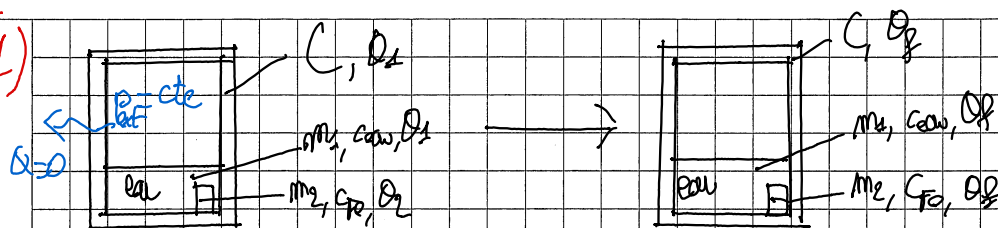


I/1)



Système = {eau + calo + fer}

Transform. monobare  $\Rightarrow \Delta H = Q$ Calorimétrie  $\Rightarrow Q = 0$ H additive :  $\Delta H = 0 \Leftrightarrow m_1 c_{aw} (T_f - T_1) + C (T_f - T_1) + m_2 c_{fe} (T_f - T_2) = 0$ 

$$\Leftrightarrow T_f (m_1 c_{aw} + C + m_2 c_{fe}) = (m_1 c_{aw} + C) T_1 + m_2 c_{fe} T_2$$

$$\Leftrightarrow T_f = \frac{(m_1 c_{aw} + C) T_1 + m_2 c_{fe} T_2}{m_1 c_{aw} + C + m_2 c_{fe}} \quad \text{avec}$$

$$A.N.: T_f = 296K \quad \text{soit} \quad \theta_f = 23^\circ C$$

$$\begin{aligned} T_1 &= 293K \\ T_2 &= 353K \\ m_1 &= 200g \\ m_2 &= 100g \\ c_{aw} &= 4185 \dots \\ c_{fe} &= 452 \dots \\ C &= 150.5 J.K^{-1} \end{aligned}$$

Remarque: La température finale est la moyenne pondérée des températures initiales

2) Pour les phases condensées,  $\Delta S = C \ln \left( \frac{T_f}{T_i} \right)$ 

$$\Delta S_{eau} = m_1 c_{aw} \ln \left( \frac{T_f}{T_1} \right) = 7.47 J.K^{-1}$$

$$\Delta S_{calo} = C \ln \left( \frac{T_f}{T_1} \right) = 1.34 J.K^{-1}$$

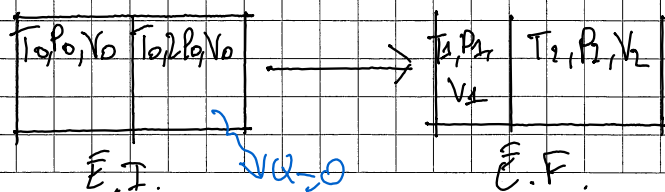
$$\Delta S_{fer} = m_2 c_{fe} \ln \left( \frac{T_f}{T_2} \right) = -8.02 J.K^{-1}$$

 $\Delta S > 0$  pour syst. isolé et à l'équilibre!3) Pour l'ensemble,  $Q = 0$  donc  $S_{ech} = 0$ 

$$\text{Soit } S_{cr} = \Delta S = 7.90 \cdot 10^{-1} J.K^{-1} > 0 : \text{irréversible}$$

Ici, irréversible car inhomogénéité de température

II/



1) Pas d'échange de matière :  $n_1 = n_0$  à gauche, et  $2P_0V_0 = n_2RT_0$   
 $\Rightarrow$   $n_2 = 2n_0$ .

2) On cherche des  $P_{\text{eq}}$  à exploiter. Déjà : équilibre thermodynamique,  
 donc 1) équilibre thermique : (1)  $T_1 = T_2$  (paroi diathermique  $\Rightarrow$  échange de chaleur, pas de matière)

2) équilibre mécanique : force gauche = force droite

$$\Leftrightarrow P_1 \cancel{S} = P_2 \cancel{S}$$

donc  $P_1 = P_2$  (2) par l'ensemble

De plus,  $\Delta U$  de l'ensemble est nul :  $Q = 0$ ,  $W = 0$

$$\text{Donc } n_1(T_1 - T_0) + n_2(T_2 - T_0) = 0$$

$$\Leftrightarrow T_1 + T_2 = 2T_0 \quad \text{et} \quad T_1 = T_2 \quad \text{donc} \quad T_1 + T_2 = 2T_1$$

$$\Leftrightarrow \boxed{T_1 = T_2 = T_0}$$

Ensuite, le volume se conserve :  $V_1 + V_2 = 2V_0$  (3)

Puis,

$$\left. \begin{array}{l} P_1 V_1 = n_0 R T_0 \\ P_2 V_2 = 2n_0 R T_0 \end{array} \right\} \Leftrightarrow P_2 V_2 = 2P_1 V_1 \quad (2)$$

$$\Leftrightarrow V_2 = 2V_1 \quad (4)$$

$$(4) + (3) \Leftrightarrow 3V_1 = 2V_0 \Leftrightarrow \boxed{V_1 = \frac{2}{3}V_0} \quad \text{et} \quad \boxed{V_2 = \frac{4}{3}V_0}$$

$$\text{Enfin, } P_1 \cdot \frac{2}{3}V_0 = n_0 R T_0 \Leftrightarrow \boxed{P_1 = \frac{3n_0 R T_0}{2V_0} = P_2}$$

3) Avec  $\Delta S_{\text{eq}} = C_V P_n \left( \frac{T_2}{T_1} \right) + nR P_n \left( \frac{V_2}{V_1} \right)$ , on a :  
 $\Delta S_1 = C_V P_n \left( \frac{T_0}{T_0} \right) + n_0 R P_n \left( \frac{V_1}{V_0} \right) \stackrel{V_1}{=} n_0 R P_n \left( \frac{2}{3} \right)$   
 $\Delta S_2 = 2n_0 R P_n \left( \frac{4}{3} \right)$

$S$  est additive, donc pour l'ensemble,

$$\Delta S = \Delta S_1 + \Delta S_2 = nR \left( P_n \left( \frac{2}{3} \right) + 2P_n \left( \frac{4}{3} \right) \right)$$

$$\Leftrightarrow \Delta S = nR \left( P_n \left( \frac{2}{3} \right) + P_n \left( \frac{16}{9} \right) \right)$$

$$\Leftrightarrow \Delta S = nR P_n \left( \frac{32}{27} \right) \quad \text{Comme } Q=0, S_{\text{ech}}=0, \text{ donc } \Delta S = S_{\text{cr}} \quad \left. \begin{array}{l} \text{pression} \\ \text{matière} \\ \text{concentrations} \end{array} \right\}$$

$> 0$  Ici, irréversibilité par inhomogénéité de

III/

$$\square_{C_p, T_0} \xrightarrow{1} \square_{C_p, T_1} \xrightarrow{2} \square_{C_p, T_2} \dots \xrightarrow{n} \square_{C_p, T_n = T_f}$$

$$1) \Delta S_i = C_p P_n \left( \frac{T_{i+1}}{T_i} \right) = nC_p \alpha$$

$$2) \Delta U_i = mc(T_{i+1} - T_i) = Q_i \quad \text{et} \quad S_{\text{ech},i} = \frac{Q_i}{T_i} = mc(\alpha - 1)$$

$$3) \Delta S = \sum_i \Delta S_i = nC_p \ln \alpha$$

$$S_{\text{ech}} = \sum_i S_{\text{ech},i} = nC_p(\alpha - 1)$$

$$S_{\text{cr}} = \Delta S - S_{\text{ech}} = nC_p(P_n(\alpha) + 1 - \alpha)$$

$$4) \alpha = \frac{T_1}{T_0} = \frac{T_2}{T_1} = \dots = \frac{T_n}{T_{n-1}} \Rightarrow \alpha^n = \frac{T_n}{T_0} \times \frac{T_{n-1}}{T_{n-2}} \times \dots \times \frac{T_2}{T_1} \times \frac{T_1}{T_0}$$

$$\Leftrightarrow \alpha^n = \frac{T_f}{T_0} \Leftrightarrow \alpha = \left( \frac{T_f}{T_0} \right)^{\frac{1}{n}}$$

$$\text{Ainsi, } S_{\text{cr}} = C_p \cdot n \cdot \left( P_n \left( \frac{T_f}{T_0} \right)^{\frac{1}{n}} + 1 - \left( \frac{T_f}{T_0} \right)^{\frac{1}{n}} \right)$$

$$\Leftrightarrow S_{\text{cr}} = C_p \left( P_n \left( \frac{T_f}{T_0} \right) + n - n \cdot \left( \frac{T_f}{T_0} \right)^{\frac{1}{n}} \right)$$

$$\Leftrightarrow S_{\text{cr}} = C_p \left( P_n \left( \frac{T_f}{T_0} \right) + n - n \exp \left( \frac{1}{n} P_n \left( \frac{T_f}{T_0} \right) \right) \right)$$

comme  $P_n\left(\frac{T_F}{T_D}\right) = \text{cte}$ ,  $\frac{1}{n} P_n\left(\frac{T_F}{T_D}\right) \xrightarrow{n \rightarrow \infty} 0$

Avec  $\exp(x) \sim 1 + x + \frac{x^2}{2}$ , on trouve

$$S_{CR} \sim C_p \left( P_n\left(\frac{T_F}{T_D}\right) + n - n \left( 1 + \frac{1}{n} P_n\left(\frac{T_F}{T_D}\right) + \frac{1}{2n^2} \left[ P_n\left(\frac{T_F}{T_D}\right) \right]^2 \right) \right)$$

$$\Rightarrow S_{CR} \sim C_p \left( \cancel{P_n\left(\frac{T_F}{T_D}\right)} + n - n - \cancel{P_n\left(\frac{T_F}{T_D}\right)} - \frac{1}{2n} \left[ P_n\left(\frac{T_F}{T_D}\right) \right]^2 \right)$$

$$\Rightarrow S_{CR} \sim C_p \frac{1}{2n} \left[ P_n\left(\frac{T_F}{T_D}\right) \right]^2 \quad \text{soit} \quad S_{CR} \xrightarrow{n \rightarrow \infty} 0$$

anomalie

IV/1)

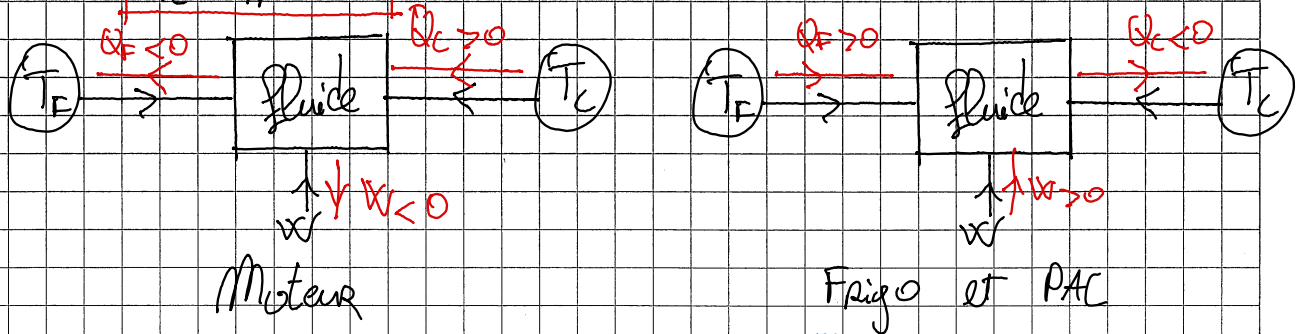
$$\Delta U_{\text{cycle}} = 0 \Leftrightarrow W + \sum_i Q_i = 0 \Leftrightarrow W = -Q_C - Q_F$$

2)

$$\Delta S_{\text{cycle}} = 0 \Leftrightarrow S_{\text{sch}} + S_{CR} = 0 \Leftrightarrow \frac{Q_C}{T_C} + \frac{Q_F}{T_F} + \underbrace{S_{\text{sch}}}_{\geq 0} = 0$$

$$\Leftrightarrow \frac{Q_C}{T_C} + \frac{Q_F}{T_F} \leq 0$$

3)



4)

$$e = -\frac{W}{Q_C} = 1 + \frac{Q_F}{Q_C} \quad \text{et} \quad \frac{Q_F}{T_F} \leq -\frac{Q_C}{T_C} \Leftrightarrow \frac{Q_F}{Q_C} \leq -\frac{T_F}{T_C}$$

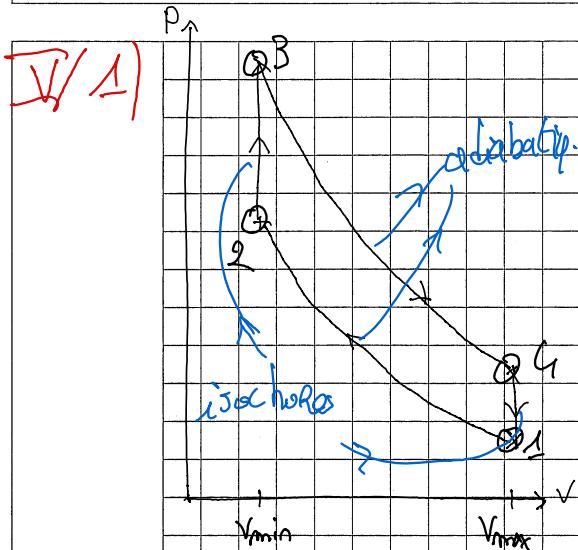
Donc  $e \leq 1 - \frac{T_F}{T_C}$

5)

$$e = -\frac{Q_C}{W} = \frac{Q_C}{Q_C + Q_F} = \frac{1}{1 + \frac{Q_F}{Q_C}} \quad \text{et} \quad \frac{Q_F}{T_F} \leq -\frac{Q_C}{T_C} \Leftrightarrow \frac{Q_F}{Q_C} \geq -\frac{T_F}{T_C}$$

Soit  $\frac{1}{1 + Q_F/Q_C} \leq \frac{1}{1 - T_F/T_C}$  donc  $e \leq \frac{T_C}{T_C - T_F}$





2) Adiabatique  $\Rightarrow Q=0$  et  $\Delta U = C_V \Delta T$   
 Isochore  $\Rightarrow V_r=0$  et  $C_V = \frac{nR}{\gamma-1}$

□ Ainsi, pour 1 $\rightarrow$ 2:

$$Q_{12}=0; \quad W_{12} = \Delta U_{12} = \frac{nR}{\gamma-1} (T_2 - T_1)$$

□ Pour 2 $\rightarrow$ 3:

$$W_{23}=0; \quad Q_{23} = \Delta U_{23} = \frac{nR}{\gamma-1} (T_3 - T_2)$$

□ Pour 3 $\rightarrow$ 4:  $Q_{34}=0; \quad W_{34} = \frac{nR}{\gamma-1} (T_4 - T_3)$

□ Pour 4 $\rightarrow$ 1:  $W_{41}=0; \quad Q_{41} = \frac{nR}{\gamma-1} (T_1 - T_4)$

Pour un moteur,  $r = \frac{-W_{tot}}{Q_c}$  et  $Q_c = Q_{23}$  (car  $Q_{23} > 0, Q_{41} < 0$ )

Donc  $r = \frac{-\frac{nR}{\gamma-1} (T_2 - T_1 + T_4 - T_3)}{\frac{nR}{\gamma-1} (T_3 - T_2)} = \frac{T_3 + T_1 - T_2 - T_4}{T_3 - T_2}$

soit  $r = 1 + \frac{T_1 - T_4}{T_3 - T_2}$

3) Sa Pas adiabatique. QS du GP:  $PV^\gamma = \text{cte} \Leftrightarrow TV^{\gamma-1} = \text{cte}$

$T_3 V_3^{\gamma-1} = T_4 V_4^{\gamma-1} \Leftrightarrow T_3 V_2^{\gamma-1} = T_4 V_1^{\gamma-1} \Leftrightarrow \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma-1} = \frac{T_3}{T_4} \Rightarrow T_3 - T_4 \alpha^{\gamma-1}$

et  $T_1 V_1^{\gamma-1} = T_2 V_2^{\gamma-1} \Leftrightarrow \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma-1} = \frac{T_1}{T_2} \Rightarrow T_2 = T_1 \alpha^{\gamma-1}$

Donc  $r = 1 + \frac{T_1 - T_4}{(T_4 - T_1) \alpha^{\gamma-1}} \Leftrightarrow r = 1 - \alpha^{1-\gamma}$

4)

$V_{bot} = S \cdot h = 520 \text{ cm}^3 = V_1$   
 $V_{min} = 100 \text{ cm}^3 = V_2$

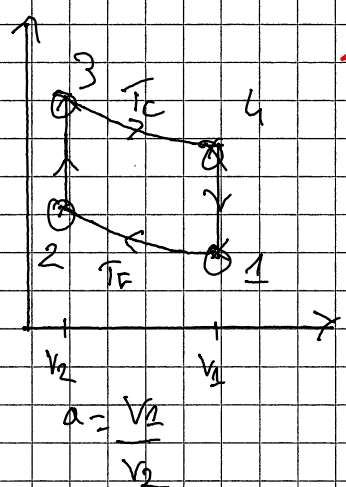
a) Soit  $r = 47,5 \%$

$$b) W_{tot} = -\tau Q_c = -\tau \cdot \frac{nR}{\gamma-1} (T_3 - T_2) = -\tau$$

$$O_k \left\{ \begin{array}{l} T_2 = \alpha^{\gamma-1} \cdot T_1 \\ nR = \frac{P_1 V_1}{T_1} \end{array} \right. \text{ avec } \left\{ \begin{array}{l} T_1 = 300 \text{ K} \\ P_1 = 1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa} \\ V_1 = 500 \text{ cm}^3 = 500 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 = 5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 \end{array} \right.$$

$$\text{Soit } W_{tot} = - \left( \frac{1 - \alpha^{1-\gamma}}{\gamma-1} \right) \frac{P_1 V_1}{T_1} (T_3 - T_1 \alpha^{\gamma-1}) \quad \text{avec } \left\{ \begin{array}{l} \alpha = 5 \\ \gamma = 1.4 \\ T_3 = 900 \text{ K} \end{array} \right.$$

$$A.N: W = -65,1 \text{ J}$$



$$2) \Delta U_{23} = \frac{nR}{\gamma-1} (T_C - T_F) = W_{23} + Q_{23} \Rightarrow Q_{23} = \frac{nR}{\gamma-1} (T_C - T_F)$$

$$\Delta U_{34} = 0 = W_{34} + Q_{34} = nRT_C P_0 \left( \frac{V_2}{V_1} \right) + Q_{34}$$

$$\Rightarrow Q_{34} = nRT_C P_0(a) > 0$$

$$Q_c = \frac{nR}{\gamma-1} (T_C - T_F) + nRT_C P_0(a) > 0$$

$$b) \text{ De même, } \Delta U_{41} = Q_{41} = \frac{nR}{\gamma-1} (T_F - T_C) < 0$$

$$\text{et } \Delta U_{12} = 0 \Rightarrow Q_{12} = -W_{12}$$

$$\Rightarrow Q_{12} = -nRT_F P_0(a) < 0$$

$$\text{Donc } Q_F = \frac{nR}{\gamma-1} (T_F - T_C) - nRT_F P_0(a)$$

$$c) \text{ Par un moteur, } \eta = -\frac{W}{Q_c} = -\frac{W_{12} + W_{34}}{Q_{23} + Q_{34}}$$

$$\Rightarrow \eta = -\frac{nRT_F P_0(a) - nRT_C P_0(a)}{\frac{nR}{\gamma-1} (T_C - T_F) + nRT_C P_0(a)}$$

$\Rightarrow$

$$\eta = \frac{P_0(a) [T_C - T_F]}{[T_C - T_F] + (\gamma-1) T_C P_0(a)} (\gamma-1)$$

$$3) \text{ Dans ce cas, } Q_{23} \text{ n'est plus dépensée: } \eta' = -\frac{W_{12} + W_{34}}{Q_{34}}$$

$$\Leftrightarrow \eta' = - \frac{nRT_F P_n(a) - nRT_C P_n(a)}{nRT_C P_n(a)} = \frac{P_n(a) [T_C - T_F]}{P_n(a) T_C}$$

$$\Leftrightarrow \boxed{\eta' = 1 - \frac{T_F}{T_C}}$$

On trouve le rend<sup>t</sup>. de Carnot. On ne peut pas cependant considérer la machine réversible: Ch. de Carnot  $\equiv$  réversible  
 $\Rightarrow \eta_c$ , et  $\eta_{\text{réel}} \leq \eta_c$ , mais pas  $\eta = \eta_c \Rightarrow$  réversible.







