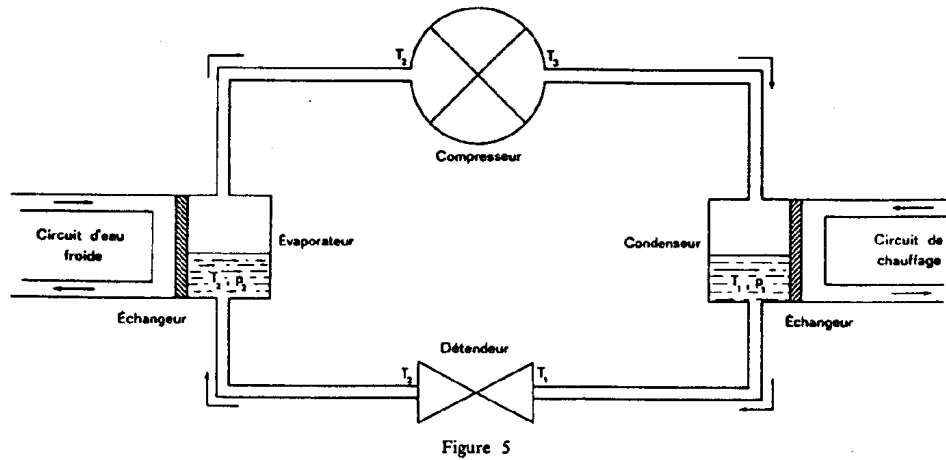


DEUXIÈME PROBLÈME

Étude d'une pompe à chaleur destinée au chauffage d'une habitation



Une pompe à chaleur à fréon 22 (CHF_2Cl : difluoromonochlorométhane) prélève de la chaleur à un circuit d'eau froide et cède de la chaleur à de l'eau chaude qui circule dans le sol de l'habitation.

Le fréon décrit un cycle :

- dans l'évaporateur, il subit une évaporation complète sous la pression de vapeur saturante p_2 et à la température T_2 ;
- le fréon gazeux sort du compresseur à la température T_3 et sous la pression p_1 ;
- dans le condenseur le fréon gazeux se refroidit, puis se liquéfie complètement sous la pression de vapeur saturante p_1 et à la température T_1 ;
- en traversant le détendeur, le fréon subit une détente adiabatique et isenthalpique passant de T_1, p_1 à T_2, p_2 ; cette détente s'accompagne d'une vaporisation partielle du liquide.

Tous les calculs seront réalisés pour une masse $m = 1 \text{ kg}$ de fréon et on pose :

- $L_v(T)$: chaleur latente de vaporisation du fréon ;
- c_L : capacité thermique massique du fréon liquide, supposée indépendante de T et de p ;
- le fréon gazeux est assimilé à un gaz parfait de masse molaire molaire M , et pour lequel $\gamma = 1,20$;
- l'énergie cinétique macroscopique ainsi que l'énergie potentielle de pesanteur seront négligées dans tout le problème ;
- le volume massique v_L du fréon liquide est indépendant de la pression et de la température ;
- l'installation fonctionne en régime permanent.

Données :

$$T_2 = 273 \text{ K}; \quad T_1 = 305 \text{ K}; \quad L_v(T_2) = 205 \text{ kJ.kg}^{-1}; \quad L_v(T_1) = 175 \text{ kJ.kg}^{-1};$$

$$c_L = 1,38 \text{ kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}; \quad p_2 = 5.10^5 \text{ Pa}; \quad p_1 = 12,65.10^5 \text{ Pa}; \quad v_L = 0,75 \text{ dm}^3.\text{kg}^{-1};$$

$$R = 8,31 \text{ J.mol}^{-1}.\text{K}^{-1}; \quad \text{masse molaire du fréon : } M = 86,5.10^{-3} \text{ kg.mol}^{-1}.$$

1. Étude de la compression.

1.1. En raisonnant sur un système que l'on définira soigneusement, relier la variation d'enthalpie du fréon, durant la traversée du compresseur, à la quantité de chaleur Q et au travail W qu'il a échangés durant celle-ci.

1.2. La compression est adiabatique et on admet que le gaz suit une compression de type polytropique $pV^\gamma = \text{constante}$; en déduire T_3 puis le travail W en fonction des données.

1.3. Évaluer la variation d'entropie du fréon et conclure.

1.4. Utilisation d'un diagramme entropique pour le calcul de W .

a. Pour une transformation quelconque du fréon gazeux entre les états T_0, p_0 , et T, p , calculer sa variation d'entropie $\Delta S = S - S_0$; en déduire l'équation d'une isobare dans le diagramme entropique (S en abscisse, T en ordonnée).

Tracer l'isobare p_1 .

Par quel déplacement la courbe isobare correspondant à p_2 se déduira-t-elle de celle correspondant à p_1 ?

b. Représenter sur le diagramme précédent la compression du fréon gazeux de l'état T_2, p_2 à l'état T_3, p_1 . Montrer que le travail W échangé par le fréon correspond à l'aire d'une surface que l'on hachurera sur le diagramme (pour cela, introduire le point correspondant à l'état T_2, p_1).

2. Passage dans le condenseur.

2.1. Calculer la quantité de chaleur Q_1 échangée par le fréon.

2.2. Calculer sa variation d'entropie.

3. Passage dans le détendeur à parois adiabatiques.

3.1. Démontrer que la détente est isenthalpique.

3.2. En déduire la fraction massique x de fréon gazeux à la sortie du détendeur.

3.3. Calculer la variation d'entropie du fréon.

4. Passage dans l'évaporateur.

4. 1. Évaluer la quantité de chaleur Q_2 échangée par le fréon.

4.2. Calculer sa variation d'entropie.

5.

Le compresseur est entraîné par un moteur électrique de rendement électro-mécanique $r = 0,8$. Définir l'efficacité e de cette pompe à chaleur et l'évaluer.

Dans quelles conditions portant sur T_1 et T_2 l'améliore-t-on ? Quel avantage présente ce chauffage par rapport au chauffage électrique ?

6. Étude du cycle.

6. 1. Vérifier le bilan énergétique sur le cycle.

6.2. Représenter son diagramme entropique.

7.

Cette pompe à chaleur sert à compenser les pertes de chaleur de l'habitation maintenue à la température $T_4 = 293 \text{ K}$, alors que la température extérieure est $T_e = 273 \text{ K}$.

7.1. Dans le but d'évaluer ces pertes, on coupe le chauffage ; la température de l'habitation passe alors en une durée $\Delta t = 4$ heures de $T_4 = 293 \text{ K}$ à $T_5 = 283 \text{ K}$. On admet que la quantité de chaleur perdue pendant la durée dt petite s'écrit $\delta Q = -ak(T - T_e)dt$, $k = 2 \cdot 10^7 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$ désignant la capacité thermique de l'habitation, T sa température à l'instant t , et a une constante dépendant de l'isolation. Donner une équation différentielle décrivant l'évolution $T(t)$; en déduire a .

7.2. Calculer la puissance électrique consommée P_e pour maintenir la température de l'habitation à la valeur constante T_4 .

7.3. L'eau qui alimente la source froide subit une chute de température $\Delta T = 4$ degrés centésimaux durant la traversée de l'échangeur. En déduire son débit massique.

Capacité thermique massique de l'eau froide utilisée : $c_f = 4,18 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.