

CTE – TD 2

Premier principe – Bilans d'énergie

I - Détente de Joule Gay-Lussac du dioxyde de carbone

Le dispositif étudié dans cet exercice a été mis en point au XIX^e siècle par Joule et Gay-Lussac en vue d'étudier le comportement des gaz. Deux compartiments indéformables aux parois calorifugées communiquent par un robinet initialement fermé.

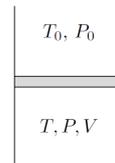
Le système est constitué par du dioxyde de carbone (considéré comme un gaz parfait). Le gaz n'occupe initialement qu'une partie de l'enceinte, il est séparé de l'autre partie de l'enceinte par une cloison. Une fois le robinet ouvert, le gaz se détend dans le vide depuis l'état initial ($P_i = 8 \text{ bar}$, $T_i = 298 \text{ K}$, $V_i = 2 \text{ L}$) jusqu'à l'état final : (P_f , T_f , $V_f = 5 \text{ L}$).

1. Quelle est la masse du gaz ?
2. Que valent les variations d'énergie interne et d'enthalpie du gaz ?
3. En déduire l'état final du gaz.

Données : $M(\text{CO}_2) = 44 \text{ g mol}^{-1}$.

II - Gaz parfait

On considère un système composé d'une quantité de matière n de gaz parfait diatomique enfermée dans une enceinte. Cette enceinte est fermée par un piston de surface S et dont on négligera la masse, pouvant coulisser sans frottement. L'ensemble est situé dans l'atmosphère, dont on note T_0 et P_0 la température et la pression. On note I l'état initial. L'objectif est de comparer deux transformations du système : l'une brutale et l'autre lente.



Commençons par la transformation brutale : on lâche brusquement une masse M sur le piston, qui se stabilise en un état intermédiaire 1.

1. Le meilleur modèle pour la transformation est-il isotherme ou adiabatique ? Peut-on en déduire un résultat sur la température T_1 ?
2. Déterminer la pression P_1 .
3. Établir le bilan énergétique de la transformation en explicitant chacun des termes.
4. En déduire les caractéristiques T_1 , P_1 , V_1 de l'état 1.

On observe qu'en fait l'état 1 n'est pas un réel état d'équilibre : le piston continue de bouger, mais beaucoup plus lentement, jusqu'à atteindre l'état 2 qui est l'état final.

5. Quel phénomène, négligé précédemment, est responsable de cette nouvelle transformation du système ?
6. Déterminer les caractéristiques T_2 , P_2 , V_2 de l'état 2.
7. Déterminer le travail reçu par le système, puis sa variation d'énergie interne et en déduire le transfert thermique reçu au cours de la transformation 1→2. En déduire le travail total et le transfert thermique total reçus au cours de la transformation brusque.

Comparons maintenant à une transformation lente : la même masse M est lâchée très progressivement sur le piston, par exemple en ajoutant du sable « grain à grain ».

8. Comment qualifie-t-on une telle transformation ? Que peut-on en déduire sur la température du système au cours de la transformation ?
9. Déterminer la pression dans l'état final et en déduire le volume. Commenter.
10. Établir le bilan énergétique de la transformation en explicitant chaque terme. Comparer à la transformation brutale. Commenter.

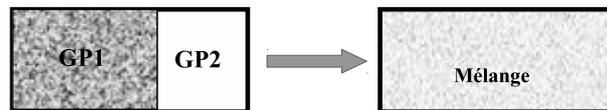
Données : $C_{Vm} = \frac{5}{2}R$; $g = 10 \text{ m s}^{-2}$.

III - Mélange idéal de gaz parfait

On admet qu'un mélange idéal de gaz parfait est un gaz parfait.

On considère deux GP, de capacités calorifiques C_{V1} et C_{V2} , de températures initiales T_1 et T_2 et de volumes V_1 et V_2 . Leurs pressions respectives sont : P_1 et P_2 . Ils appartiennent chacun à un compartiment différent d'un réservoir rigide et adiabatique, initialement séparé en deux. On réunit les deux gaz en ôtant la paroi de séparation et on attend l'équilibre.

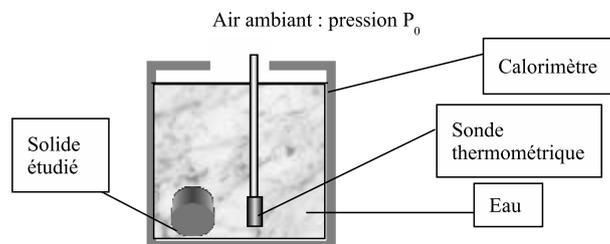
1. Donner la variation d'énergie interne du système $\{GP1+GP2\}$.
2. Exprimer la température finale du système T_f en fonction des données de l'énoncé. En déduire les variations d'énergies internes des deux GP en fonction des données de l'énoncé.
3. Exprimer la pression finale P_f en fonction des données de l'énoncé.



4. Applications numériques : les deux gaz considérés comme parfaits sont :
 - de l'hélium dans l'état : $P_1 = 1,5 \text{ bar}$; $T_1 = 290 \text{ K}$; $V_1 = 4 \text{ L}$;
 - du diazote dans l'état : $P_2 = 6 \text{ bar}$; $T_2 = 400 \text{ K}$; $V_2 = 2 \text{ L}$
5. Donner T_f et l'expression de P_f si les deux gaz ainsi que les volumes et températures initiaux sont identiques, mais les pressions différentes.

IV - Calorimétrie

On considère un vase calorifugé (de capacité thermique très faible) contenant une masse $m_1 = 1 \text{ kg}$ d'eau liquide à la température $T_1 = 293 \text{ K}$ et une sonde thermométrique en équilibre thermique avec l'eau.



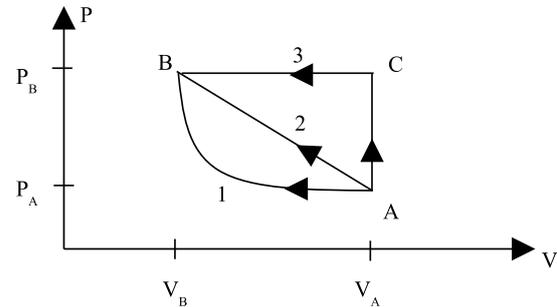
- La capacité thermique massique de l'eau est $c_1 = 4,18 \text{ kJ K}^{-1} \text{ kg}^{-1}$.
- La capacité thermique de la sonde thermométrique est $C_0 = 13,8 \text{ J K}^{-1}$.
- On introduit dans le vase un solide (sortant d'une étuve) dont la température est $T_2 = 200 \text{ °C}$.
- La masse de ce solide est $m_2 = 300 \text{ g}$, sa capacité thermique massique sera notée c_2 .
- À l'équilibre thermique, la sonde thermométrique indique une température $T_f = 297,9 \text{ K}$.
- À tout instant l'eau est en contact avec l'air ambiant sous pression atmosphérique P_0 .

1. Déterminer la valeur de c_2 .
2. Quelle aurait été la température finale si, en sortant de l'étuve, la température du solide avait été de 400 °C ?

V - Chemins de transformation

On considère deux moles de dioxygène (assimilable à un gaz parfait) que l'on peut faire passer réversiblement de l'état initial $A (P_A, V_A, T_A)$ à l'état final $B (P_B = 3P_A, V_B, T_B)$ par trois chemins distincts.

- Chemin $A1B$ (transformation isotherme)
- Chemin $A2B$ (représentée par une droite dans le diagramme).
- Chemin $A3B$ (isochore + isobare)



Calculer les travaux et les chaleurs échangés durant ces trois transformations en fonction de R et de T

VI - De la glace qui fond

Dans un calorimètre aux parois calorifugées et de capacité thermique négligeable, on introduit une masse $m_{liq} = 1,00 \text{ kg}$ d'eau liquide initialement à $T_1 = 20^\circ\text{C}$. On y ajoute une masse $m_{gl} = 0,50 \text{ kg}$ de glace à $T_2 = 0^\circ\text{C}$. On suppose que la transformation se fait à pression constante $P_{atm} = 1 \text{ bar}$.

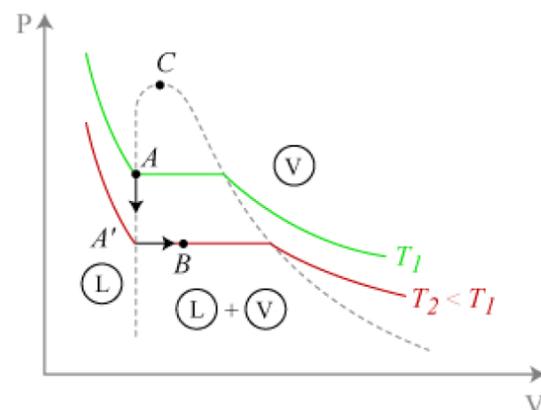
1. On suppose qu'à l'état final l'eau est entièrement sous forme liquide. Déterminer sa température T_F . Conclure.
2. On suppose maintenant qu'à l'état final l'eau est présente sous forme d'un mélange solide et liquide. Que peut-on dire sans calcul sur l'état final? Déterminer la composition du mélange, c'est-à-dire la masse de chaque phase.

Données : enthalpie massique de fusion de l'eau $\Delta_{fus}h = 3,3 \cdot 10^2 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ et capacité thermique massique de l'eau liquide $c = 4,2 \text{ kJ} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$

VII - Détente isenthalpique dans une machine frigorifique

Dans le détendeur d'une machine frigorifique à écoulement de fluide, un fluide frigorigène de type CFC (chlorofluorocarbone) se refroidit et se vaporise partiellement. Ce détendeur est supposé calorifugé, et ne contient aucune partie mobile, si bien que le fluide ne reçoit pas d'autre travail que celui des forces de pression qui assurent l'écoulement.

Le fluide y pénètre à la température T_1 et à la pression $P_1 = P_{sat}(T_1)$ égale à la pression de vapeur saturante du CFC à cette température. Le mélange qui sort du détendeur est à la température T_2 et à la pression $P_2 = P_{sat}(T_2)$. Cette transformation est représentée entre A et B dans le diagramme de Clapeyron ci-contre. Le volume massique du CFC est supposé constant le long de la courbe de saturation.



On raisonne sur un système fermé constitué d'une masse m de CFC traversant le détendeur.

1. Dédire du premier principe que le passage au travers du détendeur est isenthalpique, c'est-à-dire que l'enthalpie du système ne varie pas.
2. Déterminer la fraction x de CFC qui s'est vaporisée au cours de la détente. On pourra raisonner sur une transformation impliquant le point A' indiqué sur le diagramme de Clapeyron.

Données :

- $T_1 = 305 \text{ K}$, $T_2 = 280 \text{ K}$;
- enthalpie massique de vaporisation à T_2 : $\Delta_{vap}h = 200 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$;
- capacité thermique du CFC liquide : $c = 1,32 \text{ kJ} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$.