

# Révisions de thermodynamique

## Application des principes.

### Exercice 1 : où l'on chauffe le gaz parfait

Un cylindre horizontal, de volume invariable, est fermé à ses deux extrémités par des parois fixes. Ce cylindre est séparé en deux compartiments A et B par un piston  $P$  mobile sans frottements. Les parois du cylindre et le piston sont calorifugés et de capacités thermiques négligeables.

Dans l'état initial, les deux compartiments contiennent un même nombre de moles d'un gaz parfait, dans le même état  $P_0, V_0, T_0$  (figure 6). On chauffe le compartiment A à l'aide d'une résistance électrique jusqu'à un état final où la pression dans le compartiment A est  $P_1 = 3 P_0$  (figure 7).

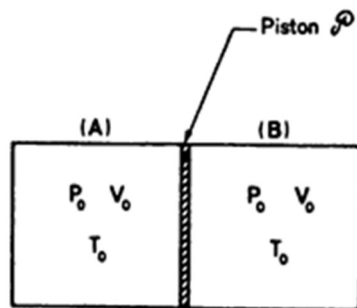


Figure 6

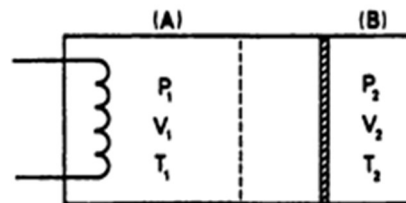


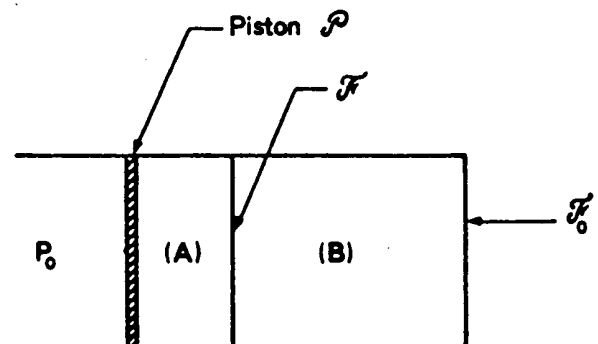
Figure 7

Calculer les paramètres  $P, V, T$  dans les deux compartiments à l'état final, ainsi que l'énergie fournie au système par la résistance électrique. On répondra uniquement en fonction de  $P_0, V_0, T_0$  et du coefficient  $\gamma$  caractéristique du gaz parfait.

### Exercice 2 : fuite d'un gaz parfait

Un cylindre horizontal est fermé, à l'une de ses extrémités, par une paroi fixe  $F_0$  et, à l'autre extrémité, par un piston  $P$  mobile sans frottements le long du cylindre. Le cylindre est séparé en deux compartiments A et B par une paroi fixe  $F$  (voir figure ci-contre). Les parois du cylindre et le piston sont calorifugés et de capacités thermiques négligeables.

Sur la face extérieure du piston s'exerce la pression atmosphérique  $P_0$  qu'on suppose uniforme et constante.



Dans la situation initiale, le compartiment A, de volume  $V_A$ , contient  $n$  moles de gaz parfait de coefficient  $\gamma$  et le compartiment B, de volume  $V_B$ , est vide.

- 1- Préciser la pression et la température initiale dans le compartiment A.
- 2- On perce un orifice dans la paroi **F** et on cherche à caractériser le nouvel état d'équilibre qu'on supposera atteint.
  - 2a- En analysant qualitativement le problème, montrer que selon la valeur de  $V_B$  par rapport à une valeur seuil  $V_{BS}$  (qu'on ne cherchera pas à déterminer à ce stade), deux types de solutions existent.
  - 2b- Dans le cas où  $V_B < V_{BS}$ , déterminer les caractéristiques  $P_1$ ,  $V_1$ ,  $T_1$  du gaz quand le nouvel état d'équilibre est atteint. On exprimera ces grandeurs en fonction de toutes ou certaines des données :  $\gamma$ ,  $P_0$ ,  $n$ ,  $V_A$ ,  $V_B$  et  $R$  la constante des gaz parfaits.
  - 2c- En déduire la valeur seuil  $V_{BS}$  en fonction des données.
  - 2d- En supposant maintenant que  $V_B > V_{BS}$ , déterminer, en fonction des données, les caractéristiques  $P_2$ ,  $V_2$ ,  $T_2$  du gaz quand le nouvel état d'équilibre est atteint.
- 3- Bilan entropique.
  - 3a- Déterminer, à une constante près, l'expression de l'entropie d'un gaz parfait en fonction de  $\gamma$ ,  $C_{pm}$ ,  $n$ ,  $P$  et  $V$ .
  - 3b- En déduire, dans le cas où  $V_B < V_{BS}$ , l'expression de la variation  $\Delta S_1$  d'entropie du gaz en fonction des données. Ce résultat est-il conforme au second principe de la thermodynamique ?
  - 3c- Déterminer de même, dans le cas où  $V_B > V_{BS}$ , l'expression de la variation  $\Delta S_2$  d'entropie du gaz en fonction des données. Ce résultat est-il conforme au second principe de la thermodynamique ?

### Exercice 3 : Etude d'un cycle

On étudie une masse  $m = 1$  g d'un gaz assimilable à un gaz parfait de masse molaire  $M$  et de coefficient  $\gamma = 1,4$ . On note  $r$  le rapport  $R / M$  où  $R$  est la constante des gaz parfaits et on donne, pour le gaz étudié,  $r = 287 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ . On suppose que ce gaz subit, de façon cyclique, les 3 transformations réversibles suivantes :

- 1<sup>ère</sup> étape : détente adiabatique à partir d'un état noté A (  $V_A = 80 \text{ mL}$  ;  $P_A = 10 \text{ bars}$  ;  $T_A$  ), vers un état noté B (  $V_B$  ;  $P_B = 1 \text{ bar}$  ;  $T_B$  ). On appelle  $x$  le rapport  $P_A / P_B$ , qui vaut 10.
- 2<sup>ème</sup> étape : échauffement isochore à partir de l'état B vers un état noté C (  $V_C$  ;  $P_C$  ;  $T_C$  ).
- 3<sup>ème</sup> étape : compression isotherme à partir de l'état C vers l'état A.

- 1- Représenter qualitativement ce cycle sur un diagramme de Clapeyron en justifiant les positions respectives de l'isotherme et de l'adiabatique. Ce cycle est – il moteur ou récepteur ?
- 2- Exprimer en fonction de  $m$ ,  $V_A$ ,  $P_A$ ,  $x$ ,  $r$  et  $\gamma$ , puis :
  - 2a- Calculer les paramètres ( $P$ ,  $V$ ,  $T$ ) du gaz dans les états A, B et C.
  - 2b- Calculer les travaux échangés avec l'extérieur dans chacune des transformations, ainsi que pour l'ensemble du cycle.
  - 2c- Même question pour les transferts thermiques.
- 3- Un tel cycle peut – il être réalisé à l'aide d'un seul thermostat de température fixe ? Sous cette hypothèse, l'évolution du gaz peut-elle rester réversible ? Cela change-il les résultats du 2. ?

### Exercice 4 : Vrai ou faux sur l'entropie

Parmi les affirmations suivantes, indiquer celles qui sont fausses et les rectifier :

- 1- L'entropie d'un système fermé ne peut qu'augmenter ; elle est maximale à l'équilibre.
- 2- L'entropie d'un corps pur augmente avec la température à pression constante ; elle est nulle à 0 K.
- 3- L'entropie d'un gaz parfait ne dépend que de la température.
- 4- La détente de Joule Gay-Lussac est isentropique.
- 5- La détente de Joule Thomson est isentropique.
- 6- Une évolution isentropique est nécessairement réversible.
- 7- Lorsqu'on apporte de la chaleur à un corps pur, sa température augmente.

### Exercice 5 : échauffement d'un solide

On considère un solide de masse  $m = 1,0 \text{ kg}$ , de capacité thermique massique  $c = 10 \text{ J.K}^{-1}.\text{kg}^{-1}$ , se trouvant initialement à la température  $T_1 = 273 \text{ K}$ , placé dans une grande quantité d'eau (constituant un thermostat) à la température  $T_2 = 373 \text{ K}$ .

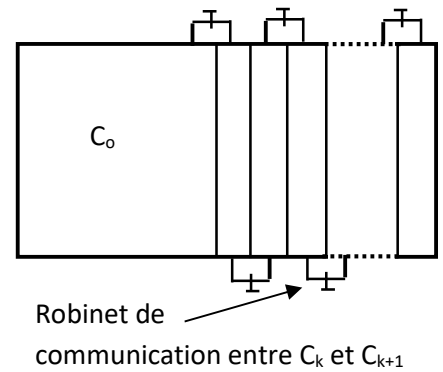
- 1- Lorsque l'équilibre thermodynamique est atteint :  
quelle est la température du solide ?  
quelle est la température du thermostat ?
- 2- Déterminer la variation d'entropie du solide lors de ce processus, en fonction de  $m$ ,  $c$ ,  $T_1$  et  $T_2$  ; puis faire l'application numérique.
- 3- Déterminer la variation d'entropie de l'eau lors de ce processus, en fonction de  $m$ ,  $c$ ,  $T_1$  et  $T_2$  ; puis faire l'application numérique.
- 4- En déduire la variation d'entropie de l'univers, constitué par l'ensemble {solide + thermostat}, lors de ce processus, puis faire l'application numérique. Commenter votre résultat.
- 5- On découpe le processus précédent en une infinité de processus au cours desquels on élève la température du solide de  $T$  à  $T + \Delta T$  (avec  $\Delta T \ll T$ ) par contact avec une infinité de thermostats de températures infiniment proches les unes des autres.  
Déterminer  $\Delta S_{\text{univers}}$  lors d'une transformation élémentaire puis montrer que l'on peut considérer  $\Delta S_{\text{univers}}$  proportionnel à  $\left(\frac{\Delta T}{T}\right)^2$ . En déduire que le processus étudié peut-être rendu réversible dans la limite où la variation de température  $\Delta T$  entre deux thermostats successifs tend vers 0.

## Exercice 6 : Détente de Joule fractionnée

On adopte une démarche similaire à celle de l'on considère le dispositif représenté ci-contre : un récipient calorifugé est partagé en  $N+1$  compartiments  $C_k$  ( avec  $0 \leq k \leq N$  ) calorifugés et communiquant par de petits robinets  $R_k$ . Le volume du premier compartiment  $C_0$  est  $V_0$  et celui des autres compartiments est  $\frac{V_0}{N}$ .

Initialement le compartiment  $C_0$  contient une mole de gaz parfait en équilibre - état  $E_0$  - à la température  $T_0$  et la pression  $P_0$ , les autres compartiments sont vides.

On ouvre successivement les robinets  $R_k$ , en attendant, pour ouvrir  $R_{k+1}$  que le gaz soit en équilibre - état  $E_k$  - à la température  $T_k$  et la pression  $P_k$ .



**1-** Déterminer les volumes  $V_k$ , températures  $T_k$  et pressions  $P_k$  du gaz dans les états d'équilibre successifs  $E_k$  pour  $0 \leq k \leq N$ . Placer les points représentatifs des états  $E_k$  dans le diagramme de Clapeyron du gaz pour le cas limite où  $N$  tend vers l'infini.

**2-** Calculer la variation d'entropie  $S_{k+1} - S_k$  entre deux états d'équilibre successifs  $E_k$  et  $E_{k+1}$ .

Dans le cas où  $N \gg 1$ , en faire un développement limité à l'ordre 1 en  $\frac{1}{N}$ . Conclusion ?