DEUXIÈME PROBLÈME

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

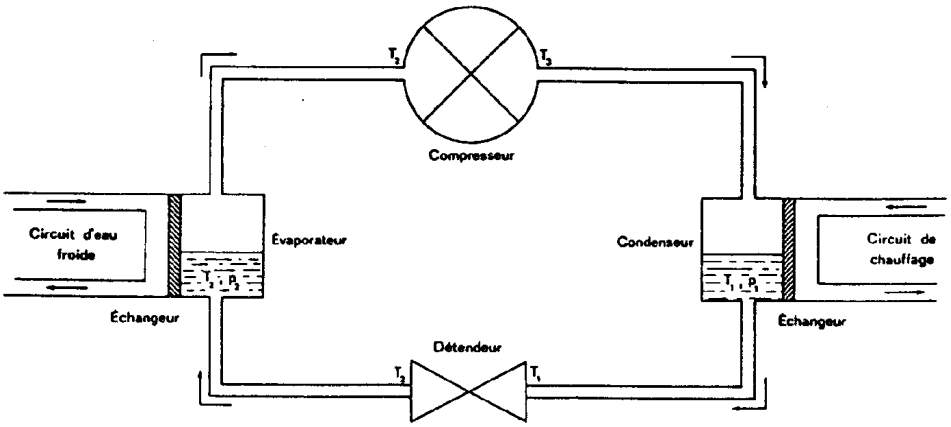


Figure 5

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 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 moléculaire 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 *:*

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

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

$R = 8,31\,\text{J.mol}^{-1}\text{.K}^{-1}$; 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 $T_4 = 293$ K, alors que la température extérieure est $T_e = 273$ K.

7.1. Dans le but d'évaluer ces pertes, on coupe le chauffage ; la température de l'habitation passe alors en une durée Δt = 4 heures de $T_4 = 293$ K à $T_5 = 283$ K. On admet que la quantité de chaleur perdue pendant la durée dt petite s'écrit $\delta Q = -ak(T - T_e)\,\mathrm{d}t$, $k = 2.10^7\ \mathrm{J.K^{-1}}$ 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 : $c_f = 4{,}18\,\mathrm{kJ.kg^{-1}.K^{-1}}$.