

Corrigé de l'épreuve de physique BTS 94

1 question :

- Dans l'état 1, l'ammoniac est à l'état de **vapeur saturée sèche** ; la température de cette vapeur est de -30°C .

Le point représentatif se trouve sur la **courbe de rosée** (située sur la courbe de saturation) et sur l'isotherme -30°C .

- L'ammoniac gazeux subit, ensuite, une transformation adiabatique et réversible ; elle est donc isentropique.

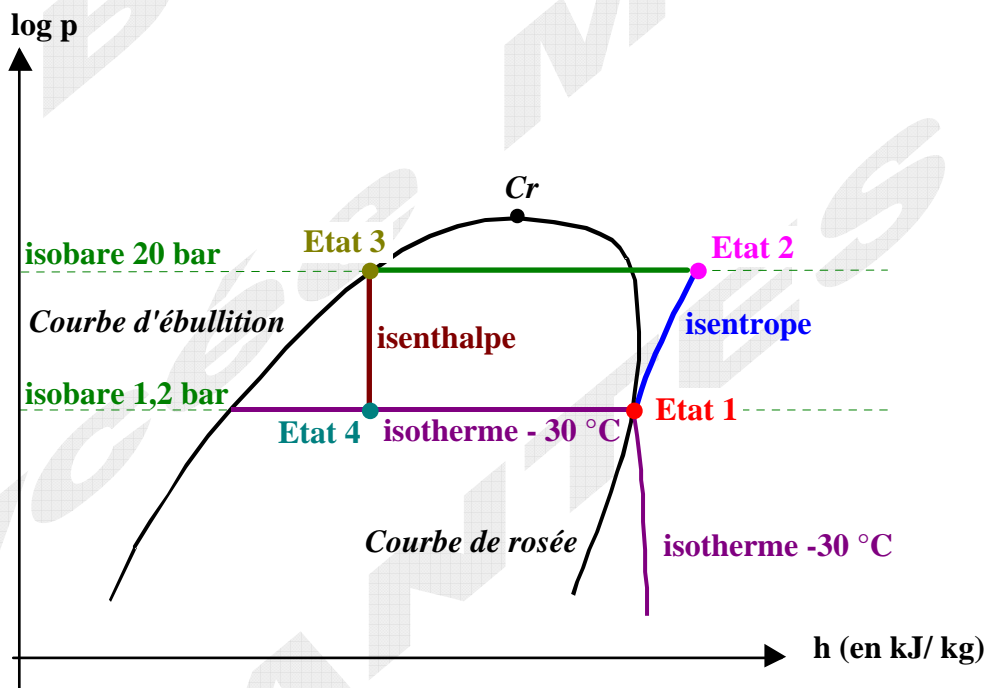
Le point représentatif se trouve sur l'isobare 20 bar et sur l'isentropie passant par 1.

- Dans l'état 3, l'ammoniac est à l'état de **liquide saturant** et à la pression de 20 bar.

Le point représentatif se trouve sur la **courbe d'ébullition** (située sur la courbe de saturation) et sur l'isobare 20 bar.

- La transformation suivante est isenthalpique. Dans l'état 4, le fluide est à la pression 1,2 bar.

Le point représentatif se trouve sur l'isenthalpe passant par 3 et sur l'isobare 1,2 bar (l'isobare 1,2 bar est confondue, sous la courbe de saturation, avec l'isotherme -30°C).



Courbe de saturation : courbe de rosée + courbe d'ébullition

2° question :

Etat	Etat 1	Etat 2	Etat 3	Etat 4
Enthalpie massique h (en kJ / kg)	1720	2170	720	720

La température de l'ammoniac dans l'état 2 se lit sur le graphe : $\theta_2 = 180^{\circ}\text{C}$.

3° question :

a) La compression adiabatique et réversible 1 → 2 d'un gaz parfait obéit à la relation :

$$p_1 V_1^\gamma = p_2 V_2^\gamma \quad (\text{relation a})$$

L'équation d'état des gaz parfaits nous permet d'écrire : $V_1 = \frac{n R T_1}{p_1}$ et $V_2 = \frac{n R T_2}{p_2}$.

On peut donc écrire : $p_1 \left(\frac{n R T_1}{p_1} \right)^\gamma = p_2 \left(\frac{n R T_2}{p_2} \right)^\gamma$ soit : $p_1^{1-\gamma} T_1^\gamma = p_2^{1-\gamma} T_2^\gamma$ (relation b)

L'expression (b) nous permet de calculer le rapport $\frac{T_2}{T_1}$ en fonction du taux de compression $\tau = \frac{p_2}{p_1}$:

On a : $\left(\frac{p_1}{p_2} \right)^{1-\gamma} = \left(\frac{T_2}{T_1} \right)^\gamma$ puis $\left(\frac{p_1}{p_2} \right)^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} = \left(\frac{T_2}{T_1} \right)$ et, enfin : $\frac{T_2}{T_1} = (\tau)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$.

b) $T'_2 = T_1 (\tau)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$ A.N. : $T'_2 = 488,4 \text{ K}$

Remarque : En réalité la température réelle T_2 correspond à 453 K ($T_2 = \theta_2 + 273$).

c) Pour une transformation polytropique d'exposant k , on peut écrire : $T_2 = T_1 (\tau)^{\frac{k-1}{k}}$

On en déduit : $\log \frac{T_2}{T_1} = \log (\tau)^{\frac{k-1}{k}} = \frac{k-1}{k} \log \tau = \left(1 - \frac{1}{k}\right) \log \tau$

On obtient, ensuite : $\frac{1}{k} \log \tau = \log \tau - \log \left(\frac{T_2}{T_1} \right)$ soit : $\frac{1}{k} = 1 - \frac{\log \left(\frac{T_2}{T_1} \right)}{\log \tau}$ A.N. : $k = 1,28$

4° question :

a) Lors d'une compression isentropique, le travail avec transvasement s'écrit : $w_{12\text{tr}} = h_2 - h_1$

$$\text{A.N. : } w_{12\text{tr}} = 450 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$$

b) Pour une transformation polytropique d'exposant k , le travail avec transvasement s'écrit :

$$w_{\text{tr}} = \frac{k}{k-1} r (T''_2 - T_1) \text{ puisque } p_2 v_2 = r T''_2 \text{ avec } T''_2 = T_1 (\tau)^{\frac{k-1}{k}}$$

$$\text{A.N. : } T''_2 = 321 \text{ K}$$

$$\text{A.N. : } w_{\text{tr}} = 386 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$$

On constate que le travail avec transvasement est plus faible dans le cas d'une transformation polytropique que dans le cas d'une transformation isentropique. La transformation polytropique est une transformation qui a plus de « réalité » que la transformation isentropique car elle suppose les transferts thermiques non nuls.

c) Les chaleurs « reçues » par l'ammoniac, au niveau du condenseur et au niveau de l'évaporateur s'écrivent respectivement : $q_{23} = h_3 - h_2$ et $q_{41} = h_1 - h_4$ puisque ces deux évolutions se font de façon isobare.

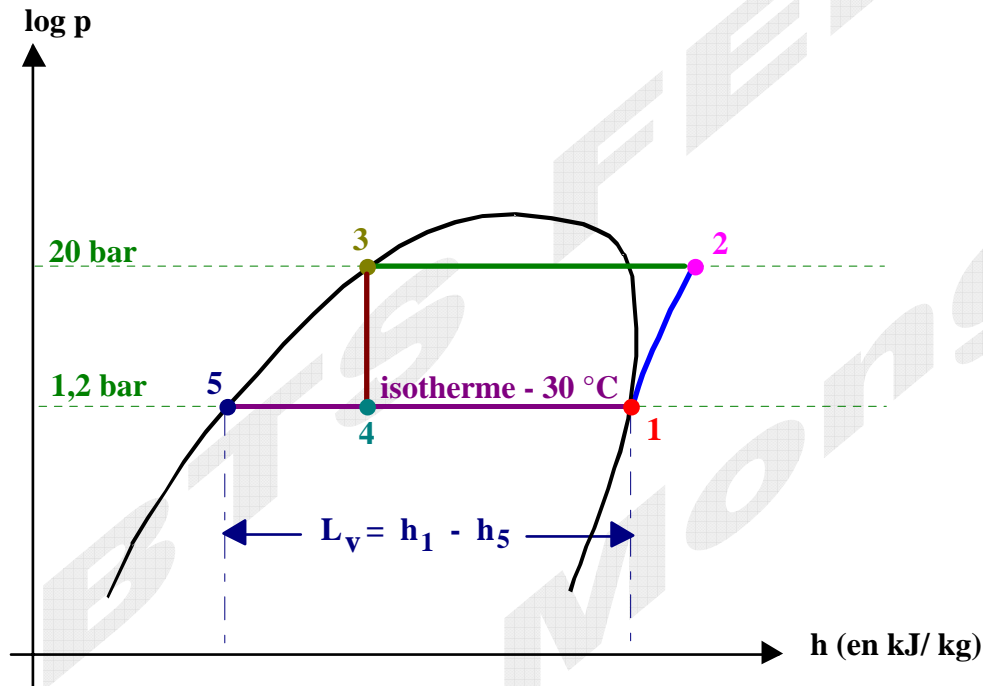
$$\text{A.N. : } q_{23} = -1450 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$$

$$\text{A.N. : } q_{41} = 1000 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$$

Remarque : L'ammoniac cède de la chaleur au condenseur et absorbe de la chaleur pour se vaporiser.

d) Soit $L_v = h_1 - h_5$ la chaleur latente de vaporisation de l'ammoniac à $\theta_1 = -30\text{ °C}$ (la vaporisation de l'ammoniac (corps pur) se fait à pression constante).

Sur le graphe, on relève : $h_5 = 360\text{ kJ.kg}^{-1}$; on obtient, alors : $L_v = 1360\text{ kJ.kg}^{-1}$



e)

- Le Premier Principe pour les fluides en écoulement, s'écrit : $w_{tr\ cycle} + q_{cycle} = (\Delta h)_{cycle}$

L'enthalpie massique (h) est une fonction d'état de sorte que l'on a : $(\Delta h)_{cycle} = 0$

soit : $w_{tr\ cycle} + q_{cycle} = 0$ (relation a)

Le travail avec transvasement représente le travail « reçu » par le fluide de la part des parties mobiles des machines dans lesquelles il évolue. Le fluide ne reçoit du travail de transvasement que de la part du compresseur : $w_{12\ tr} = w_{tr\ cycle}$.

- Le Premier Principe s'écrit également : $w_{cycle} + q_{cycle} = (\Delta u)_{cycle}$.

Dans cette expression, w_{cycle} représente le travail total reçu par 1 kg d'ammoniac au cours d'un cycle.

Comme l'énergie interne massique est aussi une fonction d'état, on a : $(\Delta u)_{cycle} = 0$ soit :

$w_{cycle} + q_{cycle} = 0$ (relation b).

- La comparaison des relations a et b montre que le travail massique total reçu par le fluide, au cours d'un cycle est bien égal au travail massique de transvasement $w_{12\ tr}$

Remarque : On peut, bien entendu, raisonner plus simplement pour résoudre la question précédente..... mais l'avantage de la résolution qui précède est d'insister sur la différence entre « travail reçu » et « travail avec transvasement » !

Résolution « plus classique » :

Le Premier Principe s'écrit : $w_{cycle} + q_{cycle} = (\Delta u)_{cycle}$.

Dans cette expression, w_{cycle} représente le travail total reçu par 1 kg d'ammoniac au cours d'un cycle.

Comme l'énergie interne massique est une fonction d'état, on a : $(\Delta u)_{\text{cycle}} = 0$ soit : $w_{\text{cycle}} + q_{\text{cycle}} = 0$.

* Calcul de q_{cycle} :

□ $q_{12} = 0$ (transformation adiabatique)

□ $q_{23} = h_3 - h_2$ (transformation isobare)

□ $q_{34} = h_4 - h_3 = 0$ (le laminage isenthalpique est une transformation sans chaleur et sans travail

« avec transvasement »).

□ $q_{41} = h_1 - h_4$

* Calcul de w_{cycle} : $w_{\text{cycle}} = -(q_{23} + q_{41})$ soit : $w_{\text{cycle}} = h_2 - h_3 - h_1 + h_4$

Comme la transformation $3 \rightarrow 4$ est isenthalpique, on obtient, en définitive : $w_{\text{cycle}} = h_2 - h_1$

Soit : $w_{\text{cycle}} = w_{12\text{tr}}$

f) Le coefficient de performance de la chambre froide est noté e_F .

La « recette » représente la chaleur absorbée (donc retirée à la chambre froide) par l'ammoniac au niveau de l'évaporateur (q_{41}).

La « dépense » est, bien évidemment, le travail fourni au fluide par l'intermédiaire du compresseur soit

$$w_{\text{cycle}} = w_{12\text{tr}}$$

On écrit : $e_F = \frac{q_{41}}{w_{12\text{tr}}} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1}$ A.N. : $e_F = 2,2$