

Premier problème : étude d'une machine ditherme de réfrigération

Le cycle représenté, dans un diagramme de Clapeyron, par la figure 1 constitue un modèle de fonctionnement d'une machine de réfrigération dans laquelle une masse m de fluide frigorigène subit les transformations suivantes :

- $A \rightarrow B$: compression adiabatique dans le compresseur.
- $B \rightarrow D$: refroidissement et liquéfaction isobares de la vapeur dans le condenseur.
- $D \rightarrow E$: détente adiabatique et isenthalpique dans le détendeur.
- $E \rightarrow A$: vaporisation isobare dans l'évaporateur.

Les sources froide Σ_F (intérieur de l'enceinte à réfrigérer) et chaude Σ_C (milieu ambiant) sont assimilées à des thermostats de températures, respectives, T_F et T_C constantes.

Les variations d'énergie cinétique et d'énergie potentielle du fluide sont négligeables.

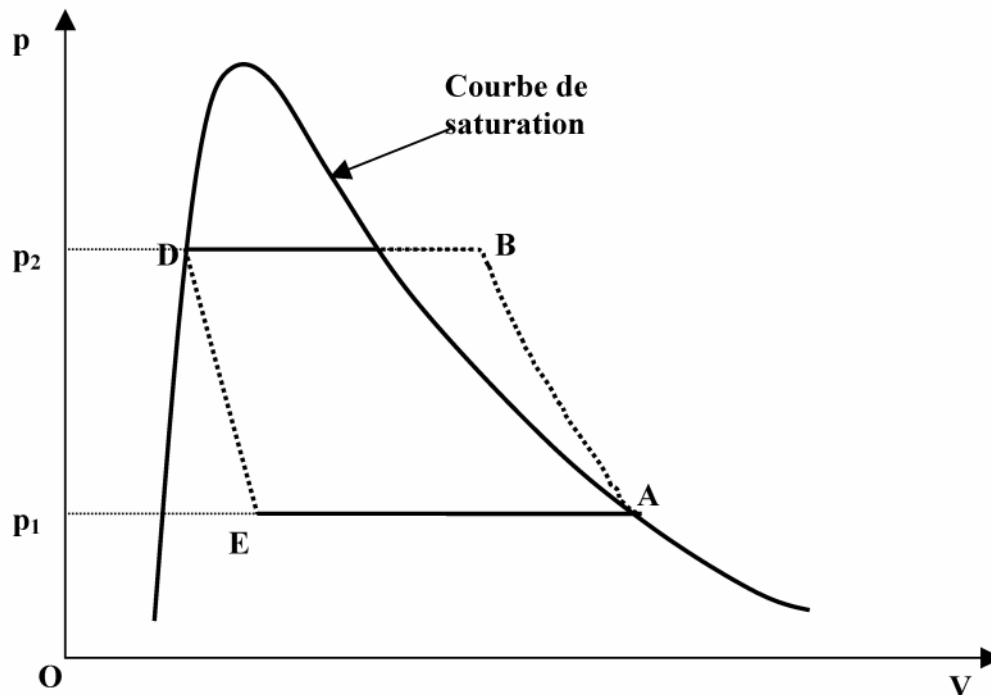
Données :

$$m = 1 \text{ kg}$$

$$T_F = 278 \text{ K} ; T_C = 293 \text{ K}$$

Enthalpies massiques du fluide frigorigène dans les états représentés par les points A , B et D :

$$h_A = 390,2 \text{ kJ.kg}^{-1} ; h_B = 448,6 \text{ kJ.kg}^{-1} ; h_D = 286,4 \text{ kJ.kg}^{-1}$$



A – Performances de l'installation

A-1 Un système fermé subit une transformation isobare qui le fait évoluer de l'état initial i à l'état final f . Au cours de cette transformation le système reçoit les quantités d'énergie $Q_{i \rightarrow f}$ par transfert thermique et $W_{i \rightarrow f}$ par transfert mécanique (travail).

A-1-1 Appliquer le premier principe de la thermodynamique à cette transformation.

A-1-2 Etablir la relation entre la variation d'enthalpie $\Delta H_{i \rightarrow f}$ du système et $Q_{i \rightarrow f}$.

- A-2** On désigne par Q_F et Q_C les quantités d'énergie reçues par le fluide, par transfert thermique, respectivement, au contact de la source froide et au contact de la source chaude, au cours du cycle défini ci-dessus.
- A-2-1** Exprimer Q_F et Q_C en fonction des données.
- A-2-2** Calculer Q_F et Q_C .
- A-3** On désigne par W l'énergie reçue par le fluide, par transfert mécanique (travail), au cours d'un cycle.
- A-3-1** Exprimer W en fonction des données.
- A-3-2** Calculer W .
- A-4** On désigne par S_F et S_C les valeurs algébriques des entropies échangées par le fluide, respectivement, avec la source froide et la source chaude au cours du cycle.
- A-4-1** Exprimer S_F et S_C en fonction des données.
- A-4-2** Calculer S_F et S_C .
- A-4-3** Calculer l'entropie S_p créée au cours du cycle. Conclusion.
- A-5** Calculer l'efficacité μ de cette installation.
- A-6** Sachant que la puissance \mathcal{P}_F à extraire de la source froide pour maintenir sa température constante est de 500 W, calculer le débit massique q_m que l'on doit imposer au fluide frigorigène.

B – Etude de la compression de la vapeur

La vapeur issue de l'évaporateur est comprimée de la pression $p_1 = 2,008$ bar (état A) à la pression $p_2 = 16,810$ bar (état B).

Dans cette partie du problème on admettra que l'on peut assimiler la vapeur à un gaz parfait dont le rapport γ des capacités thermiques conserve une valeur constante égale à 1,14 dans le domaine étudié.

- B-1** On envisage le cas où cette compression pourrait être supposée adiabatique et réversible.
- B-1-1** Etablir la relation que vérifieraient les variables température T et pression p .
- B-1-2** Sachant que $T_A = 263$ K, calculer la température T' que l'on atteindrait en fin de compression.
- B-2** En réalité la compression $A \rightarrow B$ subie par la vapeur peut être supposée adiabatique mais n'est pas réversible car on ne peut pas négliger les frottements fluides qui se produisent à l'intérieur du compresseur ; de ce fait la température en fin de compression est supérieure à celle calculée précédemment.
- La transformation polytropique $A \rightarrow B$ est la transformation réversible qui permettrait au fluide d'évoluer de l'état A à l'état B en recevant, par transfert thermique, une quantité d'énergie Q_f équivalente à celle générée par les frottements internes au cours de la transformation irréversible $A \rightarrow B$.
- Pour établir la loi d'évolution polytropique, on considère une transformation élémentaire réversible caractérisée par les variations d'énergie interne dU , d'entropie dS et de volume dV . La quantité d'énergie δQ_f reçue par le fluide, par transfert thermique, au cours de cette transformation, s'écrit $\delta Q_f = a dU$. Dans cette expression a désigne un facteur qui sera supposé constant dans tout le domaine étudié.

B-2-1 Exprimer dU en fonction de dS et dV .

B-2-2 Montrer qu'au cours de l'évolution polytropique $A \rightarrow B$ les variables pression p et volume V vérifient la relation $pV^k = \text{constante}$ dans laquelle k désigne une constante appelée facteur polytropique.

B-2-3 Exprimer k en fonction de a et de γ .

C – Détermination des conditions de fonctionnement permettant d'obtenir l'efficacité maximale.

C-1 Préciser la nature du cycle réversible que devrait décrire le fluide afin de parvenir à l'efficacité maximale μ_{\max} de la machine de réfrigération. On indiquera avec précision la nature et le rôle des différentes transformations subies par le fluide au cours de ce cycle.

C-2 Sachant qu'au cours de ce cycle la variation d'entropie massique ΔS_C du fluide au cours de la transformation qu'il subit au contact de la source chaude est de $-0,416 \text{ kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$, calculer les quantités d'énergie Q'_F et Q'_C reçues, par transfert thermique, par 1 kg de fluide frigorigène, au cours d'un cycle, respectivement, au contact de la source froide et au contact de la source chaude.

C-3 Exprimer l'efficacité μ_{\max} en fonction des températures T_F et T_C et calculer μ_{\max} .