Correction Thermodynamique

Thermodynamique

Chapitre 1

Exercice 1

1) $M = 18 \, g/mol$

$\rho = 1000 \, kg/m^3$

$V = 1 m^3$

$n = \frac{\rho}{M} = \frac{1}{18} = 55555 \text{ moles}/m^3$

$N = n \cdot N_A = 3,3 \cdot 10^{28} \text{ particules}/m^3$

2) Gaz d_g :

$PV = nRT \Rightarrow n = \frac{PV}{RT} = 0,03 \text{ mol} \cdot L^{-1}$

pour $V = 1L$:

$x = n \cdot N_a = 1,80 \cdot 10^{22}$

$d_p = \frac{x}{V} = 1,80 \cdot 10^{25} \text{ particules} \cdot m^{-3}$

$\frac{d_g}{d_p} = 0,00054$

3) : $V_m = \frac{V}{N} = d^3$

liquide : $V_m = 2,9 \cdot 10^{-29} \, m^3$

$= 29 \, Å^3$

$d_p = 3,1 Å$

gaz : $V_m = \frac{1}{d_g} = 5,6 \cdot 10^{-24} \, m^3 = 5,6 \cdot 10^6 \, Å^3$

$d_g = 38 Å$

Exercice 2

1) $PV = nRT$

$n = \frac{PV}{RT} = 5507$ mol

$x = 3{,}32 \cdot 10^{27}$ atomes

~~n = ... 22,48~~

$V = 125\ m^3$

$T = 273\ K$

$P = 10^5\ Pa$

2) Énergie interne : $U = E_c^{int} + E_p^{int} = \frac{1}{2} m \langle v^2 \rangle$
$= \frac{3}{2} k_B T$

$\Rightarrow m \langle v^2 \rangle = 3 k_B T$

$\Rightarrow \langle v^2 \rangle = \frac{3 k_B T}{m}$ $\qquad m = \frac{M}{N_a}$

$\Rightarrow v = \sqrt{\frac{3RT}{M}} = 1305\ m.s^{-1}$

3) $E_c^{moy} = \langle E_c \rangle = \frac{1}{2} m_{Tot} \langle v^2 \rangle$

$= N . \frac{1}{2} m \langle v^2 \rangle$

$= N . \frac{3}{2} k_B T$

$= n . N_a \, k_B \, \frac{3}{2} T$

$= n R \frac{3}{2} T$

$= 19\ 000$ kJ

Énergie interne $U = 19\,000$ kJ

$\left[= \frac{3}{2} nRT \right]$

4) $m = 10\ 000$ kg

$E_p = mgz$

$z = \frac{E_p}{mg}$

$z = \frac{19 . 10^6}{10\ 000 . g} = 190$ m

Exercice 3

Extensives : proportionnelles à la taille du système

Intensives : indépendantes " " "

P = intensive

mbr = intensive

Variable	Extensive	Intensive	aucun
V	✓		
$1/V$			✓
V/N		✓	
V^2/N	✓		
V^2			✓
P/V			✓
PV	✓		
T		✓	
$1/T$		✓	
mV			✓

$\frac{ext}{ext} = int$ $\qquad$ $ext \cdot int = ext$ $\qquad$ $N = ext$

$m = ext$

Exercice 4

$V = 60\ m^3$ $\qquad$ $P = u i$

$R = 200\ \Omega$ $\qquad$ $= \frac{u^2}{R}\ W$

$u = 220\ V$

Système isolé. $\qquad$ $T_0 = 16°C = 289\ K$

(sauf radiateur) $\qquad$ $P_0 = 1,013 \cdot 10^5\ Pa$

1) $\delta W = P\, dt$

Sur un temps ~~Δt~~ Δt, $W_e = P \Delta t = \frac{u^2}{R} \Delta t$

~~= 968 J~~

2) W_e est intégralement convertie en chaleur qui est elle-même cédée au système.

(isolé) $\qquad$ $Q_{ext} = W_e = \Delta U$ $\qquad$ Donc pour chauffer le système de ΔT il faut lui fournir ΔU

$\Delta U = C_v\ \Delta T$

$= \frac{5}{2} nR\Delta T$

$n = \frac{P_0 V_0}{R T_0} = 2530\ mol$ $\qquad$ $\Rightarrow \Delta U = Q_{ext} = \frac{u^2}{R} \Delta t$

$= \frac{5}{2} nR\Delta T$

$\Delta t = 870\ s \simeq 14,5\ min$

Exercice 5

$n = 20$ mol de GPM
état initial. $P_0 = 10^5$ Pa
$T_0 = 400$ K
état final $P_1 = 1,2.10^5$ Pa
$T_1 = 415$ K

1) $V_0 = 0,665\ m^3$
$V_1 = 0,575\ m^3$

2) Isobare : pression = cte
Isochore : volume = cte

3) $P_a = P_0$, $V_a = V_1$ } $T_A = 346$ K

4) $P_B = P_1$, $V_B = V_0$ } $T_B = 480$ K

5) $\delta W_A = -P_{ext}\, dV$
$= \delta W_A^{(1)} + \delta W_A^{(2)}$ → $= 0$ (isochore)
$= -P_0\, dV$ car $P_{ext} = P_0 =$ cte tout au long de la transformation.
$W_A = -P_0 \Delta V$
$= 9000$ J.

6) $\delta W_B = -P_{ext}\, dV$
$= \delta W_B^{(1)} + \delta W_B^{(2)}$
$W_B = -P_1 \Delta V$
$= 10800$ J

7) Premier principe

$\Delta U = W + Q_{ext}$

$Q_A = ~~W - \Delta U~~ \Delta U - W$

$= \frac{3}{2} n R (T_1 - T_0) - 9000$

$= -5280 J$

$Q_B = \Delta U - W$

$= -7059 J$

8) a) Elles amènent du même état ~~fi~~ initial → final
≠ énergétiquement

b) Il cède de la chaleur

c) La temp ↗ mais on donne plus de travail qu'il ne perd de chaleur.

Exercice 6

1) $V_0 = 0{,}0166\ m^3$

$V_1 = 0{,}0249\ m^3$

2) Durant la détente A → B

$W_{A \to B} = -P_1 \Delta V =$ ~~$-1245\ J$~~ $-830\ J$

$\delta W_{A \to B} = -P_{ext}\, dV$

$= -P_1\, dV$

3) $\delta W_{B \to A} = -P_{ext}\, dV$

P_{ext} : équilibre mécanique $\Rightarrow P_{ext} = P_{int}$

$\therefore P_{ext} = \frac{nRT}{V}$

Or, B → A est isotherme

A tout moment, $T = T_0$

$\delta W_{B \to a} = -\frac{nRT_0}{V} dV$

$W_{B \to a} = \int_{V_1}^{V_0} nRT_0 \frac{1}{V} dV$

$= nRT_0 \ln\left(\frac{V_1}{V_0}\right)$

$= 1021\ J > 0$

4) $P_1 V_1 = nRT_1 = nRT_0$

$W_{B \to a} = P_1 V_1 \ln\left(\frac{V_1}{V_0}\right)$

5) $W_T = W_A + W_B$

$= -P_1(V_1 - V_0) + P_1 V_1 \ln\left(\frac{V_1}{V_0}\right)$

$= 181\ J > 0$

Le système gagne du travail mécanique.

6) $x = \frac{V_0}{V_1}$ $\quad W_T = P_1 V_1 \left(-1 + x + \ln(1/x)\right)$

$= P_1 V_1 \left(-1 + x - \ln(x)\right)$

7) $0 \leq P_1 < P_0$ $\quad x = \frac{V_0}{V_1}$, $V_0 = \frac{nRT_0}{P_0}$

$V_1 = \frac{nRT_1}{P_1}$

$\Rightarrow x = \frac{V_0}{V_1} = \frac{P_1}{P_0}$

$0 < x < 1$

$g'(x) = P_1 V_1 \left(1 - \frac{1}{x}\right)$

$0 < x < 1$ $\quad$ donc $g'(x) < 0$

$1/x > 1$

$-1/x < -1$

$1 - 1/x < 0$

x	0		1
$g'(x)$		$-$	
$g(x)$	∞	$\searrow$	0

donc $g(x) \geq 0 \quad \forall x$

8) $W + Q = 0 \Rightarrow Q = +840\ J$

Exercice 7

C → A : $P_c = 5$ bar , $V_c = V_A$

A → B : $T_A = 300$ K , $P_A = 1$ bar

B → C : $T_B = T_A$, $P_B = 5$ bar

1) Isotherme réversible

Isobare ou (quasi statique)

Isochore

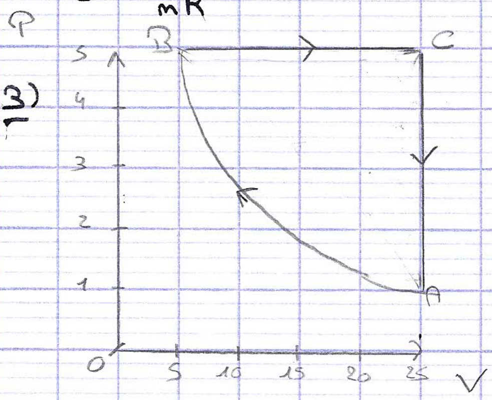
2) $PV = mRT$ $V_B = \frac{mRT_A}{P_B} = 5L$

$V_A = 25L$

$V_c = V_A = 25L$

$T_c = \frac{P_B V_A}{mR} = 1503K$

3)



4) · AB : $\delta W_{A\to B} = -\frac{mRT_A}{V} dV$

$W_{A\to B} = -mRT_A \ln\left(\frac{V_B}{V_A}\right)$

$= 4015 J$

· BC : $W_{B\to C} = -10\ 000 J$

· CA : $W_{C\to A} = 0 J$ ($\Delta V = 0$)

5) $Q = \Delta U - W$ où $\Delta U = \frac{3}{2} mR\Delta T$

· AB : $Q = -4015 J$ ($\Delta T = 0$)

· BC : $Q = \frac{3}{2} mR(T_c - T_B) - W$

$= 25004 J$

· CA : $Q = \frac{3}{2} mR(T_c - T_A)$

$= -15015 J$

Bilan total.

$\Delta U = \Sigma\, \Delta U_{MN} = 0$

Travail

$W = \Sigma\, W_{MN} = -5986 J$

Chaleur

$Q_T = \Sigma\, Q_{MN} = 5986 J$

Exercice 8

1) Transformation ~~f~~ brusque non statiq

2) Variation du volume du pressiostat

$V_{initial} = V_{Tot} - V_0 - V_R$

$V_{final} = V_T - V_R$

donc $\Delta V = V_0$

3) Le système applique une pression de P_0 sur le pressiostat.

4) Travail reçu par le système :

$\delta W = -P_{ext}\, dV$

$= -P_{pressiostat}\, dV$

$= -P_{pressiostat}\, dV$

$= -P_0\, dV$

$W = -P_0 \Delta V = -P_0 (V_R - V_0)$ or on ne peut pas résoudre

$\delta W' = -P_{ext}\, dV$

$= -P_0\, dV$

$W' = -P_0 \Delta V$

$= -P_0 V_0$

donc $W = -W'$

$= P_0 V_0$

5) $\Delta U = \frac{3}{2}$ ~~nR~~ $(T_R - T_0) =$ ~~nR~~ T_0

$\Rightarrow T_R = \frac{5}{3} T_0 = 500\ K$

Exercice 9

Comment savoir T_8

(1) Système fermé, isolé, pas de chaleur échangée

m_1 à $T_1 \rightarrow T_8$

m_2 à $T_2 \rightarrow T_8$

calorimètre $T_1 \rightarrow T_8$

$H_i = H_1 + H_2 + H_c$

$H_8 = H_1' + H_2' + H_c'$

$$\Delta H = H_8 - H_i = (H_1' - H_1) + (H_2' - H_2) + (H_c' - H_c) = 0$$

$$= \Delta H_1 + \Delta H_2 + \Delta H_c$$

$\Delta H_1 = C_p \Delta T$

$$\Delta H = m_1 C_{eau}^m (T_8 - T_1) + m_2 C_{eau}^m (T_8 - T_2) + C(T_8 - T_1) = 0$$

$$C(T_8 - T_i) = \frac{m_1 C_{eau}^m (T_8 - T_1) + m_2 C_{eau}^m (T_8 - T_2)}{T_8 - T_1}$$

Exercice 10

(1) $U_i = U_1 + U_2 + U_c = m_1 C_{eau}^m T_2 + m_2 C_{eau}^m T_2 + 0$

$U_8 = (m_1 + m_2) C_{eau}^m T_{eq}$

Système isolé : $\Delta U = 0 \Leftrightarrow U_8 = U_i$

$(m_1 + m_2) C_{eau}^m T_{eq} = (m_1 T_1 + m_2 T_2) C_{eau}^m$

$T_{eq} = 51,8\,°C$

(2) $U_i = (m_1 C_{eau}^m + C) T_1 + m_2 C_{eau}^m T_2$

$U_8 = [(m_1 + m_2) C_{eau}^m + C] T_{eq}'$

$\Delta U = 0$

$$(m_1 + m_2) C_{eau}^m T_{eq} + C T_{eq} = (m_1 T_1 + m_2 T_2) C_{eau}^m + C T_1$$

$$C (T_{eq} - T_1) = C_{eau}^m [(m_1 T_1 + m_2 T_2) - (m_1 + m_2) T_{eq}]$$

$$C = 115,5 \ J.K^{-1}$$

III - Entropie et Second principe

Exercice 11

(1) Fermé (imperméable) et isolé (cloisons indéformables / adiabatique)

(2) 1^{er} principe : $dU = \delta W + \delta Q$

$$= 0 + 0 = dU$$

$$\Delta U = 0$$

(3) $U_i = U_{i_1} + U_{i_2}$ or $\Delta U = 0$

$$= \frac{3}{2} n R T_1 + \frac{3}{2} n R T_2 \qquad \Leftrightarrow U_f = U_i$$

$$\Leftrightarrow T_f = \frac{T_1 + T_2}{2}$$

$$= \frac{3}{2} n R (T_1 + T_2)$$

$$U_f = U_{f_1} + U_{f_2} = 3 n R T_f$$

N = nbr particule

(4) $S = k_B \ln(\Omega)$

$$\Omega = \Omega_{em} \Omega_{pos}$$

$$\Omega_{em} = cte \ U^{3N/2} \quad (U \propto T)$$

$$= cte' \ T^{3N/2}$$

$$\Omega_{pos} = C_{N_0}^N = \frac{N_0!}{N! (N_0 - N)!}$$

$$\Delta S = S_f - S_i$$

$$S_i = S_{i_1} + S_{i_2} = k_B \ln(cte \ T_1^{3N/2} C_{N_0}^N) + k_B \ln(cte \ T_2^{3N/2} C_{N_0}^N)$$

$$= k_B \ln(cte * T_1^{3N/2} T_2^{3N/2} (C_{N_0}^N)^2)$$

$$S_g = S_{g_1} + S_{g_2}$$
$$= k_B \ln(cte\ T_g^{3N/2}\ C_{N_0}^N) + k_B \ln(cte\ T_g^{3N/2}\ C_{N_0}^N)$$

$$S_g = k_B \ln\left[cte\ (T_g^{3N/2})^2 (C_{N_0}^N)^2\right]$$
$$= k_B \ln\left[cte\ T_g^{3N} (C_{N_0}^N)^2\right]$$

$$\Delta S = S_g - S_i = k_B \ln\left[cte\ T_g^{3N} (C_{N_0}^N)^2\right] - k_B \ln\left[cte\ T_1^{3N/2}\ T_2^{3N/2} (C_{N_0}^N)^2\right]$$

$$= k_B \ln\left[\frac{cte\ T_g^{3N} (C_{N_0}^N)^2}{cte\ (T_1T_2)^{3N/2} (C_{N_0}^N)^2}\right] = k_B \ln\left(\frac{T_g^{3N}}{(T_1T_2)^{3N/2}}\right)$$
$$= \frac{3}{2} N k_B \ln\left(T_g^2 / T_1T_2\right)$$

Signe de ΔS

$$T_g^2 = \frac{T_1^2 + T_2^2 + 2T_1T_2}{4}$$

$$\frac{T_g^2}{T_1T_2} = \frac{T_1^2 + T_2^2 + 2T_1T_2}{4T_1T_2} > 1$$ irréversible $\Delta S \neq 0$.

$$(T_2 - T_1)^2 = T_1^2 + T_2^2 - 2T_1T_2 > 0$$
$$T_1^2 + T_2^2 > 2T_1T_2$$
$$\Leftrightarrow \quad T_1^2 + T_2^2 + 2T_1T_2 > 4T_1T_2$$
$$\Rightarrow N > D$$

(5) $dU = -p\,dV + T\,dS + \mu\,dN$ fermé : $dN = 0$

$U = \frac{3}{2} nRT$ impossible car $dV = 0$

$dU = \frac{3}{2} nR\,dT$ transformation $dU = T\,dS$

irréversible $dS = \frac{dU}{T}$

or entropie est une variable d'état donc elle ne dépend que de l'état initial et final. On fait donc comme si elle était réversible

$\Leftarrow$ $dS_1 = \frac{3}{2} nR \frac{dT}{T}$

$\Delta S_1 = \int_{T_1}^{T_f} \frac{3}{2} nR \frac{dT}{T}$

$\Delta S_1 = \frac{3}{2} nR \ln\left(\frac{T_f}{T_1}\right)$

de même

$\Delta S_2 = \int_{T_2}^{T_f} \frac{3}{2} nR \frac{dT}{T}$

$= \frac{3}{2} nR \ln\left(\frac{T_f}{T_2}\right)$

$\Delta S_{totale} = \frac{3}{2} nR \ln\left(\frac{T_f^2}{T_1 T_2}\right)$

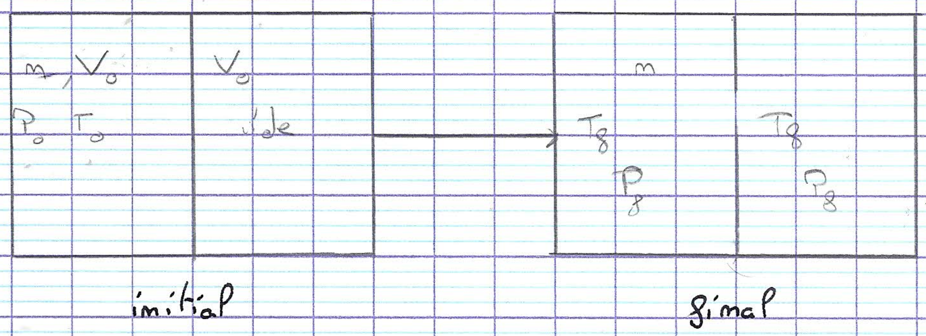
(6) $\Delta S_2 = \frac{3}{2} nR \ln\left(\frac{T_f}{T_2}\right)$

$T_2 > T_1 \quad , \quad T_f = \frac{T_1 + T_2}{2}$

$T_2 > T_f \Rightarrow \ln\left(\frac{T_f}{T_2}\right) < 0 \Rightarrow \Delta S_2 < 0$

Exercice 12 - Détente de Joule-Gay-Lussac Thermo

(1)



$V_f = 2V_0$

(2) $dU = \delta W + \delta Q$ Car enceinte adiabatique indéformable

$\Rightarrow dU = 0$

(3) $\Delta U = \frac{3}{2} nR\Delta T = 0$

$\Rightarrow T_f = T_0$

$P_f V_f = nRT_f = nRT_0$

$2P_f V_0 = nRT_f$

$P_f = P_0/2$

(4) Identité thermodynamique : $dU = -pdV + TdS + \mu dN$

$\Rightarrow TdS = PdV$ $\quad = -PdV + TdS$

$dS = \frac{P}{T} dV$ $\quad = 0$

Si la transformation était réversible, on aurait P définie à tout moment : $P = \frac{nRT_0}{V}$

$\Rightarrow dS = \frac{nRT_0}{V} \frac{dV}{T_0} = nR\frac{dV}{V}$

$\Rightarrow \Delta S = \int_{V_0}^{2V_0} nR\frac{dV}{V} = nR\ln(2)$

(5) ΔS par Boltzmann

$\Omega_e = cU^{3N/2}$

$\Omega_p = C_{N_0}^{N} = \frac{N_0!}{N!(N_0-N)!}$

$S = k_B \ln(\Omega)$

$\Delta S = S_f - S_i$

$S_i = k_B \ln(c' T^{3N/2} \cdot C_{N_0}^{N})$

$S_f = k_B \ln(c' T_0^{3N/2} C_{2N_0}^{N})$

$$\Delta S = S_f - S_i$$

$$= k_B [(\ln (C T_0^{3N/2} C_{2W_0}^N) - \ln (C' T_0^{3N/2} C_{N_0}^N)]$$ X ~~R~~ ~~R~~

$$= k_B \ln \left[\frac{C_{2W_0}^N}{C_{W_0}^N} \right] = k_B \ln (2^N) = N k_B \ln(2) = n N_A k_B \ln(2)$$
$$= nR\ln(2)$$

Exercice 13

(1) $dU = -PdV + TdS + \mu dN$

$TdS = dU + PdV$

$$dS = \frac{dU}{T} + \frac{P}{T} dV$$

(2) GPM : $U = \frac{3}{2} nRT = C_v T = n C_v^m T$

$dU = C_v \, dT$ et $PV = nRT \Leftrightarrow P = \frac{nRT}{V}$

$$\Rightarrow dS = \frac{C_v}{T} dT + \frac{1}{T} \frac{nRT}{V} dV = C_v \frac{dT}{T} + \frac{nR}{V} dV$$

(3) $\delta \omega = A dx + B dy = df$

si $\frac{\partial A}{\partial y} = \frac{\partial B}{\partial x}$

Ici : $A = \frac{C_v}{T}$, $dT = dx$; $B = \frac{nR}{V}$, $dV = dy$ } donc dS est une diff totale

$$dS = C_v \frac{dT}{T} + \frac{nR}{V} dV$$

(4) $A = \frac{C_v}{T} = \frac{\partial S}{\partial T}$ $\qquad$ $B = \frac{nR}{V} = \frac{\partial S}{\partial V}$

$$\Rightarrow \frac{\partial S}{\partial t} = \frac{C_v}{T} \Rightarrow S(T,V) = C_v \ln(T) + K(V)$$

$$\Rightarrow \frac{\partial S}{\partial V} = \frac{\partial K(V)}{\partial V} = \frac{nR}{V} \Rightarrow K(V) = nR \ln(V) + k$$

$$\Rightarrow S(T,V) = C_V \ln T + nR \ln V + K$$

$$C_V = \frac{3}{2} nR = \frac{3}{2} \frac{N}{N_a} N_a k_B$$

$$= \frac{3}{2} N k_B \quad \text{et} \quad nR = N k_B$$

$$\Rightarrow S = \frac{3}{2} N k_B \ln T + N k_B \ln V + C$$

$$= k_B \left(\frac{3}{2} N \ln T + N \ln V \right) + C$$

$$= k_B \left(\ln T^{3N/2} + \ln V^{N} + C \right)$$

$$= k_B \left(C \ln T^{3N/2} \cancel{+ \ln} V^{N} \right)$$

5) $S = k_B \ln(\Omega)$

$$= k_B \ln \left(C T^{3N/2} V_0^{N} \right)$$

$$\Omega = \Omega_e \Omega_p = C U^{3N/2} C_{N_0}^{N}$$

$$= C'' T^{3N/2} C_{N_0}^{N} \qquad N_0 \propto V$$

$$= C^{(3)} T^{3N/2} \left(\frac{N_0}{N} \right)^{N}$$

$$= C^{(4)} T^{3N/2} N_0^{N}$$

$$= C^{(5)} T^{3N/2} V_0^{N}$$

Exercice 14

(1) $P_0, T_0, V_0 = \frac{nRT_0}{P_0}$

À l'état final

$$P_f = P_0 + P_M$$

$$= P_0 + \frac{mg}{S}$$

$$T_f = T_0$$

$$V_f = \frac{nRT_f}{P_f} = \frac{nRT_0}{P_0 + \frac{mg}{S}}$$

(2) oui.

(3) $\delta W_1 = -P_{ext}\, dV$

$$= -P_{int}\, dV$$

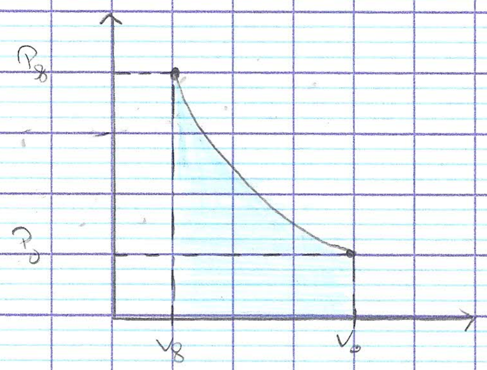
$$= \frac{-nRT_0}{V} dV$$

$$W_1 = -nRT_0 \ln\left(\frac{V_f}{V_0}\right) = nRT_0 \ln\left(\frac{V_0}{V_f}\right)$$

$$\frac{V_f}{V_0} = \frac{P_f}{P_0} = 1 + \frac{mg}{SP_0}$$

$$\Rightarrow W_1 = nRT_0 \ln\left(1 + \frac{mg}{SP_0}\right)$$

(4)



(5) $dU_1 = C_v\, dT = 0$ car $T = cte = T_0$

$= \delta W_1 + \delta Q_1$

$\delta Q_1 = -\delta W_1$

$Q_1 = -W_1 = -mRT_0 \ln\left(1 + \frac{M_g}{SP_0}\right)$

Chaleur cédée

(6) ~~ΔS~~ $\underbrace{dU}_{0} = -p\,dV + T\,dS + \underbrace{\mu\, dN}_{0}$

$T\,dS = p\,dV$

$dS = \frac{P}{T} dV = \frac{mRT}{T_0 V} dV = \frac{mR}{V} dV$

$\Delta S = \int_i^f dS = \int_{V_0}^{V_f} mR \frac{dV}{V} = mR \ln\left(\frac{V_f}{V_0}\right) = mR \ln\left(P_0/P_f\right)$

$= -mR \ln\left(1 + \frac{M_g}{SP_0}\right)$

(7) ΔS^{e} : $dS^{e} = \frac{\delta Q_{reçu}}{T_{ext}} = \frac{\delta Q_1}{T_0}$

$\Delta S^{e} = \int_i^f dS^{e} = \int_0^1 \frac{\delta Q_1}{T_0} = \frac{Q_1}{T_0}$

$= \frac{-mRT_0}{T_0} \ln\left(1 + \frac{M_g}{SP_0}\right) = -mR \ln\left(1 + \frac{M_g}{SP_0}\right)$

$\Delta S_{syst} = \Delta S^{c} + \Delta S^{e}$

$\Leftrightarrow \Delta S^{c} = \Delta S_{syst} - \Delta S^{e} = 0$ car $\Delta S_{syst} = \Delta S^{e}$

(18) $dU = -pdV + TdS = 0$

$TdS = pdV$

$dS = \frac{pdV}{T} = \frac{pdV}{T_0}$

$\Delta S = -nR\ln\left(1 + \frac{mg}{ST_0}\right)$

or p non défini mais S est une variable d'état donc ΔS ne dépend pas du type de transformation donc ΔS sera le même que pour la transformation 1 car les états initials et finals sont les mêmes

(14) ~~ΔS~~ $dS^e = \frac{\delta Q_{reçu}}{T_{ext}} = \frac{\delta Q_2}{T_0}$

$\Delta S^e = \frac{Q_2}{T_0} = -\frac{mg}{ST_0} V_0$

$\Delta S^c = \Delta S_{syst} - \Delta S^e$

$= -nR\ln\left(1 + \frac{mg}{S_0}\right) + \frac{mg}{ST_0} V_0 > 0$

$\Delta S_{univers} = \Delta S^c$

la transformation est irréversible

$$\Delta S^{univers} = \Delta S_{syst} + \Delta S_{ext}$$
$$= \Delta S^{c} + \Delta S^{e} - \Delta S^{e}$$
$$= \Delta S^{c}$$
$$= 0 \Rightarrow$$ transformation réversible

(8) état initial : P_0, V_0, T_0

état final : $P_8 = P_0 + \frac{Mg}{S}$

$T_8 = T_0$ car la transformation est très rapide.

$V_8 = \frac{mRT_0}{P_8}$

(9) Non $\Rightarrow$ brutale

(10) $\delta W_2 = -P_{ext}\, dV = -P_8\, dV$

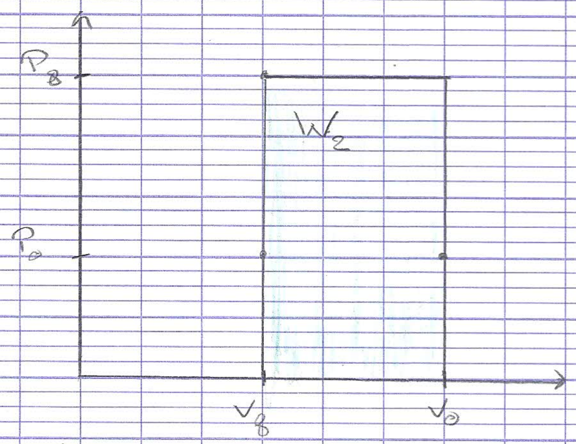
$W_2 = \int_1^8 -P_8\, dV = -P_8 \int_{V_0}^{V_8} dV = -P_8 (V_8 - V_0)$

$W_2 = -P_8 V_8 + P_8 V_0$

$= -P_8 V_8 + \left(P_0 + \frac{Mg}{S}\right) V_0 = -P_8 V_8 + P_0 V_0 + \frac{Mg V_0}{S} = \frac{Mg V_0}{S}$

$P_0 V_0 = mRT_0 = mRT_8 = P_8 V_8$

(11)



(12) $dU_2 = \delta W_2 + \delta Q_2 = C_v dT$
$= 0$

$\Rightarrow \Delta U_2 = C_v \Delta T = 0$ car $T_8 = T_0$

$\Delta U_2 = W_2 + Q_2 \Rightarrow Q_2 = -W_2 = -\frac{Mg V_0}{S}$