# Corrigé de l'épreuve de physique du B.T.S. 97

**1° question** :

a) La température critique $T_C$ vaut 388 K.

b) L'isotherme critique est horizontale et passe par le point critique (voir annexe).

c) Au-dessus de la température critique, le fluide frigorigène ne peut plus être à l'état liquide ; la courbe de saturation est d'ailleurs entièrement située sous l'isotherme critique.

**2° question** :

a)

- Dans l'état 1, le fluide frigorigène est à l'état de vapeur humide (mélange liquide + vapeur).

Si ce fluide frigorigène est un **corps pur**, la détermination de sa pression impose la détermination de sa température. La température $T_1$ est donc à chercher dans le tableau fourni.

• tableau : pression (k Pa) d'équilibre liquide-vapeur en fonction température T(K)

| $T(K)$ | 243 | 253 | 263 | 273 | 283 | 293 | 298 | 303 | 308 | 313 | 318 | 323 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $p\,(kPa)$ | 100,5 | 151 | 219,1 | 308,6 | 423 | 566,7 | 650,8 | 743,4 | 846 | 958,2 | 1081 | 1215 |

$T_1 = 243\ K$

- La transformation $1 \to 2$ est une transformation adiabatique et réversible. On admet que le mélange {liquide + vapeur **très légèrement humide**} se comporte comme un gaz parfait !

Dans ce cas, la relation suivante peut être appliquée : $p_2^{\,1-\gamma}\ T_2^{\,\gamma} = p_1^{\,1-\gamma}\ T_1^{\,\gamma}$

soit : $\dfrac{T_2^{\,\gamma}}{T_1^{\,\gamma}} = \dfrac{p_1^{\,1-\gamma}}{p_2^{\,1-\gamma}}$ **puis** $\left(\dfrac{T_2}{T_1}\right)^{\gamma} = \left(\dfrac{p_1}{p_2}\right)^{1-\gamma}$ **et, enfin :** $\left(\dfrac{T_2}{T_1}\right)^{\gamma\times\frac{1}{\gamma}} = \left(\dfrac{p_1}{p_2}\right)^{(1-\gamma)\times\frac{1}{\gamma}}$

On en déduit : $\left(\dfrac{T_2}{T_1}\right) = \left(\dfrac{p_1}{p_2}\right)^{(1-\gamma)\times\frac{1}{\gamma}}$ **puis** $T_2 = T_1\left(\dfrac{p_1}{p_2}\right)^{\frac{(1-\gamma)}{\gamma}}$ A.N. : $T_2 = 347\ K$

b) Relation de MAYER : $c_p - c_v = r$

D'autre part, on pose : $\gamma = \dfrac{c_p}{c_v}$.

On en déduit : $\gamma\, c_v - c_v = r$ soit : $c_v = \dfrac{r}{\gamma - 1}$ et $c_p = \dfrac{\gamma\, r}{\gamma - 1}$ A.N. : $c_p = 412\ J.kg^{-1}.K^{-1}$

c) Soit $w_{12}$ le travail massique fourni par le compresseur au fluide.

Le Premier Principe, appliqué aux fluides en écoulement, donne : $w_{12} + q_{12} = h_2 - h_1$

$q_{12}$ : chaleur massique reçue par le fluide lors de sa transformation $1 \rightarrow 2$ ; ici, la transformation est adiabatique de sorte que $q_{12} = 0$. On a donc : $w_{12} = h_2 - h_1$.

Si le fluide frigorigène peut être assimilé à un gaz parfait, on écrit :

$w_{12} = c_p (T_2 - T_1)$ (ce qui est conforme aux indications du texte).

A.N. : $w_{12} = 42{,}7 \text{ kJ.kg}^{-1}$

d) La transformation $1 \rightarrow 2$ est adiabatique et réversible ; elle est donc **isentropique**. Le point 2 représentatif de l'état 2 du fluide se trouve sur l'isentrope (verticale) passant par le point 1 (voir annexe). Ce point se trouve aussi sur l'isotherme $T_2 = 347 \text{ K}$.

**3° question** :

a) D'après le tableau fourni dans le texte, la température $T'_2$ vaut 308 K.

tableau : pression (k Pa) d'équilibre liquide-vapeur en fonction température T(K)

| T(K) | 243 | 253 | 263 | 273 | 283 | 293 | 298 | 303 | 308 | 313 | 318 | 323 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| p (kPa) | 100,5 | 151 | 219,1 | 308,6 | 423 | 566,7 | 650,8 | 743,4 | 846 | 958,2 | 1081 | 1215 |

Le point $2'$ se trouve sur l'isotherme $T_{2'} = 308 \text{ K}$ et sur la courbe de rosée (voir annexe).

Le point 3 se trouve sur l'isotherme $T_{2'} = 308 \text{ K}$ (la condensation se produit à température constante).

Le point 3 se trouve aussi sur la courbe d'ébullition (voir annexe).

L'allure des évolutions $2 \rightarrow 2'$ et $2' \rightarrow 3$ est indiquée sur la feuille annexe.

b) $s_{2'} = 4{,}77 \text{ kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ et $s_3 = 4{,}30 \text{ kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$.

c) La chaleur massique reçue par le fluide entre l'état 2 et l'état 3 se note : $q_{23} = h_3 - h_2$ (la transformation est, en effet, isobare). Notons qu'elle est, de plus, isotherme entre l'état $2'$ et l'état 3.

* Tant que le fluide est gazeux, on peut admettre qu'il se comporte comme un gaz parfait :

$$q_{22'} = h_{2'} - h_2 = c_p (T_{2'} - T_2)$$

* Par contre, entre l'état $2'$ et l'état 3, on est contraint de recourir à la variation d'entropie (transformation isotherme) :

$$q_{2'3} = T_{2'} (s_3 - s_{2'})$$

* On obtient donc : $q_{23} = c_p (T_{2'} - T_2) + T_{2'} (s_3 - s_{2'})$

A.N.: $q_{23} = -161 \text{ kJ.kg}^{-1}$

**Remarque** : le fluide cède de la chaleur à l'extérieur.

**4° question** :

a) b) voir texte ! Appliquons la « règle des segments inverses » : $x \text{ (au point 4)} = \dfrac{\overline{AB}}{\overline{AC}} = 0{,}36$

Comme $\overline{AC} = 14,2\ \text{cm}$, on en déduit la position du point B ($\overline{AB} = 5,1\ \text{cm}$) puis l'entropie du point 4 (confondu avec B) : $s_4 \cong 4,33\ \text{kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$

b) voir texte ! $x_4 = 0,36$ (la question est sans doute mal posée …)

Pour 1 kg de fluide, on a : 0,36 kg de vapeur et 0,64 kg de liquide.

c) La transformation $4 \to 1$ est isotherme de sorte que la chaleur massique reçue par le fluide s'écrit : $q_{41} = T_1 (s_1 - s_4)$.

A.N.: $q_{41} = 107\ \text{kJ.kg}^{-1}$

**Remarque** : le fluide reçoit de la chaleur de l'extérieur.

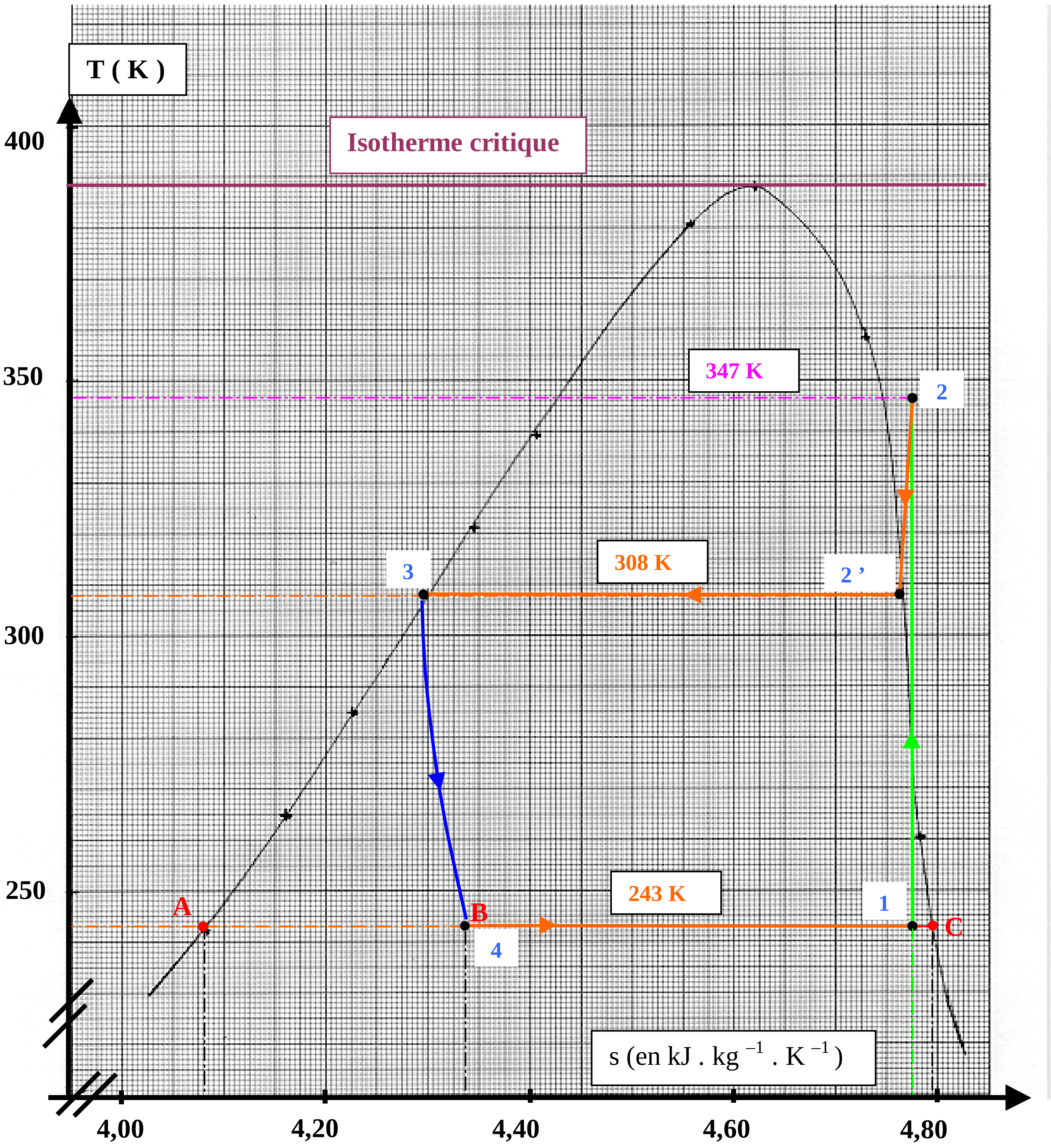
d) Dans les deux cas, la « dépense » est la même.

Pour la pompe à chaleur, la « recette » correspond à la chaleur cédée par le fluide à l'extérieur ($-q_{23}$).

Pour le réfrigérateur, la « recette » correspond à la chaleur retirée par le fluide à l'extérieur ($q_{41}$).

| Pompe à chaleur | Réfrigérateur |
|---|---|
| $\varepsilon = \dfrac{-q_{23}}{w}$ | $e = \dfrac{q_{41}}{w}$ |
| $\varepsilon = 3,8$ | $e = 2,5$ |

## Annexe


T ( K )
400
350
300
250
Isotherme critique
347 K
308 K
243 K
2
2 '
3
1
4
A
B
C
s (en kJ . kg $^{-1}$ . K $^{-1}$ )
4,00
4,20
4,40
4,60
4,80