TD premier principe industriel

I. Turbine

1. On applique le premier principe industriel au fluide dans la turbine en tenant compte de la variation d'énergie cinétique: $D_m(h_2 - h_1 + \frac{c_2^2 - c_1^2}{2}) = P_u + P_{th}$

avec $h_2 - h_1 = c_p(T_2 - T_1) = 0$ car Le fluide subit une transformation isotherme donc $T_1 = T_2$.

avec $P_u = -P < 0$: la turbine cède de la puissance au milieu extérieur et l'énoncé nous donne la puissance cédée qui est $P > 0$

On a donc $P_{th} = D_m(\frac{c_2^2 - c_1^2}{2}) - P_u = D_m(\frac{c_2^2 - c_1^2}{2}) + P$

2. On applique le premier principe industriel au fluide dans la turbine en tenant compte de la variation d'énergie cinétique: $D_m(h_2 - h_1 + \frac{c_2^2 - c_1^2}{2}) = P_u + P_{th}$

Cette fois ci la transformation est adiabatique donc $P_{th} = 0$

On a encore $P_u = -P < 0$ et on a $h_2 - h_1 = c_p(T_2 - T_1)$ soit $D_m c_p(T_2 - T_1) + D_m(\frac{c_2^2 - c_1^2}{2}) = -P$ donc $D_m c_p(T_1 - T_2) = +P + D_m(\frac{c_2^2 - c_1^2}{2})$ et $T_1 = T_2 + \frac{P}{D_m c_p} + \frac{c_2^2 - c_1^2}{2c_p}$.

$D_m(h_2 - h_1 + \frac{c_2^2 - c_1^2}{2}) = P_u + P_{th}$

II. Utilisation d'un diagramme entropique: Etude d'une PAC

1. A l'intérieur de la courbe de saturation, là où il y a un équilibre liquide vapeur, la pression est constante, les isobares sont horizontales et dans la domaine de la vapeur, les isobares sont données en pointillé. Dans le domaine liquide les isobares ne sont pas représentées, elles sont collées à la courbe d'ébullition. On lit $P_{sat}(0^0C) = 4\ bar$ et à $P_{sat}(20^0C) = 8\ bar$.

2. A 0^0C, on lit l'enthalpie de la vapeur saturante (sur la courbe de rosée): $h_v = 1465\ kJ.kg^{-1}$ et l'enthalpie du liquide saturant (sur la courbe d'ébullition) $h_l = 200\ kJ.kg^{-1}$. On a donc $\Delta_{vap}h(0^0C) = h_v - h_l = 1265\ kJ.kg^{-1} > 0$: il faut apporter de l'énergie pour vaporiser un liquide.

3. La transformation $A - B$ est adiabatique réversible donc elle est isentropique soit $s_A = s_B$.

La transformation $C - D$ est adiabatique et se fait sans pièce mobile donc d'après le premier principe industriel $\Delta h_{CD} = h_D - h_C = w_u + q = 0$.

4. On lit $T_B = 50^0C$ (B est à l'intersection de l'isentropique passant par A et de l'isobare $P_{sat} = 8\ bar$).

On lit $h_A = 1455\ kJ.kg^{-1}$, $h_B = 1560\ kJ.kg^{-1}$ et $h_C = h_D = 300\ kJ.kg^{-1}$,

5. On applique le premier principe industriel à la transformation $D - A$ (sans pièce mobile soit $w_{u,DA} = 0$): $\Delta h_{DA} = h_A - h_D = w_{u,DA} + q_2$ soit $q_2 = h_A - h_D = +1155\ kJ.kg^{-1} > 0$: le fluide reçoit de la chaleur du milieu extérieur pour se vaporiser.

On applique le premier principe industriel à la transformation $B - C$ (sans pièce mobile soit $w_{u,BC} = 0$): $\Delta h_{BC} = h_C - h_B = w_{u,BC} + q_1$ soit $q_1 = h_C - h_B = -1260\ kJ.kg^{-1} < 0$: le fluide cède de la chaleur au local en se liquéfiant.

On applique le premier principe industriel à la transformation adiabatique $A - B$ soit $\Delta h_{AB} = h_B - h_A = w_{u,AB} + 0$ soit $w_c = h_B - h_A = +105\ kJ.kg^{-1} > 0$: le fluide reçoit du travail dans le compresseur.

6. L'efficacité de la PAC est $e = \frac{-q_1}{w_c} = 12$.

L'efficacité de Carnot est $e_c = \frac{T_c}{T_c - T_f} = \frac{293}{20 - 0} = 14,7$.

L'efficacité réel de la PAC est inférieur à l'efficacité de Carnot à cause des irréversibilités liées aux phénomènes de diffusion de chaleur et de particules.

7. La transformation AB est réversible donc il n'y a pas d'entropie créée.

On lit $s_A = s_B = 5600\ J.kg^{-1}.K^{-1}$, $s_C = 1350\ J.kg^{-1}.K^{-1}$ et $s_D = 1360\ J.kg^{-1}.K^{-1}$.

On applique le second principe de la thermodynamique à chaque transformation:

$\Delta s_{BC} = \frac{q_1}{T_0} + s_{c,BC}$ soit $s_{c,BC} = s_C - s_B - \frac{q_1}{T_0} = 1350 - 5600 - \frac{-1260.10^3}{293} = 50\ J.kg^{-1}.K^{-1}$: les irréversibilités sont liées à la diffusion thermique, du chaud vers le froid.

$\Delta s_{CD} = 0 + s_{c,BC}$ soit $s_{c,CD} = s_D - s_C = 10\ J.kg^{-1}.K^{-1}$: les irréversibilités sont liées à la diffusion de particules des fortes vers les faibles pressions.

$\Delta s_{DA} = \frac{q_2}{T_{ext}} + s_{c,DA}$ soit $s_{c,DA} = s_A - s_D - \frac{q_2}{T_{ext}} = 5600 - 1370 - \frac{1155.10^3}{273} = 10\ J.kg^{-1}.K^{-1}$: les irréversibilités sont liées à la diffusion thermique, du chaud vers le froid.

III. **Utilisation d'un diagramme entropique: Centrale électrique**

1. Voir diagramme.

2. On utilise le théorème des moments: $x_4 = \frac{LM}{LV} = \frac{6,9 - 0,8}{7,9 - 0,8} = 0,86$ (on voit d'ailleurs que le point 4 est entre les isotitres $x = 0,8$ et $x = 0,9$ donc cela correspond).

3. On applique le premier principe industriel à l'étape 3-4 dans la turbine adiabatique (donc $q_{34} = 0$) soit $\Delta h_{34} = w_{u34} + q_{34}$ donne $w_{u34} = h_4 - h_3 = 2250 - 3650 = -1400\ kJ.kg^{-1} < 0$: c'est une détente, le fluide donne du travail au milieu extérieur pour faire tourner la turbine.

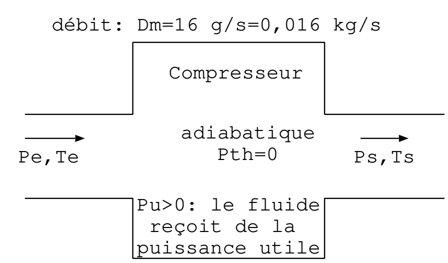
Le contact avec la source froide se fait en bas du cycle (à basse température) soit $q_f = q_{41}$. On applique le premier principe industriel à l'étape 4-1 dans le condenseur qui ne comprend pas de pièce mobile soit: $\Delta h_{41} = w_{u41} + q_{41} = q_{41} = h_1 - h_4 = 250 - 2250 = -2000\ kJ.kg^{-1} < 0$: le fluide donne de la chaleur à la source froide.

Le contact avec la source chaude se fait en haut du cycle (à haute température) soit $q_c = q_{23}$. On applique le premier principe industriel à l'étape 4-1 dans la chaudière qui ne comprend pas de pièce mobile soit: $\Delta h_{23} = w_{u23} + q_{23} = q_{23} = h_3 - h_2 = 3650 - 250 = 3400\ kJ.kg^{-1} > 0$: le fluide reçoit de la chaleur de la source chaude.

4. La central est un moteur dont le rendement est $r = \frac{-w_{u34}}{q_c} = 0,41$ et le rendement de Carnot est $r_c = 1 - \frac{T_3}{T_1} = 0,62$. Le rendement de Carnot est supérieur au rendement de la machine réelle car dans la machine réelle il y a des irréversibilités.

5. On applique le second principe à la transformation 4-1: $\Delta s_{41} = \frac{q_f}{T_f} + s_{c,41}$ soit $s_{c,41} = s_1 - s_4 - \frac{q_f}{T_f} = 0,8 - 6,9 - \frac{-2000}{273+60} = 0,2\ kJ.kg^{-1}.K^{-1} > 0$: les irréversibilités sont liées à la diffusion thermique, du chaud vers le froid.

IV. **Compresseur**



1. On applique le premier principe industriel au fluide dans le compresseur, l'énoncé de donne aucune vitesse et aucune hauteur donc on néglige les variations d'énergie cinétique et d'énergie potentielle.

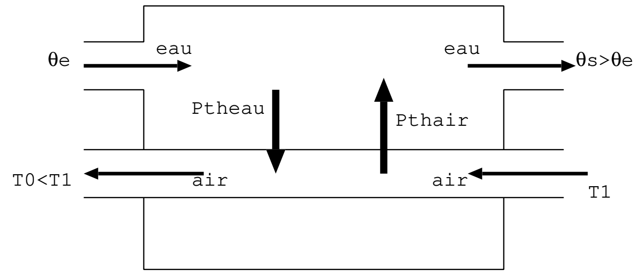
$D_m(h_s - h_e)D_m c_p(T_s - T_e) = P_u$ (la puissance thermique est nulle car le compresseur est adiabatique). AN: $P_u = 3,9\ kW$

2. Dans le compresseur, l'air est assimilé à un GP en transformation adiabatique réversible donc on peut lui appliquer les lois de Laplace: $P_e V_e^\gamma = P_s V_s^\gamma$ donne (avec $V = \frac{nRT}{P}$) $P_e^{1-\gamma} T_e^\gamma = P_s^{1-\gamma} T_s^\gamma$ d'où $T_s = T_e (\frac{P_e}{P_s})^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} = 520\ K$.

On applique le premier principe industriel comme précédemment avec $T_s = 520\ K$, on obtient $P_u = 3,6\ kW$.

V. **Réfrigérant**

L'eau et l'air peuvent échanger de la chaleur, la chaleur se propage des fortes vers les faibles températures donc ici l'eau froide (qui entre à la température $\theta_e = 12^0C$) permet de refroidir l'air chaud (qui entre à la température $T_1 = 500\ K$). La température de l'eau à la sortie est donc plus élevée que sa température à l'entrée et la température de l'air à la sortie est plus faible que sa température à l'entrée.



Réfléchissons un peu: L'idée est d'appliquer le premier principe industriel. On peut l'appliquer à trois systèmes différents: l'eau, l'air ou le système eau+air.

Le premier principe industriel appliqué à l'eau s'écrit: $d_e(h_{s,eau} - h_{e,eau}) = d_e c(\theta_s - \theta_e) = P_{th,eau}$ (la puissance utile est nulle car il n'y a pas de pièces mobiles).

Le premier principe industriel appliqué à l'air s'écrit: $d_a(h_{s,air} - h_{e,air}) = d_a c_p(T_1 - T_0) = P_{th,air}$ (la puissance utile est nulle car il n'y a pas de pièces mobiles).

Le premier principe industriel appliqué au système air+eau s'écrit: $d_a(h_{s,air} - h_{e,air}) + d_e(h_{s,eau} - h_{e,eau}) = d_e c(\theta_s - \theta_e) + d_a c_p(T_1 - T_0) = 0$ (en effet il n'y a pas de puissance thermique car le système air+eau est adiabatique). Remarque: l'équation obtenue avec le premier principe industriel appliqué à l'eau+l'air est en fait la somme des deux équations obtenues en appliquant le premier principe industriel, à l'air puis à l'eau seule. En effet $P_{th,eau} = -P_{th,air}$ car la puissance thermique perdue par l'air est reçue par l'eau, l'ensemble étant adiabatique.

Donc concrètement, quand on résout cet exercice on n'applique que le premier principe industriel appliqué au système air+eau soit: $d_a(h_{s,air} - h_{e,air}) + d_e(h_{s,eau} - h_{e,eau}) = d_e c(\theta_s - \theta_e) + d_a c_p(T_1 - T_0) = 0$. On en déduit θ_s par $\theta_s = \theta_e - \dfrac{d_a c_p(T_1 - T_0)}{d_e c} = 288\ K$ (faire l'AN avec les températures en Kelvin).

VI. **Utilisation d'un tableau de données**

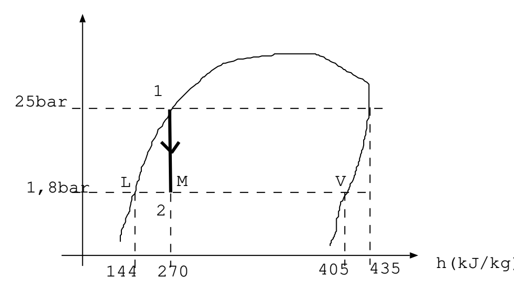
1. L'état 1 est sur la courbe d'ébullition à $P = 25\ bar$.

La détente de Joule Thomson est isenthalpique.

On applique le théorème des moments: $x_v = \dfrac{LM}{LV} = \dfrac{270 - 144}{405 - 144} = 0,48$

On a $s_1 = s_l(24\ bar) = 1,22\ kJ.kg^{-1}.K^{-1}$ et $s_2 = x_v s_v(1,8\ bar) + (1 - x_v)s_l(1,8\ bar) = 1,32\ kJ.kg^{-1}.K^{-1}$

On applique le second principe de la thermo au fluide: la détente de Joule Thomson est adiabatique donc $s_e = 0$ d'où $s_c = s_2 - s_1 = 0,10\ kJ.kg^{-1}.K^{-1} > 0$: la détente est irréversible car les particules vont des fortes vers les faibles pressions.



2. La compression est adiabatique réversible soit isentropique.

On applique le théorème des moments: $x'_v = \dfrac{LM}{LV} = \dfrac{1,75 - 0,78}{1,9 - 0,78} = 0,87$

On a $h_4 = s_v(24\ bar) = 435\ kJ.kg^{-1}$ et $h_3 = x'_v h_v(1,8\ bar) + (1 - x'_v)h_l(1,8\ bar) = 371\ kJ.kg^{-1}$

On applique le premier principe industriel au fluide: la compression est adiabatique donc $w_u = h_4 - h_3 = 64\ kJ.kg^{-1} > 0$: le fluide reçoit du travail.