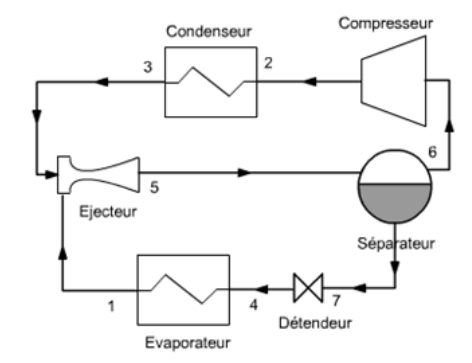


# Exploration d'une installation de réfrigération à éjecteur

Cycle de réfrigération à éjecteur, sans sous-refroidissement et avec surchauffe de 5 °C,  $T_{air} = 32\text{ °C}$

## Introduction



Un cycle frigorifique à éjecteur avec compresseur se présente comme suit :

En sortie du condenseur, le frigorigène à haute pression et à l'état liquide est détendu comme fluide moteur de l'éjecteur et devient diphasique, entraînant et comprimant le frigorigène à basse pression sortant de l'évaporateur

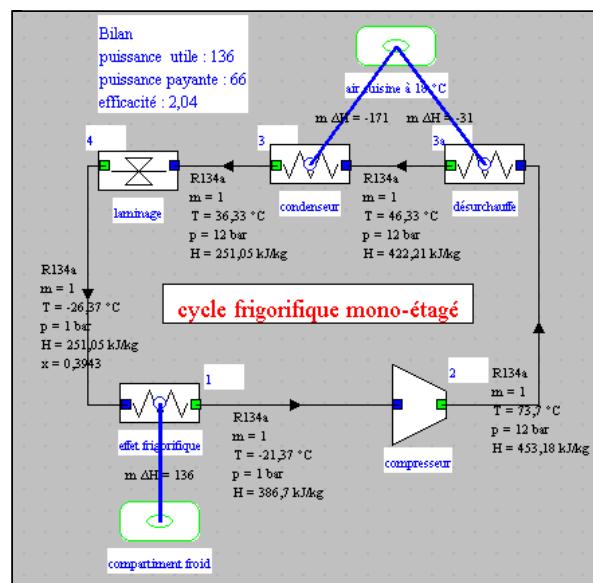
Le mélange sortant de l'éjecteur à la pression intermédiaire est alors séparé, la phase vapeur étant comprimée à haute pression, et la phase liquide détendue sans travail puis dirigée vers l'évaporateur

### 1. Cycle de référence

Le cycle de référence au R134a est le même que celui utilisé pour l'exploration sur le cycle à injection totale : il fonctionne entre une pression d'évaporation de 1 bar et une pression de condenseur de 12 bar.

En sortie d'évaporateur, un débit  $\mu=1/\sigma$  de fluide est entièrement vaporisé, avec une surchauffe de 5 °C.

Il est ensuite comprimé jusqu'à 12 bar en suivant une compression adiabatique irréversible. La compression réelle est caractérisée par un rendement isentropique, défini comme le rapport du travail de la compression réversible au travail réel. Sa valeur est supposée égale à 0,8.



Le refroidissement du fluide dans le condenseur par échange avec l'air extérieur comporte deux étapes : une désurchauffe dans la zone vapeur suivie d'une condensation, avec un sous-refroidissement de 10 °C.

Il est ensuite détendu sans travail dans un capillaire, jusqu'à la pression de 1 bar.

Le COP d'un tel cycle vaut 2,04.

### 2. Paramétrage retenu pour le cycle à éjecteur

Le cycle de réfrigération à éjecteur fonctionne entre une pression d'évaporation de 1 bar et une pression de condenseur de 12 bar, la pression intermédiaire étant déterminée par l'éjecteur.

En sortie d'évaporateur, le débit  $\mu=1/\sigma$  de fluide est entièrement vaporisé, avec une surchauffe de 5 °C.

Le compresseur est caractérisé par un rendement isentropique supposé égal à 0,8.

Le frigorigène est condensé sans sous-refroidissement.

Le seul paramétrage nouveau est celui de l'éjecteur, qui sera expliqué plus loin.

Le bilan du cycle montre une amélioration notable du COP qui atteint la valeur de 2,36, soit 18 % de mieux que celui du cycle mono-étagé. La puissance frigorifique est elle aussi augmentée, passant de 136 W à 203 W, du fait que le titre en entrée d'évaporateur est beaucoup plus faible.

## Chargement du modèle

Nous allons maintenant étudier le cycle de réfrigération à éjecteur.

### 1. Charger le modèle

Cliquez sur le lien suivant :

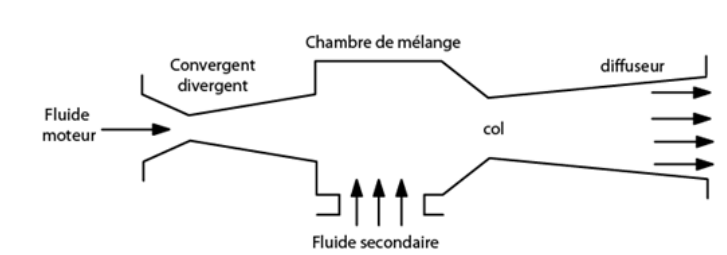
Ouvrir un fichier dans Thermoptim

Vous pouvez aussi ouvrir le fichier de schéma (frigo\_EjecteurR134aCompr.dia) grâce au menu "Fichier/Ouvrir" du menu de l'éditeur de schémas, et le fichier de projet (frigo\_EjecteurR134aCompr.prj) grâce au menu "Fichier de projet/Charger un projet" du menu du simulateur.

### 2. Paramétrage de l'éjecteur

Un éjecteur reçoit en entrée deux fluides généralement gazeux, mais qui peuvent aussi être liquides ou diphasiques :

- le fluide à haute pression, appelé fluide moteur ou primaire
- le fluide à basse pression, appelé fluide secondaire ou aspiré.



Le fluide moteur est accéléré dans un convergent-divergent, créant une baisse de pression dans la zone de mélange, ce qui a pour effet d'aspirer le fluide secondaire. Les deux fluides sont alors mélangés et une onde de choc peut prendre place au niveau du col. Il en résulte une augmentation de la pression du mélange et une baisse de sa vitesse, qui devient subsonique. Le diffuseur permet de convertir la vitesse résiduelle en augmentation de pression.

L'éjecteur réalise ainsi une compression du fluide secondaire au prix d'une baisse d'enthalpie du fluide primaire.

Le modèle d'éjecteur est implémenté dans une classe externe de Thermoptim. Il s'agit d'un mélangeur externe.

Ouvrez l'écran de l'éjecteur, et calculez-le.

Il possède quatre paramètres :

- le facteur  $\Pi_\varepsilon/\Pi_\beta$  de pertes de charges à l'entrée du fluide secondaire dans l'éjecteur, qui détermine la pression minimale dans l'éjecteur. Il vaut 0,75 dans notre cas.
- la facteur de frottement pour prendre éventuellement en compte une perte de charge dans la zone de mélange. Il vaut ici 1, ce qui signifie qu'il n'y a pas de perte de charge.
- le rendement isentropique des deux tuyères (fluide moteur et fluide entraîné). Il vaut ici 0,95.
- le rendement isentropique du diffuseur de sortie. Il vaut ici 0,95.

Ces paramétrages ne jouent qu'au deuxième ordre sur les calculs, qui dépendent surtout des enthalpies des deux fluides.

Les résultats du calcul s'affichent entre les champs de saisie des paramètres. La première ligne indique :

- Pout, pression de sortie (bar)
- Temp, température de sortie (°C)

- Pmi/Pd, rapport de la pression du fluide moteur à la pression de sortie
- Pd/Psi, rapport de la pression de sortie à la pression du fluide entraîné
- quality, titre en sortie
- DP, perte de charge initiale du flux entraîné
- Pmix, pression de mélange (bar)

La seconde ligne fournit les sections (en mm<sup>2</sup>) à l'entrée de la zone de mélange pour les fluides moteur (Amb) et entraîné (Asb).

## Tracé du cycle dans le diagramme (h, ln(P))

### 1. Première étape : chargement du diagramme des frigoristes du R134a

Cliquez sur

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 "(h,p)" dans le menu "Graphe".

### 2. Deuxième étape : chargement d'un cycle pré-enregistré

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 "frigoEjectR134a.txt" dans la liste des cycles disponibles. Cliquez ensuite sur la ligne "Points reliés" du menu Cycle.

Le cycle apparaît en bleu. On distingue bien les deux circuits BP et HP.

### 3. Superposition du cycle simple

*Le chargement du cycle simple tracé en noir permet de le superposer au cycle à injection totale. Dans le diagramme (h, ln(P)), l'augmentation de l'effet frigorifique apparaît nettement.*

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 "frigo112R134a.txt" dans la liste des cycles disponibles.

Ce qui est particulièrement remarquable, c'est la très forte augmentation de l'effet utile, dû à la baisse du titre en entrée d'évaporateur.

## Exercice d'application

### 1. Étude de l'influence du sous-refroidissement

Dans ce modèle, aucun sous-refroidissement n'a été pris en compte en sortie de condenseur.

Modifiez le sous-refroidissement en sortie de condenseur, en entrant une valeur de de 10 °C, puis recalculez le cycle. Quelle est la nouvelle valeur du COP ?

## Conclusion

Cette exploration vous a permis d'étudier un modèle d'installation de réfrigération à éjecteur.

Signalons que l'un des problèmes pratiques rencontrés lors de l'utilisation d'un éjecteur dans un cycle est que ses performances dépendent beaucoup de ses conditions de fonctionnement : le rapport de compression obtenu est bien évidemment fonction du rapport d'entraînement, mais une variation de ce dernier induit une modification de la géométrie optimale de l'éjecteur, qu'il est bien évidemment impossible de réaliser.

Il s'ensuit qu'un éjecteur s'adapte assez mal à un fonctionnement hors des conditions de conception.