

Problème 1 : Utilisation d'une Pompe à Chaleur (PAC), d'après CCINP

1. Avec les notations du cours :
2. La grandeur énergétique utile (valorisable) est Q_C , qui sert à maintenir l'intérieur à une température élevée, W est lié à l'alimentation électrique, c'est la grandeur couteuse.
3. Sur un cycle : $W + Q_F + Q_C = 0$ (PP) ; $\frac{Q_F}{T_1} + \frac{Q_C}{T_0} = 0$ (DP), soit $\varepsilon = \frac{T_0}{T_0 - T_1} = \frac{293}{25} = 11,7$.
4. $\delta Q' < 0$: la température de l'air de la pièce T est supérieur à la température de l'air extérieur T_1 , avec $a > 0$. C'est l'air extérieur qui reçoit un transfert thermique de la part de la pièce, ce qui est cohérent.
5. $\delta Q'$ est en J, C en $J.K^{-1}$, ainsi a s'exprime en s^{-1} .
6. PP : $dU = \delta Q'$ (transformation isochore), et pour un GP : $dU = C(T(t + dt) - T(t)) = C \frac{dT}{dt} dt$, d'où le résultat avec $B = aT_1$.
7. $T(t) = T_h(t) + T_p$, avec $T_h(t) = Ae^{-\frac{t}{\tau}}$ où $\tau = \frac{1}{a}$ et $T_p = T_1$.
À l'aide de la CI $T(0) = T_0$, on obtient : $T(t) = (T_0 - T_1)e^{-at} + T_1$.
8. Pour $t_1 = 3$ h, $T = T_f = (T_0 - T_1)e^{-at_1} + T_1$, soit $a = 0,14$ h $^{-1}$.
9. $P = \frac{\delta W}{dt}$
10. PP : $C \frac{dT}{dt} dt = -aC(T(t) - T_1)dt - \delta Q_c$, avec $\delta Q_c = -Pdt_\epsilon = -P \frac{T}{T - T_1} dt$. On obtient

$$\frac{dT}{dt} + aT - \frac{P}{C} \frac{T}{T - T_1} = aT_1$$

Problème 2 : L'énergie électrique : centrale REP, d'après CNC**1) Préliminaire : cycle thermodynamique de Carnot**

1. $W < 0$, $Q_C > 0$ et $Q_F < 0$
- 2.
- 3.
4. $W + Q_F + Q_C = 0$; $\frac{Q_F}{T_F} + \frac{Q_C}{T_C} = 0$.
5. $\eta_C = -\frac{W}{Q_C} = \frac{Q_F + Q_C}{Q_C} = 1 + \frac{Q_F}{Q_C} = 1 - \frac{T_F}{T_C}$, car $\frac{Q_F}{Q_C} = -\frac{T_F}{T_C}$ (Carnot-Clausius ou CC).
6. Dans ce cas : CC devient $\frac{Q_F}{T_F} + \frac{Q_C}{T_C} + S_p = 0$ soit $\frac{Q_F}{Q_C} = -\frac{T_F}{T_C} - \frac{T_F}{Q_C} S_p$, d'où le résultat.
7. $\eta < \eta_C$: le cycle de Carnot est un cycle théorique idéal réversible tel que les phénomènes dissipatifs sont supposés négligeables.

2) Étude du cycle de l'eau d'un réacteur à eau pressurisée**a) Étude du circuit primaire**

1. (a) P_{sat} , qui correspond à la courbe, est la pression maximale que peut atteindre la vapeur, le domaine de la vapeur est donc la zone sous la courbe, le liquide est au-dessus.

- (b) Pour une température de 284 °C et une pression de 155 bar, on est dans le domaine du liquide, l'eau est donc dans cet état. En sortie, la pression est identique mais la température de 321 °C, ce qui est également dans le domaine du liquide.
- (c) Dans le pressuriseur, on est sur la courbe d'équilibre liquide-vapeur, à la pression de 155 bar. On lit sur le graphe la température correspondante : 345 °C.
2. $\Delta h = c\Delta T = c(321 + 273 - (284 + 273)) = c(321 - 285) = 214,6 \text{ kJ.kg}^{-1}$.
3. Dimensionnellement, $D_m = \frac{P}{\Delta h} = 1,305.10^3 \text{ kg.s}^{-1}$.

b) Étude du circuit secondaire

1. Schéma :
2. La transformation $A \rightarrow B$ est isentropique, soit $0 = c_1 \ln \left(\frac{T_B}{T_A} \right) - \alpha v_1 (P_B - P_A)$, soit $\frac{T_B}{T_A} = \frac{\alpha v_1}{c_1} (P_B - P_A) = 1,0007 \approx 1$, soit $\Delta T = 0,217 \text{ K} \ll T_A$.
3. La détente dans la turbine est isentropique, $\Delta s_{DE} = 0$, soit $s_E = s_D$ (vapeur saturante à 300 °C et 85,9 bar), soit $s_E = 5,57 \text{ kJ.K}^{-1}.\text{kg}^{-1}$.
4. On connaît les entropies massiques, c'est donc en fonction de celles-ci que s'exprimera le théorème des moments : $x_E(T_A) = \frac{s - s_L}{s_V - s_L} = \frac{5,57 - 0,44}{8,46 - 0,44} = 64,0\%$.
5. Voir cours : $h = \frac{H}{m_{tot}}$ avec $H = H_V + H_L$ (enthalpie du mélange = enthalpie de la phase vapeur + enthalpie de la phase liquide), soit $h = \frac{H_V + H_L}{m_{tot}}$.
De plus, $h_L = \frac{H_L}{m_L}$ et $h_V = \frac{H_V}{m_V}$, ce qui donne : $h = x_L h_L + x_V h_V = (1 - x_V) h_L + x_V h_V$. En sortie de turbine : $h_E = (1 - x_E) h_L + x_E h_V$.
6. $\Delta h = h_E - h_{D,vap,saturante} = w_{Tu} = 1686,62 - 2749 = -1062,38 \text{ kJ.kg}^{-1}$.
7. $\Delta h_{BC} = q_{BC} + w_{BC}$.
 $h_C = h_{liq,saturant}(300^\circ\text{C})$; $h_B = h(30^\circ\text{C})$ avec $h_{B,liq} = h_A$
 $w_{BC} = -P_B(v_C - v_B) = -85,9.10^5(1,4 - 1).10^{-3} = -3,436 \text{ kJ.kg}^{-1}$
soit $q_{BC} = 1222,4 \text{ kJ.kg}^{-1}$.
8. $\eta_t = 38\%$
9. $\eta_{max} = 1 - \frac{T_A}{T_B} = 47\%$, soit $\eta_t < \eta_{max}$
10. $\eta_e = \frac{600.10^6}{2,8.10^9} = 21,4\%$

Problème 3 : Expérience de Clément et Desormes, mesure de γ

1. Le robinet est ouvert pendant un instant très court, la variation de pression est très faible ($p_i \ll P_0$), on peut donc négliger les échanges thermiques durant ce très court instant et supposer que la transformation est réversible (on est toujours très proche d'un état d'équilibre thermodynamique).
2. L'EE du GP s'écrit $PV = nRT$; puisque le volume du système reste constant, on a : $(p_i + P_0)V = nRT_0$ et $P_0V = nRT_f$. Le produit $\frac{P_0V}{nR}$ s'écrit $T_0 - \frac{p_i V}{nR}$ à l'état initial, d'où la forme proposée dans l'énoncé.
3. Avant dégazage, la pression du système est $P_0 + p_i$ et sa température T_0 . Après dégazage, sa pression est à P_0 et sa température $T_0 - \theta$. La loi de Laplace (adiabatique réversible) donne : $(P_0 + p_i)^{1-\gamma} T_0^\gamma = P_0^{1-\gamma} (T_0 - \theta)^\gamma$, soit en réalisant 2 DL à l'ordre 1 : $P_0^{1-\gamma} T_0^\gamma \left(1 + (1 - \gamma) \frac{p_i}{P_0} \right) = P_0^{1-\gamma} T_0^\gamma \left(1 - \gamma \frac{\theta}{T_0} \right)$ ou encore :

$$\theta = \frac{\gamma - 1}{\gamma} T_0 \frac{p_i}{P_0}$$

4. Puisque le volume du système ne change pas, la transformation est isochore (le volume de l'enceinte sera noté V_0) et monotherme (et aussi monobare, mais ça ne sert à rien, car il n'y a pas de paroi mobile...).
5. EI : $P_0, V_0, T_0 - \theta$. EF : $P_0 + p_f, V_0, T_0$ (équilibre thermique).
6. $V_0 = \frac{nR(T_0 - \theta)}{P_0} = \frac{nRT_0}{P_0 + p_f}$, soit : $1 + \frac{p_f}{P_0} = \frac{1}{1 - \frac{\theta}{T_0}} = 1 + \frac{\theta}{T_0}$ (DL à l'ordre 1), ou encore : $p_f = P_0 \frac{\theta}{T_0}$.

7. On injecte l'expression de θ de la question 3 :

$$p_f = p_i \left(1 - \frac{1}{\gamma} \right)$$

Les mesures au manomètre de p_i et p_f permettent de remonter à γ .