

## • EX. 1 : TRANSFORMATION ISOBARE

$$m = 2 \text{ kg}$$

DIAZOTE ( $\text{N}_2$ )

ECHAUFFEMENT ISOBARIQUE  $\Rightarrow p = \text{const}$

$$T_1 = 300 \text{ K}$$

$$T_2 = 1000 \text{ K}$$

$$c_v = 714 \frac{\text{J}}{\text{kg K}} \quad \text{CHALEUR MASSIQUE } \dot{q} \quad V = \text{const}$$

$$R = 295,5 \frac{\text{J}}{\text{kg K}}$$

(a)  $pV = nRT$  EQ. ETAT (G.P.)

$$pV_1 = nRT_1$$

$$pV_2 = nRT_2$$

$$\Rightarrow \gamma \equiv \frac{V_2}{V_1} = \frac{T_2}{T_1} = \frac{1000 \text{ K}}{300 \text{ K}} = \frac{10}{3} > 1$$

$$V_2 = \gamma V_1 = \frac{10}{3} V_1 > V_1$$

Le volume augmente

(b)  $\Delta U = W + Q$  1<sup>er</sup> PRINCIPLE



CONVENTION de SIGNE :

$W > 0$  : le système reçoit du travail de l'extérieur

$Q > 0$  : le système reçoit de la chaleur

$W < 0$  : le système cède du travail à l'extérieur

$Q < 0$  : le système cède de la chaleur

$$\text{TRAVAIL : } W \equiv - \int_{V_1}^{V_2} p dV \quad (\text{définition générale})$$

$$\Delta U = m c_v \Delta T$$

$$\Delta T = T_2 - T_1$$

ENERGIE INTERNE (1ère loi de Joule)

[2]

$$\Rightarrow \Delta U = 2 \text{ kg} \cdot \frac{714 \text{ J}}{\text{kg K}} \cdot (1000 - 300) \text{ K} = 998600 \text{ J}$$

$$Q = m c_p \Delta T \quad \text{CHALEUR} \Rightarrow Q = 2 \text{ kg} \left( \frac{714 + 295,5}{\text{kg K}} \right) \text{ J} \cdot 700 \text{ K} =$$

$$= 1413300 \text{ J} > 0 \quad (\text{reçue})$$

$p = \text{const.}$   
 $c_p = c_v + r$  (relation de Meyer)

// ON MONTRER:  $Q = m c_p \Delta T$

$$\Delta U = m c_v \Delta T$$

$$Q = \Delta U - W = m c_v \Delta T + p \Delta V = m (c_v + r) \Delta T$$

$$\uparrow$$

$$p = \text{const} \Rightarrow W = -p \Delta V$$

$$pV = nRT \Rightarrow p \Delta V = nR \Delta T$$

$$W = - \int_{V_1}^{V_2} p \, dV = - p (V_2 - V_1) = - p \Delta V$$

$\uparrow$   
 $p = \text{const}$  (ISOBARE)

TRAVAIL

... MAIS  $p$  EST INCONNUE  $\Rightarrow$

$$\Rightarrow W = \Delta U - Q = (998600 - 1413300) \text{ J} = -413700 \text{ J} < 0 \quad (\text{cédé})$$

1° PRINCIPE

$$(c) \quad W = -p (V_2 - V_1) = -p V_1 \left( \frac{V_2}{V_1} - 1 \right) = -p V_1 (\gamma - 1) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow p = - \frac{W}{V_1 (\gamma - 1)} = \frac{Q - \Delta U}{V_1 (\gamma - 1)}$$

$$W = \Delta U - Q$$

remarque:  $p > 0$  car  $Q - \Delta U > 0$ ;  $\gamma - 1 > 0$

$$[p] = \left[ \frac{W}{V_1} \right] = \left[ \frac{F \cdot L}{L^3} \right] = \left[ \frac{F}{L^2} \right] \quad (\text{ok!})$$

$$V_1 = 0,1 \text{ m}^3 \Rightarrow p = \frac{1413300 - 998600}{0,1 \left( \frac{10}{3} - 1 \right)} = 1773000 \text{ Pa} \approx 17,7 \text{ atm}$$

$1 \text{ Pa} = 10^5 \text{ atm}$



$$\Delta E_c + \Delta U = W + Q$$

$W = 0$  car  $\Delta V = 0$  (réceptacle indéformable)

$Q = 0$  car SYSTÈME PARFAITEMENT ISOLÉ

$$\Rightarrow \Delta E_c + \Delta U = 0$$

$$\Delta E_c = E_c^{(2)} - E_c^{(1)} = - \frac{m v^2}{2}$$

$\downarrow$                        $\swarrow$   
 $0$                        $\frac{m v^2}{2}$   
 (ARRÊT)

$$\Delta U = - \Delta E_c = \frac{m v^2}{2}$$

il fait le lien à la TEMPÉRATURE, maintenant.

GAZ PARFAIT:  $\Delta U = m c_v \Delta T \Rightarrow$

$$\Rightarrow \underbrace{m c_v \Delta T}_{\Delta U} = \underbrace{\frac{m v^2}{2}}_{- \Delta E_c} \Rightarrow$$

$$\Delta T = \frac{v^2}{2 c_v}$$

$\Delta T > 0 \Rightarrow T_2 > T_1$  : ÉCHAUFFEMENT DU GAZ  
(car  $v^2, c_v > 0$ )

Toute l'énergie cinétique se retrouve sous forme d'énergie interne après l'arrêt brutal. L'agitation des molécules est donc plus importante, il y a donc une augmentation de température.

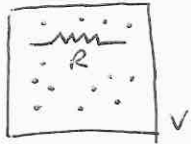
CONTRÔLE DIMENSIONNEL:

$$[\Delta T] = \left[ \frac{v^2}{2 c_v} \right] = \left[ \frac{\frac{E}{M}}{\frac{E}{M T}} \right] = [T]$$

$$[v^2] = \left[ \frac{E_c}{M} \right] = \left[ \frac{E}{M} \right]$$

$$[c_v] = \left[ \frac{\Delta U}{m \Delta T} \right] = \left[ \frac{E}{M T} \right]$$

EX.3 : TRANSFORMATION ISOCHORE



GAZ

RÉCIPIENT À VOLUME CONSTANT ;  $V = \text{const}$

THERMIQUEMENT ISOLÉ

R : RÉSISTANCE ÉLECTRIQUE  $\rightarrow P = 60 \text{ W}$  (PUISSANCE)

$t = 20 \text{ min}$  (DURÉE)

(a) VARIATION ÉNERGIE INTERNE

1° PRINCIPE :  $\Delta U = W + Q$

Réceptent avec  $V = \text{const.} \Rightarrow W = 0$ , car  $W = - \int_{V_1}^{V_2} p dV$

$\Rightarrow \Delta U = Q$

De l'extérieure (résistance), de la chaleur est FOURNIE au système (gaz)  $\Rightarrow Q > 0$ . Sa valeur vaut :  $Q = P \cdot t$

La température de la résistance est supérieure à celle du gaz.

$\Rightarrow \Delta U = Q = P \cdot t = 60 \text{ W} \cdot 20 \cdot 60 \text{ s} = 72 \cdot 10^3 \text{ J} > 0$

(b)  $V = 3^3 \text{ m}^3 = 27 \text{ m}^3$  VOLUME du réceptent (cubique)

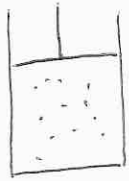
$\Delta U = m c_v \Delta T$  (G.P.)  $\Rightarrow$

$$\Rightarrow \Delta T = \frac{\Delta U}{m c_v} = \frac{\Delta U}{\rho V^3 c_v} = \frac{72 \cdot 10^3 \text{ J}}{\frac{1,2 \text{ kg}}{\text{m}^3} \cdot 27 \text{ m}^3 \cdot 713 \frac{\text{J}}{\text{kg K}}} \approx 3,1 \text{ K}$$

$m = \rho V^3$        $\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$   
 $c_v = 713 \frac{\text{J}}{\text{kg K}}$

$\Rightarrow \Delta T \approx 3,1 \text{ K} = 3,1 \text{ }^\circ\text{C}$

EX. 4 : TRANSFORMATION ADIABATIQUE IRRÉVERSIBLE



$m = 122 \text{ g}$  (AIR)

$Q = 0$ , dispositif cylindre-piston calorifuge  $\Rightarrow$   
 $\Rightarrow$  TR. ADIABATIQUE

INITIALEMENT :  $V_0 = 100 \text{ l}$ ,  $T_0 = 15^\circ \text{C}$

$P_0 = p = 1 \text{ atm}$  (équilibre avec la pression extérieure)

$P_0 \rightarrow P_1 = 20 \text{ atm}$  très rapidement.

(a)  $P_1 > P_0 \Rightarrow$  COMPRESSION (ADIABATIQUE)  
 IRRÉVERSIBLE car il n'y a pas équilibre mécanique que  $\bar{Q}$  chaque instant.

(b) MÉTHODE 1 :  $W = -P_1(V_1 - V_0)$  car  $p = P_1$

TRAVAIL

MÉTHODE 2 :  $W = \Delta U = m c_v (T_1 - T_0)$   
 $\uparrow \quad \uparrow$   
 $Q = 0 \quad \text{G.P.}$

(c) CALCUL de  $V_1$  :

$P_1(V_0 - V_1) = m c_v (T_1 - T_0)$  (voir (b))

EQ. ETAT  $\Rightarrow T = \frac{PV}{mR}$  et on peut, donc, éliminer la température.

$P_1(V_0 - V_1) = m c_v \left( \frac{P_1 V_1}{mR} - \frac{P_0 V_0}{mR} \right) = P_1 \frac{c_v}{R} \left( V_1 - \frac{P_0}{P_1} V_0 \right) \Rightarrow$

$\Rightarrow V_0 \left( 1 + \frac{c_v}{R} \frac{P_0}{P_1} \right) = V_1 \left( 1 + \frac{c_v}{R} \right) \Rightarrow$

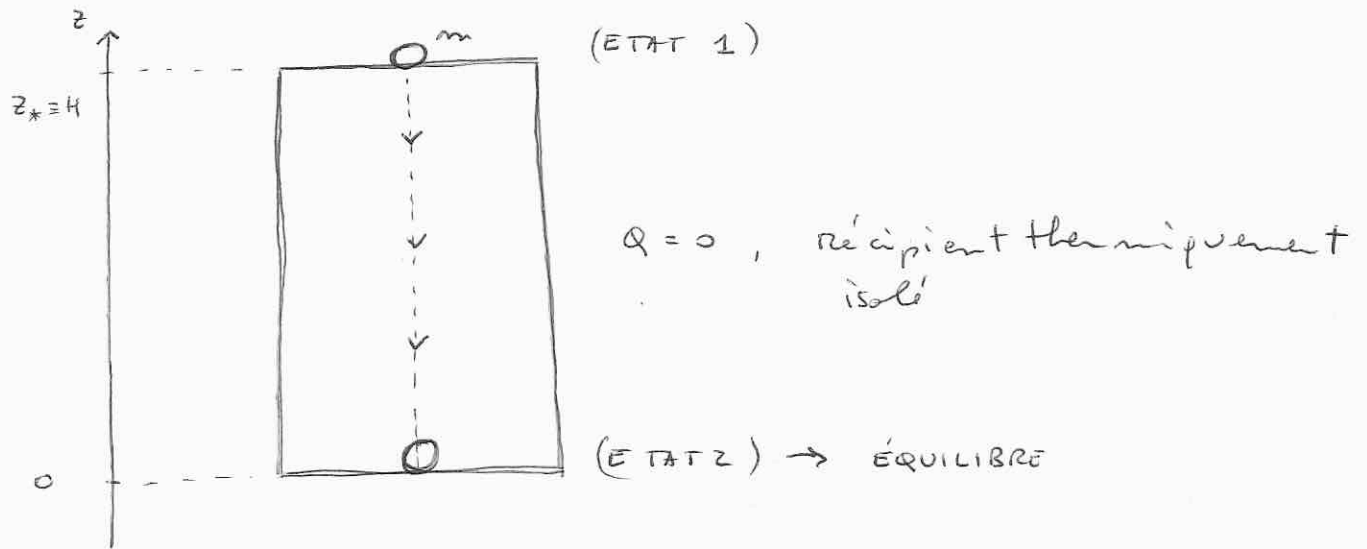
$\Rightarrow V_1 = \frac{R}{c_v + R} \left( 1 + \frac{c_v}{R} \frac{P_0}{P_1} \right) V_0 \approx 0,03 \text{ m}^3$

$c_v = 713 \frac{\text{J}}{\text{kgK}}$  ;  $R = 287 \frac{\text{J}}{\text{kgK}}$

Remarque :  $V_0 = 100 \text{ l} = 100 \text{ dm}^3 = 0,1 \text{ m}^3$

$V_1 \approx 0,03 \text{ m}^3 < V_0$

• EX. 5 : CONSERVATION de l'ÉNERGIE  
POUR un LIQUIDE INCOMPRESSIBLE



$H \equiv z^* = 100 \text{ m}$

$M = 100 \text{ kg}$  EAU ( $H_2O$ )

$T_1 = 20^\circ\text{C}$

$m = 5 \text{ kg}$  ALUMINIUM (AL)

$g = 9,81 \text{ m/s}^2$  ACCÉLÉRATION PESANTEUR

$c_{H_2O} = 4186 \frac{\text{J}}{\text{kg K}}$  CHALEUR MASSIQUE de l'EAU

$c_{AL} = 900 \frac{\text{J}}{\text{kg K}}$  " " " l'ALUMINIUM

→ QUESTION :  $T_2 = ?$  (ÉQUILIBRE)

LIQUIDE INCOMPRESSIBLE :  $\Delta U = Q$  ;  $w = 0$  car  $dv = 0$ ,  $v = \text{const}$  (EQ. ETAT)  
(incompressible)

$\Delta U = m c \Delta T$  (VARIATION EN. INTERNE)

↑  
chaleur massique  
(automatiquement  $\bar{v} = \text{const}$ )

SYSTÈME:  $S = S_1 \cup S_2$   
 $\uparrow \quad \uparrow$   
 $H_2O \quad Al$

$$\Delta E_{TOT} = \Delta U + \Delta E^{(c)} + \Delta E^{(p)}$$

$\uparrow$  INTERNE       $\uparrow$  CINÉTIQUE      POTENTIELLE GRAVITATIONNELLE

1<sup>er</sup> PRINCIPE:  $\Delta E_{TOT} = Q + W = 0$  car  $\left\{ \begin{array}{l} Q = 0 \text{ (récipient isolé)} \\ W = 0 \text{ (v = const.)} \end{array} \right.$   
 (généralisé)

$\rightarrow \Delta E_{TOT} = \Delta U + \Delta E^{(c)} + \Delta E^{(p)} = 0$

ENERGIE: EXTENSIVE (additive)  $\Rightarrow \Delta E_{TOT} = \Delta E_{H_2O} + \Delta E_{Al}$

-  $\Delta U = \Delta U_{H_2O} + \Delta U_{Al} = M_{CH_2O} \Delta T + m_{CAL} \Delta T ; \Delta T = T_2 - T_1$

-  $\Delta E^{(c)} = \Delta E^{(c)}_{H_2O} + \Delta E^{(c)}_{Al} = 0 ; E^{(c)} = \frac{mv^2}{2}$   
 $\underbrace{\hspace{10em}}$   
 $H_2O$ : au repos dans l'état 1 et dans l'état 2       $Al$ : au repos dans l'état 1 et dans l'état 2

-  $\Delta E^{(p)} = \Delta E^{(p)}_{H_2O} + \Delta E^{(p)}_{Al} = -mgh$   
 $\underbrace{\hspace{10em}}$   
 $H_2O$ : ne change pas de position  $\Downarrow \Delta E^{(p)}_{H_2O} = 0$        $mg(0 - z_+) = -mgh$   
 $\underbrace{\hspace{10em}}$   
 $E^{(p)}_{Al}(z) - E^{(p)}_{Al}(1)$

$\Rightarrow \Delta E_{TOT} = \Delta U + \Delta E^{(p)} = 0 \Rightarrow$

$\Rightarrow \Delta U = -\Delta E^{(p)} = mgh \Rightarrow$   
 $\Delta U = M_{CH_2O} (T_2 - T_1) + m_{CAL} (T_2 - T_1) = (T_2 - T_1) (M_{CH_2O} + m_{CAL})$

$\Rightarrow \boxed{T_2 = T_1 + \frac{mgh}{M_{CH_2O} + m_{CAL}}}$

TEMPERATURE FINALE (ETAT 2, D'EQUILIBRE)

A.N.:  $T_2 = \frac{5 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ ms}^{-2} \cdot 100 \text{ m}}{100 \text{ kg} \cdot \frac{4186 \text{ J}}{\text{kg K}} + 5 \text{ kg} \cdot \frac{300 \text{ J}}{\text{kg K}}} + 293,15 \text{ K} \approx 293,161593 \text{ K} = 20,011593 \text{ }^\circ\text{C}$   
 $\approx 0,011593 \text{ K}$