

# QCM DE THERMO 2

Un réfrigérateur fonctionne dans une cuisine de température  $T = 25^{\circ}\text{C}$ . La température de l'intérieur du réfrigérateur doit être de  $4^{\circ}\text{C}$ . Quelle est l'efficacité maximale théorique de ce réfrigérateur ?

$$e = 13,2 = \frac{T_F}{T_C - T_F} \text{ avec des températures en Kelvin.}$$

Un fluide réfrigérant entre dans un détendeur sous forme de liquide juste saturé. Dans ce détendeur sa pression diminue de 1,4 bar à 0,2 bar. Aucun travail ni aucune chaleur n'est apportée au passage du détendeur.

Dans une table de données on trouve que l'enthalpie massique du *liquide* saturé vaut  $h_1 = 353 \text{ kJ/kg}$  à 1,4 bar, et  $h_2 = 94 \text{ kJ/kg}$  à 0,2 bar. L'enthalpie massique de la *vapeur* saturée vaut  $h_3 = 1200 \text{ kJ/kg}$  à 1,4 bar et  $h_4 = 1419 \text{ kJ/kg}$  à 0,2 bar. Après avoir traversé le détendeur, le fluide entre dans l'évaporateur dans laquelle la pression vaut 0,2 bar. A la sortie de l'évaporateur, le fluide est à l'état de vapeur saturante.

Quelle est la quantité de fluide (**en grammes**) que l'on doit faire circuler dans l'évaporateur pour que ce fluide y absorbe une quantité de chaleur égale à 100 kJ ? On néglige toute variation d'énergie cinétique ou d'énergie potentielle.

**R : 94g. D'après le premier principe en système ouvert la détente est isenthalpique.**

**Dans l'évaporateur le fluide reçoit  $Q = m(h_4 - h_1)$  donc**

$$m = \frac{Q}{h_4 - h_1} = \frac{100}{1419 - 353} = 9,4 \times 10^{-2} \text{ kg} = 94 \text{ g}$$

Pour un fluide à une certaine température, on trouve dans une table :

L'enthalpie de la vapeur saturée :  $h_v = 2706 \text{ kJ/kg}$  ;

L'enthalpie du liquide saturé :  $h_l = 503,8 \text{ kJ/kg}$ .

L'entropie de la vapeur saturée :  $7,1292 \text{ kJ/(kg}\cdot\text{K)}$ .

L'entropie du liquide saturé :  $1,5279 \text{ kJ/(kg}\cdot\text{K)}$ .

L'enthalpie d'un certain mélange liquide / vapeur vaut  $h=1200 \text{ kJ/kg}$ . Que vaut son entropie **en  $\text{kJ/(kg}\cdot\text{K)}$**  ?

**R : 3,2979kJ / (K.kg).**  $x_V = \frac{1200 - 503,8}{2706 - 503,8} = 0,316 = 31,6\%$  et  $x_L = 0,684$ . On en déduit

$$s = x_V s_V + x_L s_L = 3,2979 \text{ kJ} / (\text{K.kg}).$$

Un compresseur comprime de la vapeur surchauffée de manière isotherme et réversible (le fluide échange du travail ET de la chaleur avec le compresseur). Le fluide passe alors de l'état A caractérisé par :  $T_A = 500^\circ\text{C}$ ,  $P_A = 1$  bar,  $s_A = 8,8362 \text{ kJ}/(\text{kg.K})$ ,  $h_A = 3488,7 \text{ kJ/kg}$ , à un état B tel que  $P_B = 100$  bar,  $s_B = 6,5995 \text{ kJ}/(\text{kg.K})$ ,  $h_B = 3375 \text{ kJ/kg}$ .

Pour chaque kilogramme de fluide traversant le compresseur, calculer la quantité de chaleur reçue et en déduire la **quantité de travail** reçue.

**R : 1615 kJ.** Pour une transformation réversible on a :

$Q = T\Delta S = (500 + 273) \times (6,5995 - 8,8362) = -1729 \text{ kJ} / \text{kg}$  . D'autre part le premier principe en

système ouvert s'écrit :  $W + Q = m(h_B - h_A)$  d'où

$W = m(h_B - h_A) - Q = 1 \times (3375 - 3488) - (-1729) = 1615 \text{ kJ}$  pour un kg de vapeur.

On comprime un mélange liquide / vapeur de manière isotherme. On note  $v_l$  le volume massique du liquide saturé et  $v_v$  le volume massique de la vapeur saturée. On a  $v_l = v_v/12$ . On admet que la vapeur se comporte ici quasiment comme un gaz parfait. Lorsque le volume massique du mélange passe de  $v_v$  à  $v_v/3$ , la pression :

- est approximativement multipliée par 3
- est inchangée
- est multipliée par  $4/3$
- est approximativement divisée par 3
- est approximativement multipliée par 4
- il manque une donnée pour pouvoir conclure

**Elle est inchangée.** La pression dont il est question est la pression de vapeur saturante, qui ne dépend que de la température. Elle est donc inchangée.

A la température de  $-29^{\circ}\text{C}$ , l'enthalpie massique de l'ammoniac vaut  $h_v = 1405 \text{ kJ/kg}$  pour la vapeur saturée et  $h_L = 48 \text{ kJ/kg}$  pour le liquide saturé. La capacité calorifique massique de l'eau vaut  $c = 4185 \text{ J/(K.kg)}$ .

Un réfrigérateur utilise de l'ammoniac comme fluide réfrigérant. En entrant dans l'évaporateur l'ammoniac est à  $-29^{\circ}\text{C}$  et est constitué de 80% de liquide et 20% de vapeur. En sortie d'évaporateur on a 100% de vapeur juste saturée. Le débit massique d'ammoniac vaut  $d = 2,5 \text{ g}$  par seconde. L'évaporateur refroidit un circuit d'eau qui parvient à son contact dans un échangeur de chaleur. La température de l'eau diminue de  $10^{\circ}\text{C}$  au contact de l'évaporateur. On considère que l'échangeur de chaleur est isolé thermiquement de l'air extérieur.

Quel est le débit d'eau ?

**R/ débit = 64,8 g/s.**

80% de l'ammoniac parvenant dans l'évaporateur doit être vaporisé. Par unité de masse, cette vaporisation consomme une chaleur  $Q = 0,80 \times (h_v - h_l)$ , qui doit être apportée par l'eau. On écrit que l'échangeur est globalement isolé :  $0,80 \times (h_v - h_l) \times \dot{m}_{NH_3} + \dot{m}_{eau} c \Delta T_{eau} = 0$ , et on en déduit :

$$\dot{m}_{eau} = \frac{0,80 \times 2,5 \times 10^{-3} \times (1405 - 48) \times 10^3}{4185 \times 10} = 0,0648 \text{ kg.s}^{-1} = 64,8 \text{ g.s}^{-1}.$$

Un moteur thermique à gaz parfait fonctionne de manière entièrement réversible avec une quantité fixe de gaz. Le fluide décrit un cycle composé de deux transformations isothermes A-B et C-D aux températures  $T_1 = 500^\circ\text{C}$  et  $T_2 = 25^\circ\text{C}$ , et de deux autres transformations B-C et D-A pendant lesquelles le fluide ne reçoit aucune chaleur. Le volume en C est  $V_C = 20\text{ L}$ , et le volume en B est  $V_B = 10\text{ L}$ .

Quelle est l'efficacité du cycle ?

Il s'agit d'un cycle idéal de Carnot donc  $\eta = 1 - \frac{25 + 273}{500 + 273} = 0,61 = 61\%$

Une pompe comprime de l'eau liquide, de la pression 1 bar à la pression  $P=50$  bar avec un débit de 10 kg/s, de manière adiabatique. L'eau garde une masse volumique constante égale à 1kg/L. On néglige les variations d'énergie cinétique et potentielle de l'eau. A partir de la relation  $h=u+pv$ , exprimer littéralement la variation d'enthalpie massique  $dh$  de l'eau en fonction du volume massique  $v$  et de la variation de pression  $dp$ . Puis en appliquant le premier principe en système ouvert, calculer la valeur numérique **en kW** de la puissance mécanique que la pompe apporte à l'eau.

On a  $h = u + pv$  donc  $dh = du + p dv + v dp = \delta Q^{rev} + \delta W^{rev} + p dv + v dp = v dp$  donc

$$P_{méca} = \dot{m} \Delta h = \dot{m} v \Delta p = 10 \times 10^{-3} \times 49 \times 10^5 = 49 kW$$

$$P_{méca} = \dot{m} \Delta h = \dot{m} v \Delta p = 10 \times 10^{-3} \times (36 - 1) \times 10^5 = 35 kW$$

Une mole de gaz parfait décrit un cycle moteur composé d'une compression adiabatique 1-2, suivi d'une combustion isobare 2-3, d'une détente adiabatique 3-4, et d'un refroidissement isobare 4-1. Sa capacité calorifique molaire à pression constante vaut  $c_p = 29 \text{ J/mol}$ . Les températures aux points 1, 2, 3 et 4 valent respectivement 293 K, 601 K, 1233 K, et  $T_4 = 601 \text{ K}$ .

Calculer les quantités de chaleur reçues à chaque étape. On demande d'en déduire **le travail produit**  $W$  (et exprimé en **kilojoules**), pour une mole de gaz qui décrit ce cycle (le résultat attendu est donc positif).

**R : 9,4kJ/mol.** Adiabatiques 1-2 et 3-4 :  $Q=0$ . Isobares  $Q_{23} = c_p (T_3 - T_2)$  et  $Q_{41} = c_p (T_1 - T_4)$ .

Premier principe :  $W = -Q = -Q_{23} - Q_{41} = 29 \times (601 + 601 - 293 - 1233) = -9,4 \text{ kJ.mol}^{-1}$ . Le travail **fourni** est donc de 9,4kJ/mol.