

# TD n° 19 de Physique

## Thermodynamique - Systèmes thermodynamiques

### Applications directes du cours

#### 1 Bilan d'énergie cinétique microscopique

Un ballon de volume constant, contenant de l'hélium, est lancé à la vitesse  $v$ . Déterminer la valeur de  $v$  pour que la température du gaz augmente de  $1^\circ\text{C}$  lorsque la vitesse du ballon s'annule. On supposera que l'énergie cinétique totale des molécules de gaz se conserve.

#### 2 Lampe d'hélium

Une lampe spectrale, de volume intérieur  $3,0\text{ cm}^3$ , contient de l'hélium ( $M = 4\text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ ), sous une pression  $P = 1,0 \cdot 10^{-2}\text{ bar}$  et à la température  $T = 300\text{ K}$ . Calculer l'énergie interne et la masse de ce gaz. Quelles sont les variations de température et d'énergie interne si la pression augmente de  $5\%$  ?

#### 3 Volume d'air

Quelle quantité d'air (supposé gaz parfait) occupe un volume  $V = 20\text{ L}$  à  $20^\circ\text{C}$  sous  $1\text{ bar}$ ? Quel est le volume molaire dans les mêmes conditions ?

#### 4 Diagramme $(P,T)$ du naphthalène

Les pressions d'équilibre du naphthalène sont

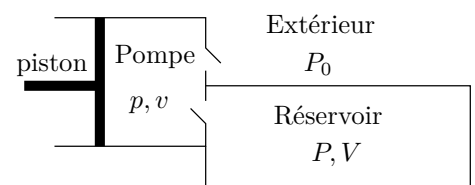
- pour l'équilibre liquide-vapeur :  $\ln P_\ell^* = 22,76 - \frac{5566}{T}$  (en Pa)
- pour l'équilibre solide-liquide :  $\ln P_s^* = 29,48 - \frac{7935}{T}$  (en Pa)

Déterminer les coordonnées du point triple.

## Exercices

### 1 Pompe isotherme

On veut vider un réservoir de volume  $V$ , initialement rempli d'air (considéré comme un gaz parfait) au moyen d'une pompe. La soupape 1 entre les deux réservoirs est fermée si la pression  $p$  dans le corps de pompe est supérieure à la pression  $P$  du réservoir, ou si son volume diminue. La soupape 2 (en haut) est fermée si la pression  $p$  est inférieure à la pression  $P_0$  constante.



Le volume  $v$  du corps de pompe est compris entre  $v_1$  (volume résiduel) et  $v_2$ . On suppose que la température de l'air reste constante et égale à  $T$ . La valeur initiale de  $P$  est égale à  $P_0$ . On suppose pendant toute la transformation que les mouvements du piston de la pompe sont assez lents pour considérer que la température reste constante dans l'ensemble pompe-réservoir.

1. Au cours du coup de pompe  $n$ , le volume  $v$  passe de  $v_1$  à  $v_2$  puis de  $v_2$  à  $v_1$ . La pression  $P$  dans le réservoir passe de  $P_n$  à  $P_{n+1}$ . Déterminer la relation de récurrence entre les  $P_n$ .

- Déterminer  $P_{\text{lim}}$ , valeur de  $P$  lorsque  $P_{n+1} = P_n$ . Commenter son expression.
- Montrer que la suite  $P_n - P_{\text{lim}}$  est géométrique. En déduire l'expression de  $P_n$  en fonction de  $P_0$ ,  $P_{\text{lim}}$ ,  $n$ ,  $V$  et  $v_2$ .

## 2 Équilibre de piston

Un cylindre vertical fermé aux deux bouts est séparé en deux compartiments égaux par un piston homogène se déplaçant sans frottement. La masse du piston par unité de surface est  $\sigma = 1360 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ . Les deux compartiments contiennent un gaz parfait à la température  $t_1 = 0^\circ\text{C}$ . La pression qui règne dans le compartiment supérieur est égale à  $P_1 = 10 \text{ cmHg}$ . L'intensité de la pesanteur est  $g = 10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ .

On rappelle que l'unité mmHg correspond à la pression nécessaire à déplacer l'équilibre d'un baromètre de 1 mm et vaut 133,32 Pa.

- En écrivant que le piston est à l'équilibre, déterminer la pression  $P_2$  en bars du gaz dans le compartiment du bas.
- On porte les deux compartiments à  $t_2 = 100^\circ\text{C}$ . Quel est le déplacement du piston ?

Pour résoudre la deuxième question, on posera le volume total  $v_t$  égale à la somme du volume en haut  $v_1$  et en bas  $v_2$ , après déplacement du piston. On cherchera à obtenir une équation du second degré en  $v_2$ , permettant de l'exprimer en fonction des données du problème.

## 3 Énergie interne

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 :

	$T = 523 \text{ K}$	$T = 573 \text{ K}$	$T = 623 \text{ K}$	$T = 673 \text{ K}$
$P = 10 \text{ bar}$	2711	2793	2874	2956
$P = 20 \text{ bar}$	2683	2773	2859	2944

- Donner la loi d'évolution de l'énergie interne molaire de la vapeur d'eau  $U_m$  en fonction de  $T$  pour  $P = 10 \text{ bar}$  puis pour  $P = 20 \text{ bar}$ . Comparer ces lois à celle d'un gaz parfait monoatomique.
- La vapeur d'eau se comporte-t-elle comme un gaz parfait ?
- Comparer la capacité thermique à volume constant à celle d'un gaz parfait monoatomique.

Remarque : on choisira la méthode de la régression linéaire pour répondre à la première question, afin d'augmenter la justesse du résultat.

## 4 Évaporation de l'eau

Dans une pièce hermétiquement fermée, de volume  $V = 40 \text{ m}^3$ , on place un récipient contenant un volume  $V_0 = 200 \text{ mL}$  d'eau liquide.

L'air de la pièce est à la pression  $P_0 = 1,0 \cdot 10^5 \text{ Pa}$  et à la température  $T_0 = 20^\circ\text{C}$ . Son degré d'hygrométrie, rapport de la pression partielle de vapeur d'eau sur la pression saturante de l'eau, est initialement  $H = 60\%$ . On donne  $P_{\text{sat}}(20^\circ\text{C}) = 2,3 \text{ kPa}$ . On assimile la vapeur d'eau à un gaz parfait de masse molaire  $M = 18 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ .

- Calculer la quantité d'eau initialement contenue dans l'atmosphère de la pièce.
- Montrer que toute l'eau contenue dans le verre s'évapore. Quel est le degré d'hygrométrie final de l'air de la pièce ?
- Quel volume d'eau liquide faut-il évaporer pour saturer la pièce en eau ?