

## Travaux dirigés de Thermodynamique n°T1

**Donnée pour tout le TD :** Constante des gaz parfaits :  $R = 8,314 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$

*Application directe et ordres de grandeur*

### Exercice 1 : Grandeurs intensives et extensives.

Parmi les grandeurs suivantes, lesquelles sont intensives et lesquelles sont extensives : longueur, fréquence, masse, masse volumique, indice de réfraction ?

### Exercice 2 : A propos de l'air.

L'air est composé à 80 % de diazote ( $N_2$ ) et à 20 % de dioxygène ( $O_2$ ).

*Rappel :*  $M(N) = 14 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$  ;  $M(O) = 16 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ .

1. Déterminer la valeur de la masse molaire de l'air.
2. Estimer rapidement la pression partielle du dioxygène ainsi que celle du diazote dans l'air, dans les conditions usuelles de température et de pression.
3. Déterminer les capacités thermiques (à volume constant) molaire et massique de l'air.
4. Déterminer l'énergie interne d'une mole d'air à  $25^\circ\text{C}$ .
5. Avec toute cette énergie, de quelle altitude pourrait-on faire monter une masse de 1 kg ? Commenter.

*Etude des gaz*

### Exercice 3 : Cocotte minute.

Une cocotte-minute est équipée d'une soupape de section  $S = 4 \text{ mm}^2$  et de masse  $m = 40 \text{ g}$ . On suppose que la pression extérieure est  $P_0 = 1 \text{ bar}$ .

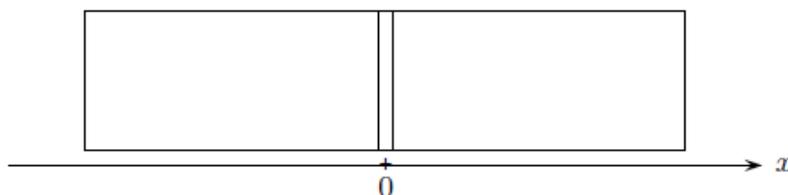
1. Représenter un schéma de la soupape. Lister les forces appliquées à celle-ci.
2. Déterminer la pression à l'intérieur de la cocotte minute lorsque la soupape s'ouvre.

On suppose que la pression de vapeur saturant de l'eau à la température  $T(^{\circ}\text{C})$  est donnée au voisinage de  $100^\circ\text{C}$  par la loi :  $P_{sat} = P_0 \left( \frac{T(^{\circ}\text{C})}{100} \right)^4$  avec  $P_0 = 1 \text{ bar}$ .

3. En déduire la température maximale atteinte. Quel est l'intérêt d'un tel système ?

### Exercice 4 : Equilibre entre deux récipients.

Une enceinte contient deux compartiments séparés par une paroi mobile de section  $S = 200 \text{ cm}^2$ . On place dans les deux compartiments la même quantité  $n$  de deux gaz parfaits identiques.



Initialement, les deux gaz ont le même volume  $V_0 = 10,0 \text{ L}$ , la même température  $T_0 = 300 \text{ K}$  et la même pression  $P_0 = 10,0 \text{ bar}$ . Le piston est alors au centre de l'enceinte à l'abscisse  $x = 0$ .

1. Calculer la quantité de matière initiale  $n$  de gaz dans chacun des compartiments.

2. On élève la température du gaz du compartiment de gauche jusqu'à  $T_F = 350$  K, tout en maintenant la température du compartiment de droite à  $T_0 = 300$  K. On attend ensuite l'équilibre.
  - a. Que peut-on dire de la pression dans les 2 compartiments à l'état final ?
  - b. En déduire un système d'équation permettant de déterminer le volume final de chaque compartiment.
  - c. Calculer l'abscisse  $x$  du piston une fois le nouvel état d'équilibre atteint.

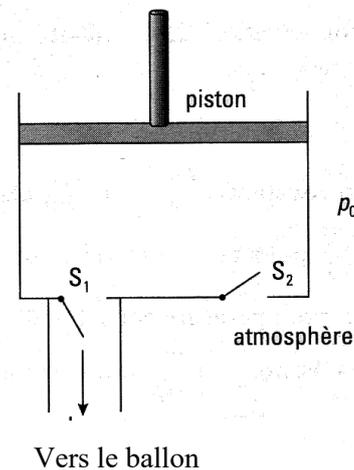
### Exercice 5 : Étude d'une pompe

On se propose de gonfler un ballon de football de volume intérieur  $V = 2,00$  L à l'aide d'une pompe dont le principe est schématisé ci-dessous.

La pression extérieure est  $P_0 = 1,013$  bar et l'air est considéré comme un gaz parfait. Le corps de pompe a un volume  $V' = 0,10$  L et on néglige le volume restant dans la pompe lorsque le piston est enfoncé à fond. Les transformations sont supposées isothermes.

Initialement, le piston est complètement enfoncé et le ballon contient de l'air sous la pression  $P_0$ .

1. A partir d'un bilan de quantité de matière, calculer la pression dans le ballon après un aller-retour du piston.
2. Exprimer la relation liant  $P_k$  (pression après le  $k$ -ième aller-retour du piston),  $k$ ,  $V'$  et  $V$ .
3. En déduire le nombre de coups de pompe à donner pour amener la pression intérieure à  $2P_0$ .

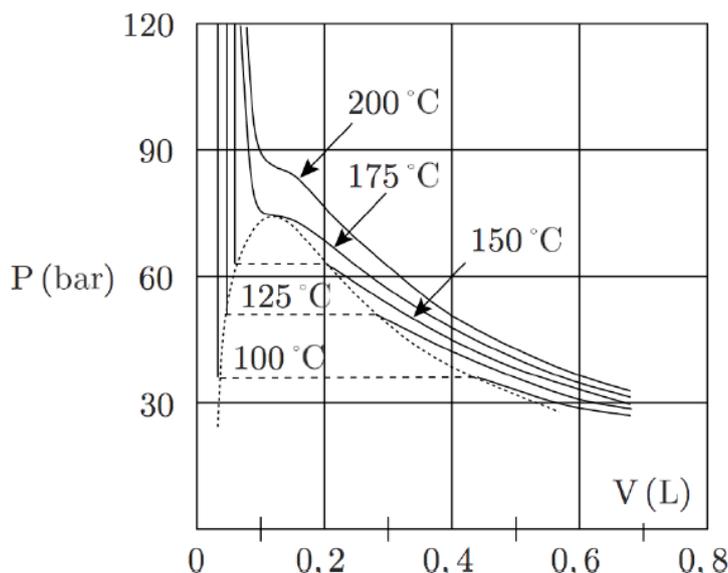


*Changement d'état*

### Exercice 6 : Isothermes d'Andrews.

La figure ci-dessous représente un ensemble de courbes expérimentales appelées isothermes d'Andrews, représentant la pression  $P$  d'une mole de fluide en fonction du volume molaire, pour différentes températures.

1. Déterminer les coordonnées  $(P_C, V_C)$  du point critique, ainsi que la température du point critique  $T_C$ .
2. Préciser l'état physique et calculer, s'ils sont définis, les titres massiques  $x_V$  et  $x_L$  de la vapeur et du liquide pour :
  - a.  $V = 0,6$  L et  $T = 150$  °C.
  - b.  $P = 110$  bar et  $T = 200$  °C.
  - c.  $P = 60$  bar et  $T = 100$  °C.
  - d.  $V = 0,2$  L et  $T = 125$  °C.
  - e.  $V = 0,2$  L et  $T = 100$  °C.
3. Que vaut le volume molaire de la vapeur saturante à la pression de 40 bar ?



**Exercice 7 : Système diphasé.**

Un récipient indilatable de volume  $V = 1,00 \text{ m}^3$  contient une masse  $m = 1 \text{ kg}$  d'eau à  $T_1 = 80 \text{ }^\circ\text{C}$ .  
On donne le tableau de données thermodynamiques suivant, relatif à l'eau :

	$P_{sat}(10^3 \text{ Pa})$	$v_{liq}(\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1})$	$v_{vap}(\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1})$
$T = 80 \text{ }^\circ\text{C}$	47,39	$1,029 \cdot 10^{-3}$	3,407
$T = 115 \text{ }^\circ\text{C}$	169,1	$1,056 \cdot 10^{-3}$	1,037

- Déterminer le volume massique du système. Justifier le fait que le système est diphasé.
- Déterminer le titre massique en vapeur et en liquide  $x_V$  et  $x_L$  du mélange.
- En déduire les masses de phase liquide  $m_L$  et vapeur  $m_V$ .
- On met le récipient en contact avec un thermostat à la température  $T_2 = 115 \text{ }^\circ\text{C}$ . Quelle est la nouvelle composition du mélange ?

**Exercice 8 : Titre massique en vapeur.**

On considère de l'eau pure dans un récipient de volume  $V = 10 \text{ L}$  maintenu à  $70 \text{ }^\circ\text{C}$ . Définir et déterminer le titre massique en vapeur quand la phase liquide occupe la moitié du volume total.

**Données :** volume massique de l'eau liquide à  $70 \text{ }^\circ\text{C}$  :  $v_L = 1,02 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$   
volume massique de la vapeur d'eau à  $70 \text{ }^\circ\text{C}$  :  $v_V = 5,04 \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ .

**Capacités exigibles :****Définir les échelles microscopique et macroscopique**

- Citer l'ordre de grandeur du nombre de particules contenues dans un système

**Définir un système thermodynamique.**

- Système ouvert / fermé / isolé

**Etat d'équilibre d'un système :**

- Définir des grandeurs extensives et intensives
- Notion d'équilibre thermodynamique
- Utiliser l'équation d'état des gaz parfait et l'interpréter microscopiquement.
- Calculer une pression à partir d'une condition d'équilibre mécanique
- Déduire une température d'une condition d'équilibre thermique
- Citer des ordres de grandeur de volumes molaires ou massiques dans les conditions usuelles de pression et de température.

**Energie interne d'un système :**

- Exprimer l'énergie interne d'un gaz parfait monoatomique à partir de l'interprétation microscopique de la température.
- Exploiter la propriété  $U_m = U_m(T)$  pour un gaz parfait et une phase condensée.

**Corps pur diphasé**

- Analyser un diagramme de phase (P,T)
- Positionner les phases dans les diagrammes (P,T) et (P,v).
- Déterminer la composition d'un mélange diphasé en un point d'un diagramme (P,v).

**QCM d'entraînement :**