

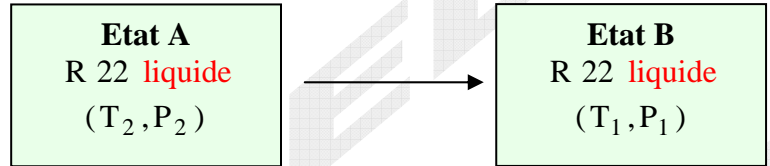
Corrigé de l'épreuve de thermodynamique du BTS 87

A – Etude de la détente et de la vaporisation

1° question :

La variation élémentaire d'enthalpie massique du fluide s'écrit :

$$dh = \delta q + v dP$$



Comme le volume v est indépendant de la pression et de la température, on peut, en intégrant cette expression, trouver la variation d'enthalpie massique du fluide, entre l'état A et l'état B :

$$\Delta h = q_{A \rightarrow B} + v (P_1 - P_2) \quad q_{A \rightarrow B} : \text{chaleur reçue par le fluide lors de son évolution de l'état A vers l'état B soit : } q_{A \rightarrow B} = c (T_1 - T_2).$$

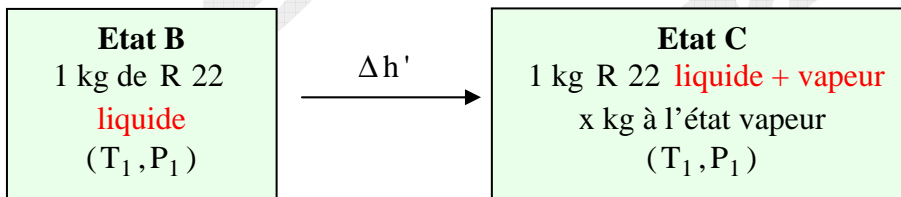
Le produit Pv est négligeable devant $q_{A \rightarrow B}$; on en déduit :

$$\Delta h \cong c (T_1 - T_2)$$

$$\text{A.N. : } \Delta h = -42,2 \text{ kJ.kg}^{-1}$$

2° question : La vaporisation du R 22 se fait à pression constante (corps pur) ; on en déduit que la variation d'enthalpie coïncide avec la chaleur reçue par le fluide :

$$\Delta h' = x L_v (\text{à } T_1)$$



3° question : Dans le détendeur, la variation totale d'enthalpie massique du fluide s'écrit :

$$\Delta h_{(4)} = \Delta h + \Delta h' = c (T_1 - T_2) + x L_v$$

La détente étant isenthalpique ($\Delta h_{(4)} = 0$), on obtient :

$$x = \frac{c (T_2 - T_1)}{L_v}$$

$$\text{A.N. : } x = 20,4 \%$$

4° question : La chaleur massique q_1 reçue par le fluide au niveau de l'évaporateur s'écrit :

$$q_1 = (1 - x) L_v (\text{à } T_1)$$

$$\text{A.N. : } q_1 = 164,6 \text{ kJ.kg}^{-1}$$

B – Etude de la compression

1° question :

Une molécule de « difluoromono-chlorométhane » comporte : **un atome de carbone,**
2 atomes de fluor,
1 atome de chlore.

Par conséquent (le carbone étant tétravalent), il faut compléter l'énumération avec un atome d'hydrogène.

Le R 22 a donc la formule : CHClF_2 .

Sa masse molaire est : $M(\text{R 22}) = 86,5 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

Sa constante caractéristique r vaut, alors :

$$r = \frac{R}{M(\text{R 22})}$$

$$\text{A.N. : } r = 96,1 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

Attention ! La masse molaire doit être exprimée en $\text{kg} \cdot \text{mol}^{-1}$ pour le calcul de r !

2° question : La compression du fluide gazeux (considéré comme un gaz parfait) est adiabatique ; on écrit :

$$T'_2{}^\gamma P_2^{1-\gamma} = T_1{}^\gamma P_1^{1-\gamma}$$

d'où l'on tire :

$$T'_2 = T_1 \left(\frac{P_1}{P_2} \right)^{\frac{1-\gamma}{\gamma}}$$

$$\text{A.N. : } T'_2 = 314 \text{ K}$$

Remarque : Pour la suite, nous prendrons cette température et non celle indiquée aux candidats malheureux

3° question : Soit $w_{(2)}$ le travail effectué par le compresseur par kg de R 22 débité. Ce travail (massique) est reçu par le fluide. Le premier Principe, pour les systèmes en écoulement, s'écrit : $\Delta h_{(2)} = q_{(2)} + w_{(2)}$.

La chaleur (massique) reçue par le fluide lors de la compression adiabatique est nulle de sorte que l'on peut écrire : $\Delta h_{(2)} = w_{(2)}$

Le gaz est considéré comme parfait ; on écrit : $\Delta h_{(2)} = w_{(2)} = c_p (T'_2 - T_1)$.

On remplace c_p par son expression en fonction de r et de γ : $c_p = \frac{\gamma r}{\gamma - 1}$

On retrouve bien l'expression proposée par l'énoncé.

$$w_{(2)} = \frac{\gamma r}{\gamma - 1} (T'_2 - T_1)$$

$$\text{A.N. : } w_{(2)} = 26,0 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$$

C- Refroidissement et condensation

1° question : Le fluide passe, dans le condenseur, de la température T'_2 à la température T_2 ; il se refroidit (de façon isobare de la température T'_2 à la température T_2) et se condense totalement (de façon isobare et isotherme).

Dans ce cas, la chaleur massique reçue par le fluide s'identifie à sa variation d'enthalpie : $q_2 = \Delta h_{(3)}$

- Refroidissement isobare du gaz (considéré comme parfait) :

La variation d'enthalpie massique du fluide s'écrit : $c_p (T_2 - T'_2)$

- **Condensation** totale du fluide (à la température T_2) :

La variation d'enthalpie massique du fluide s'écrit : $-L_v$ (à T_2) (**Attention au signe !**)

On obtient donc :

$$q_2 = c_p (T_2 - T'_2) - L_v (\text{à } T_2)$$

$$\text{A.N. : } q_2 = -180,4 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$$

2° question : Le Premier Principe s'écrit, pour 1 kg de fluide et pour un cycle :

$$(\Delta u)_{\text{cycle}} = w + q_1 + q_2$$

L'énergie interne est une fonction d'état : $(\Delta u)_{\text{cycle}} = 0$

On doit donc vérifier : $0 = w + q_1 + q_2$ (w : travail total reçu par le fluide)

Le travail total reçu par le fluide **au cours d'un cycle** s'identifie au travail total « de transvasement » reçu par le fluide : $w = w_{(2)}$; il faut donc vérifier l'égalité : $w_{(2)} + q_1 + q_2 = 0$

A l'aide des résultats numériques précédents, on montre : $w_{(2)} + q_1 + q_2 \approx 0$

Les résultats sont peu précis : L'hypothèse du gaz parfait est peut être un peu « ambitieuse !

D – Étude sur une journée

1° question : Chaque jour, on dispose d'une masse d'eaux usées égale à $m_{\text{eau}} = 700 \text{ kg}$

Cette masse d'eau passe de la température $T_a = 298 \text{ K}$ à la température $T_b = 275 \text{ K}$.

La chaleur prélevée à l'eau s'écrit : $Q_1 = m_{\text{eau}} c_{\text{eau}} (\Delta T)$ avec $\Delta T = 298 \text{ K} - 275 \text{ K}$

$$\text{A.N. : } Q_1 = 67,4 \text{ MJ}$$

2° question :

En moyenne, chaque jour, le fluide fournit la chaleur $Q_2 = -m q_2$ au circuit de chauffage.

m représente la masse de R 22 qui circule dans l'installation en un jour.

Cette masse de fluide est aussi égale au rapport $\frac{Q_1}{q_1}$; on a :

$$Q_2 = -q_2 \frac{Q_1}{q_1}$$

$$\text{A.N. : } Q_2 = 73,9 \text{ MJ}$$

3° question : Pour la période pendant laquelle le chauffage fonctionne (soit 180 jours), on estime les besoins à $2,1 \times 10^4 \text{ MJ}$ ce qui nous donne, en moyenne, pour un jour : $Q_j = 116,7 \text{ MJ}$

Le pourcentage de besoins satisfaits est donc : $\frac{Q_2}{Q_j}$ soit 63 %

4° question : Chaque jour, le compresseur doit fournir au fluide un travail $W = m w_{(2)}$

$$\text{A.N. : } W = 10,6 \text{ MJ}$$

E – Bilan

1° question : Soit E l'énergie électrique totale consommée par le moteur, en un jour.

Le travail mécanique récupérable W est tel que : $\eta = 0,8 = \frac{W}{E}$.

$$\text{A.N. : } E = 13,4 \text{ MJ}$$

2° question : Le rapport vaut :

$$R = \frac{Q_2}{E} \cong 5,5$$