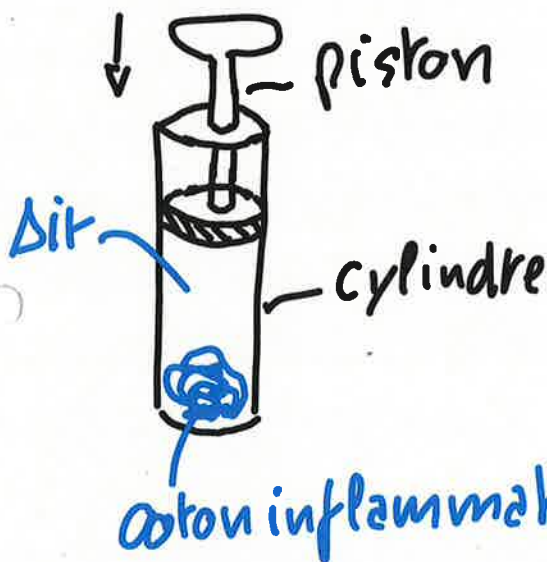


Quelques exemples de transformations adiab.

1) Briquet à gaz : compression adiabatique avec changement de volume



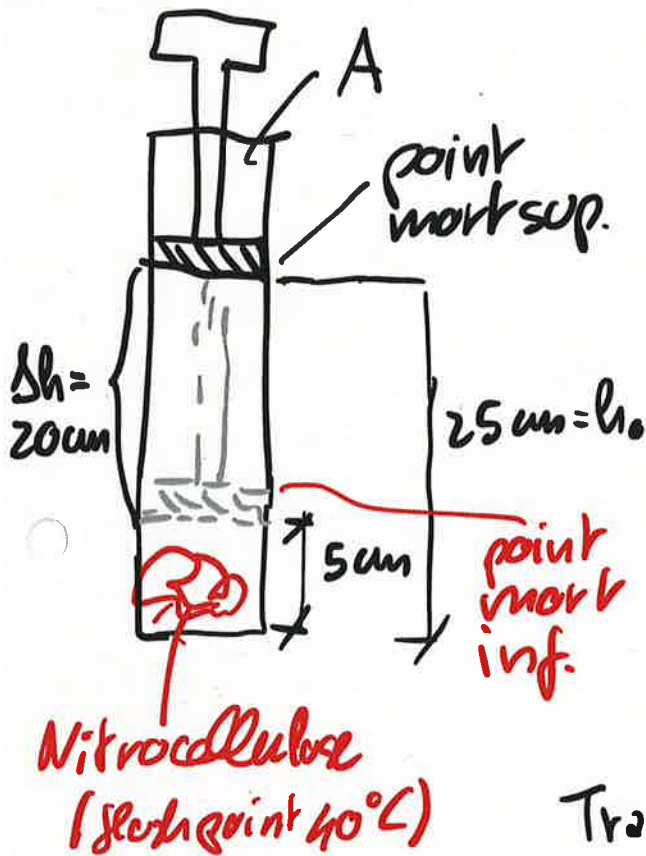
On met un coton inflammable dans le cylindre et on enfonce le piston violemment : le coton prend feu ! pourquoi ?

Il s'agit d'une transf. adiabatique ("violemment").
Le système (air) n'a pas le temps d'échanger de la chaleur avec l'extérieur.

$$\Delta U = -W = -(-W_{\text{fournit}}) > 0 \rightarrow \Delta U > 0$$

$\Delta T > 0$ La température augmente et dépasse la température d'ignition du coton + alcool

Compression adiabatique (Adiabatic heating)



Quelques données :

$$A = \pi r^2 = \pi (0.01)^2 = 3.14 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$V_i = A \cdot h_0 = \pi r^2 h_0 = 7.85 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

$$V_f = A(h_0 - \Delta h) = \pi r^2 (h_0 - \Delta h) = \frac{1}{5} V_i$$

$$T_i = 293 \text{ K}$$

$$T_f = ?$$

Transformation
adiabatique
réversible

$$T V^{\gamma-1} = \text{const}$$

$$T_i V_i^{\gamma-1} = T_f V_f^{\gamma-1} \rightarrow T_f = T_i \left[\frac{V_i}{V_f} \right]^{\gamma-1}$$

exposant
adiabatique
 $\gamma = \frac{C_p}{C_v}$

Air $\rightarrow$ principalement N_2 donc gaz diatomique

$$\gamma = \begin{cases} \text{transl. } 3 \\ \text{rot. } 2 \end{cases} \rightarrow \gamma = \frac{1 + \gamma/2}{\gamma/2} = \frac{7}{5} = 1.4$$

$$T_f = T_i \left(\frac{V_i}{V_f} \right)^{\gamma-1} = 293 \cdot 5^{0.4} = 557 \text{ K} \rightarrow \text{chauffage adiabatique}$$

Et si on avait comprimé de l'Helium?

Quelle serait la température finale?

Gas monoatomique $\nu = 3$ transl.

$$\gamma = \frac{1 + 3/2}{3/2} = 1.66$$

$$T_f = T_i \left(\frac{V_i}{V_f} \right)^{\gamma-1} = 293 + 5^{\overbrace{1.66-1}^{2.89}} = 847$$

plus élevée

Travail fait lors de la compression

$$\Delta U = n C_v \Delta T = n C_v (T_f - T_i) > 0$$

$\Delta U = -W < 0$ le travail est fait sur le système

$$W = -n C_v \Delta T = \underbrace{\rho V}_{\rho V = n R T} = - \frac{\rho V}{R T} C_v \Delta T$$

$$C_v = \frac{5}{2} R = \frac{5}{2} R$$

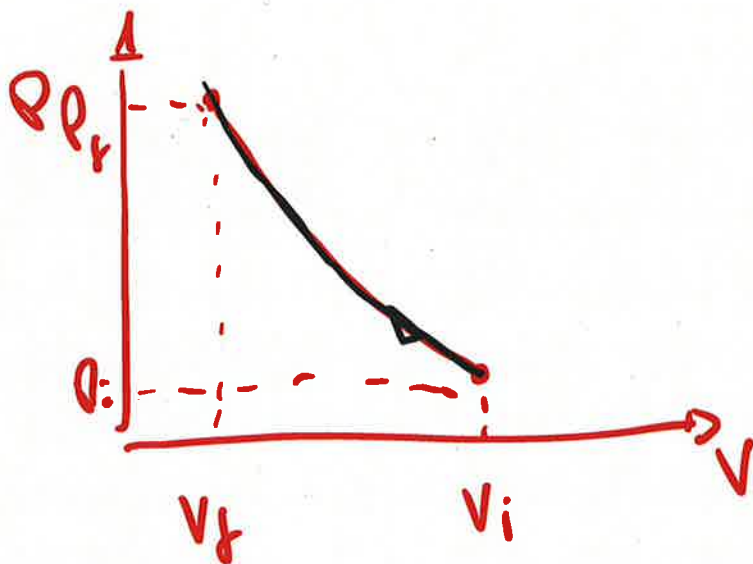
$$\text{Donc: } W = - \frac{\rho V}{R T} \frac{5}{2} R \Delta T = - \frac{\rho_i V_i}{T_i} \frac{5}{2} \Delta T$$

$$W = - \frac{5 \rho_i V_i}{2 T_i} (T_f - T_i) = - \frac{5 \rho_i V_i}{2} \left(\frac{T_f}{T_i} - 1 \right)$$

Analyse dimensionnelle

$$[W] = J = \left[\frac{N}{m^2} \cdot m^3 \right] = [Nm] \quad \text{OK!}$$

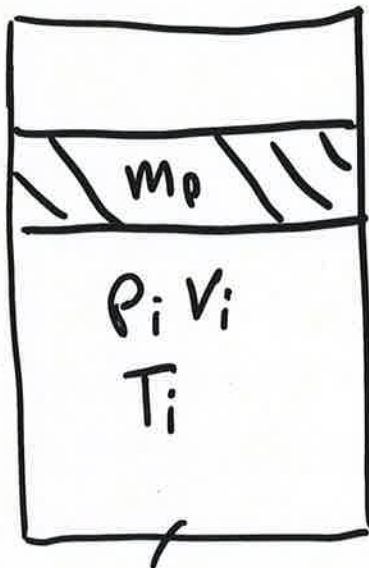
$$W = - \frac{5}{2} 10^6 \times 785 \times 10^{-5} \times \left(\frac{557}{293} - 1 \right) = 17.68 J$$



$$PV^\gamma = \text{const}$$

$$TV^{\gamma-1} = \text{const}$$

Et si la transformation était irréversible?



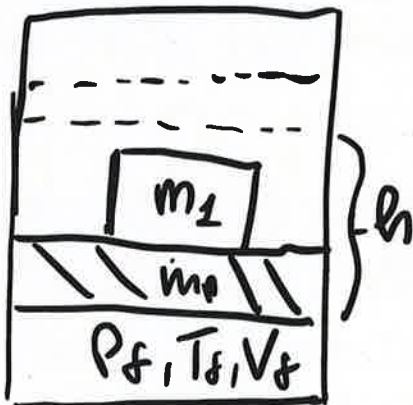
$A = \text{surface}$

Δ l'équilibre mécanique

$$\downarrow m_p g = F$$

$$P_i = m_p g / A$$

La masse peut être remplacée par une pression
(par exemple d'une plaque)



On ajoute une masse $m_1 \rightarrow$ hors équil.
transf. rapide $\rightarrow$ adiabatique
irréversible

Une nouvelle position d'équilibre
est trouvée telle que :

$$P_f = (m_1 + m_p) g / A \text{ à l'équil. mécan.}$$

On ne peut pas utiliser $pV^\gamma = \text{const.}$ car elle n'est
pas réversible $W \neq p dV$.

Seulement l'état initial et final sont à l'équilibre

Premier principe :

$W < 0$ puisque fait sur le système

$$\Delta U = +\cancel{Q} - W = -W$$

$$nC_v (T_f - T_i) = + \overbrace{(m_i + m_p)gh} = P_f A h$$

↳ Not sure?

$$P_f = \frac{(m_i + m_p)g}{A}$$

Mais dans l'état initial et final :

$$P_i V_i = n R T_i$$

$$P_f V_f = n R T_f$$

$$\text{Et aussi } A \cdot h = (V_i - V_f)$$

$$nC_v \left(\frac{P_f V_f}{\gamma R} - \frac{P_i V_i}{\gamma R} \right) = P_f A h = P_f (V_i - V_f)$$

$$\frac{C_v}{R} = \frac{1}{\gamma - 1} \quad \gamma = \frac{C_p}{C_v}$$

$$\frac{1}{\gamma - 1} (P_f V_f - P_i V_i) = P_f V_i - P_f V_f \quad \text{divise par } P_f$$

$$V_f - \frac{P_i}{P_f} V_i = (\gamma - 1) V_i - (\gamma - 1) V_f$$

$$V_f - \frac{P_i}{P_f} V_i = (\gamma - 1) V_i - (\gamma - 1) V_f$$

$$\cancel{V_f} + \gamma V_f - \cancel{V_f} - \frac{P_i V_i}{P_f} = (\gamma - 1) V_i \quad \text{divise par } V_i$$

$$\gamma \frac{V_f}{V_i} - \frac{P_i}{P_f} = \gamma - 1$$

$$\boxed{\frac{V_f}{V_i} = \frac{P_i}{\gamma P_f} + \frac{\gamma - 1}{\gamma}}$$

Notons que

$$\begin{cases} P_i = m_p g / A \\ P_f = (m_i + m_p) g / A \end{cases} \rightarrow$$

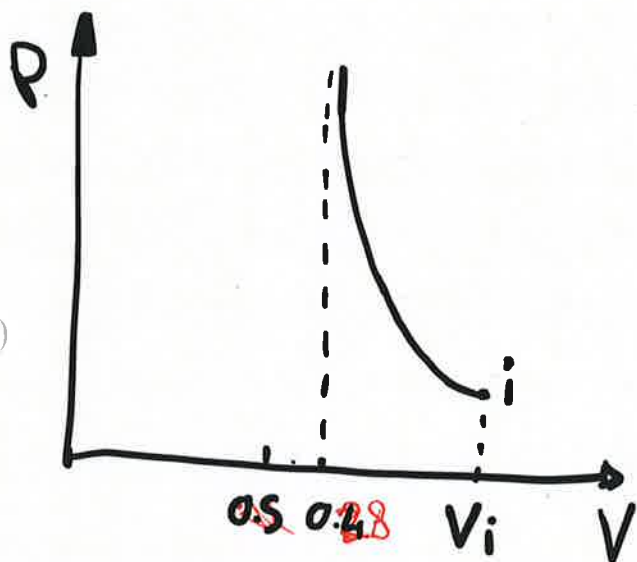
$$\boxed{\frac{P_f}{P_i} = \frac{m_i + m_p}{m_p} = 1 + \frac{m_i}{m_p}} \quad \text{masse ajoutée}$$

$$\text{Si } m_i = 0 \rightarrow \frac{V_f}{V_i} \rightarrow \frac{1}{\gamma} + \frac{\gamma - 1}{\gamma} = 1$$

$$\boxed{m_i \rightarrow \infty} \rightarrow \boxed{\frac{V_f}{V_i} = \frac{\gamma - 1}{\gamma}} \rightarrow \boxed{\frac{V_i - V_f}{V_i} = \frac{1}{\gamma}}$$

Pour un gaz idéal diatomique :

$$\gamma = 1.4 \rightarrow \frac{V_f}{V_i} = \frac{1.4^{-1}}{1.4} = 0.28 \quad V_f = 0.28 V_i$$



$$V_f - V_i = 0.62$$

$$V_i - V_f = 0.62 V_i$$

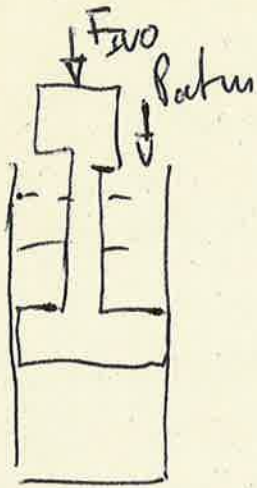
A.

$$\begin{aligned} P_i V_i &= R n T_i \\ P_f V_f &= R n T_f \end{aligned} \rightarrow \frac{P_i V_i}{T_i} = \frac{P_f V_f}{T_f} \rightarrow \frac{T_f}{T_i} = \frac{P_f V_f}{P_i V_i}$$

$$\frac{V_f}{V_i} = \frac{P_i}{\gamma P_f} + \frac{\gamma - 1}{\gamma} \quad (\text{previous})$$

$$\frac{T_f}{T_i} = \frac{P_f}{P_i} \left(\frac{P_i}{P_f \gamma} + \frac{\gamma - 1}{\gamma} \right) = \frac{1}{\gamma} + \frac{\gamma - 1}{\gamma} \frac{P_f}{P_i} = \frac{1}{\gamma} + \frac{\gamma - 1}{\gamma} \left(1 + \frac{m_f}{m_e} \right)$$

En revenant à l'expérience du briquet:



$$\frac{V_f}{V_i} = \frac{P_i}{\gamma P_f} + \frac{\gamma-1}{\gamma}$$

$$\frac{T_f}{T_i} = \frac{P_f}{P_i} \frac{\gamma-1}{\gamma} + \frac{1}{\gamma} = \frac{1}{\gamma}$$

hyp $F_{ivo} = 30 \text{ N (3 Kg)}$

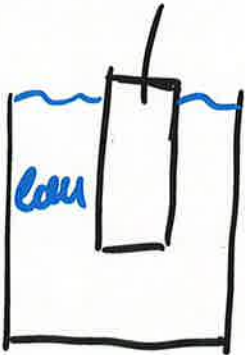
$$\frac{P_f}{P_i} = 1 + \frac{m_1}{m_{\text{atm}}} = 1 + \frac{F_{ivo}}{P_{\text{atm}} \Delta} = 1 + \frac{30}{10^5 \times 3.14 \times 10^{-4}} \sim 2$$

$$\frac{P_f}{P_i} \sim 2 \quad \gamma = 1.4 \quad \rightarrow \quad \frac{V_f}{V_i} = \frac{0.5}{\gamma} + \frac{\gamma-1}{\gamma} = 0.68$$

$$\frac{T_f}{T_i} = \left(\frac{1}{\gamma} + \frac{\gamma-1}{\gamma} \right) \rightarrow T_f = 372 \text{ K}$$

Experience Dubug-Petit

$$C_{\text{glide}} = \frac{V}{2} R = \frac{12.2}{2} R = 3R \quad \text{Dubug-Petit}$$



$$Q_s = n C_{\text{sol}} \cdot \Delta T_{\text{sol}} = m C_{\text{Eau}} \Delta T_{\text{eau}} = 0$$

$$n C_{\text{sol}} (T_{\text{fs}} - T_{\text{is}}) - m C_{\text{Eau}} (T_{\text{feau}} - T_{\text{ieau}}) = 0$$

Equil. Thermique : $T_{\text{feau}} = T_{\text{fsol}}$

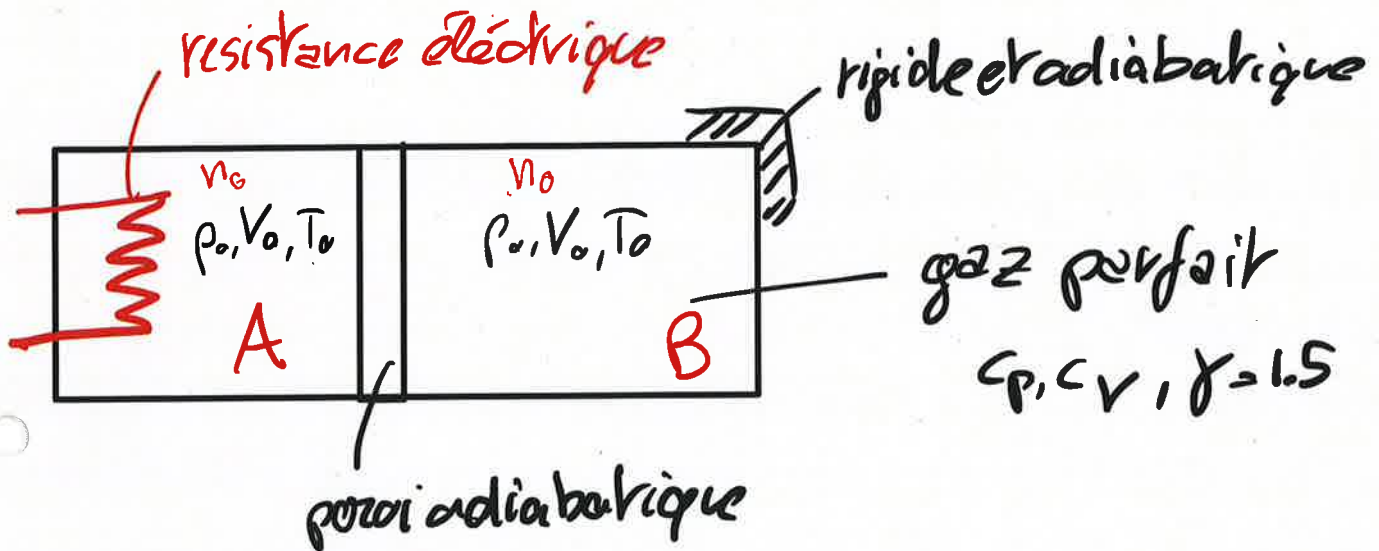
$$n C_{\text{sol}} T_{\text{fs}} - T_{\text{is}} \quad n C_{\text{sol}} - m C_{\text{eau}} T_{\text{feau}} + m C_{\text{eau}} T_{\text{ieau}} = 0$$

$$T_f (n C_{\text{sol}} - m C_{\text{eau}}) = T_{\text{is}} n C_{\text{sol}} - m C_{\text{eau}} T_{\text{ieau}}$$

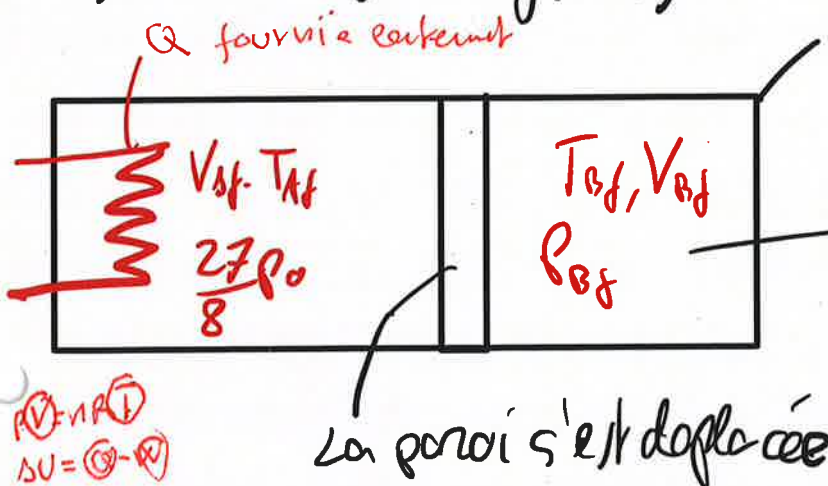
$$T_f = \frac{T_{\text{is}} n C_{\text{sol}} - m C_{\text{eau}} T_{\text{ieau}}}{(n C_{\text{sol}} - m C_{\text{eau}})}$$

"
 3R

Exercice typique sur le premier principe et transformations des gaz parfaits.



Situation (État final)



La pression dans la chambre A augmente lentement

$$p_{Af} = \frac{27}{8} p_0$$

$PV = nRT$
 $\Delta U = Q - W$
 4 équations
 2 équations

1) Processus réversible mais pas adiabatique

Q est fourni par la résistance.

2) Dans l'état final : $p_{8f} = p_{sf} \rightarrow$ équilibre mécanique

Volume final et température finale

Dans la chambre B la transformation est adiabatique et réversible donc :

$$P_0 V_0^\gamma = P_{Bf} V_{Bf}^\gamma$$



$$V_{Bf} = \left(\frac{P_0}{P_B} \right)^{\frac{1}{\gamma}} V_0 = \left(\frac{8}{27} \right)^{\frac{2}{3}} V_0 = \frac{4}{9} V_0$$

Comme la chambre B se comprime adiabaticquement sa température doit augmenter.

Dans la chambre A :

$$V_{Af} = 2V_0 - V_{Bf} = \left(2 - \frac{4}{9} \right) = \frac{14}{9} V_0$$

Loi des gaz parfaits:

$$T_{Bf} = \frac{P_{Bf} V_{Bf}}{P_0 V_0} T_0 = \frac{3}{2} T_0$$

$$T_{Af} = \frac{P_{Af} V_{Af}}{P_0 V_0} T_0 = \frac{21}{4} T_0 \quad (\Delta \text{ se chauffe puisque une partie de la chaleur})$$

Travail effectué sur la chambre B

Dans la chambre B (adiabatique):

$$\Delta U_B = 0 - W_B$$

$$\Delta U_B = n_0 C_V \Delta T_B = n_0 C_V (T_B - T_0) = n_0 C_V \frac{T_0}{2}$$

Notons que $W_B = -W_A$ et que on aurait pu trouver la même solution avec la formule du travail adiabatique

Quantité de chaleur fournie

Dans la chambre A:

$$\Delta U_A = Q - W_A$$

$$Q = \Delta U_A + W_A = \Delta U_A - W_B =$$

$$= n_0 C_V \Delta T_A + n C_V \frac{T_0}{2} = \frac{19}{4} n_0 C_V T_0$$