

PAR DAVE DEMMA

de Sporlan valve division Parker Hannifin



Traduit de l'anglais par Serge Tremblay

À quelle fréquence avons-nous entendu l'expression : « Ça ne fait plus de froid! ». Aussi étrange que cela puisse paraître, il est inapproprié d'utiliser l'expression « faire du froid » pour un système de réfrigération car il s'agit plutôt d'un transfert de chaleur. La chaleur de l'espace réfrigéré par le réfrigérant sera rejetée à l'air ambiant à l'aide du condenseur. L'obtention d'une température plus basse dans l'espace réfrigéré n'est qu'une résultante du processus de transfert de chaleur. Conceptualiser un système de réfrigération comme un procédé de transfert de chaleur permettra probablement un diagnostic plus précis.

Le diagramme Pression-Enthalpie (P-E) est très utile pour analyser les différents transferts de chaleur qui sont présents dans un système de réfrigération. La compréhension du diagramme s'avère un outil indispensable pour analyser l'efficacité et le fonctionnement d'un système de réfrigération. Allons explorer avec le réfrigérant l'intérieur d'un système de réfrigération afin d'en reproduire le processus sur le diagramme P-E. Avant de commencer, nous devons réviser quelques-unes des définitions suivantes :

Réfrigération : Procédé qui vise à rendre la température *intérieure* d'une enceinte inférieure à son environnement immédiat.

Chaleur latente de fusion : Quantité de chaleur (Btu par livre) nécessaire pour transformer une livre d'un état solide en état liquide.

Chaleur latente d'ébullition : Quantité de chaleur (Btu par livre) nécessaire pour transformer un état liquide en état vapeur.

Chaleur sensible : Chaleur absorbée ou rejetée par un corps qui modifie sa température sans en modifier l'état.

Chaleur latente : Chaleur absorbée ou rejetée par un corps qui modifie son état sans modifier sa température.

Température de saturation : La température à laquelle un liquide commence à s'évaporer ou que la vapeur se condense. La température de saturation ou la température d'évaporation est constante à une pression donnée (sauf les azéotropes) et croît avec l'augmentation de la pression. Un liquide ne peut être compressé au-dessus de sa température de saturation. Lorsqu'il y a présence de réfrigérant liquide et vapeur, le mélange correspond toujours à une température de saturation.

Surchauffe : C'est un écart de température entre la température de la vapeur et sa température de saturation correspondant à la pression lue.

Sous-refroidissement : C'est l'écart de température entre la température du liquide et sa température de saturation correspondant à la pression lue.

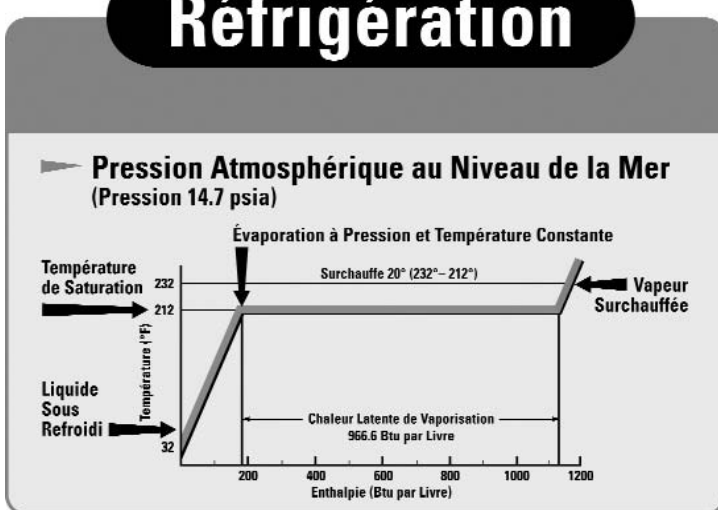
Tonne de réfrigération : Quantité de chaleur retirée à une tonne d'eau (32° F) afin de la transformer en glace sur une période de 24 heures.

Btu : Tiré de l'anglais « British Thermal Unit ». C'est la quantité de chaleur nécessaire pour élever une livre d'eau de 1 °F.

1 tonne : 12 000 btu/heure

En utilisant l'eau comme exemple de processus de transfert de chaleur, le schéma 1 illustre certaines définitions. Le schéma montre la température

Schéma 1



de l'eau correspondante à son enthalpie (chaleur interne en btu/livre). Nous savons que le point d'ébullition de l'eau est de 212 °F correspondant à la pression atmosphérique située au niveau de la mer. À la pression atmosphérique et à une température inférieure à 212 °F, l'eau est par définition sous-refroidie. Poursuivons notre exemple de transfert de chaleur avec de l'eau sous-refroidie à 42 °F. En assumant que nous avons une livre d'eau, chaque ajout de chaleur de 1 btu correspond à une augmentation de 1°F (voir définition de btu). En continuant l'ajout de chaleur, la température de l'eau augmentera jusqu'à 212 °F (température de saturation à la pression atmosphérique). À point précis, l'eau débute la transformation de liquide en vapeur (point d'ébullition). Lors de la transformation, le schéma démontre que la température est constante à une pression donnée. La température de saturation (point d'ébullition) est la température maximale d'un liquide à une pression donnée. L'augmentation du transfert de chaleur à l'eau ne fait qu'augmenter le taux d'évaporation de l'eau. Ainsi, la température de l'eau est de 212 °F pendant la transformation. Lorsque le liquide est complètement évaporé, l'ajout de chaleur fera augmenter la température de celle-ci. Par définition, la vapeur à 230 °F est surchauffée de 20 °F.

Il est intéressant de constater qu'un seul btu est nécessaire pour augmenter une livre d'eau de 1 °F, comparativement à presque 1 000 fois plus de chaleur (966.6 btu) pour évaporer une masse d'eau d'une livre. Pour chaque unité de masse, l'eau liquide absorbera plus de chaleur que la vapeur qui subit une augmentation de température. Ce concept permet de comprendre pourquoi il est préférable de mouiller au maximum la surface d'un évaporateur de réfrigérant liquide. Autrement, le plein potentiel de transfert de chaleur de l'évaporateur n'est pas utilisé.

Le schéma 2 démontre l'ensemble des propriétés utiles du réfrigérant R-22. La cloche à gauche des lignes du diagramme représente la zone où le réfrigérant est saturé. La courbe bleue à gauche de la cloche correspond à la saturation du liquide à 100 %, la courbe pointillée à droite cor-

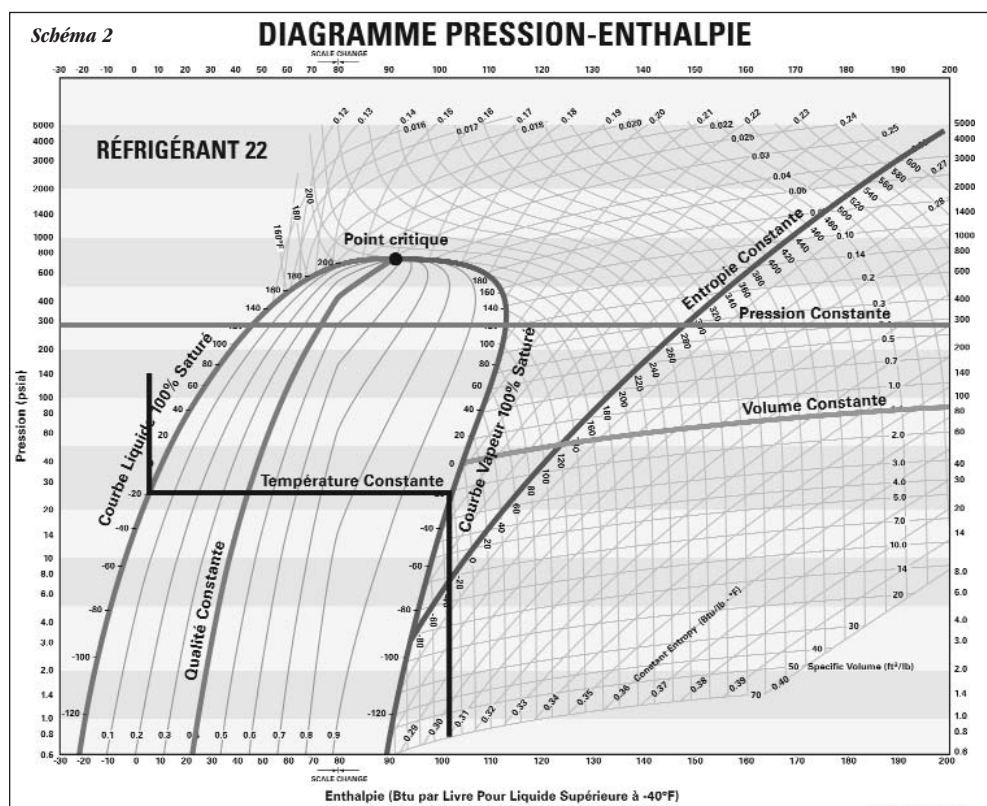
respond à la saturation de la vapeur à 100 % et la zone sous la courbe représente un mélange saturé de liquide et de vapeur.

La surface à gauche de la courbe de saturation de liquide correspond au sous-refroidissement du réfrigérant. C'est-à-dire, la température possible du réfrigérant liquide inférieure à sa température de saturation. La surface à droite de la courbe de saturation de vapeur correspond à la surchauffe. C'est-à-dire, la température possible du réfrigérant vapeur au-dessus de sa température de saturation. Le point critique est la température maximale qu'un réfrigérant existe sous forme liquide.

la zone surchauffée avec une légère pente. Les unités du volume spécifique sont exprimées en pieds cubes par livres.

Entropie : L'entropie est une relation mathématique entre la chaleur et la température qui indique l'énergie disponible. Ces lignes partent de la ligne des vapeurs saturées et s'allongent vers la zone de la surchauffe. La présence des lignes d'entropie sur le diagramme est utile pour représenter la compression de la vapeur d'un cycle parfait à entropie constante.

Qualité : Il s'agit des lignes verticales sous la zone de saturation qui indiquent le pourcentage de vapeur présent dans le mélange liquide/vapeur.



Les propriétés pertinentes sont illustrées au **schéma 2** :

Pression absolue : Les lignes horizontales (voir ligne pointillée) du diagramme correspondent à la pression absolue en psia. Pour obtenir la pression manométrique, il faut soustraire la pression atmosphérique de la pression absolue.

Enthalpie : Les lignes verticales du diagramme correspondent à la chaleur interne du réfrigérant en btu par livre.

Température : En général, les lignes de température constante sont verticales dans les zones de surchauffe et de sous-refroidissement. Elles sont horizontales sous la cloche dans la zone de saturation à pression constante. Ces lignes sont représentées par la ligne pliée en gras.

Volume spécifique (volume massique) : Les lignes de volume massique ont comme origine la courbe de vapeur saturée et s'éloignent vers

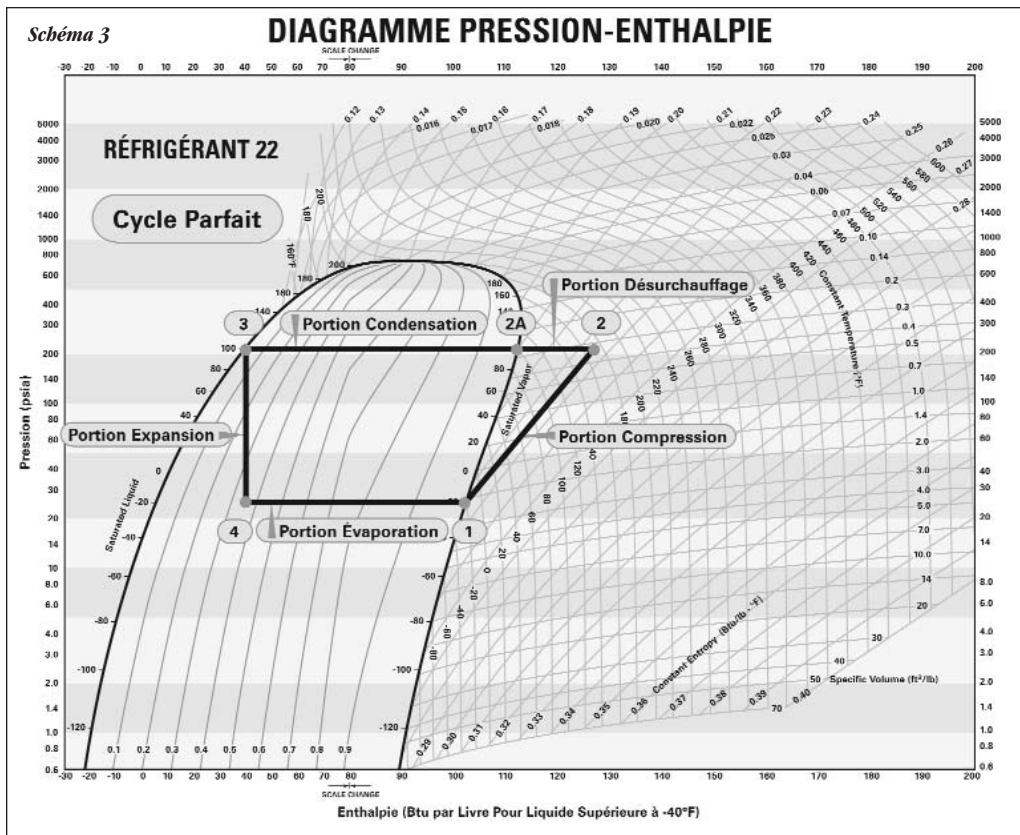
La fonction première d'un système de réfrigération est de mettre en place les conditions optimales afin que le réfrigérant remplisse sa fonction de médium de transfert de chaleur dans l'enceinte réfrigérée. Si la température de conception de l'enceinte est de -10 °F, il est nécessaire que le réfrigérant situé dans l'évaporateur soit à une température inférieure, soit -20 °F. Ainsi, on obtient une différence de température (dt) de 10 °F. Ces conditions permettent à l'air relativement plus chaud (au-dessus de -10 °F) de se refroidir lors de son passage dans l'évaporateur dont le réfrigérant est à -20 °F. Le transfert de chaleur se produit entre l'air plus chaud et le réfrigérant plus froid.

La fonction du compresseur est d'aspirer le réfrigérant vapeur à basse pression et de le refouler à une pression plus élevée. En théorie, cette étape s'effectue à entropie constante. En effet, lors d'un cycle parfait le réfrigérant est aspiré sous forme vapeur et saturée, c'est-à-dire sans surchauffe.

LE CYCLE PARFAIT

Si les températures et pressions d'opération sont connues, on peut tracer le cycle sur un diagramme P-E. Par exemple, un système possède une température d'évaporation de -20 °F et une température de condensation de 100 °F.

La vapeur saturée à -20 °F qui entre au compresseur est illustrée au point 1 du **schéma 3**. La vapeur est comprimée vers le point 2 en suivant les lignes d'entropie constante jusqu'à une température de condensation de 100 °F ou 210.7 psia. La surchauffe de la vapeur est augmentée lors de la compression. La surchauffe élevée de la vapeur est causée par une augmentation importante de la chaleur sensible lors du processus de compression. La surchauffe est illustrée par la ligne à partir du point 2 vers la courbe de saturation au point 2A. Le point 2 correspond au refoulement du compresseur et à l'entrée du condenseur puisqu'un cycle frigorifique idéal ne considère pas la perte de pression de la tuyauterie et des composants.



sa capacité de détenteur, de la charge frigorifique et des conditions d'opération du système. Si une température d'évaporation constante est désirée, il suffit de maintenir la pression d'évaporation correspondante à la température de saturation. Un régulateur de pression d'évaporateur est ainsi utilisé.

Pour notre exemple de cycle idéal, le détenteur offre une résistance jusqu'à une pression d'évaporation constante de 24.9 psia. Ceci correspond à une température de saturation de -20 °F. Notez que la qualité du réfrigérant liquide est passée de 0 % à l'entrée du détenteur à 35 % à l'entrée de l'évaporateur. Le sous-refroidissement et la surchauffe ne peuvent exister que s'il y a une présence simultanée de réfrigérant liquide et de vapeur. Ainsi chaque endroit du système où il y a présence de liquide et de vapeur possède une température correspondante à la pression de saturation. Soit, le réservoir, l'évaporateur, le condenseur et parfois l'accumulateur. Par conséquent, la température de saturation du R-22 possède une pression absolue de 24.9 psia (10.2 psig) correspondant à une température de -20 °F.

Lors d'un cycle idéal, le condenseur possède deux fonctions. D'abord la vapeur haute pression doit être désurchauffée afin d'atteindre la pression de saturation correspondante à sa condensation. Le transfert de chaleur doit être suffisant pour abaisser la température de la vapeur de 180 °F à 100 °F. Ensuite, la condensation peut débiter (point 2A). À mesure que le réfrigérant vapeur transfère sa chaleur au médium (condenseur air ou eau) la qualité du réfrigérant, c'est-à-dire le pourcentage de vapeur présent dans le réfrigérant liquide, diminue jusqu'à ce que la condensation complète. Le point 3 illustre la fin de la condensation pour un cycle idéal. En réalité, il est nécessaire d'obtenir du sous-refroidissement à la sortie du condenseur. Un sous-refroidissement offre une marge de sécurité contre la vaporisation instantanée du liquide causée par la perte de pression des composants et de la tuyauterie de la ligne de liquide.

Au point 3, le réfrigérant est sous haute pression, à une température élevée et totalement liquide. Une autre étape est nécessaire avant que le réfrigérant liquide devienne un médium important de transfert de chaleur. Sa température doit diminuer par une réduction de sa pression. La relation entre la pression et la température d'un réfrigérant est infaillible. Si la pression d'un liquide saturé est réduite, sa température doit nécessairement diminuer jusqu'à la nouvelle pression de saturation.

Ainsi, pour réduire la température du liquide la pression doit être réduite à l'aide d'une restriction. Il est préférable que la restriction puisse varier en fonction de la charge frigorifique du système. C'est exactement le rôle du détenteur thermostatique. Ce dernier abaisse la pression du liquide en modulant afin de maintenir une surchauffe constante à la sortie de l'évaporateur. Le détenteur thermostatique est un contrôleur de surchauffe et sa fonction n'est pas de maintenir la pression d'évaporation constante. Il crée une restriction à un niveau correspondant à la capacité du compresseur, de

Grâce à la relation entre la pression et la température, la réduction de pression du réfrigérant de 210.7 psia (100 °F) à 24.9 force la température du liquide à diminuer jusqu'à -20 °F. Une partie du liquide doit s'évaporer pour atteindre cette nouvelle température. Un transfert de chaleur est présent lors de la réduction de température du liquide. Le processus d'ébullition lors du transfert de chaleur explique l'augmentation de la qualité de la vapeur. Plus l'écart est important entre la température du liquide et la température de l'évaporateur, plus il y aura évaporation du liquide pour atteindre la nouvelle température de saturation. Ceci augmentera davantage la qualité du liquide.

Finalement, un mélange de réfrigérant vapeur et liquide s'écoule dans les différents circuits de l'évaporateur. L'air chaud qui traverse l'évaporateur transfère sa chaleur au réfrigérant qui s'évapore. Le changement d'état du réfrigérant liquide en vapeur, appelé chaleur latente, se produit sans qu'il n'y ait de changement de température. Dans un cycle idéal, la dernière goutte de liquide transformée en vapeur à la sortie de l'évaporateur se dirige immédiatement à l'aspiration du compresseur. Ainsi, le réfrigérant vapeur à l'entrée du compresseur est saturé.

Le cycle frigorifique continu de cette façon jusqu'à ce que la température ambiante désirée soit atteinte et que le système frigorifique arrête. Une fois le cycle frigorifique tracé sur l'abaque, chaque point peut être analysé et utilisé lors de la conception du système. L'utilisation de cette information peut sembler inutile pour un technicien de service. Cependant, la compréhension de l'effet des conditions d'opération sur la conception, l'efficacité, la consommation énergétique et plus spécifiquement la performance d'un compresseur est très utile pour le technicien de service. ☺

Suite au prochain numéro.