

**Exercice 1 :**  $n$  moles de gaz parfait de coefficient  $\gamma$  connu et constant, passent de l'état (1) ( $p_0, V_0, T_0$ ) connu à l'état (2) ( $p_1, V_1, T_1$ ), qui est un état d'équilibre et  $V_1 = V_0/2$  – Calculer le travail reçu par le gaz dans les cas suivants :

- \*- La transformation est isobare.
- \*- La transformation est monobare. Les parois de l'enceinte sont diathermanes.
- \*- La transformation est isotherme.
- \*- La transformation est adiabatique et  $T_1 = 2 T_0$ .
- \*- La transformation est adiabatique et réversible.

**Exercice 2 :** Pour les transformations précédentes (exercice 1) calculer les quantités de chaleur échangées par le gaz.

**Exercice 3 :** Pour les transformations précédentes (exercice 1) calculer les entropies échangées et créées par le gaz.

**Exercice 4 :**  $n$  moles de gaz parfait à la température  $T_0$  contenu dans un cylindre aux parois diathermanes est fermé par un piston sans frottement de masse  $m$  et de section  $S$  – La pression extérieure est  $p_0$  – Dans l'état initial d'équilibre on met le cylindre en contact avec un thermostat à la température  $T_e$  – Exprimer les paramètres de l'état final et les entropies échangée et créée.

**Exercice 5 :** Quels sont les paramètres d'état d'un corps pur en phase condensée ?

**Exercice 6 :** Un corps pur en phase condensée de masse  $m$  et de capacité thermique massique  $c$  initialement à la température  $T_0$  est mis en contact avec un thermostat à la température  $T_e$  – Exprimer la quantité de chaleur, l'entropie échangée et l'entropie créée au cours de la transformation.

**Exercice 7 :** Un corps pur diphasé de masse totale  $m$  à la température  $T$  passe d'un état où le titre massique d'une phase est  $x_A$  à un état où le titre massique de la même phase est  $x_B$  – On donne l'enthalpie massique de changement d'état à la température  $T$  :  $\ell_{1 \rightarrow 2}(T)$  – Exprimer la quantité de chaleur échangée les entropies échangée et créée au cours de la transformation.

**Exercice 8 :** Un liquide saturant à la température  $T_1$  subit une détente de Joule-Thomson jusqu'à la température  $T_2 < T_1$  – Exprimer le titre en vapeur dans l'état final dans les cas suivants:

- \*- On donne  $h_L(T_1)$ ,  $h_L(T_2)$  et  $h_V(T_2)$
- \*- On donne  $\ell_{L \rightarrow V}(T_2)$  et la capacité thermique massique du liquide  $c_\ell$ , supposée constante.

**Exercice 9 :** Une vapeur saturante sèche à la température  $T_1$  subit une détente isentropique jusqu'à la température  $T_2 < T_1$  – Exprimer le titre en vapeur dans l'état final dans les cas suivants:

- \*- On donne  $s_V(T_1)$ ,  $s_L(T_2)$  et  $s_V(T_2)$
- \*- On donne  $\ell_{L \rightarrow V}(T_2)$ ,  $\ell_{L \rightarrow V}(T_1)$  et la capacité thermique massique du liquide  $c_\ell$ , supposée constante.

**Exercice 1 :**

$$dW = -p_{ext}.dV$$

- \*- La transformation est isobare.  
Elle est mécaniquement réversible donc  $p_{ext} = p_0$  donc  $W = -(p_1.V_1 - p_0.V_0) = p_0.V_0/2$
- \*- La transformation est monobare. Les parois de l'enceinte sont diathermanes.

L'état final est un état d'équilibre (mécanique et thermique) donc  $p_{ext} = p_1$  et  $T_{ext} = T_1 = T_0$  – donc  $W = p_1.V_0/2$  et  $p_1.V_1 = p_0.V_0$  si bien que  $W = p_0.V_0$ .

\*- La transformation est isotherme.

Donc lente (transfert thermique lent) et mécaniquement réversible donc réversible d'où  $dW = -p.dV = -n.R.T_0.\frac{dV}{V}$  qui s'intègre en  $W = n.R.T_0.\ln(2)$ .

\*- La transformation est adiabatique et  $T_1 = 2 T_0$ .

$$\Delta U = W + Q = W \text{ (car adiabatique) or } \Delta U = n.C_{V,m.}(T_1-T_0) = W = \frac{n.R.T_0}{\gamma-1}$$

\*- La transformation est adiabatique et réversible.

$$\Delta U = W + Q = W \text{ (car adiabatique) or } \Delta U = n.C_{V,m.}(T_1-T_0) = W = \frac{n.R.}{\gamma-1}(T_1-T_0) = \frac{p_1.V_1-p_0.V_0}{\gamma-1}$$

Le gaz est parfait avec  $\gamma$  constant on peut donc appliquer les lois de Laplace :  $p_1.V_1^\gamma = p_0.V_0^\gamma$  d'où

$$p_1 = p_0(2)^\gamma \text{ si bien que } W = \frac{p_0.V_0}{\gamma-1}(2^{\gamma-1}-1)$$

## Exercice 2 :

$$Q = \Delta U - W$$

\*- La transformation est isobare.

$$Q = \Delta U - W = \Delta U + (p_1.V_1-p_0.V_0) = \Delta H = \frac{n.R.\gamma}{\gamma-1}(T_1-T_0) \text{ or } \frac{V_1}{T_1} = \frac{V_0}{T_0} \text{ d'où } Q = -\frac{n.R.\gamma.T_0}{2(\gamma-1)}$$

\*- La transformation est monobare. Les parois de l'enceinte sont diathermanes.

La température initiale est égale à la température finale d'où  $\Delta U = W + Q = 0$  d'où  $Q = -p_0.V_0$

\*- La transformation est isotherme.

La température est constante donc  $Q = -W = -n.R.T_0.\ln(2)$ .

\*- La transformation est adiabatique et  $T_1 = 2 T_0$ .  $Q = 0$

\*- La transformation est adiabatique et réversible.  $Q = 0$

## Exercice 3 :

$$\text{D'après l'identité thermodynamique en U : } \Delta S = \frac{n.R}{\gamma-1}.\ln\frac{T_1}{T_0} + n.R.\ln\frac{V_1}{V_0}$$

Le second principe  $\Delta S = S_e + S_c$

\*- La transformation est isobare.

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_0}{T_0} \text{ d'où } \Delta S = \frac{n.R}{\gamma-1}.\ln\frac{V_1}{V_0} + n.R.\ln\frac{V_1}{V_0} \text{ donc } \Delta S = -\frac{n.R.\gamma}{\gamma-1}.\ln 2 \text{ puisque l'état final est un état d'équilibre on peut supposer que le thermostat est à la température } T_1 = T_0/2 \text{ donc } S_e = Q/T_1 \text{ d'où } S_e = -\frac{n.R.\gamma}{\gamma-1} \text{ et donc } S_c = \frac{n.R.\gamma}{\gamma-1}(1-\ln 2) > 0$$

\*- La transformation est monobare. Les parois de l'enceinte sont diathermanes.

La température initiale est égale à la température finale, on peut supposer que le thermostat est à la température  $T_0$  d'où  $\Delta S = -n.R.\ln 2$  et  $S_e = -\frac{p_0.V_0}{T_0} = -n.R$  enfin  $S_c = n.R.(1-\ln 2) > 0$ .

\*- La transformation est isotherme.

La température est constante donc  $\Delta S = -n.R.T_0.\ln(2) = S_e$  d'où  $S_c = 0$ .

\*- La transformation est adiabatique et  $T_1 = 2 T_0$ .

$$\Delta S = \frac{n.R}{\gamma-1}.\ln\frac{T_1}{T_0} + n.R.\ln\frac{V_1}{V_0} = \frac{n.R}{\gamma-1}\left(\frac{2-\gamma}{\gamma-1}\right)\ln 2 \text{ et si } Q = 0 \text{ alors } S_e = 0 \text{ et } S_c = \Delta S > 0$$

\*- La transformation est adiabatique et réversible.  $Q = 0$

$\Delta S = 0$  et  $Q = 0$  donc  $S_c = 0$  normal

## Exercice 4 :

$$p_1 = p_0 + mg/S = \text{Cte} ; T_1 = T_e \text{ et } V_0/T_0 = V_1/T_e \text{ donc } V_1 = V_0.T_e/T_0$$

$$\Delta S = \frac{n.R.\gamma}{\gamma-1} \ln \frac{T_e}{T_o} \quad \text{et} \quad Q = \Delta H = \frac{n.R.\gamma}{\gamma-1} (T_e - T_o) \quad \text{d'où} \quad Se = \frac{n.R.\gamma}{\gamma-1} \left( \frac{T_e - T_o}{T_e} \right) \quad \text{et donc} \quad Sc = \frac{n.R.\gamma}{\gamma-1} \left[ \ln \frac{T_e}{T_o} - \frac{T_e - T_o}{T_e} \right] > 0 \quad (\text{calcul classique on pose } x = T_o/T_e)$$

### Exercice 5 :

Les paramètres d'état d'un corps pur sont (p, V, T, n) or un corps pur en phase condensée est incompressible et indilatable (modèle théorique) donc p et V ne sont pas des paramètres d'état.

### Exercice 6 :

$$\Delta S = \frac{n.R.\gamma}{\gamma-1} \ln \frac{T_e}{T_o} \quad \text{et} \quad Q = \Delta H = \frac{n.R.\gamma}{\gamma-1} (T_e - T_o) \quad \text{d'où} \quad Se = \frac{n.R.\gamma}{\gamma-1} \left( \frac{T_e - T_o}{T_e} \right) \quad \text{et donc} \quad Sc = \frac{n.R.\gamma}{\gamma-1} \left[ \ln \frac{T_e}{T_o} - \frac{T_e - T_o}{T_e} \right] > 0 \quad (\text{calcul classique, on pose } x = T_o/T_e)$$

### Exercice 7 :

Un changement d'état est une transformation à une pression et une température constante donc  $Q = \Delta H_{1 \rightarrow 2}(T) = m[x_B.h_l + (1-x_B).h_2 - x_A.h_l - (1-x_A).h_2] = m.(x_B - x_A)(h_l - h_2) = -m.(x_B - x_A). \ell_{1 \rightarrow 2}(T)$

### Exercice 8 :

\*- On donne  $h_L(T_1)$ ,  $h_L(T_2)$  et  $h_V(T_2)$  :  $x_V = \frac{h(T_2) - h_L(T_2)}{h_V(T_2) - h_L(T_2)}$  or la détente étant isenthalpique

$$h(T_2) - h_L(T_1) = 0 \quad \text{donc} \quad x_V = \frac{h_L(T_1) - h_L(T_2)}{h_V(T_2) - h_L(T_2)}$$

\*- On donne  $\ell_{L \rightarrow V}(T_2)$  et la capacité thermique massique du liquide  $c_\ell$ , supposée constante.

De même on écrit  $x_V = \frac{h_L(T_1) - h_L(T_2)}{h_V(T_2) - h_L(T_2)}$  avec  $h_L(T_1) - h_L(T_2) = c_\ell.(T_1 - T_2)$  et  $h_V(T_2) - h_L(T_2) = \ell_{vap}(T_2)$  donc

$$x_V = \frac{c_\ell.(T_1 - T_2)}{\ell_{vap}(T_2)}$$

### Exercice 9 :

\*- On donne  $s_V(T_1)$ ,  $s_L(T_2)$  et  $s_V(T_2)$  :  $x_V = \frac{s(T_2) - s_L(T_2)}{s_V(T_2) - s_L(T_2)}$  or la détente étant isentropique

$$s(T_2) - s_V(T_1) = 0 \quad \text{donc} \quad x_V = \frac{s_V(T_1) - s_L(T_2)}{s_V(T_2) - s_L(T_2)}$$

\*- On donne  $\ell_{L \rightarrow V}(T_2)$ ,  $\ell_{L \rightarrow V}(T_1)$  et la capacité thermique massique du liquide  $c_\ell$ , supposée constante.

De même on écrit  $x_V = \frac{s_V(T_1) - s_L(T_2)}{s_V(T_2) - s_L(T_2)}$  avec

$$s_V(T_1) - s_L(T_2) = s_V(T_1) - s_L(T_1) + s_L(T_1) - s_L(T_2) = \frac{\ell_{vap}(T_1)}{T_1} + c_\ell \ln \left( \frac{T_1}{T_2} \right) \quad \text{et} \quad s_V(T_2) - s_L(T_2) = \frac{\ell_{vap}(T_2)}{T_2} \quad \text{donc}$$

$$x_V = \frac{\frac{\ell_{vap}(T_1)}{T_1} + c_\ell \ln \left( \frac{T_1}{T_2} \right)}{\frac{\ell_{vap}(T_2)}{T_2}}$$