

A - Introduction

Exercice 1 GPM

1) $N = \text{nombre d'atomes dans la boîte}$
 $= n \cdot d_A^3$ $N = 6,02 \cdot 10^{26}$ atomes
 et $m = \frac{M_m}{d_A^3}$ $m = \frac{40}{6 \cdot 10^{23}}$ $m = 6,7 \cdot 10^{-26}$ kg.

2) $\Delta \vec{p}_a = m \vec{v}' - m \vec{v} = -2m v_x \vec{e}_x$

3) τ durée entre 2 chocs successifs sur le paroi on $x = a$.
 $\tau = \frac{2a}{v_x}$
 $N_c = \frac{1}{\tau} = \frac{v_x}{2a}$ nbre de chocs par seconde.

4) \vec{F}_p force subie par la paroi - $\frac{d\vec{p}_a}{dt} = \vec{F}_p$
 Sur l'intervalle de temps Δt
 $\frac{1}{\Delta t} \int \vec{f}(t) dt = \vec{F}_p = \Delta \vec{p}_a N_c$
 $\vec{F}_p = 2m v_x \cdot \frac{v_x}{2a} \vec{e}_x$ $\vec{F}_p = \frac{m v_x^2}{a} \vec{e}_x$

5) p pression exercée par le gaz.
 $\vec{F}_p = p a^2 \vec{e}_x = 2m v_x^2 \cdot \frac{1}{2a}$ pour 1 atome
 $p_{at} = \frac{m v_x^2}{3} \cdot \frac{1}{a^3}$ $p_{at} = \frac{1}{3} m v_x^2 \cdot \frac{1}{a^3}$

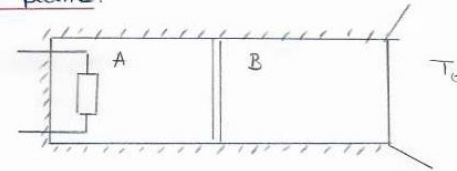
Il y a N atomes dans la boîte
 $p = \frac{1}{3} m v_x^2 \cdot \frac{N}{a^3}$ $p = \frac{1}{3} m v_x^2 n$

6) D'après la loi de GP $pa^3 = nRT$
 soit $T = \frac{1}{3} m v_x^2 \cdot \frac{N}{a^3} \cdot \frac{a^3}{NR}$ $T = \frac{1}{3} \frac{M_m}{R} v_x^2$

B - Premier et second principe

Exercice 1 Transformations de gaz parfaits

Première partie.



1) On a $2V_0 = V_A + V_B$.

Compartment A		Compartment B	
P_0	\rightarrow	P_f	P_f
V_0	\rightarrow	V_A	V_B
T_0	\rightarrow	T_1	T_0

isotherme

avec $P_f V_A = RT_1$
 $P_f V_B = RT_0 = P_0 V_0$

$\frac{V_A}{V_B} = \frac{T_1}{T_0}$

soit $2V_0 = V_A + V_A \frac{T_0}{T_1}$ $V_A = V_0 \frac{2}{1 + \frac{T_0}{T_1}} = V_0 \frac{2T_1}{T_1 + T_0}$

et $V_B = 2V_0 - V_A \frac{T_0}{T_1} = 2V_0 \frac{T_0}{T_1 + T_0}$

et $P_f = P_0 \frac{V_0}{V_B} = P_0 \frac{T_1 + T_0}{2T_0}$

2) a) $\Delta U(A) = \text{variation d'énergie interne de A}$
 Pour un gaz parfait $U(T)$ (1ère loi de Joule)

$\Delta U(A) = C_v(T_1 - T_0) = \frac{3}{2} R (T_1 - T_0)$

$\Delta U(B) = 0$ ($T_f = T_1 = T_0$ pour la transformation)

$$\Delta U(A+B) = \Delta U(A) + \Delta U(B) = \frac{3}{2} R (T_1 - T_0) \quad \begin{array}{l} \text{fonction} \\ \text{d'état} \\ \text{extensive} \end{array}$$

b) Le gaz en B subit une transformation isotherme mécaniquement réversible.

$$d\omega_1 = -P_{\text{ext}} dV = -P dV = -nRT_0 \frac{dV}{V} \quad \begin{array}{l} \text{travail élémentaire} \\ \text{reçu par B} \end{array}$$

$$\omega_1 = -nRT_0 \ln \frac{V_B}{V_0} = -nRT_0 \ln \frac{2T_0}{T_0 + T_1} \quad n = 1 \text{ mol.}$$

$$\text{Comme } \Delta U(B) = 0 = \omega_1 - \Phi_1 \quad \begin{array}{l} \uparrow \\ \text{reçu par le thermostat} \end{array}$$

$$\Phi_1 = \omega_1 = -RT_0 \ln \frac{2T_0}{T_0 + T_1}$$

c. $\Phi_1 > 0$ la glace fond dans le thermostat

d. Pour le système thermostat

$$\begin{aligned} \Delta H(\text{thermostat}) &= +\Phi_1 \\ &= mg \Delta h_{\text{fus}} \\ &\quad \uparrow \text{masse de glace qui fond.} \end{aligned}$$

$$mg = \frac{\Phi_1}{\Delta h_{\text{fus}}} = \frac{nRT_0}{\Delta h_{\text{fus}}} \ln \left(\frac{1}{2} + \frac{T_1}{2T_0} \right)$$

c) Pour le système A $\Delta U(A) = \Phi_2 + \omega_2$
 $= \Phi_2 - \omega_1$

$$\Phi_2 = \frac{3}{2} R (T_1 - T_0) - RT_0 \ln \frac{2T_0}{T_0 + T_1}$$

Première partie 3]

$$\Delta S(A) = R \left[\frac{1}{\gamma-1} \ln \frac{T_1}{T_0} + \ln \frac{2T_1}{T_1 + T_0} \right]$$

$$\Delta S(B) = R \ln \frac{2T_0}{T_1 + T_0}$$

Deuxième partie

1] Le gaz en A subit une transformation adiabatique réversible.

Il suit la loi de Laplace $PV^\gamma = \text{cte}$

$$\begin{aligned} P_f V_A^\gamma &= P_f V_0^\gamma & P_f &= P_0 \left(\frac{2T_1}{T_1 + T_0} \right)^\gamma \\ P_f &= P_0 \frac{T_1 + T_0}{2T_0} \left(\frac{2T_1}{T_1 + T_0} \right)^\gamma & &= P_0 \frac{T_1^\gamma}{T_0} \left(\frac{2}{T_1 + T_0} \right)^{\gamma-1} \end{aligned}$$

$$2) \quad P'_f V_0 = RT'_A \quad T'_A = T'_B = \frac{T_1 \gamma}{T_0} \left(\frac{2}{T_1 + T_0} \right)^{\gamma-1} \frac{P_0 V_0}{R}$$

$$\text{or } P'_f V_0 = RT'_B \quad T'_A = T'_B = T_2 \left(\frac{2T_1}{T_1 + T_0} \right)^{\gamma-1}$$

$$3) \quad \Delta U(A+B) = \Delta U(A) + \Delta U(B)$$

$$\Delta U(A+B) = \frac{3}{2} R (T'_A - T_0) + \frac{3}{2} R (T'_B - T_0)$$

$$= 3RT_2 \left(\frac{2T_1}{T_1 + T_0} \right)^{\gamma-1} - \frac{3}{2} R (T_1 + T_0)$$

4) Soit Φ_3 la chaleur fournie par la deuxième résistante chauffante

$$\Delta U(B) = \Phi_3 + W_3$$

$$\text{or } \Delta U(A+B) = \Phi_3 \quad A+B \text{ a un volume constant.}$$

$$\Phi_3 = \frac{3}{2} RT_1 \left(\frac{1}{2} \left(\frac{2T_1}{T_1 + T_0} \right)^{\gamma-1} - 1 - \frac{T_0}{T_1} \right)$$

Exercice 2 Détente et thermostat

Question préliminaire

D'après la relation de Mayer $C_{pm} = C_{vm} + R$

$$\text{avec } \gamma = \frac{C_{pm}}{C_{vm}} \Leftrightarrow C_{pm} = \gamma C_{vm}$$

$$\text{D'où } \boxed{C_{vm} = \frac{R}{\gamma-1}} \quad \text{et} \quad \boxed{C_{pm} = \frac{\gamma R}{\gamma-1}}$$

1)	Etat A	$\xrightarrow[\text{+ mono T}]{\Phi_S}$	Etat B	$C_{vm} = 20,8 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ $C_{pm} = 29,2 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$
	T_A		$T_B = T_A$	
	V_A		$V_B = 2V_A$	
	P_A		P_B	

La transformation étant quasi statique et monotherme on peut la considérer comme isotherme.

$$W_1 = - \int_A^B P_{ext} dV = \int_A^B -P dV$$

$$= -nRT_A \int_A^B \frac{dV}{V} \quad \boxed{W_1 = -P_A V_A \ln 2.}$$

$$\text{AN: } \underline{W_1 = -3,47 \text{ kJ.}}$$

On a $T_B = T_A$. Or d'après la première loi de Joule $U(T)$ donc $\Delta_{A-B} U = 0$.

D'après la première principe $\Delta U = W_1 + \Phi_1$

$$\underline{\Phi_1 = +P_A V_A \ln 2} \quad \underline{\Phi_1 = 3,47 \text{ kJ.}}$$

Il y a 1 solidification donc le thermostat.

Pour le système thermostat

$$\begin{aligned}\Delta H &= -\Phi_1 \\ &= -mg \Delta_{\text{fus}} h\end{aligned}$$

$$\boxed{mg = \frac{\Phi_1}{\Delta_{\text{fus}} h}} \quad \underline{mg = 10,4 \text{ g}}$$

2] $A \rightarrow C$ odob. non réversible
 $C \rightarrow B$ isochore monotherme.

a. On a $V_C = V_B = 2V_A$

Pour le gaz dans le cylindre

$$\Delta U_{C \rightarrow B} = \Phi_2 + 0 \quad \uparrow \text{ car isochore}$$

$$\text{avec } -\Phi_2 = -m_2 \Delta_{\text{fus}} h$$

$$\text{et } \Delta U = \frac{nR}{\gamma-1} (T_A - T_C)$$

$$\boxed{T_C = T_A - \frac{\gamma-1}{nR} m_2 \Delta_{\text{fus}} h}$$

$$\underline{T_C = 215 \text{ K.}}$$

$$\text{et } P_C = \frac{P_A V_A}{T_A} \cdot \frac{T_C}{V_C}$$

$$\boxed{P_C = \frac{P_A}{2} \cdot \frac{T_C}{T_A}}$$

$$\underline{P_C = 0,79 \text{ bar.}}$$

$$\begin{aligned}\text{b. } \Delta_{A+C} U &= \frac{nR}{\gamma-1} (T_C - T_A) \quad \text{ou } \Delta U_{A \rightarrow B} = 0 \\ &= W_2 \\ &= W_2 \\ &= -2,66 \text{ kJ.}\end{aligned} \quad \left. \begin{aligned} &= \Phi_2 + W_2 \\ W_2 &= -\Phi_2 \\ &= +m_2 \Delta_{\text{fus}} h. \end{aligned} \right\}$$

$$\text{c. } \Delta_2 S = nR \ln 2$$

$$\boxed{\Delta_2 S = \frac{P_A V_A}{T_A} \ln 2} \quad \underline{\Delta_2 S = 12,7 \text{ J K}^{-1}}$$

$$S_{e2} = \frac{\Phi_2}{T_A} \quad \boxed{S_{e2} = \frac{m_2 \Delta_{\text{fus}} h}{T_A}}$$

$$\underline{S_{e2} = 9,79 \text{ J K}^{-1}}$$

$$\underline{S_{c2} = \Delta_2 S - S_{e2}}$$

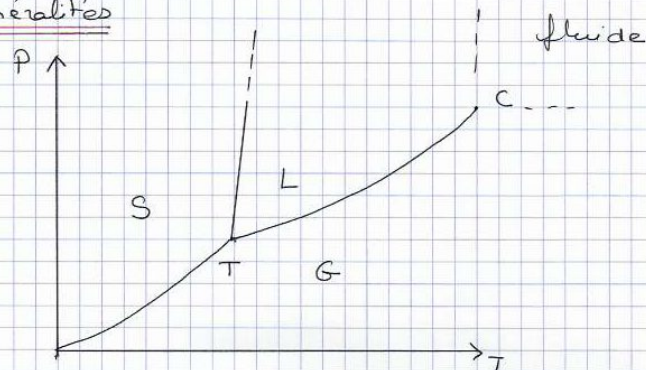
$$\underline{S_{c2} = 2,91 > 0}$$

Transf. irréversible.

Exercice 3 Transformations d'une masse de dioxyde de soufre

A - Généralités

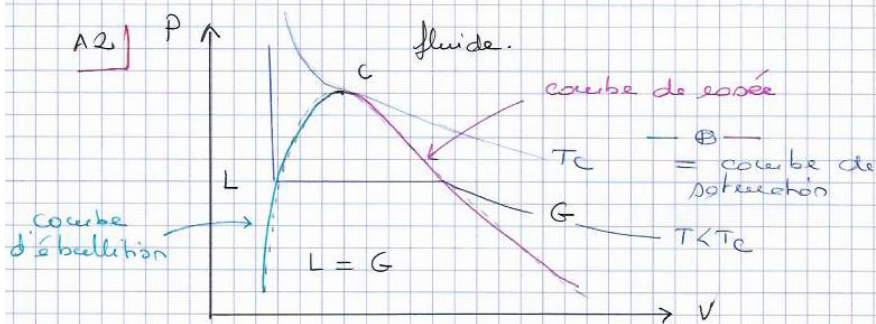
A1



T: coexistence des 3 états

C: limite de la courbe de vaporisation. Au delà de C fluide hypercritique.

A2



A3 Par définition $\Delta h_{\text{vap}} = h(\text{vap}) - h(\text{liq})$.

B. Etape A \rightarrow B

$$\begin{aligned}
 \text{B1} \quad W_{AB} &= \int_A^B -P_{\text{ext}} dV \quad \left. \begin{array}{l} \text{CS + MR} \\ \text{isobare} \end{array} \right\} \\
 &= \int_A^B -P dV \\
 &= -P^*(T_0) \Delta V = +P^*(T_0) HcA - P^*(T_0) V_B \\
 &= +P^*(T_0) HcA \quad (V_B \text{ est négligeable devant } V_A)
 \end{aligned}$$

B2 On a 1 transformation isobare isotherme

$$\Delta H_{A \rightarrow B} = \Phi_{AB} = m (-\Delta h_{\text{vap}})$$

$$\Phi_{AB} = -m \Delta h_{\text{vap}} \quad \text{avec} \quad P^*(T_0) HcA = \frac{m}{M} RT_0$$

$$\Phi_{AB} = -\frac{M P^*(T_0) HcA}{RT_0} \Delta h_{\text{vap}}(T_0)$$

$$\Phi_{AB} = -11,7 \text{ kJ}$$

B3 D'après le 1^{er} principe $\Delta U_{AB} = \Phi_{AB} + W_{AB}$

$$\text{ou par déf de } H \quad \Delta H_{AB} = \Delta U_{AB} + \Delta PV$$

$$\Delta U_{AB} = -m \Delta h_{\text{vap}}(T_0) + P^*(T_0) HcA$$

$$\Delta U_{AB} = +P^*(T_0) HcA \left[1 - \frac{M}{RT_0} \Delta h_{\text{vap}}(T_0) \right]$$

$$\text{B4} \quad \Delta S_{AB} = \frac{\Delta H_{AB}}{T_0} = \frac{\Phi_{AB}}{T_0}$$

$$\Delta S_{AB} = 44,5 \text{ JK}^{-1} \quad \text{réversible car}$$

$$\Delta S_{AB} = S_{\text{éch } AB}$$

23 C Étape B → C et C → A

C1] Au cours de B → C le corps peut ne subir pas de transformations.

C2] $W_{C \rightarrow A} = 0$ on a 1 détente dans le vide

C3] $Q_{BC} = 0$ pas de transformation!

24 D Étude des cycles A → B → C → A

D1] Au cours du cycle $\Delta U = 0$ et $\Delta S = 0$
car U et S sont des fonctions d'état

$$D2] S_{\text{éch}} = \frac{Q_{AB} + Q_{BC} + Q_{CA}}{T_0}$$

$$\text{avec } Q_{AB} = \Delta H_{A \rightarrow B}$$

$$Q_{BC} = 0$$

$$Q_{CA} = \Delta U_{C \rightarrow A} = -\Delta U_{A \rightarrow B} \text{ car } B=C.$$

$$= -Q_{AB} - P^*(T_0) \Delta A.$$

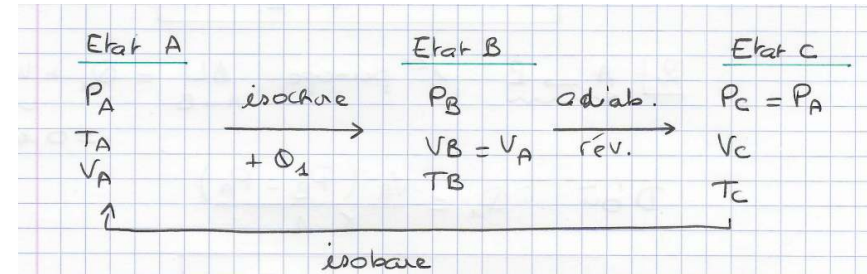
$$S_{\text{éch}} = \frac{-P^*(T_0) \Delta A}{T_0} \quad S_{\text{éch}} = 3,8 \text{ J K}^{-2}$$

Au cours du cycle $\Delta S = S_{\text{éch}} + S_{\text{créé}}$

$S_{\text{créé}} > 0$ irréversible.

C – Machines thermiques

Exercice 1 Une machine thermique

1) Quelques propriétés du GP

a. Equation d'état $PV = nRT$

b. Relation de Mayer $C_p = C_m + R$

En effet par définition

$$C_m = \left(\frac{\partial U_m}{\partial T} \right)_V = \frac{dU_m}{dT}$$

1 mole bi de Joule

$$\text{De même } C_{pm} = \left(\frac{\partial H_m}{\partial T} \right)_P = \frac{dH_m}{dT}$$

2 moles bi de Joule

$$\text{et } H_m = U_m + PV_m = U_m + RT$$

$$\text{soit } \frac{dH_m}{dT} = \frac{dU_m}{dT} + R$$

$$\text{D'où } C_p = C_m + R$$

c. $\gamma = \frac{C_{pm}}{C_m} = \frac{C_m + R}{C_m} = 1 + \frac{R}{C_m} \quad \gamma = \frac{7}{5}$

d. On en déduit $C_m = \frac{R}{\gamma - 1}$ et $C_{pm} = \frac{\gamma R}{\gamma - 1}$

$$\text{On a } \Delta U = n C_m (T_1 - T_0) \\ = \frac{nR}{\gamma - 1} (T_1 - T_0)$$

$$\Delta U = \frac{P_1 V_1 - P_0 V_0}{\gamma - 1}$$

2] A → B 1^{er} principe $\Delta U_{A \rightarrow B} = Q_1 + \underbrace{W_{AB}}_{=0 \text{ car isochore}}$

D'où $Q_1 = \frac{V_A (P_B - P_A)}{\gamma - 1}$

$$P_B = P_A + (\gamma - 1) \frac{Q_1}{V_A}$$

AN $P_B = 8,0 \text{ bar}$

On a $P_B V_B = n R T_B$

$$P_A V_A + (\gamma - 1) Q_1 = n R T_B$$

$$T_B = T_A + \frac{Q_1}{nR} (\gamma - 1) \quad \text{avec } nR = \frac{P_A V_A}{T_A}$$

$$= T_A \left[1 + (\gamma - 1) \left(\frac{Q_1}{P_A V_A} \right) \right]$$

ou $\frac{nR}{\gamma - 1} (T_B - T_A) = Q_1$

AN: $T_B = 2,4 \text{ b}^3 \text{ K}$

B → C Transformation adiabatique réversible d'un GP, on peut appliquer les lois de Laplace

$$\frac{P_C}{P_B} = \left(\frac{V_C}{V_B} \right)^\gamma$$

$P_C = 1,0 \text{ b}^2 \text{ Pa}$

$$P_B V_B^\gamma = P_C V_C^\gamma$$

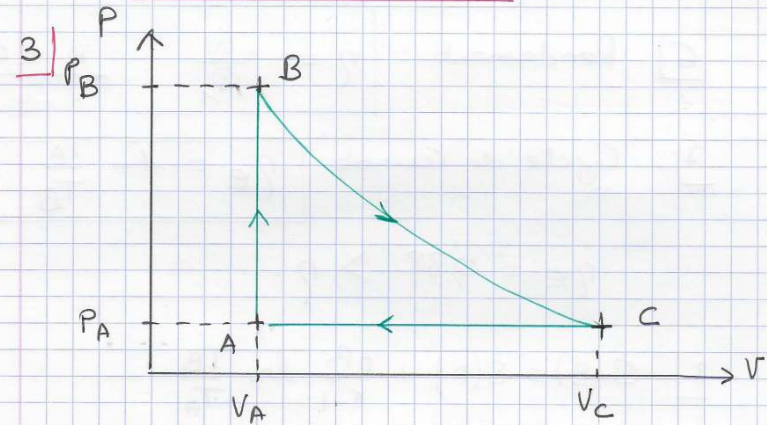
$$V_C = V_A \times \left(\frac{P_B}{P_C} \right)^{1/\gamma}$$

AN: $V_C = 8,8 \text{ L}$

or $T_C = \frac{P_C V_C}{nR} = \frac{P_A V_A}{P_A V_A} \left(\frac{P_B}{P_C} \right)^{1/\gamma} T_A$

$$T_C = T_A \cdot \left(\frac{P_B}{P_C} \right)^{1/\gamma}$$

$T_C = 1,3 \text{ b}^3 \text{ K}$



4] C → A Transformation isobare

$$Q_2 = \Delta H_{C \rightarrow A} = \frac{\gamma nR}{\gamma - 1} (T_A - T_C)$$

$$Q_2 = \frac{\gamma}{\gamma - 1} (P_A V_A - P_A V_C)$$

$Q_2 = -2,4 \text{ kJ}$ ou $\Delta U = 0 = W + Q_1 + Q_2$

5] Au cours du cycle $\underbrace{W_{A \rightarrow B}}_{=0 \text{ car isochore}}$

$W_{B \rightarrow C} = \Delta U_{B \rightarrow C}$ car adiabatique

$$= \frac{nR}{\gamma - 1} (T_C - T_B) = \frac{P_C V_C - P_B V_B}{\gamma - 1}$$

$W_{C \rightarrow A} = -P_A (V_A - V_C)$ car isobare

$$D' \text{ où } W = \frac{P_A V_C - P_B V_A}{\gamma - 1} + P_A (V_C - V_A)$$

$$W = -1,1 \text{ kJ} < 0 \quad \text{moteur}$$

$$6] \text{ Rendement : } \eta = \frac{-W}{Q_1} \quad \eta = 0,31$$

$$7] \text{ Cycle de Carnot } \eta_e = 1 - \frac{T_A}{T_B}$$

$$\eta_e = 0,88 > \eta$$

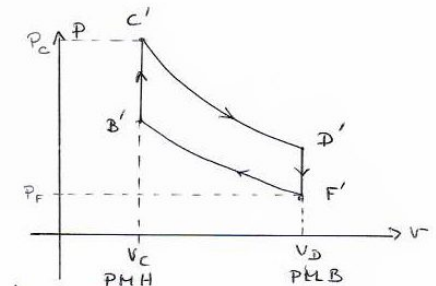
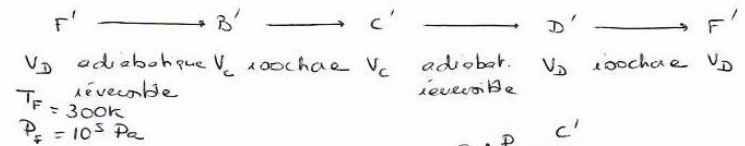
$$8] S(B) = S(A) + \frac{\eta R}{\gamma - 1} \ln \frac{T_B}{T_A}$$

$$S(C) = S(B)$$

$$S(B) = 3,5 \text{ Jk}^{-1}$$

Exercice 2 Moteur de scooter

Diagramme théorique



I1. Diagramme de Watt -

$$F' \rightarrow B' \quad PV^\gamma = \text{cte}$$

$$c' \rightarrow D'$$

I2. Soit T la durée d'un cycle
 $T = \text{durée d'un tour}$

$$T = \frac{1}{\omega}$$

$$T = \frac{60}{1000} = 0,06 \text{ s}$$

Soit v la vitesse moyenne des piston.

$$v = \frac{2 \times c}{T}$$

$c = \text{course des piston}$

& pour 1 aller-retour.

$$v = \frac{2 \times 39,2}{0,06} = 1306,7 \text{ m s}^{-1}$$

Soit u^* la vitesse quadratique moyenne des molécules en F'

$$\frac{1}{2} m u^{*2} = \frac{3}{2} k_B T_F = \frac{1}{2} M / \rho_A u^*$$

$$u^* = \sqrt{\frac{3 R T_F}{M}}$$

$$u^* = 500 \text{ m s}^{-1} \gg v$$

les transformations $c'D'$ et $F'B'$ peuvent être considérées comme adiabatiques et quasi-statiques.

I3. la loi de Laplace $PV^\gamma = \text{cte}$ est applicable pour un gaz parfait subissant une transformation adiabatique et réversible.

Une transformation adiabatique réversible est isentropique car le système ne reçoit pas d'entropie ($\Phi = 0$) et il n'y a pas de création d'entropie (réversibilité).
La nature du système n'intervient pas.

I4. $P_B = 6 \cdot 10^5 \text{ Pa}$

$F \rightarrow B'$ est adiabatique réversible pour un système GP.

On a $P_F V_F^\gamma = P_B V_B^\gamma$ (loi de Laplace)

soit $P_F V_D^\gamma = P_B V_C^\gamma$

$$a = \frac{V_D}{V_C} = \left(\frac{P_B}{P_F} \right)^{1/\gamma}$$

$a = 3,60$.

I5. Soit ω le travail fourni par le moteur au cours d'un cycle.

$\omega = -$ le travail reçu par le gaz au cours d'un cycle

$$= -\omega_{F \rightarrow B'} - \omega_{B' \rightarrow C'} - \omega_{C' \rightarrow D'} - \omega_{D' \rightarrow F'}$$

$B' \rightarrow C'$ et $D' \rightarrow F'$ sont deux isochores $\Rightarrow \omega_{B' \rightarrow C'} = \omega_{D' \rightarrow F'} = 0$.

$\omega_{F' \rightarrow B'} = \Delta U_{F' \rightarrow B'}$ (1^{er} principe @ adiabatique)

$= -n C_V (T_F - T_B)$ 1^{er} loi de Joule

soit $\omega_{F' \rightarrow B'} = -\frac{P_F V_F - P_B V_B}{\gamma - 1}$ et $\omega_{D' \rightarrow F'} = \frac{P_B V_D - P_F V_F}{\gamma - 1}$ avec $P_F V_D = n R T_F$

$\omega = \frac{n R T_B}{\gamma - 1} + \frac{n R T_F}{\gamma - 1} - \frac{n R T_D}{\gamma - 1} + \frac{n R T_C}{\gamma - 1}$ $n R = \frac{P_F V_D}{T_F}$

$$\omega = \frac{P_F V_D}{T_F (\gamma - 1)} [T_F - T_B + T_C - T_D]$$

I6. Soit Φ la chaleur libérée par la combustion.

$\Phi = +\Phi_{B' \rightarrow C'} = +\Delta U_{B' \rightarrow C'}$

$$\Phi = + \frac{P_F V_D}{T_F (\gamma - 1)} (T_C - T_B)$$

I7. Soit η le rendement du cycle.

$$\eta = \frac{\omega}{Q} = \frac{T_F - T_B + T_C - T_D}{T_C - T_B} = 1 - \frac{T_D - T_F}{T_C - T_B}$$

Loi de Laplace: $P V^\gamma = \text{cte}$ ou $T V^{\gamma-1} = \text{cte}$.

soit $T_D = T_C \left(\frac{V_C}{V_D} \right)^{\gamma-1} = T_C \cdot a^{1-\gamma}$

et $T_F = T_B \left(\frac{V_C}{V_D} \right)^\gamma = T_B a^{1-\gamma}$

$$\eta = 1 - a^{1-\gamma}$$

I.8. $\eta = 0,4 = \frac{\omega}{Q} \rightarrow Q = \frac{\omega}{\eta} = \frac{PT}{\eta}$

$Q = 94,3 \text{ J}$ par cycle.

I9. Pour parcourir 100 km à 45 km.h⁻¹.

Soit \mathcal{Q} la durée des parcours

$\mathcal{Q} = \frac{L}{V}$ $\mathcal{Q} = \frac{45}{100} = 2,22 \text{ h} = 133 \text{ min}$

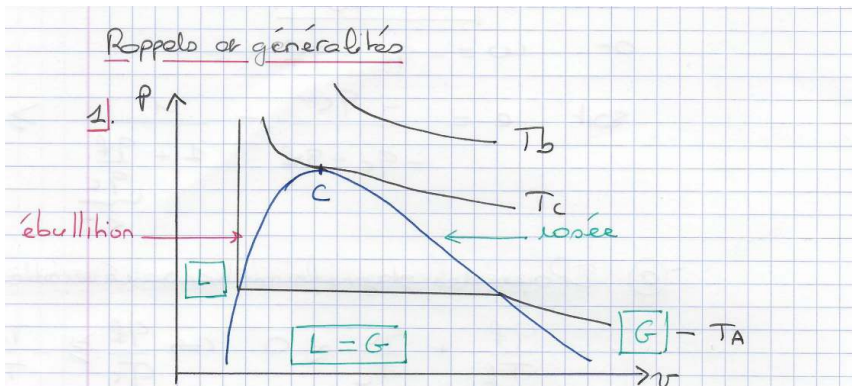
Soit N le nombre de cycle $N = 9,33 \cdot 10^5 \text{ tra.}$ $N = \frac{\omega}{\mathcal{Q}}$

et $Q_{\text{tot}} = N Q = 8,80 \cdot 10^7 \text{ J}$.

$cl =$ nombre de litre $cl = \frac{Q}{\rho}$ $cl = 2,9 \text{ L sur } 100 \text{ km}$

Valeur concordante avec la consommation d'un tel engin

Exercice 3 Pompe à chaleur géothermique



2) a) On a la relation $h_r(T) = h_v(T) - h_L(T)$

b) Relation de Mayer

$$C_p = C_v + nR \quad \text{avec } n = \frac{m}{M}$$

soit $C_p = \frac{C_p}{\gamma} + \frac{mR}{M}$ et $C_v = \frac{C_p}{\gamma}$

$$C_p = \frac{\gamma}{\gamma - 1} \frac{R}{M}$$

c) Pour un GP h ne dépend que de T

$$h(T) = \frac{\gamma R}{M(\gamma - 1)} T + h_0$$

2^e loi de Joule
⊕ déf C_p
 $q = \frac{dh}{dT}$

3) a) Pour une PAC

$$\begin{aligned} \omega &> 0 \\ q_c &< 0 \\ q_f &> 0 \end{aligned}$$

Par déf $e = \frac{-q_c}{\omega}$

or $\omega = -q_c - q_f$

soit $e = \frac{-q_c}{-q_c - q_f} = \frac{1}{1 + \frac{q_f}{q_c}} \geq 1$

$\frac{q_f}{q_c} < 0$

b) D'après l'inégalité de Carnot dans un

$$\frac{q_f}{T_f} + \frac{q_c}{T_c} \leq 0 \Leftrightarrow \frac{q_f}{q_c} \geq -\frac{T_f}{T_c}$$

soit $1 + \frac{q_f}{q_c} \geq 1 - \frac{T_f}{T_c} \geq 0$

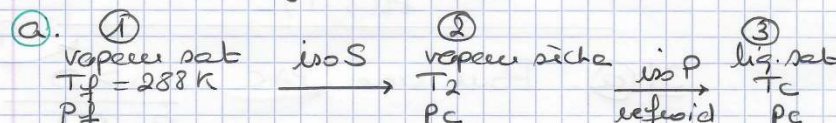
$$\frac{1}{1 - \frac{T_f}{T_c}} \geq e$$

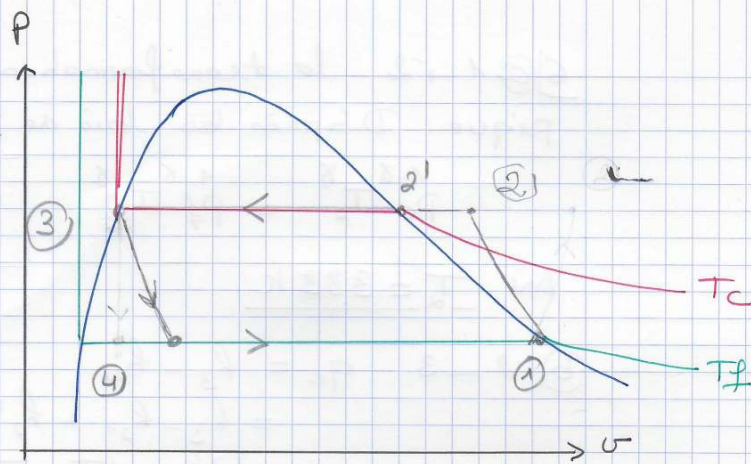
$$e_{\max} = \frac{T_c}{T_c - T_f}$$

$e = e_c$ lorsque les transformations sont réversibles.

Etude d'une PAC

4) Allure des cycles





- b) q_c correspond à l'étape $2 \rightarrow 3$.
 q_f correspond à l'étape $4 \rightarrow 1$
- c) Dans l'étape $2 \rightarrow 3$ c'est l'air intérieur à la maison qui joue le rôle de thermostat.

5] a) w correspond à l'aire du cycle sur le diagramme de Clapeyron.

- b) Si on augmente $T_f \Rightarrow$ l'aire du cycle diminue NON que q_c change significativement $\Rightarrow e \uparrow$

6] a) $1 \rightarrow 2$ la transformation est isentropique. D'après les lois de Laplace

$$P_c T_2^{1-\gamma} = P_f T_f^{1-\gamma} \quad \boxed{T_2 = T_f \left(\frac{P_f}{P_c} \right)^{\frac{1-\gamma}{\gamma}}}$$

AN $T_2 = 335 \text{ K}$.

b) $2 \rightarrow 3 \quad q_c = h_3 - h_2$
 $= h_3 - h_{2'} + h_{2'} - h_2$
 $= \frac{\gamma R}{\gamma - 1} m (T_c - T_2) - h_f(T_c)$

AN $q_c = -158 \text{ kJ kg}^{-1}$

- c) 1^{er} terme 6 kJ kg^{-1} ← beaucoup
 2nd terme 151 kJ kg^{-1} ← des fois
 q_c est principalement due au changement d'état

7] $3 \rightarrow 4$ est une transformation isenthalpique
 $h_4 = h_3 = h_L(T_c)$

Théorème des moments

$$x_4 = \frac{h_4 - h_L(T_f)}{h_V(T_f) - h_L(T_f)}$$

$x_4 = 0,272$

8] $q_f = (1 - x_4) h_V(T_f) \quad q_f = 135,1 \text{ kJ kg}^{-1}$

9] $w = -q_f - q_c \quad w = 23 \text{ kJ kg}^{-1}$

10] a) $e = \frac{-q_c}{w} = 1 + \frac{q_f}{w} = 1 + \frac{h_4 - h_L(T)}{h_2 - h_1} = 6,36$

b) $e_c = \frac{T_c}{T_c - T_f} \quad e_c = 9,23 > e$ Irréversibilité