

Thermo 2S2  
11/03/21

PTUT 16/03 à 8H30 (diab C11 THERMO)  
30 minute presentation + question

---

Premier principe :

$$dU = \delta W + \delta Q$$

$$\Delta U = W + Q$$

Deuxième principe :

$$dS = \delta S^r + \delta S^c$$

entropie échangée

$$\delta S^r = \frac{\delta Q}{T}$$

entropie créée

$$\delta S^c \begin{cases} = 0 & \text{si réversible} \\ > 0 & \text{non} \end{cases}$$

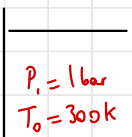
$$\Delta S = S^r + S^c$$

---

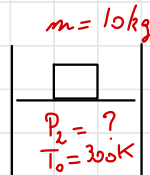
EXERCICE 2 Compression irréversible de l'Helium

① Schéma.

$P_1, T_0$



EF



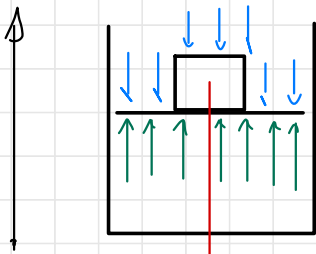
EF

② Calcul de  $\alpha = \frac{P_2}{P_1}$

Comment calculer  $P_2$ ? On applique le principe fondamental de la statique (PFS) au système "piston + manchette" à l'instant final:

$$\sum \vec{F}_{\text{piston}} = \vec{0}$$

Quelles sont les forces à prendre en compte?



→ Le poids

→ Pression de l'hélium ( $P_2$ )

→ Pression de l'air extérieur ( $P_1$ )

La projection du PFS suivant l'axe vertical donne:

$$+P_2 S - P_1 S - mg = 0$$

$$\Leftrightarrow P_2 S = P_1 S + mg$$

$$\Leftrightarrow \frac{P_2 \cancel{S}}{\cancel{S}} = \frac{P_1 \cancel{S}}{\cancel{S}} + \frac{mg}{S} \quad \left. \vphantom{\frac{P_2 \cancel{S}}{\cancel{S}}} \right) \div S$$

$$\Leftrightarrow P_2 = P_1 + \frac{mg}{S}$$

$$\Leftrightarrow \alpha = \frac{P_2}{P_1} = \frac{\cancel{P_1}}{\cancel{P_1}} + \frac{mg}{P_1 S}$$

$$\Rightarrow x \equiv \frac{P_2}{P_1} = 1 + \frac{mg}{P_1 S}$$

RAPPEL .  $\left(\frac{mg}{S}\right) \times \frac{1}{P_1} = \frac{mg}{P_1 S}$

③ Bilan énergétique :  $\Delta U$ ,  $W$  et enfin  $Q$   
 (\*), (\*\*), (\*\*\*)

(\*)  $\Delta U / dU = C_v dT$  (Première loi de Joule)

$$\int_{EI}^{EF} dU = \int_{EI}^{EF} C_v dT$$

$$\int_{EI}^{EF} dU = C_v \int_{EI}^{EF} dT$$

$$\Delta U = [U]_{EI}^{EF} = C_v [T]_{T_0}^{T_0}$$

soit encore

$$\Delta U = C_v (T_0 - T_0) = 0$$

$$\Delta U = 0$$

(\*\*)  $\delta W = -P_{\text{ext}} dV$

$P_{\text{ext}} = ?$

La transformation étant réversible on modifie  $P_{\text{ext}}$  par une constante qu'on évalue ici à l'état final :  $P_{\text{ext}} = P_2$

$$W = \int_{EI}^{EF} \delta W = - \int_{EI}^{EF} P_2 dV = -P_2 \int_{EI}^{EF} dV = -P_2 [V]_{V_1}^{V_2} = -P_2 (V_2 - V_1)$$

soit encore

$$W = - \underbrace{P_2 V_2}_{= nRT_0} + P_2 V_1.$$

$$P_2 V_1 = P_2 \times \frac{P_1}{P_1} \times V_1$$

$$= \frac{P_2}{P_1} \times \underbrace{P_1 V_1}_{= nRT_0}$$

$$= x$$

$$\Rightarrow P_2 V_1 = x nRT_0$$

On obtient :  $W = -nRT_0 + x nRT_0$

$$W = (x-1) nRT_0$$

\*\*\* le premier principe nous donne enfin :

$$\Delta U = W + Q$$

$$\Leftrightarrow Q = \underbrace{\Delta U}_{=0} - \underbrace{W}_{=(x-1)nRT_0}$$

$$Q = (1-x) nRT_0$$

④ Rappelons la version intégrée du second principe :

$$\Delta S = S^r + S^c$$

$\swarrow \quad \searrow$

$$S^r = \int \frac{\delta Q}{T}$$

$= 0$  si réversible  
 $> 0$  sinon

La transformation étudiée est irréversible :  $S^c > 0$  (à vérifier)  
Cependant, cette égalité ne nous permet pas de la calculer

$$S^c = \Delta S - S^r$$

(\*\*\*)            (\*)            (\*\*)

(\*)  $\Delta S$  (l'entropie étant une grandeur d'état, sa variation ne dépend pas du chemin suivi (transformation) et on peut en particulier imaginer une transformation réversible menant de l'EF à l'EF et par laquelle on peut utiliser :

$$dS = C_p \frac{dT}{T} - nR \frac{dP}{P} \quad (\text{voir ex. 1})$$

$\int_{EF}^{\dots}$   $\int_{EF}^{\dots}$

$$\Delta S = \int_{T_0}^{T_0} C_p \frac{dT}{T} - \int_{P_1}^{P_2} nR \frac{dP}{P}$$
$$= C_p \int_{T_0}^{T_0} \frac{1}{T} dT - nR \int_{P_1}^{P_2} \frac{1}{P} dP$$

$$\Rightarrow \Delta S = C_p [\ln T]_{T_0}^{T_1} - nR [\ln P]_{P_1}^{P_2}$$

$$\begin{aligned}\Rightarrow \Delta S &= -nR (\ln P_2 - \ln P_1) \\ &= -nR \ln \left( \frac{P_2}{P_1} \right)\end{aligned}$$

$$\Delta S = -nR \ln x$$

(\*\*) D'après le second principe

$$S^r = \int \frac{\delta Q}{T}$$

→ sous-entend que la température est définie tout au long de la transformation

$S^r$  correspond à un échange d'entropie avec l'extérieur  
c'est à dire que l'entropie reçue par le système n'est  
autre que celle cédée par l'extérieur

Or l'extérieur est un réservoir de grande dimension, qui va assimiler à un thermostat = une source de chaleur dont la température reste constante ( $T_0$ )

$$S^r = -S_{th}^r \quad (I)$$

Le second principe s'applique aussi au thermostat :

$$S_{th}^r = \int \frac{\delta Q_{th}}{T_{th}} = \frac{1}{T_0} \int \delta Q_{th} = \frac{Q_{th}}{T_0} \quad (\text{II})$$

Or en supposant le (thermostat et le système) isolés,

$$Q = -Q_{th} \Leftrightarrow Q_{th} = -Q. \quad (\text{III})$$

Substitutions (III) dans (II).

$$S_{th}^r = -\frac{Q}{T_0}$$

En utilisant l'équation (I), on trouve :

$$S^r = -S_{th}^r = +\left(-\frac{Q}{T_0}\right)$$

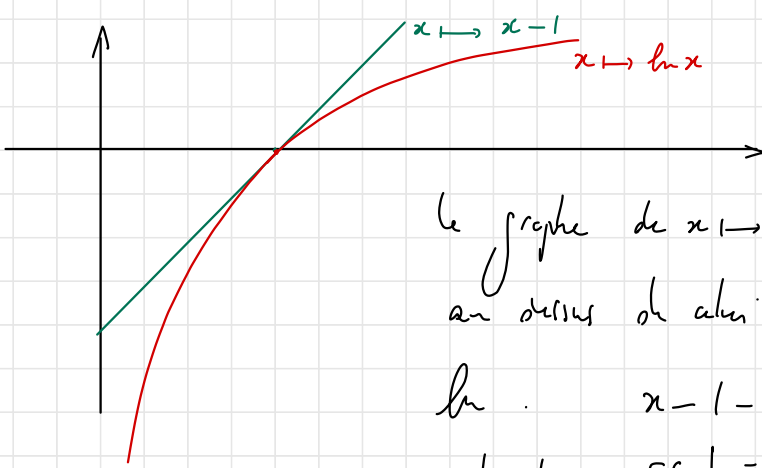
$$S^r = \frac{Q}{T_0} \quad \text{où } Q = nRT_0(1-x)$$

$$(***) \quad S^c = \Delta S - S^r$$

$$= -nR \ln x - \frac{nR \cancel{T_0} (1-x)}{\cancel{T_0}}$$

$$S^c = nR \left( x - 1 - \ln x \right)$$

$$\geq 0 \quad (=0 \text{ en } x=1)$$



le graphe de  $x \mapsto x-1$  est toujours au dessus de celui de la fonction

$$\ln \quad x-1 - \ln x \geq 0$$

$$\text{et donc } \int_c \left. \begin{array}{l} = 0 \text{ en } x=1 \\ > 0 \text{ si } x > 1 \end{array} \right\}$$