

TD TH1 - Description d'un système à l'équilibre

Table des matières

1 Pression dans un récipient	1
2 Pression de pneumatiques	1
3 Oscillations d'un piston	2
4 Vitesse quadratique moyenne et vitesse de libération	2
5 Isothermes d'Andrews	3
6 Cocotte-minute	3
7 Vaporisation dans le vide	4
8 Vapeur sèche, vapeur saturante	4
9 Évaporation de l'eau	4

1 Pression dans un récipient

Un récipient cylindrique de section S contenant un gaz est délimité par un piston mobile sans frottement de masse m . L'extérieur du récipient est de l'air à la pression $P_0 = 1,0 \times 10^5$ Pa. Le norme du champ de pesanteur vaut $g = 9,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$.

1.1. Donner l'expression de la pression P_1 dans le récipient à l'équilibre. On pourra appliquer la relation fondamentale de la dynamique au piston.

1.2. Que se passe-t-il pour un piston de masse nulle ?

1.3. On ajoute une masse m' au-dessus du piston. Que vaut la pression P_2 dans le récipient ?

1.4. On enlève la masse m' . Sachant que la section du cylindre est un disque de diamètre $D = 20$ cm, quelle devrait être la masse du piston pour que la pression dans le gaz soit $P_1 = 2P_0$? Commenter.

2 Pression de pneumatiques

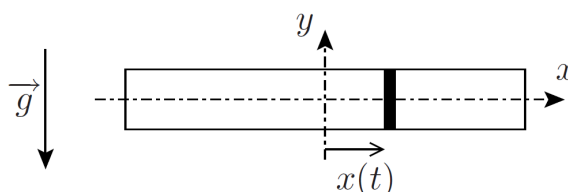
En hiver, par une température extérieure de -10°C , un automobiliste règle la pression de ses pneus à $p_1 = 2$ atm, pression préconisée par le constructeur. Cette valeur est affichée sur un manomètre qui mesure l'écart entre la pression des pneumatiques et la pression atmosphérique, appelée pression relative. On rappelle que $1 \text{ atm} = 1,013 \times 10^5$ Pa.

2.1. Quelle serait l'indication p_2 du manomètre en été à 30°C ? On suppose que le volume des pneus ne varie pas et qu'il n'y a aucune fuite au niveau de ce dernier.

2.2. Calculer la variation de pression relative due au changement de température. Conclure.

3 Oscillations d'un piston

Un tube cylindrique horizontal, de section S et de longueur $2\ell_0$, est séparé en deux compartiments par un piston de masse m , mobile sans frottement dans le tube. L'épaisseur de ce piston est négligeable par rapport à la longueur du tube. Chaque compartiment ainsi délimité contient la même quantité de matière n d'un gaz parfait, à la température T_0 et sous la pression initiale P_0 . La position du piston dans le tube est repérée par son abscisse $x(t)$ mesurée par rapport au milieu du tube. Lorsque le système est à l'équilibre, le piston est donc en $x = 0$. À la date $t = 0$, on écarte le piston d'une distance $x(0) = d$ et on le lâche sans vitesse initiale. Le piston est assimilé à un point matériel. Le tube est fixe dans un référentiel d'étude supposé galiléen. De plus, on fait l'hypothèse que le gaz est maintenu à une température T_0 constante dans le temps.



3.1. Faire le bilan des forces exercées sur le piston.

3.2. Établir l'équation différentielle vérifiée par $x(t)$.

3.3. On considère le cas de petits déplacements du piston : $x(t) \ll \ell_0$. Quelle est alors la nature du mouvement du piston ? Déterminer l'expression de la pulsation ω_0 des oscillations du piston.

4 Vitesse quadratique moyenne et vitesse de libération

4.1. Évaluer les vitesses quadratiques moyennes du dihydrogène et du dioxygène dans des conditions usuelles de température et de pression.

4.2. Évaluer de même les vitesses de libération de ces deux molécules. On rappelle

$$v_{lib} = \sqrt{\frac{2GM_T}{R_T}}$$

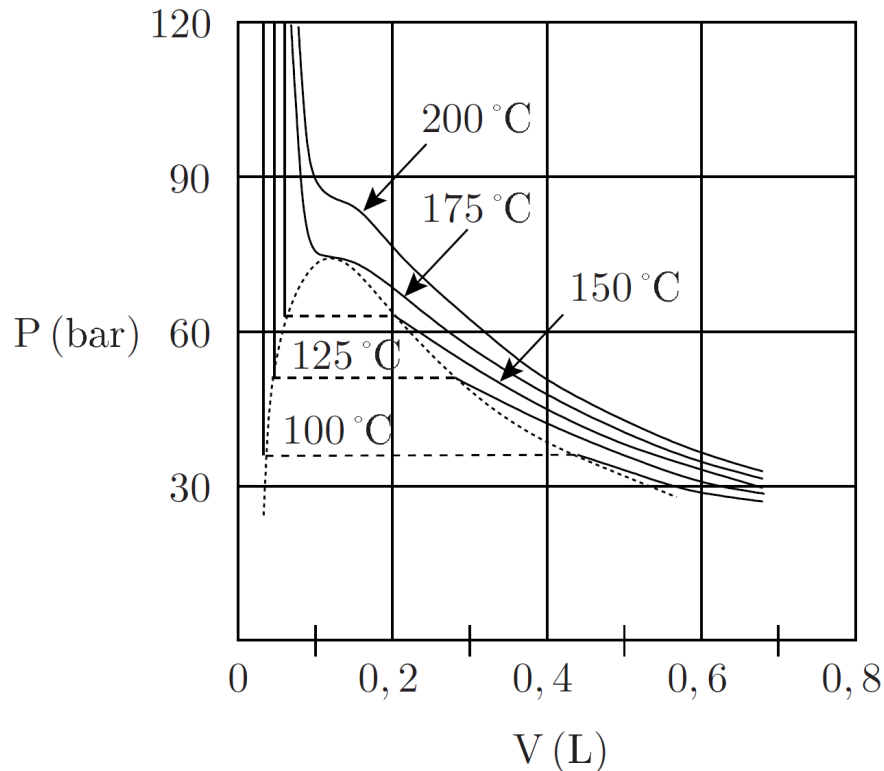
4.3. Commenter ces résultats.

4.4. Et pour la Lune ?

On donne les masses molaires $M(H) = 1 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$, $M(O) = 16 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$, la constante de gravitation $G = 6,7 \times 10^{-11} \text{ SI}$, la masse de la Terre $M_T = 6,0 \times 10^{24} \text{ kg}$, le rayon terrestre $R_T = 6400 \text{ km}$, la masse de la Lune $M_L = 7,3 \times 10^{22} \text{ kg}$ et le rayon lunaire $R_L = 1700 \text{ km}$.

5 Isothermes d'Andrews

La figure suivante représente un ensemble de courbes expérimentales, appelées isothermes d'Andrews, représentant la pression P d'une mole d'un fluide en fonction du volume V occupé, pour différentes températures.



5.1. Déterminer les coordonnées (P_c, V_c) du point critique C.

5.2. Préciser l'état physique du fluide et calculer les titres molaires x_v et x_ℓ de la vapeur et du liquide pour :

- a) $V = 0,6 \text{ L}$ et $\theta = 110^\circ\text{C}$
- b) $P = 110 \text{ bar}$ et $\theta = 200^\circ\text{C}$
- c) $V = 0,2 \text{ L}$ et $\theta = 125^\circ\text{C}$

5.3. Que vaut le volume molaire de la vapeur saturante sèche à la pression de 40 bar ?

6 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 sait que la pression de vapeur saturante de l'eau à la température $\theta(^{\circ}\text{C})$ est donnée, au voisinage de 100°C , par la loi :

$$P_{\text{sat}} = \left(\frac{\theta}{100} \right)^4 P_0 \text{ avec } P_0 = 1 \text{ bar}$$

6.1. Exprimer et calculer la pression maximale P_1 atteinte dans la cocotte. On prendra $g = 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$.

6.2. En déduire la température maximale θ_1 atteinte dans la cocotte.

7 Vaporisation dans le vide

Un récipient indilatable, de volume V , initialement vide, est thermostaté à la température $\theta_0 = 100^\circ\text{C}$. On y introduit une masse $m = 1,0\text{ g}$ d'eau.

Données : $P_{\text{sat}}(100^\circ\text{C}) = 1,013\text{ bar}$ pression de vapeur saturante de l'eau, $M = 18\text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ masse molaire de l'eau.

7.1. En considérant que la vapeur d'eau est un gaz parfait, calculer le volume minimal V_{min} du récipient pour que toute l'eau soit sous forme de vapeur.

7.2. On prend $V = 1,0\text{ L}$. Déterminer la fraction massique de vapeur d'eau x_v dans le récipient.

8 Vapeur sèche, vapeur saturante

On introduit une masse $m = 4,0\text{ g}$ d'eau dans un récipient de volume $V = 10\text{ L}$ initialement vide et on le porte à la température $\theta_1 = 80^\circ\text{C}$. Données : $P_{\text{sat}}(80^\circ\text{C}) = 0,466 \times 10^5\text{ Pa}$, $P_{\text{sat}}(100^\circ\text{C}) = 1,013 \times 10^5\text{ Pa}$, $M = 18\text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$.

8.1. Montrer que la vapeur d'eau est saturante. Quelle est la pression P_1 dans le récipient ?

8.2. On porte le récipient à la température $\theta_2 = 100^\circ\text{C}$. Quelle est la nature du nouvel état d'équilibre ? Quelle est la pression P_2 ?

9 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 $P_0 = 1,0 \times 10^5\text{ Pa}$ et à la température $T_0 = 20^\circ\text{C} = 293\text{ K}$.

Son degré d'hygrométrie est $H = 60\%$. H est le rapport de la pression partielle de l'eau divisée par la pression de vapeur saturante de l'eau, valant dans ces conditions

$$P_{\text{sat}}(20^\circ\text{C}) = 2,3\text{ kPa}$$

On assimile l'eau à un gaz parfait de masse molaire $M = 18\text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$.

9.1. Calculer la quantité d'eau initialement contenue dans l'atmosphère de la pièce.

9.2. Montrer que toute l'eau contenue dans le verre s'évapore. Quel est le degré d'hygrométrie final de l'air de la pièce ?

9.3. Quel volume d'eau liquide faut-il évaporer pour saturer la pièce en eau ?