

# Exploration d'une installation de réfrigération dans le diagramme entropique

## Introduction

L'objectif de cette exploration est de vous faire découvrir le cycle d'une installation de réfrigération dans le diagramme thermodynamique entropique (T, s).

Elle complète celle de la dernière semaine du MOOC CTC-MS (S-M3-V9), où le cycle était présenté, avec des explications sur son paramétrage et sa représentation dans le diagramme (h, ln(P)) des frigoristes.

## Chargement d'un modèle

### 1. Charger le modèle

Cliquez sur le lien suivant :

Ouvrir un fichier dans Thermoptim

Vous pouvez aussi ouvrir le fichier de schéma (frigo18.dia) grâce au menu "Fichier/Ouvrir" du menu de l'éditeur de schémas, et le fichier de projet (frigo18.prj) grâce au menu "Fichier de projet/Charger un projet" du menu du simulateur.

## Tracé du cycle dans le diagramme entropique

### 1. Première étape : chargement du diagramme entropique du R134a

Cliquez sur

ce bouton

Vous pouvez aussi ouvrir le diagramme grâce à la ligne "Diagramme Interactifs" du menu "Spécial" de l'écran du simulateur, qui ouvre une interface qui relie le simulateur et le diagramme. Double-cliquez dans le champ situé en haut à gauche de cette interface pour choisir le type de diagramme souhaité (ici "Vapeurs condensables").

Une fois le diagramme ouvert, choisissez "R134a" dans le menu Corps, et sélectionnez "(T,s)" dans le menu "Graphe".

### 2. Deuxième étape : chargement d'un cycle pré-enregistré correspondant au projet chargé, dont le tracé a été préalablement affiné afin d'être plus précis

Cliquez sur

ce bouton

Vous pouvez aussi ouvrir ce cycle de la manière suivante : dans la fenêtre du diagramme, choisissez "Charger un cycle" dans le menu Cycle, et sélectionnez "frigo18Fin.txt" dans la liste des cycles disponibles. Cliquez ensuite sur la ligne "Points reliés" du menu Cycle.

### 3. Analyse du cycle

Le point 1 légèrement surchauffé par rapport à la vapeur saturée est placé sur l'isobare 2 bar.

La compression irréversible se traduit par une augmentation de l'entropie. Le refroidissement par l'air extérieur comporte deux étapes : une désurchauffe (2 - 3a) dans la zone vapeur et une condensation selon le segment de droite horizontale (3a - 3).

Le laminage isenthalpique (3 - 4) conduit à une augmentation de l'entropie, le point 4 étant situé dans la zone d'équilibre liquide-vapeur.

L'effet utile, la production de froid à l'évaporateur, correspond à l'horizontale qui passe par le point 4, excepté pour la légère surchauffe qui conduit au point 1.

#### 4. Repérage de quelques points caractéristiques dans le diagramme

Quel est le point en zone liquide ?

Quel est le point en zone diphasique ?

Quel est le point dont la température est la plus élevée ?

#### Comparaison avec le cycle de Carnot inverse

$$COP = \frac{T_2}{T_1 - T_2}$$

Le cycle de Carnot inverse est celui qui conduit au meilleur COP. Il est donné par cette formule,  $T_1$  et  $T_2$  étant les températures des sources chaude et froide ( $T_1 > T_2$ ), exprimées en K et non en °C.

La comparaison avec le cycle de Carnot inverse se fera en quatre étapes :

1. affichage des températures des sources externes dans le diagramme entropique
2. affichage d'un premier cycle de Carnot inverse
3. affichage d'un second cycle de Carnot inverse
4. comparaison du cycle du projet et du cycle de Carnot inverse

##### 1. Première étape

**On affiche sur le diagramme la valeur de la température du compartiment froid (-5 °C)**

Cliquez sur

Vous pouvez aussi ouvrir ce cycle de la manière suivante : dans la fenêtre du diagramme, choisissez "Charger un cycle" dans le menu Cycle, et sélectionnez "frigoTsourceFroide.txt" dans la liste des cycles disponibles.

*Notez bien que le réfrigérant s'évapore à une température inférieure à celle du compartiment froid*

Quel est l'écart de température (R134a - compartiment froid) ?

**On affiche sur le diagramme la valeur de la température de l'air extérieur (18 °C)**

Cliquez sur

Vous pouvez aussi ouvrir ce cycle de la manière suivante : dans la fenêtre du diagramme, choisissez "Charger un cycle" dans le menu Cycle, et sélectionnez "frigoTairExt.txt" dans la liste des cycles disponibles.

*Notez bien que le réfrigérant se condense à une température supérieure à celle de l'air extérieur.*

Quel est l'écart moyen de température (R134a – air extérieur) pendant l'étape de condensation ?

##### 2. Deuxième étape

**Chargement du cycle de Carnot inverse relatif au frigorigène, c'est-à-dire correspondant à un cycle évoluant entre les températures extrêmes du frigorigène. Attention, le point D n'a pas de réalité physique**

Cliquez sur

Vous pouvez aussi ouvrir ce cycle de la manière suivante : dans la fenêtre du diagramme, choisissez "Charger un cycle" dans le menu Cycle, et sélectionnez "frigoCarnot.txt" dans la liste des cycles disponibles.

### Calcul du COP de Carnot inverse

*Pour calculer le COP de Carnot inverse, déterminez les valeurs en K des températures chaude et froide, et appliquez la formule ci-dessus.*

Entrez la valeur de la température du point 4 en Kelvin

Entrez la valeur de la température du point 2 en Kelvin

Calculez le COP de ce cycle de Carnot inverse et entrez-le

### 3. Troisième étape

**Chargement du cycle de Carnot inverse relatif aux sources externes, c'est-à-dire correspondant à un cycle évoluant entre les températures des deux sources externes.**

Chargement d'un deuxième cycle de Carnot inverse

*Calculez le COP de Carnot inverse du cycle délimité par les points a,b,c et d.*

*En comparant la valeur trouvée pour ce cycle de Carnot inverse et pour le précédent, vous pouvez juger de l'impact des irréversibilités dues aux écarts de température.*

Cliquez sur

Vous pouvez aussi ouvrir ce cycle de la manière suivante : dans la fenêtre du diagramme, choisissez "Charger un cycle" dans le menu Cycle, et sélectionnez "frigoCarnotSources.txt" dans la liste des cycles disponibles.

Entrez la valeur de la température du point d en Kelvin

Entrez la valeur de la température du point c en Kelvin

Calculez le COP de ce cycle de Carnot inverse et entrez-le

### Effacement du deuxième cycle de Carnot inverse

Nous avons affiché les deux cycles de Carnot inverse qui pouvaient être a priori considérés pour le réfrigérateur, mais seul celui relatif au frigorigène peut servir de référence dans le cas présent du fait de la nécessité de prendre en compte un écart de température entre le frigorigène et les sources externes. Pour la suite du scénario, nous effaçons le cycle de Carnot inverse relatif aux sources externes

Cliquez sur

Vous pouvez aussi effacer les différents cycles devenus inutiles en opérant comme suit : Affichez le Gestionnaire de cycles à partir du menu Cycle. Cliquez sur le bouton "Mettre à jour la table des cycles", et désélectionnez les lignes que vous ne souhaitez pas voir apparaître sur le diagramme.

### 4. Quatrième étape : comparaison du cycle du projet étudié et du cycle de Carnot inverse

Vous allez maintenant pouvoir comparer le cycle du projet étudié au cycle de Carnot inverse relatif au frigorigène.

Soit  $\Delta T_{\text{chaud}}$  l'écart entre la température haute du cycle de Carnot inverse et celle de l'air extérieur.

Soit  $\Delta T_{\text{froid}}$  l'écart entre la température basse du cycle de Carnot inverse et celle du compartiment froid.

### Analyse des écarts de température

écarts de température entre le réfrigérateur et les sources externes

*Sur le plan technologique, l'échangeur de chaleur ayant une dimension finie, le fluide de travail ne peut être à la même température que les sources externes, ce qui constitue une première différence avec le cycle de Carnot inverse*

$\Delta T_{\text{chaud}}$  est près de 3 fois supérieur à  $\Delta T_{\text{froid}}$   $\Delta T_{\text{chaud}}$  est près de 2 fois supérieur à  $\Delta T_{\text{froid}}$   $\Delta T_{\text{chaud}}$  est voisin de  $\Delta T_{\text{froid}}$   $\Delta T_{\text{chaud}}$  est près de 2 fois inférieur à  $\Delta T_{\text{froid}}$   $\Delta T_{\text{chaud}}$  est près de 3 fois inférieur à  $\Delta T_{\text{froid}}$

### Prise en compte des écarts de température dus à la désurchauffe

*Du fait de la nécessité de désurchauffer le réfrigérant avant de le condenser, le cycle présente une "corne" entre les points 2 et 2a qui explique que  $\Delta T_{\text{chaud}}$  soit supérieur à  $\Delta T_{\text{froid}}$*

Quelle est la valeur de l'écart  $T_2 - T_{3a}$  ?

Quelle est la valeur de l'écart  $T_D - T_{\text{air extérieur}}$  ?

Quelle est la valeur de l'écart  $T_{\text{compartiment froid}} - T_c$  ?

### Prise en compte des irréversibilités de compression

*La compression peut être supposée adiabatique, mais non pas isentropique, compte tenu des irréversibilités qui prennent place dans le compresseur, ce qui induit un nouvel écart avec le cycle de Carnot inverse.*

*Pour répondre à la question, ouvrez l'écran du compresseur, entrez un rendement isentropique égal à 1, et recalculer la transfo*

Quelle serait la température de fin de compression isentropique ?

### Prise en compte des irréversibilités de détente

*En théorie, il serait possible de réaliser une détente proche de l'isentropique, mais la réalité technologique est autre, et ceci pour trois raisons :*

1. *la détente d'un mélange diphasique se fait, sauf précautions particulières, avec un mauvais rendement isentropique*
2. *le travail mis en jeu reste très faible*
3. *il n'existe pas de machine de détente appropriée et bon marché, surtout pour les machines frigorifiques de petite puissance.*

Quelle est l'augmentation d'entropie due à la détente ?

## Conclusion

Cette exploration vous a permis de vous familiariser avec la représentation du cycle d'une installation de réfrigération dans le diagramme entropique et de le comparer avec le cycle de Carnot inverse.