

Retrofit et fluides frigorigènes à glissement de température élevé

Par **Norbert Blatz, Global Application Excellence Manager,**
John Broughton, Global Application Expert, réfrigération commerciale,
Rasmus Damgaard Poulsen, Specialist, Global Laboratory Technology, docteur en chimie,
Thierry Legay, Application Excellence Manager.
Danfoss Cooling, septembre 2016

Cet ensemble de documents, à valeur de guide, fournit des informations générales et détaillées sur le retrofit et les fluides frigorigènes à glissement de température élevé. Comme ce thème va être d'actualité dans les secteurs de la réfrigération et de la climatisation au cours des prochaines années, cet ensemble de documents se veut le plus général possible. Tous les exemples présentés doivent donc être considérés comme des exemples généraux visant à traiter des aspects techniques.

Danfoss propose une grande offre de produits pour les fluides frigorigènes à faible potentiel de réchauffement global (faible PRG). Veuillez contacter votre représentant Danfoss pour obtenir les informations les plus récentes.

Le retrofit ne concerne que les systèmes existants qui doivent être remplis avec un fluide frigorigène alternatif. Les raisons d'envisager un retrofit sont les suivantes :

1. Le type de fluide frigorigène n'est plus autorisé
2. Le type de fluide frigorigène n'est plus disponible
3. Le remplacement de l'ensemble de l'installation est trop onéreux

Il faut toujours considérer qu'un nouveau système, avec un nouveau fluide frigorigène à faible PRG, est plus efficace et présente donc un coût de fonctionnement réduit par rapport à un ancien système ayant fait l'objet d'un retrofit.

1. Vérification rapide avant le retrofit (Norbert Blatz)

Avant de commencer le retrofit d'un système, il faut vérifier s'il est compatible avec le fluide frigorigène envisagé. Des modifications supplémentaires peuvent être nécessaires.

2. Retrofit de fluide frigorigène ; compatibilité chimique des composants (Rasmus Damgaard Poulsen)

Complément à la « Vérification rapide », détails sur les scénarios possibles lors du retrofit d'un système et sur les conséquences pour les composants et les matériaux.

3. Procédure de retrofit d'un système (Norbert Blatz, Thierry Legay)

Consignes, étape par étape, sur la façon de procéder au retrofit d'un système. Exemple d'un petit système pouvant être transposé, à plus large échelle, à des systèmes plus complexes.

4. Retrofit de systèmes avec fluides frigorigènes à glissement de température (Norbert Blatz, John Broughton)

La plupart des fluides frigorigènes utilisés pour le retrofit, mais aussi pour les nouveaux systèmes, sont des mélanges de fluides frigorigènes qui présentent un glissement de température relativement élevé.

Les répercussions sur le système et sur l'application sont décrites en détail, avec une attention particulière portée sur la mise en pratique.

1. Vérification rapide avant le retrofit

Par Norbert Blatz, Global Application Excellence Manager

Compresseur :

- Le compresseur peut-il fonctionner avec le nouveau fluide frigorigène ?
- Vérifiez de combien la puissance frigorifique va changer.
- L'enveloppe d'application convient-elle encore ? Vérifiez les limites de température et de pression.
- Dans la plupart des cas, la charge d'huile doit être remplacée par une nouvelle charge.

Condenseur :

- Vérifiez que la puissance est compatible avec la nouvelle puissance du compresseur. Les fluides frigorigènes à glissement nécessitent une plus grande surface, en raison d'une différence de température moyenne inférieure. Cela peut entraîner une augmentation de la température de condensation.

Évaporateur :

- Vérifiez que la puissance ou les performances sont toujours adaptées aux conditions d'utilisation, en termes d'humidité. Les fluides frigorigènes à glissement peuvent entraîner un taux de déshumidification plus élevé.

Vannes :

- Les électrovannes et autres types de vannes avec des joints doivent être équipées de nouveaux joints. En effet, généralement l'huile/le fluide frigorigène pénètrent dans le matériau, ce qui peut le faire gonfler. Avec la nouvelle huile ou le nouveau fluide frigorigène, l'ancienne charge sera évacuée et le joint peut ne plus être suffisamment étanche, ce qui cause des fuites vers l'extérieur au bout d'un certain temps.

- Les détendeurs thermostatiques ou les vannes qui possèdent un élément thermostatique chargé pour un fluide frigorigène spécifique ne peuvent pas toujours être utilisés avec un nouveau type de fluide frigorigène. En première approche, les courbes de pression – température de l'ancien et du nouveau fluide frigorigène peuvent être comparées. Si la vanne de détente est réglable et si la différence de température souhaitée dans le système n'est pas supérieure à 3 K, un réglage à la nouvelle condition est envisageable. En cas de doute, demandez confirmation au personnel de Danfoss.

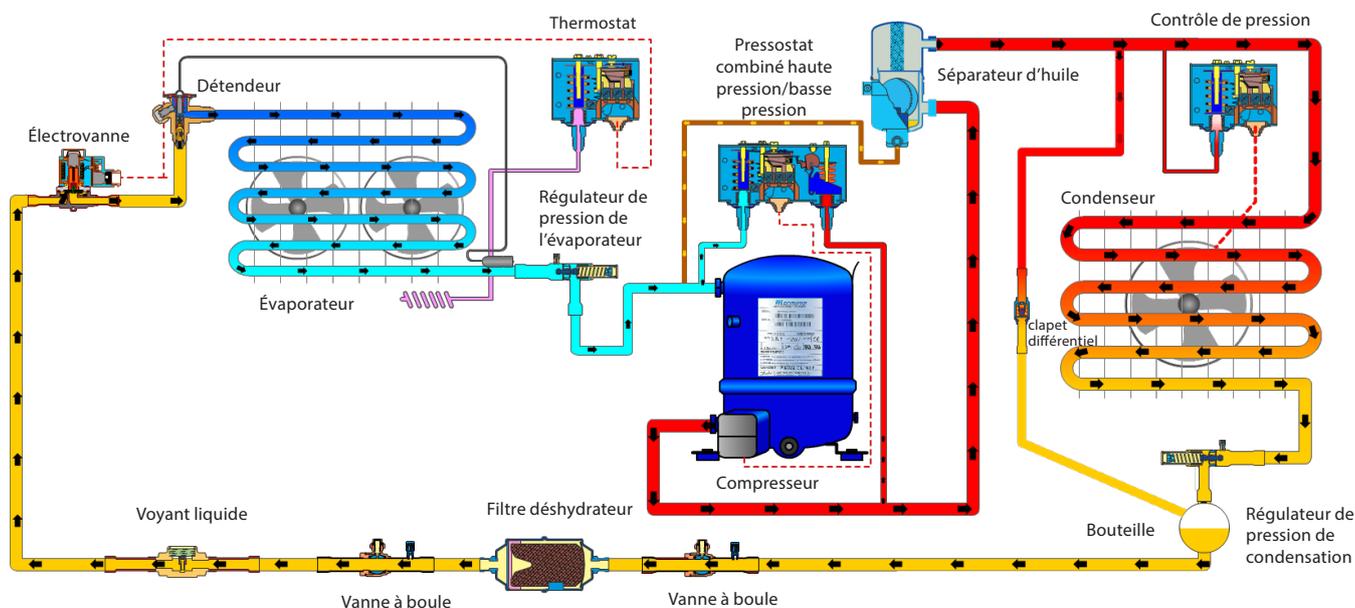
- D'autres vannes de régulation, comme les vannes de régulation de la pression, peuvent nécessiter un réglage. Vérifiez que la plage de réglage de la vanne et la pression de service maximale du système sont toujours compatibles avec le nouveau fluide frigorigène.

Conduites :

- Vérifiez le dimensionnement des conduites. Le nouveau fluide frigorigène peut avoir des valeurs de densité et d'enthalpie (transfert de chaleur) différentes. Cela entraîne des vitesses et des chutes de pression différentes si vous conservez les conduites existantes. La conduite d'aspiration et le retour d'huile peuvent constituer des points critiques !

Régulateur :

- Vérifiez si le régulateur nécessite des ajustements. Le réglage du contrôleur de surchauffe doit être conservé avec le nouveau type de fluide frigorigène. Il se peut que d'autres paramètres de température ou de pression doivent être utilisés.



2. Retrofit de fluide frigorigène ; compatibilité chimique des composants

Par Rasmus Damgaard Poulsen, specialist, Global Laboratory Technology, docteur en chimie

Dans ce contexte, le retrofit des systèmes de refroidissement se définit comme le changement de fluide frigorigène et/ou d'huile dans un système existant, en fonctionnement. Il est bien connu que les répercussions concernent principalement la compatibilité des joints d'étanchéité, qui peuvent entraîner des fuites ou un dysfonctionnement du système, ainsi que le réglage des composants individuels (comme les détendeurs et les tailles nominales d'autres composants utilisés dans le système). Cet article se focalise sur les problèmes de compatibilité des matériaux qui peuvent apparaître au cours du retrofit de composants dans des systèmes de refroidissement. Il ne traite pas des problèmes relatifs au compresseur, des changements de puissance et de performances liés aux nouvelles données de thermodynamique, ni des changements fonctionnels comme les ajustements de la surchauffe des détendeurs ou la miscibilité avec l'humidité.

Le risque majeur en matière de compatibilité est que la modification chimique s'opérant lors du changement d'un

fluide frigorigène/mélange d'huile provoque des altérations majeures des performances des joints d'étanchéité, causant des fuites ou des dysfonctionnements des composants Danfoss. D'un point de vue technique, le risque concerne principalement les modifications de volume et les problèmes de compression des joints d'étanchéité statiques, mais aussi d'autres propriétés comme la dureté, l'adhérence, l'allongement et la capacité de fonctionnement à des températures maximales et minimales.

Ce risque est bien connu et les fabricants de joints d'étanchéité et de fluides frigorigènes de retrofit indiquent actuellement que toutes les bagues d'étanchéité doivent être remplacées en cas de retrofit. Il est aussi bien connu que les différents types d'huile peuvent avoir des influences différentes en termes d'altération des matériaux. Le retrofit peut causer la séparation des particules et résidus qui adhéraient auparavant au système. Ils peuvent noircir ou causer des problèmes mécaniques indésirables dans le système ayant fait l'objet du retrofit.

Il existe trois cas principaux de retrofit, les types 1, 2 et 3, qui doivent être traités en tenant compte des problèmes de compatibilité :

Type de retrofit	Type de fluide frigorigène	Type d'huile	Contexte lié aux modifications de propriétés des fluides frigorigènes	Évaluation des risques
1	De HFC à HFC/HFO	De POE à POE De PVE à PVE	L'ancien fluide frigorigène et le fluide frigorigène du retrofit ont des propriétés chimiques similaires	Très faible
2	De HCFC à HFC/HFO	De MO à MO De AB à AB	L'ancien fluide frigorigène et le fluide frigorigène du retrofit ont des propriétés chimiques différentes	Mineur
2	De HCFC à HFC/HFO	De MO à POE/PVE De AB à POE/PVE	L'ancien fluide frigorigène et le fluide frigorigène du retrofit ont des propriétés différentes en ce qui concerne la compatibilité chimique avec les joints d'étanchéité. Le changement d'huile peut entraîner des propriétés différentes.	Majeur

Remarque : L'évaluation des risques ci-dessus est valable uniquement si tous les joints d'étanchéité ont été changés. Vous trouverez ci-après une évaluation détaillée.

Remarque : Désignations hydrochlorofluorocarbure (HCFC) ; hydrofluorocarbure (HFC) ; hydrofluoroléfine (HFO), polyolester (POE) ; polyvinylether (PVE) ; huile minérale (MO) ; alkylbenzène (AB)

Retrofit de fluide frigorigène ; compatibilité chimique des composants (suite)

Retrofit de type 1

Changement de fluides frigorigènes possédant des propriétés de compatibilité similaires, l'huile restant du même type

- Le changement de fluide frigorigène ne modifie pas les propriétés des matériaux d'étanchéité, ce qui entraînerait des risques majeurs.
- Il peut s'agir d'un type de retrofit de HFC à HFC/HFO, tout en conservant une huile POE. Si les caractéristiques de température et de pression sont identiques, les risques sont très faibles.
- Avec un changement des joints d'étanchéité, le risque est faible puisque tout le fluide frigorigène est retiré. Tout dépôt d'huile restant dans le système réagit de la même façon que la nouvelle huile du retrofit, sauf si l'ancienne huile s'est décomposée ou détériorée dans l'ancien système.
- Le risque de complications est très faible, ce qui est également confirmé par des retours d'expériences

Retrofit de type 2

Échange de fluides frigorigènes possédant des propriétés de compatibilité différentes, l'huile restant du même type

- Le changement de fluide frigorigène peut entraîner des problèmes de dégazage ou de gonflement excessif au cours du retrofit.
- Il peut s'agir d'un type de retrofit de HCFC à HFC/HFO, tout en conservant une huile de type MO. Si les caractéristiques de température et de pression sont identiques, les risques sont mineurs.
- Une problématique importante et courante concerne l'utilisation de bagues d'étanchéité contenant une grande quantité de plastifiants, qui peuvent avoir été évacués par le fluide frigorigène initial, ou par le fluide frigorigène de retrofit. Le risque de dysfonctionnement ou de fuite repose sur la capacité du fluide frigorigène du retrofit à agir de la même façon que l'ancien fluide frigorigène, afin de préserver la compatibilité chimique globale du système.
- Avec un changement des joints d'étanchéité, le risque est faible puisque tout le fluide frigorigène est retiré. Tout dépôt d'huile demeurant dans le système réagit de la même façon que la nouvelle huile du retrofit, sauf si l'ancienne huile s'est décomposée ou détériorée dans l'ancien système.
- Le risque de complications est faible, ce qui est également confirmé par des retours d'expérience.

Retrofit de type 3

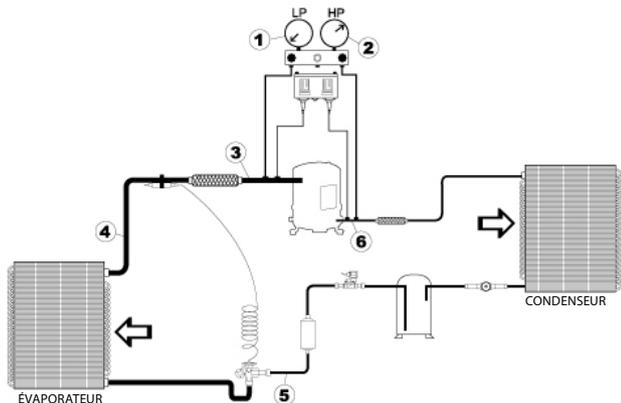
Changement de fluide frigorigène et changement de type d'huile, ayant tous deux des propriétés différentes

- Le changement va altérer les propriétés des matériaux d'étanchéité, à l'origine de risques majeurs.
- Il peut s'agir d'un type de retrofit de HCFC à HFC/HFO, en changeant l'huile de MO à POE. Les risques sont élevés, et d'autant plus si les caractéristiques de température et de pression ne sont pas identiques.
- Avec un changement des joints d'étanchéité, le risque concernant uniquement le fluide frigorigène est faible si tout le fluide frigorigène est retiré.
- La principale problématique concerne la présence dans le système de deux huiles ayant des compatibilités différentes avec les matériaux d'étanchéité. Par conséquent, même si la compatibilité chimique du système peut être validée pour l'utilisation d'huile POE avec un fluide frigorigène HFC/HFO, la présence d'une huile minérale MO peut générer des problèmes de compatibilité des matériaux d'étanchéité, causant des fuites et des dysfonctionnements. Le détendeur thermostatique, l'indicateur d'humidité et le déshydrateur doivent aussi être considérés, puisque l'huile non miscible peut finir par altérer leurs propriétés mécaniques et chimiques.
- Si les joints d'étanchéité et le fluide frigorigène sont remplacés comme décrit ci-dessus, le risque majeur concerne le changement de type d'huile. Dans le cas où un changement à 100 % de l'huile est possible, le risque sera aussi faible que pour un retrofit de type 2. Toutefois, dans les faits, il est rarement possible de changer l'huile dans son intégralité. Des précautions comme l'amélioration du retour d'huile peuvent réduire le risque qu'un mélange d'huile circule dans tout le système ; cependant, cela reste spécifique à un système donné et donc incertain.
- Par ailleurs, certains fluides frigorigènes de retrofit contiennent des hydrocarbures avec lesquels les huiles minérales MO sont miscibles. D'un point de vue théorique, la circulation d'huile de type MO dans le système serait alors possible.
- Le risque de complications est majeur ; de nombreux scénarios différents sont possibles, selon le pourcentage de remplacement de l'huile et le type de fluide frigorigène du retrofit. Les retours d'expérience ne sont pas connus. En outre, les modifications des spécifications du système telles que la température et la pression peuvent accroître le risque.

3. Procédure de retrofit d'un système

Par Norbert Blatz et Thierry Legay, Global Application Excellence Manager

Étape 1 : contrôle des paramètres de fonctionnement



Mesurez :

1. La pression d'aspiration au niveau du compresseur
2. La pression de refoulement au niveau du compresseur

Mesurez :

3. La température d'aspiration au compresseur (c'est-à-dire la surchauffe totale)
4. La température d'aspiration à la sortie de l'évaporateur (c'est-à-dire la surchauffe à l'évaporateur)
5. La température du liquide à l'entrée détendeur (c'est-à-dire le liquide sous-refroidi)
6. La température de refoulement au compresseur

Mesurez :

7. La tension d'alimentation et le courant
8. Contrôlez le débit de fluide frigorigène vers l'évaporateur sur chaque brin du distributeur (vérifiez soigneusement que les tuyauteries ne sont pas obstruées par des impuretés).

Remarques importantes :

- Les systèmes chargés de fluides frigorigènes inflammables (classes de sécurité A2, A2L, A3) doivent être réparés et entretenus conformément aux bonnes pratiques de réfrigération, avec certaines modifications concernant les outils, les équipements et les procédures. Il est impératif que les personnels travaillant sur des systèmes contenant des gaz inflammables soient convenablement formés !
- Les outils doivent être conformes à une utilisation en zone 2 ou avoir été correctement testés pour une utilisation en présence de fluides frigorigènes inflammables.
- La zone de travail doit être bien ventilée et aucune source de chaleur ne doit être présente à moins de 3 m du système. Un extincteur à poudre sèche ou à CO₂ doit être accessible sur le site.
- Avant l'ouverture du système, le fluide frigorigène inflammable doit être entièrement retiré du système et le système doit être nettoyé à l'azote.

Étape 2 : retrait de la charge en fluide frigorigène

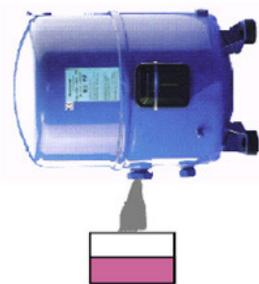
Un équipement de récupération de fluide frigorigène doit être utilisé.



- Fermez la vanne d'arrêt de la bouteille de liquide ou tout composant de la ligne liquide permettant de réaliser un pump down.
- Laissez le système fonctionner jusqu'à ce que le pressostat basse pression arrête le compresseur.
- Coupez le disjoncteur principal.
- Isolez (si possible) le côté HP du compresseur du système en fermant la vanne de sortie Rotolock.
- Retirez le fluide frigorigène du côté HP du système au moyen de tout raccordement ou de toute vanne situés sur la ligne liquide.
- Une fois que le fluide frigorigène, côté HP, a été transféré dans la bouteille de récupération, ouvrez le dispositif ayant servi à isoler le côté BP.
- Notez la masse de fluide frigorigène recueillie.

Procédure de retrofit d'un système (suite)

Étape 3 : vidange de l'huile du compresseur



Compresseurs à piston
Danfoss Maneurop®



compresseurs scroll Danfoss

Raccordement de vidange d'huile

- Ouvrez le port d'aspiration ou le port de voyant d'huile (si présent).
- Inclinez lentement le compresseur en position horizontale, puis récupérez l'huile au travers du raccordement à l'aspiration du compresseur ou au voyant d'huile.
- Remarque : le compresseur scroll est muni d'un raccord de vidange d'huile et peut donc être purgé de son huile en position verticale. Dans ce cas, mettez le côté basse pression du compresseur sous pression (à l'aide d'azote sec).
- Prélevez un échantillon d'huile pour analyse, si nécessaire (c'est-à-dire pour une installation en fonctionnement).
- Avant de réinstaller le compresseur, ou de remettre en place le voyant d'huile, remplacez les joints par des joints neufs (ports d'aspiration et de refoulement, joint de voyant d'huile). À l'aide d'un kit de test d'acide, vérifiez que l'huile usagée ne contient pas d'acide.
- Installez un filtre déshydrateur neuf. Un filtre de nettoyage « DAS » ou « DCR-DA » doit être utilisé si le test d'acide est positif. Ce filtre de nettoyage doit être retiré quelques jours plus tard, lorsque le système est débarrassé de son acide.

Important :

Une petite quantité d'huile peut rester dans le système (tuyauteries, échangeur de chaleur, etc.) et ne peut pas être retirée en utilisant cette procédure. Pour réduire cette quantité d'huile usagée, il est recommandé de changer à nouveau la charge d'huile après quelques jours de fonctionnement.

Étape 4 : instructions de remplissage en huile

La procédure suivante décrit comment ajouter de l'huile dans des compresseurs installés sur un système.

1. Premières étapes et équipement nécessaire



- Pompez le côté basse-pression du compresseur jusqu'à atteindre la pression atmosphérique. Veillez à ne pas descendre en dessous de la pression atmosphérique, afin d'éviter l'entrée d'air et d'humidité dans le compresseur durant la procédure de remplissage.
- Utilisez un bidon d'huile scellé neuf et une pompe à huile manuelle. Le flexible de la pompe doit être dimensionné pour des raccords flare 1/4" et comporter un dépresseur de vanne à son extrémité, permettant d'ouvrir la vanne sur le port de service schrader du compresseur.
- Vérifiez que la référence du bidon d'huile correspond au type d'huile homologuée qui est indiquée sur la plaque signalétique du compresseur.

2. Purge de la pompe et du flexible



- La pompe à main (similaire à celle illustrée) est insérée dans le bidon d'huile (vérifiez que la pompe est propre) au dernier moment, afin que celui-ci reste ouvert à l'air ambiant le moins longtemps possible (utilisez le kit d'adaptateur de connecteur, si disponible, pour limiter au maximum l'exposition de l'huile à l'air ambiant).

Procédure de retrofit d'un système (suite)

- À l'aide de quelques courses de la pompe, purgez tout l'air de la pompe et du flexible. Il est nécessaire de purger la pompe pour évacuer l'huile saturée d'humidité restée à l'intérieur du flexible après les utilisations précédentes.
- Raccordez le flexible au Schrader du compresseur immédiatement après la purge pour éviter une contamination à l'humidité.

3. Pompage d'huile dans le compresseur



- Pompez la quantité d'huile estimée ou pompez jusqu'à ce que le voyant d'huile indique le niveau correct.

Remarque : lorsqu'une quantité trop importante d'huile a été perdue à partir d'un compresseur non équipé d'un voyant d'huile, le niveau d'huile ne peut être ni mesuré, ni observé. Le seul moyen d'assurer un remplissage correct est de vidanger le compresseur et de le recharger avec l'huile neuve.

Dans ce cas, le compresseur doit être retiré de l'installation.

Recommandations supplémentaires

- Après l'ajout d'huile, laissez le compresseur fonctionner à pleine charge pendant 20 minutes et revérifiez le niveau sur le voyant d'huile. Ce niveau doit être compris entre $\frac{1}{4}$ et $\frac{3}{4}$.
- Faites attention à ne pas ajouter plus d'huile que nécessaire. Les problèmes suivants peuvent survenir en cas de présence d'une quantité d'huile trop importante :
 - Défaillance des vannes et des pistons ou des scrolls en raison de la compression de l'huile
 - Retour d'huile excessif
 - Perte de performances de l'évaporateur en raison d'une accumulation d'huile en partie basse du système.

Étape 5 : procédure de tirage au vide et d'évacuation de l'humidité

Lors d'un retrofit, après avoir changé les composants du système (comme les filtres déshydrateurs, le détendeur, etc.) et réinstallé le compresseur, le circuit de réfrigération doit être tiré au vide avec soin.

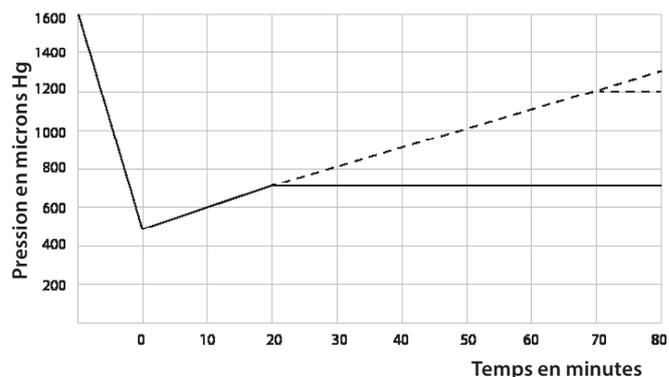
Cette section décrit les meilleures pratiques de tirage au vide d'un système. La teneur en humidité d'un circuit de réfrigération est très difficile à mesurer. Par conséquent, la procédure suivante constitue le meilleur moyen d'atteindre un niveau d'humidité sûr et acceptable avant la mise en service de l'installation.

L'humidité entrave le bon fonctionnement du compresseur et du système de réfrigération. L'air et humidité réduisent la durée de vie et augmentent la pression de condensation. Ils entraînent également une pression et une température de refoulement trop élevées, qui peuvent détruire les propriétés lubrifiantes de l'huile.

L'air et l'humidité augmentent également les risques de formation d'acide, à l'origine de cuivrage et d'endommagement du vernis isolant des enroulements du moteur. Tous ces phénomènes peuvent entraîner des défaillances mécaniques et électriques du compresseur. Pour éliminer ces facteurs, il est recommandé d'effectuer un tirage au vide conforme à la procédure ci-dessous.

Procédure

Il est essentiel de raccorder la pompe à vide à la fois aux côtés BP et HP, afin d'éviter d'avoir des zones mortes et de traiter toutes les parties du système.



1. Après la détection de fuites,
2. Tirez le circuit de réfrigération à un vide de 500 $\mu\text{m Hg}$ (0,67 mbar).
3. Lorsqu'un niveau de vide de 500 $\mu\text{m Hg}$ est atteint, le circuit doit être isolé de la pompe.
4. Attendez 30 minutes.
5. Si la pression augmente rapidement, le circuit n'est pas étanche. Identifiez les fuites et réparez-les. Recommencez à partir de l'étape 1.
6. Si la pression augmente lentement, le circuit contient de l'humidité. « Cassez le vide » à l'aide d'azote et répétez les étapes 2, 3 et 4.

Procédure de retrofit d'un système (suite)

Compresseur équipé de vannes d'arrêt

- Ouvrez les vannes afin de connecter le compresseur au reste du système.
- Répétez les étapes 2, 3, 4 (et 5 ou 6, si nécessaire)
- « Cassez le vide » à l'aide d'azote
- Répétez les étapes 2, 3 et 4 sur l'ensemble du circuit

Compresseur sans vannes d'arrêt

- « Cassez le vide » à l'aide d'azote
- Répétez les étapes 2, 3, 4 (et 5 ou 6, si nécessaire)

Vous devez atteindre un vide de 500 $\mu\text{m Hg}$ (0,67 mbar) et le maintenir pendant 4 heures. Cela assure que le circuit est à la fois étanche et complètement exempt d'humidité. Cette pression doit être mesurée au niveau du système de réfrigération, et non au niveau du manomètre de la pompe à vide.

Pompe à vide

Une pompe à vide bi-étagée avec ballast de gaz (vide constant de 0,04 mbar) doit être utilisée, d'une capacité cohérente avec le volume du système. Il est recommandé d'utiliser des conduites de raccordement d'un grand diamètre et de les raccorder aux vannes d'arrêt, et non au raccordement Schrader du compresseur. Cela permet d'éviter des pertes de pression excessives.

Niveau d'humidité

Au moment de la mise en service d'un système, sa teneur en humidité peut atteindre jusqu'à 100 ppm. Pendant le fonctionnement, le filtre déshydrateur doit réduire ce niveau à une valeur comprise entre 20 et 50 ppm.

Points à ne pas oublier

- Lors de l'évacuation initiale du système/circuit, l'abaissement de la pression à une valeur inférieure à 500 $\mu\text{m Hg}$ risque de geler l'humidité présente dans le système (l'humidité liquide emprisonnée dans de petites poches se transforme en glace au lieu de s'évaporer). La faible valeur de vide obtenue peut être interprétée à tort comme un système dépourvu d'humidité, alors qu'en fait de la glace reste présente. Un tel risque devient majeur si une pompe à vide relativement grande est utilisée sur un circuit de volume réduit. Une évacuation par un seul tirage au vide à 0,33 mbar (250 $\mu\text{m Hg}$), ne garantit pas une teneur en humidité suffisamment faible.
- Une faible température ambiante aux alentours de l'équipement, inférieure à 10 °C, empêche l'élimination de l'humidité.
- Si nécessaire alimentez la résistance de carter du compresseur.
- Le respect de la procédure ci-dessus est encore plus important avec les HFC et l'huile POE qu'avec les HCFC (R22) ou CFC et l'huile minérale.

Avertissement

N'utilisez pas de mégohmmètre et ne mettez pas le compresseur sous tension lorsqu'il se trouve sous vide. Cela risque d'endommager les enroulements du moteur. Ne faites jamais fonctionner le compresseur sous vide, car cela peut endommager le moteur du compresseur.

Étape 6 : charge en fluide frigorigène

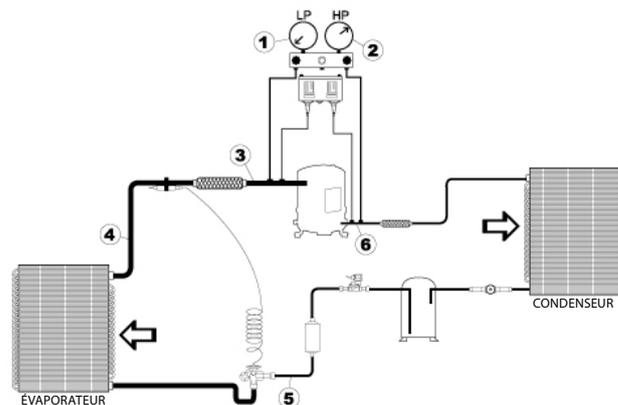
Les mélanges de fluides frigorigènes zéotropes et « quasi-azéotropes », tels que le R407C et le R404A, doivent toujours être chargés en phase liquide. Pour la charge initiale, le compresseur doit être arrêté et les vannes de service fermées.

Chargez le fluide frigorigène aussi près que possible de la charge nominale du système avant de démarrer le compresseur. Ajoutez ensuite lentement du fluide frigorigène en phase liquide, côté basse pression, aussi loin que possible du compresseur en fonctionnement.

Attention

- Lorsqu'une électrovanne de ligne liquide est utilisée, le vide côté basse pression doit être cassé avant de mettre le système sous tension.
- La quantité de fluide frigorigène chargée doit être adaptée pour un fonctionnement correct, aussi bien l'hiver que l'été. Pour plus d'informations sur les charges limites de réfrigérant, reportez-vous à la section « Liquid refrigerant control and charge limits » (Contrôle et charges limites de fluide frigorigène) des guides d'applications des compresseurs.

Étape 7 : contrôle après le démarrage



Mesurez et notez :

- La pression d'aspiration au niveau du compresseur
- La pression de refoulement au niveau du compresseur
- La température d'aspiration au niveau du compresseur (c'est-à-dire la surchauffe totale)
- La température d'aspiration à la sortie de l'évaporateur (c'est-à-dire la surchauffe à l'évaporateur)
- La température du liquide à l'entrée détendeur (c'est-à-dire le liquide sous-refroidi)
- La température de refoulement à la sortie du compresseur

Vérifiez si les données mesurées correspondent à la plage de valeurs prévues/acceptables et à l'enveloppe d'utilisation des composants du système

L'utilisation de fluides frigorigènes à glissement de température élevé comporte des spécificités. Leurs effets et la façon de les traiter sont décrits au chapitre suivant :

4. Retrofit de systèmes avec fluides frigorigènes à glissement de température

Par Norbert Blatz, Global Application Excellence Manager et John Broughton, Global Application Expert, réfrigération commerciale

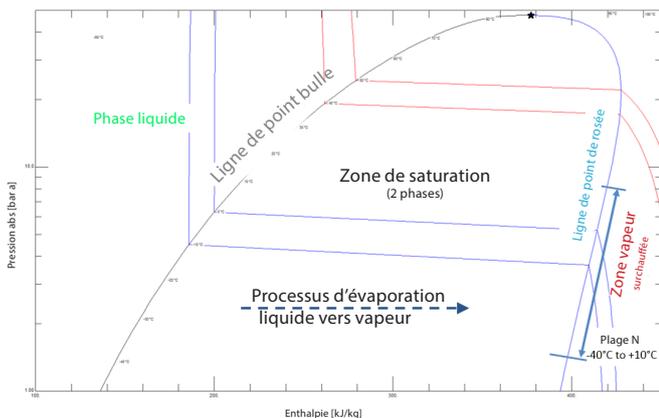
En conséquence de la réglementation sur les gaz fluorés, relative à la réduction du PRG des fluides frigorigènes, un certain nombre de nouveaux types de fluides frigorigènes synthétiques sont déjà présents ou vont être mis sur le marché. La plupart d'entre eux sont des mélanges zéotropes avec un glissement de température significatif.

Pour illustrer les différences avec les fluides frigorigènes azéotropes (sans glissement), les diagrammes log (p)/h et p/t ont été choisis.

Tous les différents types d'états, à différentes conditions, peuvent être trouvés dans un diagramme log (p)/h. L'axe des X indique l'enthalpie spécifique, alors que l'axe des Y indique la pression, généralement à une échelle logarithmique. De gauche à droite, le diagramme évolue de l'état liquide pur, croise le point bulle où commence le processus d'évaporation, et pénètre dans la zone de saturation. Au long de la phase de saturation, les deux états liquide et vapeur sont présents. Plus vous ajoutez de l'énergie, plus l'enthalpie augmente, et plus le liquide s'évapore, jusqu'au point de rosée où tout le liquide est passé à l'état de vapeur. Au croisement du point de rosée, la vapeur devient surchauffée.

La valeur de surchauffe est mesurée comme la différence de température entre la température de point de rosée et la température de vapeur surchauffée à la même pression, par exemple à la sortie d'un évaporateur à détente sèche. À titre d'exemple la plage d'application des détendeurs thermostatiques « gamme N » de Danfoss a été ajoutée.

Diagramme 1



Dans la zone de saturation, la température dépend directement de la pression. Avec les fluides frigorigènes purs (comme le R134a) et les mélanges azéotropes, la température reste la même tout au long du processus d'évaporation. Avec les mélanges à glissement de température, c'est-à-dire les mélanges zéotropes, la température évolue de façon significative au cours du processus d'évaporation ou de condensation ; cependant, la pression reste constante.

En termes très simples, ce glissement de température provient du fait que le fluide frigorigène ayant la température d'évaporation la plus faible s'évapore en premier, alors que le fluide frigorigène avec la température d'évaporation la plus élevée s'évapore en dernier.

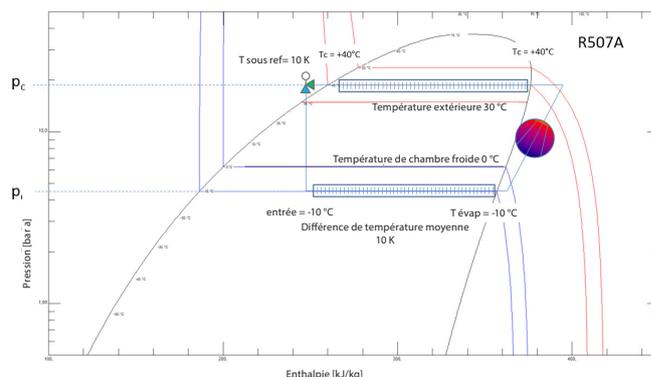
Pour visualiser cet effet de glissement, un circuit à détente sèche standard est illustré dans un diagramme log (p)/h simplifié. La différence de température au niveau des échangeurs de chaleur est de 10 K, à la fois avec la température extérieure et avec la température de chambre froide.

Exemple de fluide frigorigène sans glissement, mélange azéotrope, R507A :

La température de condensation et d'évaporation reste la même pour une pression donnée.

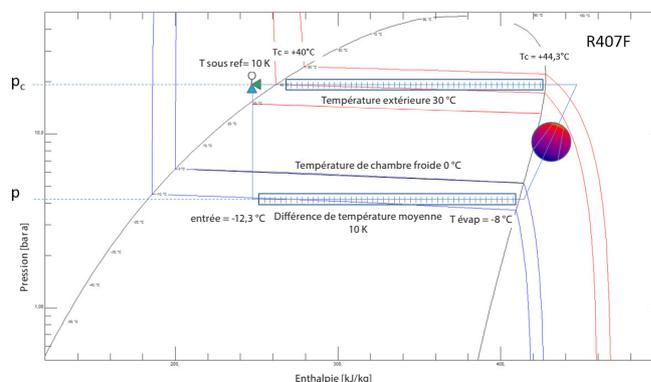
p_c = pression de condensation et p_e = pression d'évaporation.

Diagramme 2



Même système, mais avec fluide frigorigène zéotrope R407F : Pour obtenir une différence de température de 10 K, la température d'évaporation passe de -12,3°C à l'entrée à -8°C au point de rosée.

Diagramme 3



L'évolution de la température d'évaporation et ses conséquences sur l'échangeur de chaleur et sur le détendeur sont décrites au chapitre suivant.

Retrofit de systèmes avec fluides frigorigènes à glissement (suite)

Influence sur l'application d'un fluide frigorigène à glissement élevé

Comme la température change, la différence de température entre l'air et l'échangeur de chaleur change également, ce dont il faut tenir compte lors du dimensionnement de l'échangeur de chaleur.

Condenseur :

La différence de température moyenne entre l'air et le condenseur est inférieure et nécessite un condenseur plus grand. Un retrofit peut entraîner une augmentation de la température de condensation, si le compresseur a la même puissance qu'auparavant.

Évaporateur :

La température moyenne augmente et a une influence positive en terme de puissance. Mais il convient de tenir compte de deux aspects critiques : le détendeur et la modification du taux de déshumidification.

Voici tout d'abord quelques éléments sur la relation entre la surchauffe et la puissance de l'échangeur de chaleur.

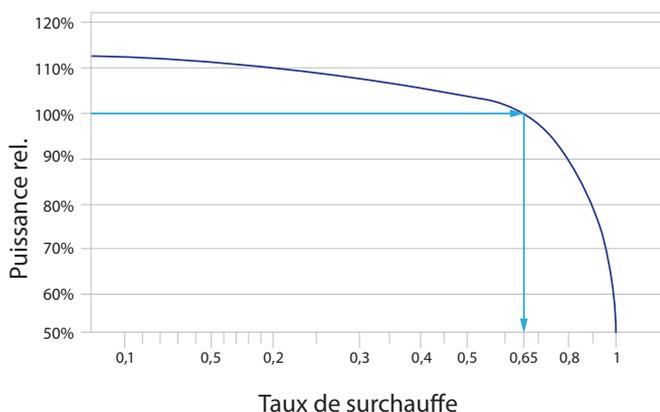
Régulation de la surchauffe

La puissance d'un évaporateur à tube et à ailettes est définie selon la température d'entrée de l'air, DT1, et la valeur de surchauffe.

DT1 a été spécifiée comme la différence de température entre la température d'entrée d'air et la température d'évaporation de point de rosée.

Par exemple, si l'entrée d'air = 0 °C, la température d'évaporation de point de rosée = -10 °C → DT1 = 10 K.

Diagramme 4



Pour obtenir une puissance de l'évaporateur de 100 %, la surchauffe cible est définie comme DT1 x taux de surchauffe : 10 K x 0,65 = 6,5 K.

Du point de vue des régulateurs, la valeur de 0,65 est presque la valeur optimale, et elle est spécifiée par la norme EN 328 comme la valeur cible pour les refroidisseurs d'air. Le diagramme 4 illustre qu'une augmentation de cette valeur (SH plus élevée), même faible, entraîne une perte énorme en utilisant une surface plus importante de l'évaporateur.

Inversement, une réduction de la surchauffe entraîne une légère augmentation de la puissance.

La comparaison des valeurs de surchauffe à l'évaporateur des diagrammes 2 et 3 montre des valeurs différentes. La différence de température moyenne de l'évaporateur des diagrammes 2 et 3 est la même. Mais dans le diagramme 3, en raison du glissement avec le R407F, la valeur de surchauffe requise est inférieure. La raison en est que la température d'évaporation de point de rosée, à -8,1 °C, est plus élevée de 2 K qu'avec le R507A dans le diagramme 2. $DT1 = 0\text{ °C} - (-8,1\text{ °C}) = 8,1\text{ K}$. La surchauffe cible est donc $8,1\text{ K} \times 0,65 = 5,3\text{ K}$.

Fluides frigorigènes à glissement élevé et détendeurs

Les détendeurs utilisent la pression et la température pour contrôler le niveau de surchauffe à la sortie de l'évaporateur. Pour la régulation de la surchauffe, la ligne du point de rosée (évaporé à 100 %) est la seule référence valide.

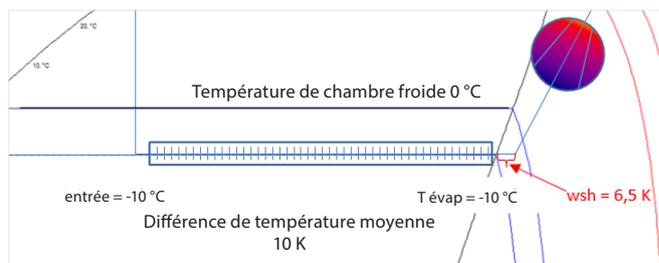
L'élément thermostatique du détendeur est chargé avec un fluide qui assure pratiquement la même différence de température sur une plage étendue

(p. ex. charge de la gamme N Danfoss : -40 °C à +10 °C).

La surchauffe peut donc être déterminée en référence au point de rosée.

Par exemple, au diagramme 2, le R507A nécessite une valeur de surchauffe de 6,5 K pour utiliser l'évaporateur à 100 %. Cela est basé sur une différence de température moyenne de 10 K.

Détail du diagramme 2



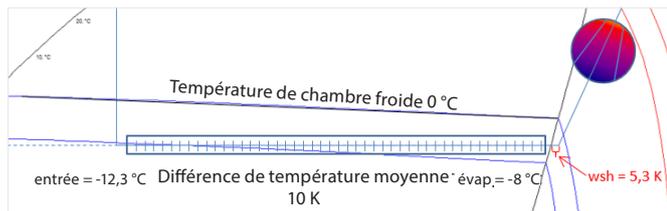
Retrofit de systèmes avec fluides frigorigènes à glissement (suite)

Pourquoi peut-il être nécessaire d'ajuster à nouveau la surchauffe d'un détendeur thermostatique ?

1. En raison du glissement :

Au diagramme 3, en raison de l'influence du glissement avec le R407F, la température de point de rosée est d'environ -8,1 °C et le même évaporateur nécessite un réglage de la surchauffe sur 5,3 K pour utiliser la puissance à 100 %, toujours à une différence de température moyenne de 10 K.

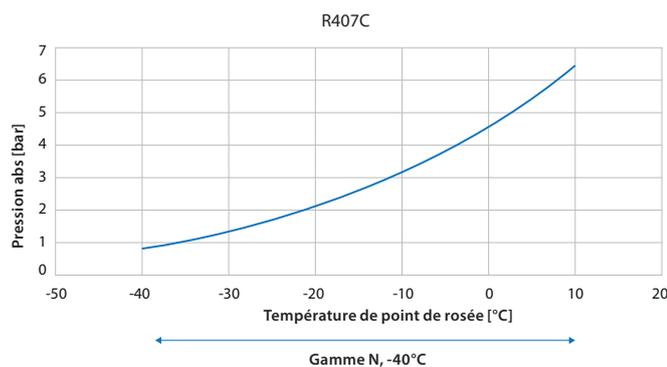
Détail du diagramme 3



2. Le retrofit d'un détendeur thermostatique avec la charge correcte n'est pas toujours possible :

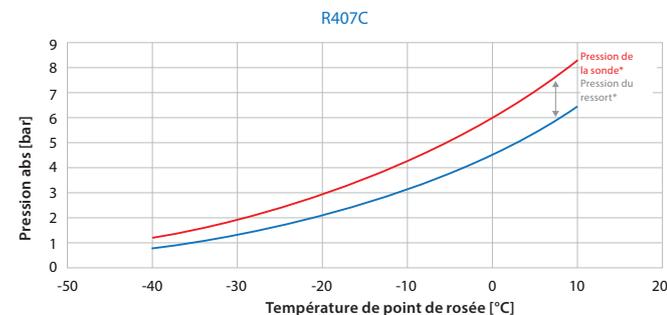
Ci-dessous une courbe de rosée comme au diagramme 1, mais convertie en une courbe classique de pression / température :

Diagramme 5



Afin d'augmenter la température du bulbe (surchauffé) requise pour ouvrir la vanne, la force exercée par le ressort est augmentée pour s'opposer à la pression de la sonde (bulbe) :
Pression du fluide + force du ressort = surchauffe

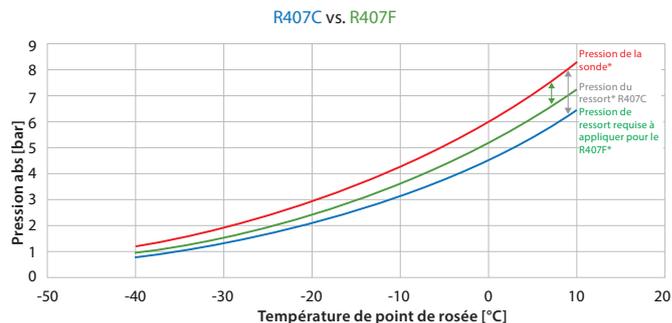
Diagramme 6



* Simplifiée, pour illustrer le principe

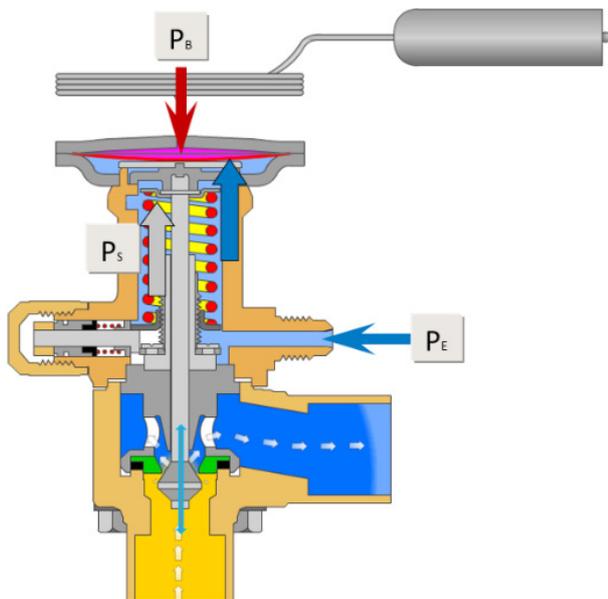
Lors d'un retrofit avec le R407F, la charge de R407C + la force/pression du ressort cause une valeur de surchauffe trop élevée. La force du ressort doit donc être réduite : Cela s'effectue en tournant la vis de réglage de la surchauffe dans le sens inverse des aiguilles d'une montre.

Diagramme 7

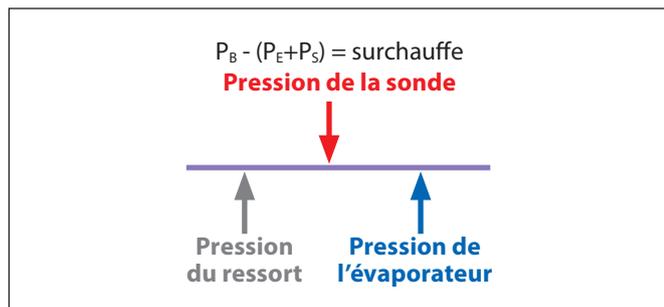


* Simplifiée, pour illustrer le principe

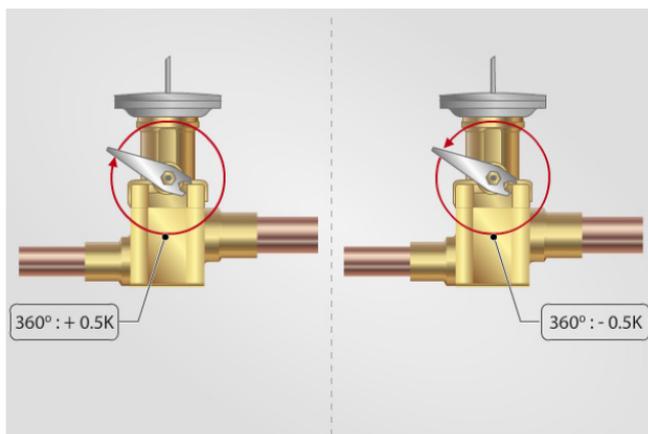
Forces au niveau d'une vanne et réinitialisation de la surchauffe statique



La pression de la sonde PB doit dépasser la pression d'évaporation PE + la pression du ressort PS.
En réduisant la pression du ressort au moyen du réglage de surchauffe, vous pouvez adapter la vanne à un fluide frigorigène pour lequel elle n'est pas conçue.



TE 5~55 surchauffe



Attention ! Si la correction dépasse environ 3 K, la qualité de la régulation peut se dégrader. Il est recommandé de choisir un autre type de charge, plus proche de la valeur cible.

Exemple :

Surchauffe statique SS = 4 K (réglage d'usine)

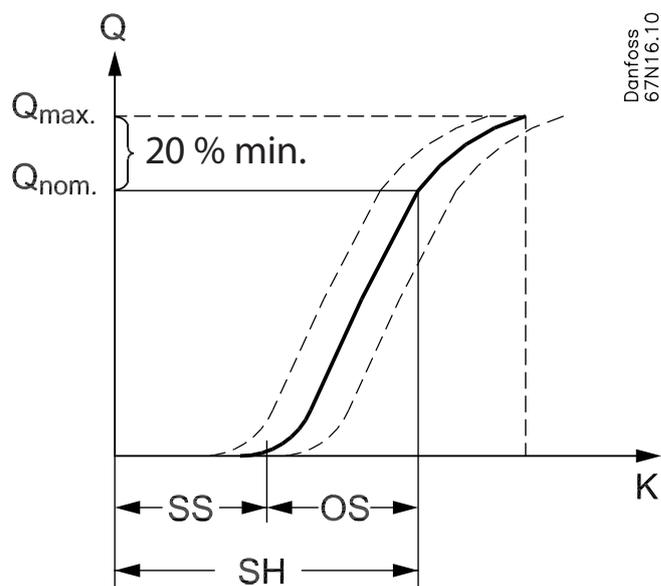
Surchauffe d'ouverture OS = 4 K

La surchauffe d'ouverture est de 4 K, c'est-à-dire à partir du point où la vanne commence à s'ouvrir jusqu'à la puissance nominale. La surchauffe d'ouverture est déterminée par conception et ne peut pas être modifiée.

Surchauffe totale SH = SS + OS

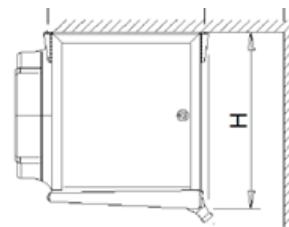
$$SH = 4 + 4 = 8 \text{ K}$$

La surchauffe totale SH peut être modifiée en changeant la SS (à l'aide de la tige de réglage).



Performances de l'évaporateur avec l'utilisation de fluides frigorigènes à glissement et conséquences sur l'application

En raison du glissement, certaines parties de la surface de l'évaporateur sont à basse température, ce qui peut augmenter le taux de déshumidification.

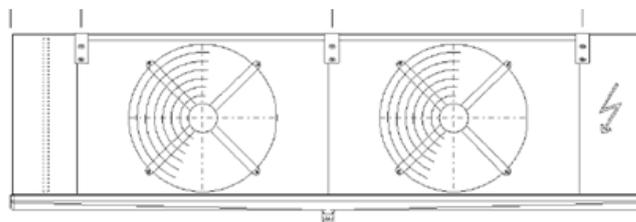


Examinons les valeurs d'exemple initiales :

(voir le diagramme 2)

Chambre froide, R507A, conditions dans la chambre froide 0 °C, h. rel. 80 %, différence de température moyenne 10 K. Puissance frigorifique environ 10 kW.

Type sélectionné : montage au plafond, surface de 32,7 m², 2 ventilateurs à 6 280 m³/h.



Résultats détaillés

R507A	Puissance	Δt_m	DT1	T évap rosée	Wsh	Temps de marche
	10,1 kW	10 K	10 K	-10 °C	6,5 K	18 h/jour
Évaporateur :	2 ventil. / 32,7 m ²					
Entrée d'air :	0 °C	H. rel. 80 %				
Sortie d'air :	-3,8 °C	H. rel. 95 %				
Débit d'air :	6 280 m ³ /h					
Déshumidification	47,75 kg/jour					

Retrofit avec R407F

Première étape : Le réglage de la surchauffe est le même qu'auparavant : 6,5 K

Une différence de température moyenne de 12 K entraîne une puissance augmentée à 12,5 kW et un temps de marche plus court. Un point négatif est le taux de déshumidification, qui a beaucoup augmenté. Cela peut être défavorable aux produits frais non emballés.

R407F	Puissance	Δt_m	DT1	T évap rosée	Wsh	Temps de marche
	12,5 kW	12 K	10 K	-10 °C	6,5 K	14,3 h/jour
Évaporateur :	2 ventil. / 32,7 m ²					
Entrée d'air :	0 °C	H. rel. 80 %				
Sortie d'air :	-4,7 °C	H. rel. 95 %				
Débit d'air :	6 280 m ³ /h					
Déshumidification	60,96 kg/jour					

Deuxième étape : réajustage du détendeur à une valeur de surchauffe de 5,3 K.

La surchauffe a été réduite à 5,3 K et la température d'évaporation de point de rosée a été augmentée à -8,1 °C afin d'obtenir une différence de température de 10 K (voir aussi le diagramme 3).

R407F	Puissance	Δt_m	DT1	T évap rosée	Wsh	Temps de marche
	10,8 kW	10 K	8,1 K	-8,1 °C	5,3 K	16,6 h/jour
Évaporateur :	2 ventil. / 32,7 m ²					
Entrée d'air :	0 °C	H. rel. 80 %				
Sortie d'air :	-4,1 °C	H. rel. 95 %				
Débit d'air :	6 280 m ³ /h					
Déshumidification	53,32 kg/jour					

Remarque importante :

Comme le montrent ces résultats, dans une application où la déshumidification est un paramètre crucial, la différence de température moyenne doit être plus faible qu'avec un fluide frigorigène unique ou un mélange azéotrope de fluides frigorigènes.

Effets particuliers :

Il a été observé, dans certaines applications basse température de plus grandes tailles utilisant un fluide frigorigène à glissement élevé, que le compresseur a été endommagé par coup de liquide. Il fallait faire l'opposé de la description ci-dessus. Le réglage de la surchauffe devait être augmenté pour protéger le compresseur. Les fluides frigorigènes à faible glissement ou sans glissement ne présentent pas ce type de conséquences dans les applications basse température.

Résumé :

Les composants pour fluides frigorigènes à glissement élevé doivent être dimensionnés et sélectionnés sur la base de la différence de température moyenne. En raison du glissement, il peut déjà être nécessaire de réajuster la surchauffe.

Un fluide frigorigène qui fonctionne pour un niveau de température donné ne fonctionne pas nécessairement de la même façon pour un autre niveau de température (par exemple air conditionné par rapport à basse température).

Les performances de chaque détendeur mécanique sont optimisées pour une utilisation avec un fluide frigorigène spécifique. Si vous utilisez un autre fluide frigorigène, le détendeur ne fonctionne pas exactement de la même façon ou avec le même niveau de contrôle de la surchauffe.

Si vous souhaitez réduire le risque de problèmes potentiels dans le système et préserver une régulation du système la plus stable possible, un détendeur thermostatique neuf adapté ou un détendeur électronique constitue une bonne option. Un détendeur électronique apporte également une plus grande flexibilité de conception ultérieure, si le contrôleur de surchauffe peut gérer le fluide frigorigène choisi. Danfoss s'attache à mettre à jour les contrôleurs pour les nouveaux fluides frigorigènes à faible PRG.

Remarque :

Les fluides frigorigènes et les conditions présentées dans ce document ne constituent pas des recommandations. Ce document a pour but de discuter objectivement des aspects physiques et de leur influence sur les composants et sur la conception des systèmes.

L'adéquation d'un détendeur Danfoss peut être déterminée au moyen de l'outil Low GWP Tool ci-dessous.

<http://refrigerationandairconditioning.danfoss.com/support-center/apps-and-software/low-gwp-tool/>

Voir aussi : ASERCOM, *Refrigerant Glide and Effect on Performances Declaration (Glissement de la température et impact sur la déclaration de performances)* (<http://asercom.org/guides>)