentation de la tendance aux fluctuations.

Régulateur D
La principale caractéristique d'un régulateur D (dérivée) est qu'il sait réagir aux changements. Cela signifie aussi qu'en cas d'écart constant, un régulateur D ne pourra réaliser aucune action pour supprimer l'écart. Le composant D rend le système réactif aux changements de charge.

L'effet de la D améliore la stabilité et rend le système plus rapide. Il n'a pas d'influence sur l'écart mais il vise à réduire la tendance aux fluctuations. La D réagit aux changements dans l'erreur et la boucle réagit plus vite avec la D en cas de changements de charge. La réaction rapide face aux changements signifie une compensation de toutes les fluctuations.

Sur les régulateurs avec une influence de la D, le T_d peut être ajusté. Le T_d est normalement saisi en secondes ou en minutes.

Il convient de veiller à ne pas trop augmenter le T_d car l'influence, lorsque l'on change le SP (Point de consigne) par exemple, risque d'être trop important. Lors du démarrage des installations, il peut être avantageux d'éliminer tout simplement l'influence de la D. (Td=0)

Cela signifie qu'un régulateur D ne sera jamais utilisé seul. Son utilisation type est associée comme PD ou PID à sa capacité à compenser les fluctuations.

Régulateur PID
La combinaison des trois composants dans un régulateur PID est devenue courante.

Les règles/propriétés générales d'un régulateur PID sont les suivantes :

- Une BP réduite améliore l'écart (le réduit) mais la stabilité est plus mauvaise ;
- Le composant I supprime l'écart. Une I plus importante (T_i moins élevé) accélère la suppression de l'écart.
- Le composant I augmente la tendance aux fluctuations.
- Le composant D compense la tendance aux fluctuations et accélère la régulation. Plus la D est importante (T_d plus élevé) plus l'influence est forte, jusqu'à une certaine limite. Un T_d trop important signifie qu'il réagit de façon trop vive aux changements brusques et que la boucle de régulation devient instable.

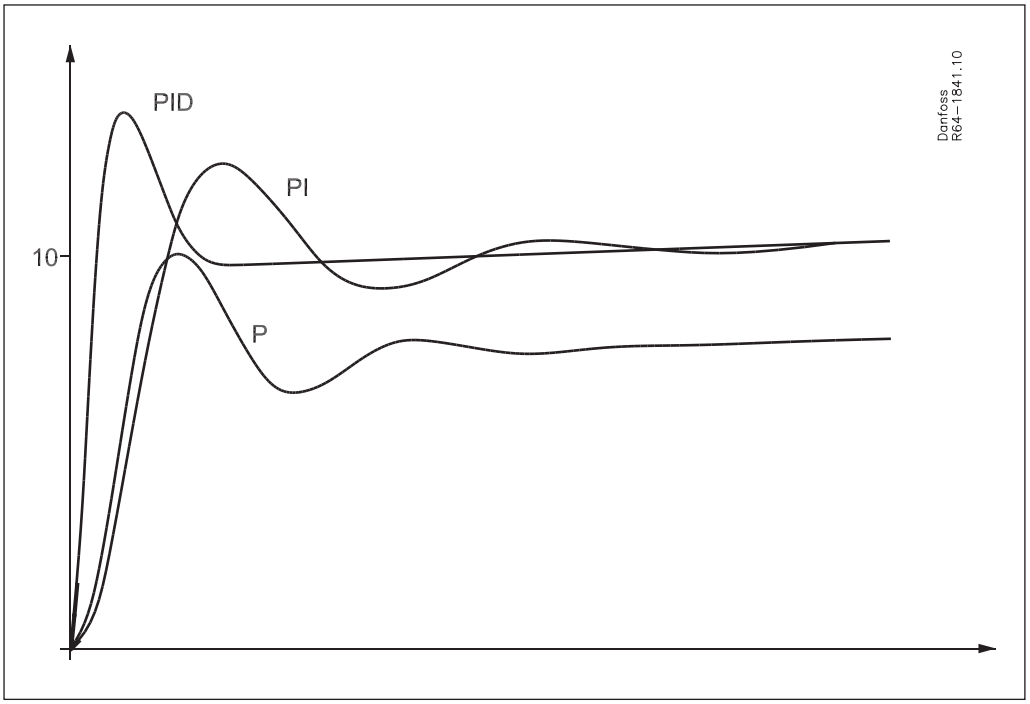
© Danfoss A/S (RC-MDP/MWA), 2014-10

17.2
Régulation modulante
(suite)

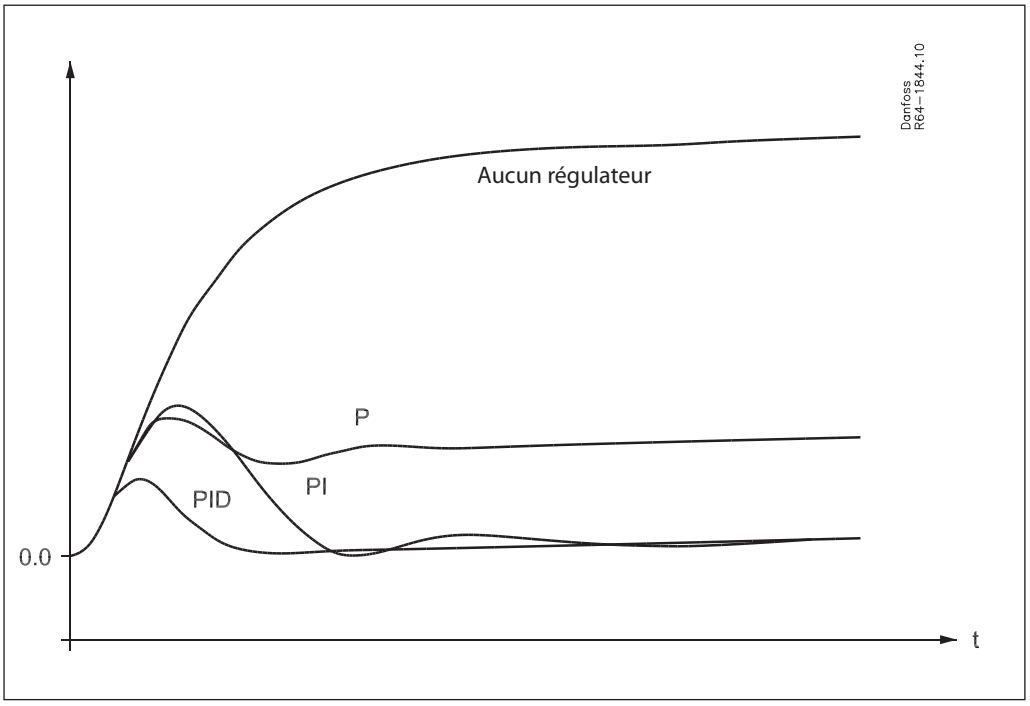
Courbes d'état transitoires de PID types 1 : paramètres PID optimaux

Les paramètres :

	BP	T_i	T_d
P	66,7 %	-	-
PI	100 %	60 s	-
PID	41,7 %	40 s	12 s



On trouve ci-dessus les différents principes de régulation lorsqu'ils sont influencés par le SP (Point de consigne) et change d'une unité.



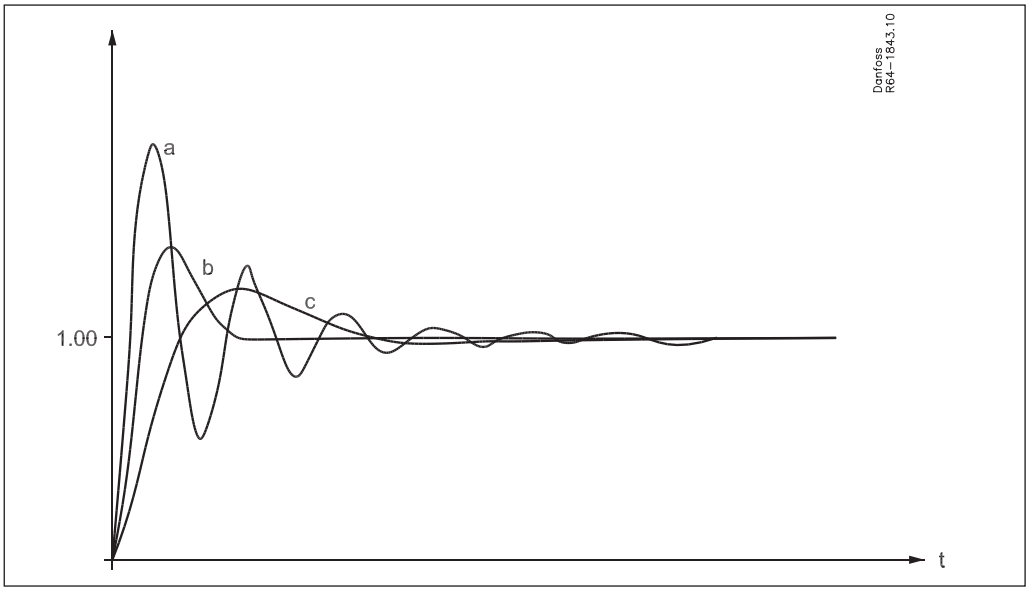
Mêmes paramètres que ci-dessus. Exposition à un changement de charge de 1.

17.2
Régulation modulante
(suite)

Courbes d'états transitoires de PID types 2 : changement de BP

Les paramètres :

	BP	T_i	T_d
PID-a	25,0 %	40 s	12 s
PID-b	41,7 %	40 s	12 s
PID-c	83,3 %	40 s	12 s

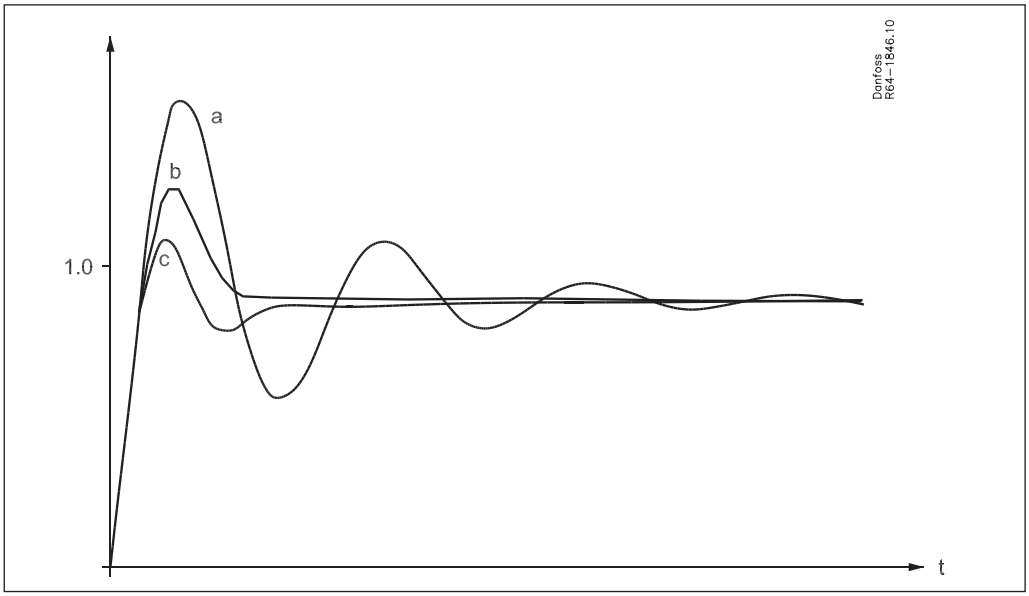


On trouve ci-dessus la variation de la BP pour le contrôle du PID lorsqu'il est influencé par le SP (point de consigne) et change d'une unité. Il apparaît clairement que lorsque la BP est trop petite, les systèmes deviennent plus instables (variables). Lorsque la BP est trop importante, le système devient trop lent.

Courbes d'état transitoires de PID types 3 : changement de T_i

Les paramètres :

	BP	T_i	T_d
PID-a	41,7 %	20 s	12 s
PID-b	41,7 %	40 s	12 s
PID-c	41,7 %	120 s	12 s



On trouve ci-dessus la variation du T_i pour le contrôle du PID lorsqu'il est influencé par le SP (Point de consigne) et change d'une unité. Il apparaît clairement que lorsque le T_i est trop court, les systèmes deviennent plus instables (variables). Lorsque le Ti est trop long, l'élimination du dernier écart prend beaucoup de temps.

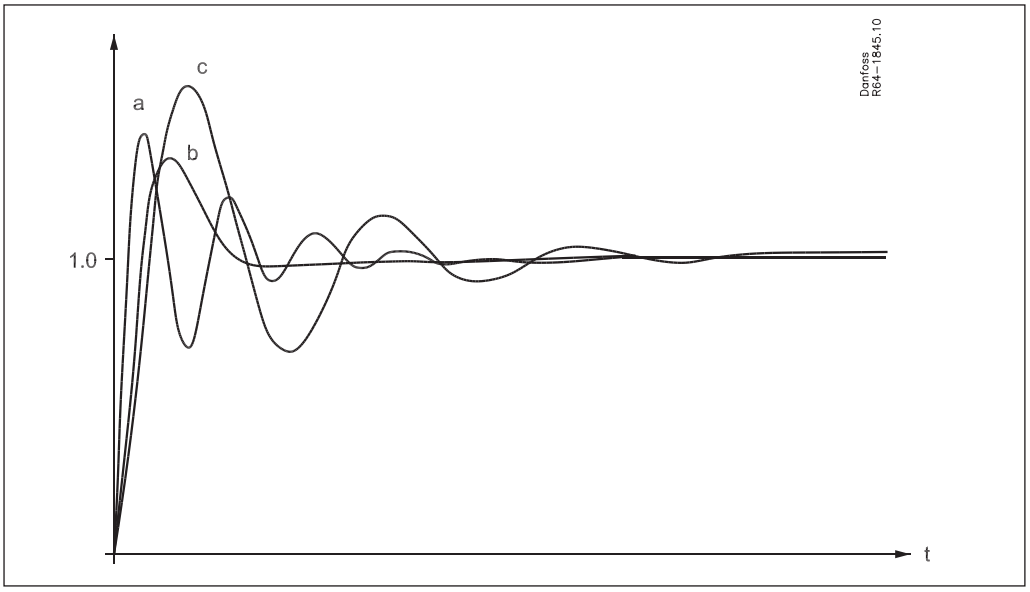
© Danfoss A/S (RC-MDP/MWA), 2014-10

17.2
Régulation modulante
(suite)

Courbes d'état transitoires de PID types 4 : changement de T_d

Les paramètres :

	PB	T_i	T_d
PID-a	41,7 %	40 s	24 s
PID-b	41,7 %	40 s	12 s
PID-c	41,7 %	40 s	6 s



On trouve ci-dessus la variation du T_d pour le contrôle du PID lorsqu'il est influencé par SP et change d'une unité. Il apparaît clairement que lorsque le T_d est trop court ou trop long par rapport à la valeur optimale (T_d=12), les systèmes deviennent plus instables (variables).

Documents de référence - Présentation alphabétique

Type	Titre	Fiche technique/ manuel	Instruction produit	
AKD 102	Entraînement à vitesse variable	PD.R1.B	MG11L	
AKS 21	Sonde de température	RK0YG	RI14D	
AKS 32R	Transmetteur de pression		PI.SB0.A	
AKS 33	Transmetteur de pression	RD5GH	PI.SB0.A	
AKS 38	Contacteur à flotteur	PD.GD0.A	PI.GD0.A	
AKS 4100/4100U	Capteurs de niveau de liquide	PD.SC0.C	PI.SC0.D	PI.SC0.E
AKVA	Vanne de détente électrique	PD.VA1.B	PI.VA1.C	PI.VA1.B
AMV 20	Actuateur commandé en trois points	ED95N	EI96A	
BSV	Soupape de sécurité	PD.IC0.A	PI.IC0.A	
CVC-XP	Vannes pilotes pour vanne principale servo-commandée	PD.HN0.A	PI.HN0.A	
CVC-LP	Vannes pilotes pour vanne principale servo-commandée	PD.HN0.A	PI.HN0.M	
CVP	Vannes pilotes pour vanne principale servo-commandée	PD.HN0.A	PI.HN0.C	
CVPP	Vannes pilotes pour vanne principale servo-commandée	PD.HN0.A	PI.HN0.C	
CVQ	Vannes pilotes pour vanne principale servo-commandée	PD.HN0.A	PI.VH1.A	
DCR	Filtre déshydrateur	PD.EJ0.A	PI.EJ0.B	
DSV	Vanne 2 voies (pour soupape de sécurité)	PD.IE0.A	PI.IE0.A	RI.7D.A
EKC 202	Régulateur pour régulation par température	RS8DZ	RI8JV	
EKC 315A	Régulateur pour la régulation d'évaporateur industriel	RS8CS		
EKC 331	Régulateur de puissance frigorifique	RS8AG	RI8BE	
EKC 347	Régulateur de niveau de liquide	PS.G00.A	PI.RP0.A	
EKC 361	Régulateur pour régulation de température du fluide	RS8AE	RI8BF	
EVM	Vannes pilotes pour vanne principale servo-commandée	PD.HN0.A	PI.HN0.N	
EVRA / EVRAT	Électrovanne	PD.BM0.B	PI.BN0.L	
FA	Filtre	PD.FM0.A	PI.FM0.A	
FIA	Filtre	PD.FN1.A	PI.FN1.A	
GD	Capteur de détection de gaz	PD.S00.A	PI.S00.A	
GPLX	Vanne d'arrêt alimentée au gaz	PD.BO0.A	PI.BO0.A	
HE	Échangeur de chaleur	PD.FD0.A	PI.FD0.A	
ICF	Solution de régulation	PD.FT1.A	PI.FT0.C	
ICM / ICAD	Vanne motorisée	PD.HT0.B	PI.HT0.A	PI.HT0.B
ICS	Vanne servo commandée	PD.HS2.A	PI.HS0.A	PI.HS0.B
KDC	Vanne de refoulement du compresseur	PD.FQ0.A	PI.FQ0.A	
LLG	Voyant du niveau de liquide	PD.GG0.A	PI.GG0.A	
MLI	Voyant liquide	PD.GH0.A	PI.GH0.A	
MP 55 A	Régulateur de pression différentielle	PD.CG0.B	PI.CG0.E	
NRVA	Vanne de retenue de l'ammoniac	PD.FK0.A	PI.FK0.A	
OFV	Vanne de décharge	PD.HQ0.A	PI.HX0.B	
ORV	Vanne de régulation d'huile	PD.HP0.B	PI.HP0.A	
PMFL / PMFH	Régulateur du niveau de liquide de modulation	PD.GE0.C	PI.GE0.D	PI.GE0.A
ICLX	Électrovanne tout ou rien	PD.HS1.A	PI.HS1.A/B	
POV	Soupape de sécurité interne pilotée	PD.ID0.A	PI.ID0.A	
QDV	Robinet de vidange de l'huile à fermeture rapide	PD.KL0.A	PI.KL0.A	
REG-SA/SB	Vanne de régulation manuelle	PD.KM1.A	PI.KM1.A	
RT 107	Thermostat différentiel	PD.CB0.A		
RT 1A	Régulation de la pression, régulateur de pression différentielle	PD.CB0.A	RI5BC	
RT 260A	Régulation de la pression, régulateur de pression différentielle	PD.CB0.A	RI5BB	
RT 5A	Régulation de la pression, régulateur de pression différentielle	PD.CB0.A	RI5BC	
SCA-X	Vanne clapet/clapet antiretour	PD.FL1.A	PI.FL1.A	
SFA	Soupape de sécurité	PD.IF0.A	PI.IB0.A	
SGR	Voyant liquide	PD.EK0.A	PI.EK0.A	
SNV	Vanne de service	PD.KB0.A	PI.KB0.A	
SV 1-3	Régulateur du niveau de liquide de modulation	PD.GE0.B	PI.GE0.C	
SV 4-6		PD.GE0.D	PI.GE0.B	
SVA-S/L	Vanne d'arrêt	PD.KD1.A	PI.KD1.A	
TEA	Détendeur thermostatique	PD.AJ0.A	PI.AJ0.A	
TEAT		PD.AU0.A	PI.AU0.A	
VM 2	Vanne d'équilibrage de la pression	ED97K	VIHBC	
WVS	Vanne à eau	PD.DA0.A	PI.DA0.A	

Pour télécharger la dernière version de la documentation, visitez le site Internet de Danfoss.

© Danfoss A/S (RC-MDP/MWA), 2014-10

Notes

Notes

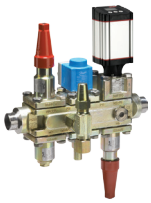
© Danfoss A/S (RC-MDP/MWA), 2014-10

ENGINEERING
TOMORROW

Danfoss Flexline™
Simple. Efficace. Flexible.

Conçus pour une simplicité d'utilisation, une efficacité accrue et une flexibilité avancée, les produits de la gamme Flexline™ sont répartis en trois grandes catégories :

ICV Flexline™
Control valves and solenoid valves



ICF Flexline™
Valve stations

SVL Flexline™
Line components

Tous ces produits sont élaborés selon une même conception modulaire et sont basés sur un corps dépourvu de toute fonctionnalité. Cette configuration permet de réduire la complexité depuis la phase de conception jusqu'à l'installation, la mise en service et la maintenance. Tous ces facteurs sont déterminants pour la réduction des coûts d'entretien, et permettent de réaliser d'importantes économies.

Pour plus d'informations sur la plate-forme Flexline™, visitez notre site Internet www.danfoss.com/flexline.

Un savoir-faire mondial
Un support local

Fort de plus de 60 années d'expérience dans la production de vannes et de régulateurs pour les applications de réfrigération industrielle, Danfoss est le partenaire idéal pour les clients qui sont à la recherche de composants de qualité.

Nos connaissances globales, globales, associées à un support local, nous permettent de vous offrir des produits et des services de première qualité.

Danfoss n'assume aucune responsabilité quant aux erreurs qui se seraient glissées dans les catalogues, brochures ou autres documentations écrites. Dans un souci constant d'amélioration, Danfoss se réserve le droit d'apporter sans préavis toutes modifications à ses produits, y compris ceux se trouvant déjà en commande, sous réserve, toutefois, que ces modifications n'affectent pas les caractéristiques déjà arrêtées en accord avec le client. Toutes les marques de fabrique de cette documentation sont la propriété des sociétés correspondantes.
Danfoss et le logotype Danfoss sont des marques de fabrique de Danfoss A/S. Tous droits réservés.

© Copyright Danfoss Refrigeration & Air Conditioning | mwa | 10 2014