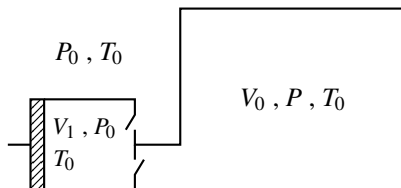


# TD21 : Description des systèmes thermodynamiques

## ★★ Exercice 1 : Pompe à air

Une pompe à air est destinée à remplir une enceinte de volume fixe  $V_0$ , initialement à la pression atmosphérique  $P_0 = 1 \text{ bar}$  et à la température  $T_0 = 298 \text{ K}$ . Un réservoir de volume maximal  $V_1$  communique avec l'atmosphère. À chaque aller-retour du piston, la totalité de l'air contenu dans le réservoir entre dans l'enceinte.

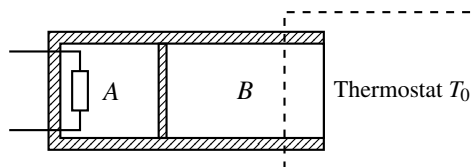


On note  $P$  la pression dans l'enceinte après  $N$  aller-retours du piston. On suppose qu'à tout instant, l'ensemble du système est en équilibre thermique avec l'atmosphère, à la température  $T_0$  et on assimile l'air à un gaz parfait.

Exprimer  $P$  en fonction de  $N$ ,  $P_0$ ,  $V_0$  et  $V_1$ . AN :  $V_1 = 0,2 \text{ L}$  ;  $V_0 = 10 \text{ L}$  ;  $N = 20$ .

## ★★ Exercice 2 : Déplacement d'un piston par chauffage

Un cylindre fermé indéformable et horizontal est divisé en deux compartiments A et B, initialement de mêmes volumes  $V_0$ , par un piston mobile calorifugé. Chacun des deux compartiments contient une mole de gaz parfait diatomique initialement à la température  $T_0$  et à la pression  $P_0$ .



Seule la paroi à l'extrémité de B en contact avec le thermostat n'est pas calorifugée. Le compartiment A est porté très lentement à la température  $T_1$  à l'aide d'une résistance chauffante. Le compartiment B reste à la température  $T_0$  grâce au contact thermique avec le thermostat.

- Exprimer les volumes finaux  $V_{Af}$  et  $V_{Bf}$  ainsi que la pression finale  $P_f$  en fonction de  $T_1$ ,  $T_0$  et  $V_0$ .
- Exprimer la variation d'énergie interne du gaz contenu dans le compartiment A, puis B, puis (A + B). La résistance chauffante et le piston sont exclus du système.

## ★★ Exercice 3 : Énergie interne d'un gaz parfait et d'un gaz réel

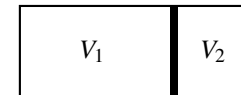
Les valeurs expérimentales de l'énergie interne massique ( $u$  en  $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) de la vapeur d'eau sont données dans le tableau ci-dessous :

$P$ (bar) \ $T$ (K)	523	573	623	673
10	2711	2793	2874	2956
20	2683	2773	2859	2944

- Tracer les courbes donnant l'énergie interne molaire  $U_m$  en fonction de  $T$  pour  $P = 10 \text{ bar}$  puis  $P = 20 \text{ bar}$ . Comparer cette loi à celle suivie par un gaz parfait monoatomique.
  - La vapeur d'eau se comporte-t-elle comme un gaz parfait ? Justifier.
- Donnée :  $M(\text{H}_2\text{O}) = 18 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ .

## ★ Exercice 4 : État d'équilibre final

Un cylindre diatherme et indéformable est partagé entre deux compartiments séparés par un piston de masse  $m$ . Le piston est bloqué de telle sorte que  $V_1 = 2,0 \text{ L}$  et  $V_2 = 1,0 \text{ L}$ . La température extérieure est  $T_0 = 300 \text{ K}$ . Les compartiments contiennent  $n_1 = 0,050 \text{ mol}$  et  $n_2 = 0,10 \text{ mol}$  de gaz parfait. Déterminer l'état final du système lorsque le piston est libéré.



## ★ Exercice 5 : Mesure de la capacité thermique du dioxygène

Une ampoule, de volume intérieur  $V = 15 \text{ cm}^3$ , contient du dioxygène, supposé parfait, sous faible pression  $p = 36 \text{ torr}$ , à la température  $T = 1440 \text{ K}$ . A cette température, les degrés de liberté de rotation de la molécule sont libres mais ceux de vibration sont gelés.

On mesure la capacité thermique molaire  $C_{Vm}$  à volume constant en fournissant brusquement au gaz une énergie interne de  $3,6 \text{ mJ}$ . La variation de température qui en résulte est  $\Delta T = 28,5 \text{ K}$ . Trouver  $C_{Vm}$  ainsi que la capacité thermique massique correspondante. Comparer ces résultats à ceux prévus par la théorie. On rappelle la valeur de la masse molaire du dioxygène :  $M = 32 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$  ainsi que la valeur du torr :  $1 \text{ torr} = 133 \text{ Pa}$ .

## ★ Exercice 6 : Étude d'un gaz réel de Clausius

- Donner l'équation d'état d'un gaz parfait. Quelles sont les deux hypothèses qui définissent, au niveau microscopique, un gaz parfait ?
- L'argon est un gaz noble qui peut être modélisé, aux faibles pressions, par l'équation d'état molaire :  $P(V_m - b) = RT$  où  $R$  est la constante des gaz parfait et  $b$  une constante positive caractéristique de ce gaz.
  - Écrire cette équation d'état pour une quantité de matière  $n$  quelconque.
  - Quelle est l'hypothèse du gaz parfait qui reste valable pour ce gaz et quelle est celle qui ne l'est plus ?
  - Tracer l'allure de quelques courbes isothermes en coordonnées d'Amagat  $PV = f(P)$ . Si on obtient de telles isothermes expérimentalement, comment en déduire la valeur de  $b$  ?
  - Déterminer la limite du produit  $PV$  quand  $P$  tend vers 0 et commenter le résultat obtenu.

## ★★ Exercice 7 : Dissociation du brome

- Quel est le volume occupé par  $1,0 \text{ g}$  de dibrome ( $\text{Br}_2$ ) à  $600 \text{ }^\circ\text{C}$  sous la pression normale ( $1,0 \text{ bar}$ ) en supposant que c'est un gaz parfait ? À cette température, on peut négliger la dissociation des molécules.  
Donnée :  $M(\text{Br}) = 80 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$
- Que deviendrait ce volume à  $1600 \text{ }^\circ\text{C}$ , toujours sous pression normale, en supposant qu'on puisse encore négliger la dissociation ?
- L'expérience montre que ce volume est en fait  $1,195 \text{ L}$ . Montrer que cela peut s'expliquer en considérant qu'une certaine proportion des molécules  $\text{Br}_2$  s'est dissociée en atomes  $\text{Br}$ . Calculer le coefficient de dissociation (proportion des molécules dissociées). *Indication* : Écrivez le tableau d'avancement de la réaction de dissociation et faites un bilan de matière à l'équilibre.

### ★★ Exercice 8 : Oscillations d'un piston

Un cylindre vertical de section  $S$  est fermé par un piston diatherme de masse  $m$ . Initialement, il contient  $n$  moles de gaz parfait en équilibre thermique avec l'atmosphère à la température  $T_0$ . La pression atmosphérique est notée  $P_0$ .

1. Déterminer la hauteur  $h_0$  du piston, mesurée par rapport à la base du cylindre, à l'équilibre.
2. On écarte légèrement le piston de sa position d'équilibre. Déterminer la période des petites oscillations du piston en supposant que l'on peut négliger tout frottement et que l'évolution est suffisamment lente pour que le gaz interne reste à tout instant en équilibre thermique avec l'atmosphère.

*Indication* : développement limité au premier ordre :  $\frac{1}{1+\varepsilon} \underset{0}{=} 1 - \varepsilon + o(\varepsilon)$ .

### Solutions :

**Ex1** :  $P = P_0 \left( 1 + N \frac{V_1}{V_0} \right) = 1,4 \text{ bar}$

**Ex2** : 1.  $V_{Af} = \frac{T_1}{T_0 + T_1} \times 2V_0$ ,  $V_{Bf} = \frac{T_0}{T_0 + T_1} \times 2V_0$ ,  $p_f = \frac{P_0}{2} \left( 1 + \frac{T_1}{T_0} \right)$

**Ex3** : 1.  $U_m(T) = aT + b$  avec  $a(10 \text{ bar}) = 29,4 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1}$  et  $a(20 \text{ bar}) = 31,3 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1}$   
 2. Le gaz ne se comporte pas comme un GP.

**Ex4** :  $T_{1f} = T_{2f} = 300 \text{ K}$  ;  $P_{1f} = P_{2f} = 1,2 \text{ bar}$  ;  $V_{1f} = 1,0 \text{ L}$ ,  $V_{2f} = 2,0 \text{ L}$

**Ex5** :  $C_{Vm} = 21 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$  et  $c_V = 658 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$

**Ex6** : 1. voir cours    2.a)  $P(V - nb) = nRT$   
 c) on mesure  $b$  avec la pente des isothermes    d)  $PV \rightarrow nRT$

**Ex7** : 1.  $V = 0,45 \text{ L}$     2.  $V = 0,97 \text{ L}$     3. 23% de molécules dissociées.

**Ex8** : 1.  $h_0 = \frac{nRT_0}{SP_0 + mg}$ ,  $T = 2\pi \sqrt{\frac{mh_0}{P_0S + mg}}$