

Connaissances de base Cycle frigorifique

Le cycle frigorifique peut être décrit comme étant une suite de transformations d'état d'un agent réfrigérant. Cette suite de changements s'effectue de manière périodique, avec un retour incessant à l'état initial (cycle). Ce qui est important en génie frigorifique, ce sont les variables d'état telles que la pression, la température et la densité, ainsi que leur interdépendance.

Les procédés thermodynamiques du cycle frigorifique sont complexes. Étant donné les trois états possibles de l'agent réfrigérant (liquide, bouillant et gazeux), les calculs au moyen de formules et tableaux nécessitent beaucoup de travail. C'est pourquoi on a introduit le diagramme log p,h, dans un souci de simplification.

Ce diagramme log p,h permet en effet de représenter graphiquement les différentes variables d'état en fonction de leurs dépendances. Pour chaque point d'état, les variables d'état

thermodynamiques peuvent être lues directement, et sont ainsi disponibles pour des calculs complémentaires. Les quantités de chaleur, le travail technique ou les différentiels de pression d'une transformation d'état sont indiqués sous forme de lignes mesurables. L'utilisation du diagramme log p,h simplifie considérablement les calculs thermodynamiques, et elle est incontournable pour comprendre le fonctionnement des installations frigorifiques.

De ce fait, notre logiciel pour appareils frigorifiques offre une représentation en temps réel de chaque diagramme log p,h. Toutes les modifications des paramètres de fonctionnement sont directement visibles sur le diagramme; cela permet de bien appréhender la formation des états thermodynamiques, qui seraient sinon observés uniquement d'un point de vue statique.

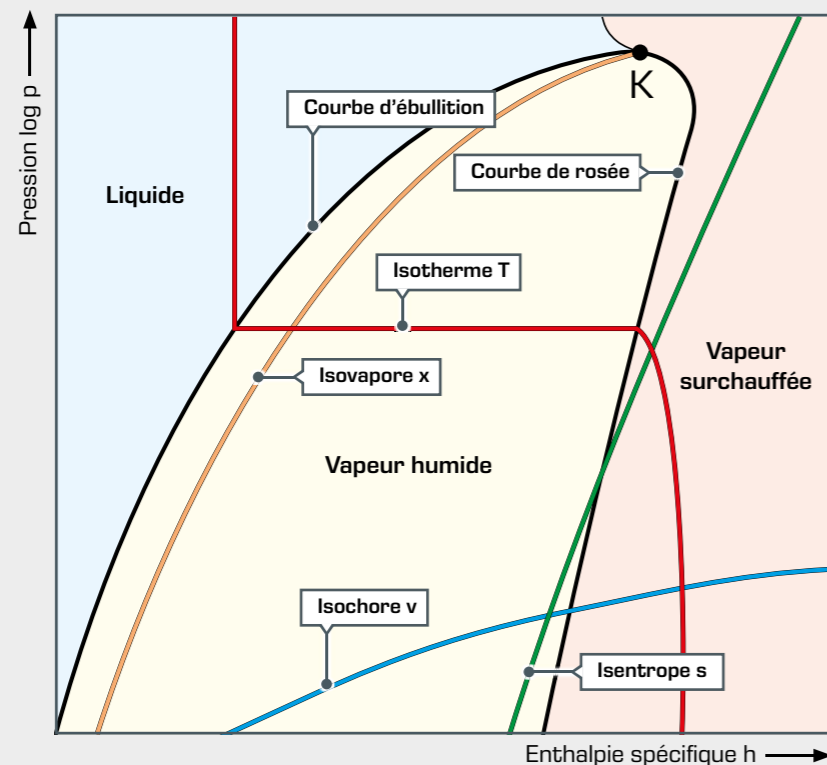
De manière générale, un diagramme log p,h montre l'état physique d'une matière en fonction de la pression et de la chaleur. En génie frigorifique, le diagramme est réduit aux zones requises qui correspondent aux états **liquides** et **gazeux** ainsi qu'au **mélange des deux**.

L'axe vertical représente la pression de manière logarithmique, et l'axe horizontal représente l'enthalpie spécifique avec mise à l'échelle linéaire. En conséquence, les isobares ont un tracé horizontal et les isenthalpes un tracé vertical. La mise à l'échelle logarithmique permet la représentation de processus présentant des différentiels de pression élevés.

Au point critique **K**, les courbes de condensation et d'ébullition se rejoignent.

Les variables d'état thermodynamiques à chaque phase peuvent être lues sur le diagramme log p,h.

- pression **p**
- enthalpie spécifique **h**
- température **T**
- volume spécifique **v**
- entropie spécifique **s**
- part de gaz **x**

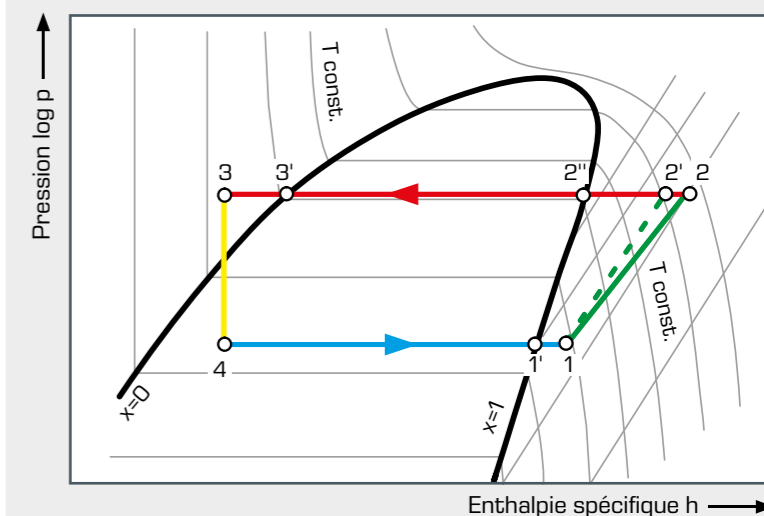


Le cycle frigorifique dans le diagramme log p,h

La particularité du cycle frigorifique est qu'il fonctionne dans le sens inverse des aiguilles d'une montre, c'est-à-dire à l'opposé de celui du cycle de Brayton ou du cycle de vapeur. Une transforma-

tion d'état se produit lorsque l'agent réfrigérant traverse l'un des quatre composants principaux de l'installation frigorifique. Le cycle frigorifique réel se compose des transformations d'état suivantes:

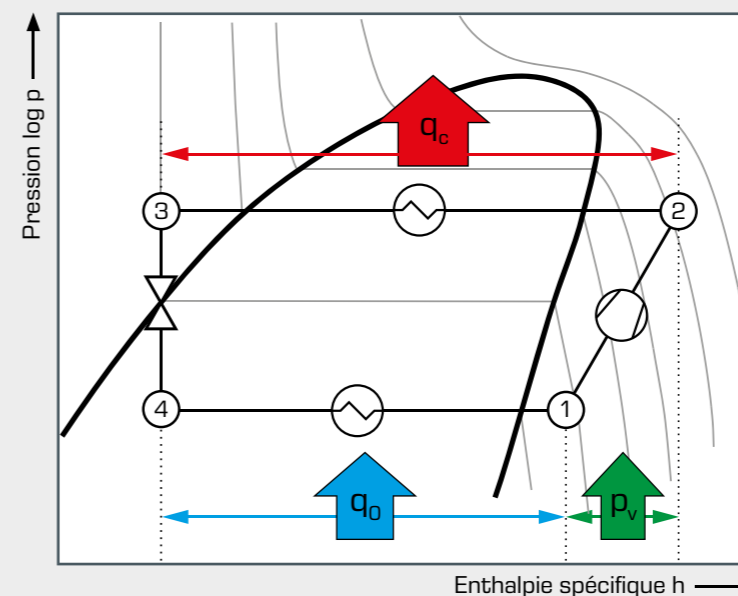
1 – 2	compression polytropique à la pression de condensation (par rapport à 1 – 2' compression isentropique)
2 – 2''	refroidissement isobare, déshumidification de la vapeur surchauffée
2'' – 3'	condensation isobare
3' – 3	refroidissement isobare, surrefroidissement du liquide
3 – 4	détente isenthalpique à la pression d'évaporation
4 – 1'	évaporation isobare
1' – 1	chauffage isobare, surchauffage de la vapeur



Cycle frigorifique dans le diagramme log p,h

■ compresseur, ■ condenseur, ■ soupape de détente, ■ évaporateur

En outre, des pertes de charge se produisent également dans le cycle frigorifique réel, de sorte que l'évaporation et la condensation ont un tracé qui n'est pas tout à fait horizontal (isobare).



Les **quantités d'énergie spécifiques** absorbées et libérées pour atteindre les points d'état sont représentées sous la forme de lignes dans le diagramme log p,h. L'enthalpie spécifique **h** peut être lue pour chaque point d'état directement sur le diagramme log p,h.

Lorsque le débit massique de l'agent réfrigérant est connu, la **puissance thermique** correspondante peut être calculée à l'aide de l'enthalpie spécifique à chaque point d'état.

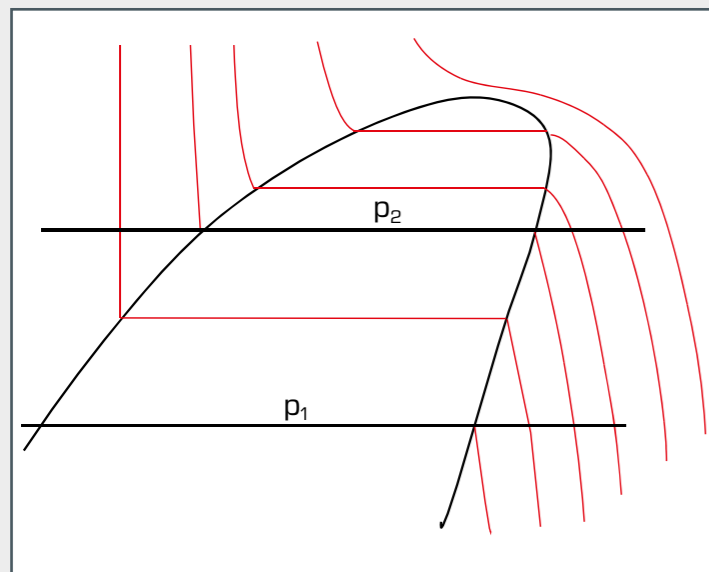
- La ligne $h_1 - h_4 = q_0$ correspond au refroidissement et permet, par une multiplication avec le débit massique, d'obtenir la **puissance frigorifique**.
- La ligne $h_2 - h_1 = p_v$ correspond au travail technique du compresseur qui est réellement transféré à l'agent réfrigérant.
- La ligne $h_2 - h_3 = q_c$ correspond à la chaleur émise et donne la **puissance du condenseur** lorsqu'on la multiplie par le débit massique. Il s'agit de la chaleur perdue d'une installation frigorifique.

Connaissances de base

Représentation d'un cycle frigorifique dans le diagramme log p,h

La digression sert à comprendre la relation fonctionnelle entre les composantes de l'installation frigorifique et les processus thermodynamiques. Les variables d'état suivantes sont nécessaires pour représenter un cycle frigorifique dans le diagramme log p,h:

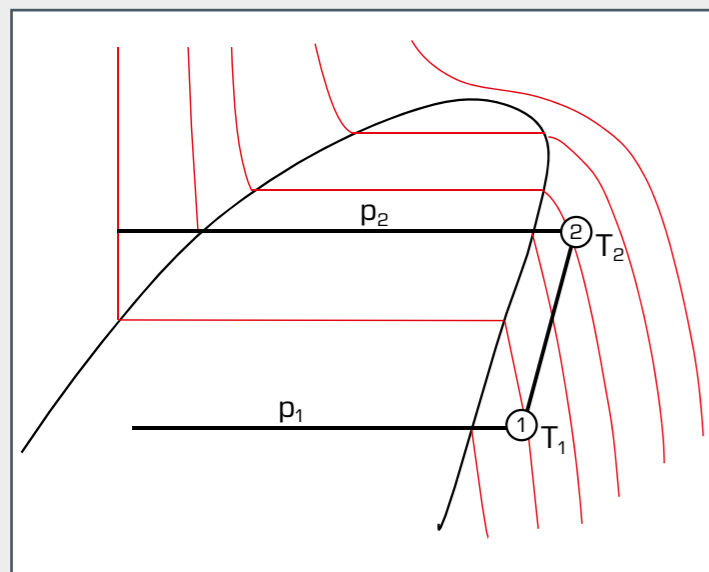
- p_1 pression d'évaporation
- T_1 température à l'entrée du compresseur
- p_2 pression de condensation
- T_2 température à l'entrée du condenseur
- T_3 température à la sortie du condenseur

1^{re} étape: inscrire les isobares de délimitation

Il faut commencer par inscrire les transformations d'état isobares dans le diagramme.

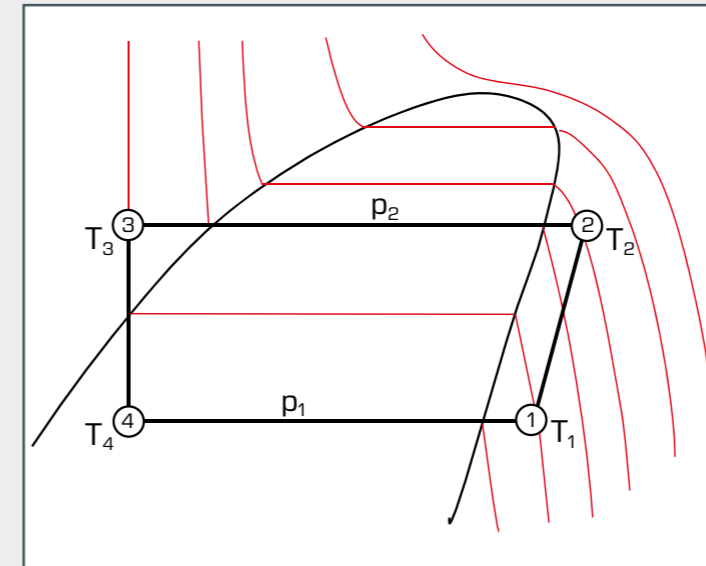
- p_1 pression d'évaporation
- p_2 pression de condensation

Ici, il est important d'inscrire les pressions absolues dans le diagramme.

2^e étape: inscrire le cycle de compression

Une fois que les isobares de limitation sont inscrits dans le diagramme, il est possible d'y inscrire le cycle de compression.

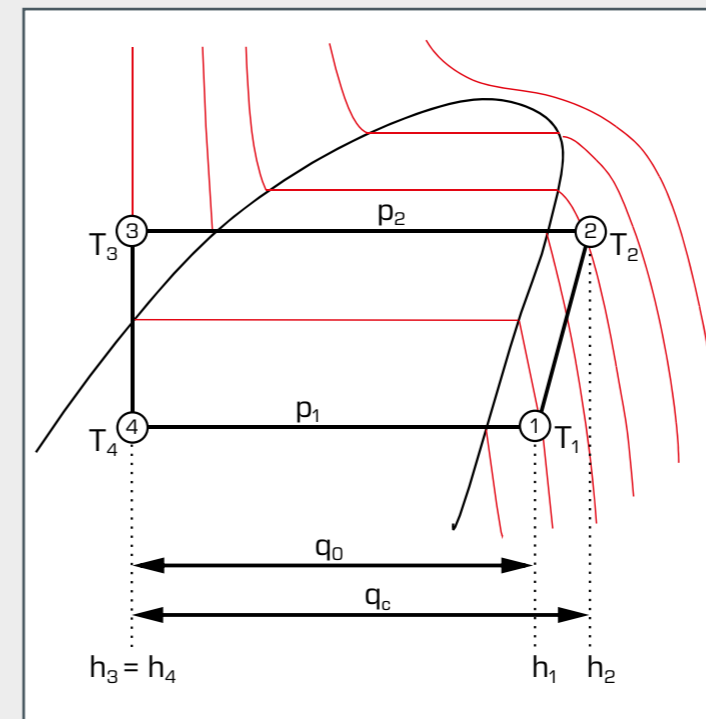
- en marquant l'intersection des isobares p_1 avec la température à l'entrée du compresseur T_1 , on obtient le point d'état 1.
- en marquant l'intersection des isobares p_2 avec la température à l'entrée du condenseur T_2 , on obtient le point d'état 2.
- la liaison entre les deux points d'état 1 et 2 décrit le cycle de compression.

3^e étape: inscrire la détente isenthalpique

Le cycle de détente s'inscrit de la manière suivante dans le diagramme:

- en marquant l'intersection des isobares p_2 avec la température à la sortie du condenseur T_3 , on obtient le point d'état 3.

La détente est un processus isenthalpique. Par conséquent, le point d'intersection tracé précédemment peut être relié par une ligne verticale aux isobares p_1 . Cela donne le dernier point d'état 4 avec la température d'évaporation T_4 .

4^e étape: reporter des valeurs d'enthalpie spécifiques

Pour calculer les états de fonctionnement d'une installation frigorifique, il est nécessaire de déterminer les enthalpies spécifiques des différentes transformations d'état. Il faut pour cela procéder de la manière suivante:

En reliant verticalement les points d'état avec l'axe X, on peut lire l'enthalpie spécifique.

- h_1 enthalpie spéc. après l'évaporateur
- h_2 enthalpie spéc. après le compresseur
- h_3 enthalpie spéc. après le condenseur
- h_4 enthalpie spéc. après la soupape de détente

La puissance frigorifique spécifique q_0 et la puissance spécifique du condenseur q_c peuvent être lues directement sur le diagramme log p,h.

Puissance frigorifique spécifique $q_0 = h_1 - h_4$

Puissance spécifique du condenseur $q_c = h_2 - h_3$