

THERMODYNAMIQUE (TD 2)

EXERCICE 1 : Loi fondamentale de l'hydrostatique

La pression hydrostatique $P(x,y,z)$ est une fonction scalaire définie par : $\vec{dF} = P \vec{dS}$
où \vec{dF} est la force appliquée à l'élément de surface dS de centre $M(x,y,z)$.

1/ Ecrire l'équation d'équilibre d'une tranche $dx dy dz$ infiniment fine d'un fluide de masse volumique ρ en équilibre en un lieu où l'accélération de la pesanteur est g .

Montrer la relation différentielle : $dP = - \rho g dz$

2/ Exprimer la pression P du fluide en fonction de l'altitude z dans le cas où ρ et g sont supposées constantes. (P_0 est la pression à l'altitude $z = 0$)

3/ Quels sont les instruments de mesure de la pression ?

4/ Estimer la valeur de la pression dans une fosse océanique à 10 km de profondeur. Comparer cette valeur à celle de la pression atmosphérique P_0 .

EXERCICE 2 : Echelles de température

L'échelle de température Celsius (ou centigrade) assigne 0°C au point de solidification de l'eau et 100°C à sa température d'ébullition.

La température absolue est définie par le Kelvin (K) : $T (K) = t (^\circ\text{C}) + 273,15$

L'échelle Fahrenheit, en usage dans de nombreux pays, se déduit de l'échelle Celsius par une transformation linéaire affine. On a par définition : $32^\circ\text{F} = 0^\circ\text{C}$ et $212^\circ\text{F} = 100^\circ\text{C}$.

1/ Déterminer la relation entre les deux échelles, Celsius et Fahrenheit.

2/ Pour quelle valeur de la température, ces deux échelles donnent-elles la même indication ?

3/ Convertir la température 37°C en K et en $^\circ\text{F}$.

4/ Citer quelques exemples de thermomètres.

EXERCICE 3 : Dilatation d'un solide

Lorsqu'on chauffe un solide, ses dimensions linéaires augmentent.

Le coefficient de dilatation linéaire moyen entre 0°C et $t (^\circ\text{C})$ est défini par :

$$\bar{\alpha} = \frac{1}{t} \cdot \frac{l - l_0}{l_0}$$

où l et l_0 représentent respectivement les longueurs à $t (^\circ\text{C})$ et à 0°C .

De même, le coefficient de dilatation volumique moyen entre 0°C et $t (^\circ\text{C})$ est défini par :

$$\bar{\alpha} = \frac{1}{t} \cdot \frac{V - V_0}{V_0}$$

où V et V_0 représentent respectivement les volumes du corps à $t (^\circ\text{C})$ et à 0°C .

Montrer que : $\bar{\alpha} = 3 \bar{\alpha}$ sachant que : $\bar{\alpha} \sim 10^{-5} ^\circ\text{C}^{-1}$

EXERCICE 4 : Calorimétrie

Un calorimètre contient une masse $m_1 = 500 \text{ g}$ d'eau à la température $t_1 = 20^\circ\text{C}$. On y introduit une masse $m_2 = 150 \text{ g}$ d'eau à la température $t_2 = 26,7^\circ\text{C}$. La température d'équilibre est $t = 21,5^\circ\text{C}$.

1/ Déterminer la capacité thermique C_{cal} du calorimètre ?

2/ On plonge, dans ce calorimètre contenant $m_1 + m_2 = 650 \text{ g}$ d'eau à la température $t = 21,5^\circ\text{C}$, un petit bloc de métal de masse $m_3 = 400 \text{ g}$ et de température $t_3 = 70^\circ\text{C}$. La température finale d'équilibre est $t' = 24,4^\circ\text{C}$. Déterminer la chaleur massique c du métal.

On donne : chaleur massique de l'eau liquide : $c_\ell = 4180 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$

EXERCICE 5 : Changement d'état

Calculer la quantité de chaleur Q nécessaire pour transformer un bloc de glace, de masse $m = 10 \text{ kg}$ et de température -14°C , en vapeur d'eau à 100°C .

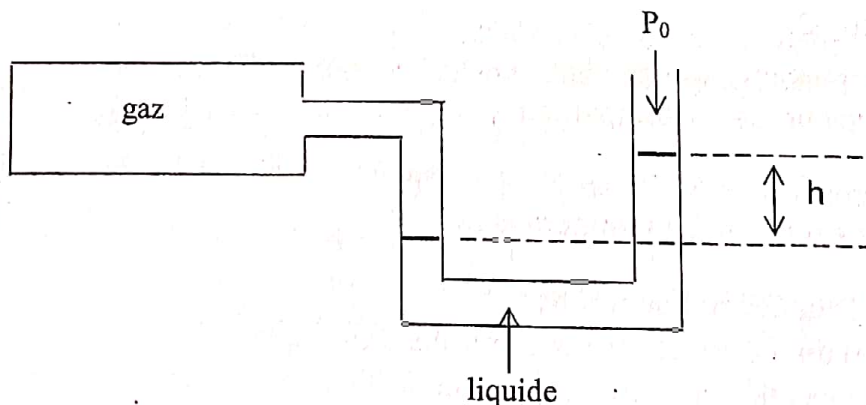
A la pression atmosphérique :

- chaleur spécifique de la glace : $c_g = 2 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
- chaleur latente massique de fusion de la glace à 0°C : $L_f = 336 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$
- chaleur spécifique de l'eau à l'état liquide : $c_\ell = 4,18 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
- chaleur latente massique de vaporisation de l'eau à 100°C : $L_v = 2250 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$

EXERCICES SUPPLEMENTAIRES

EXERCICE 1 :

Déterminer la pression P du gaz (figure ci-dessous) en fonction de la masse volumique ρ du liquide, h , g et la pression atmosphérique P_0 .



EXERCICE 2 :

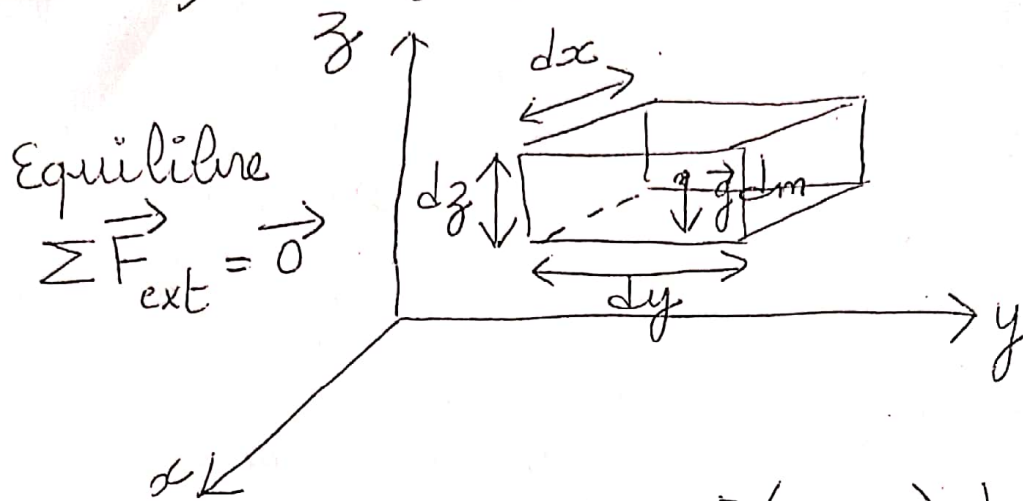
Un rail de chemin de fer de 50 m de longueur a sa température qui passe de 0°C la nuit, à 80°C le jour au soleil. Calculer la variation de sa longueur sachant que pour le fer de ce rail : $\alpha = 12 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$.

EXERCICE 3 :

On dispose d'un volume V_1 d'eau froide à la température $t_1 = 15^\circ\text{C}$ et d'un volume V_2 d'eau chaude à la température $t_2 = 70^\circ\text{C}$. Le mélange donne un volume total $V = 250 \text{ L}$ d'eau à la température $t = 37^\circ\text{C}$. Déterminer V_1 et V_2 .

Exercice 1 :

1/ soit une petite tranche du fluide sous la forme d'un parallélépipède de masse $dm = \rho \cdot dx dy dz$



$$P(x+dx, y, z) dy dz - P(x, y, z) dy dz = 0 \quad (1)$$

$$P(x, y+dy, z) dx dz - P(x, y, z) dx dz = 0 \quad (2)$$

$$P(x, y, z+dz) dx dy - P(x, y, z) dx dy + \rho g dx dy dz = 0 \quad (3)$$

$$(1) \Rightarrow \frac{\partial P}{\partial x} \cdot dx = 0 \Rightarrow \frac{\partial P}{\partial x} = 0$$

(P ne dépend pas de x)

$$(2) \Rightarrow \frac{\partial P}{\partial y} \cdot dy = 0 \Rightarrow \frac{\partial P}{\partial y} = 0$$

(P ne dépend pas de y)

$$(3) \frac{\partial P}{\partial z} \cdot dz = -\rho g dz$$

$$\Rightarrow \frac{\partial P}{\partial z} = -\rho g$$

$$P \text{ ne dépend que de } z \Rightarrow dP = -\rho g dz$$

$$2/ dP = -\rho g dz$$

$$\Rightarrow P(z) = \int -\rho g dz$$

$$\Rightarrow P(z) = -\rho g z + \text{cste}$$

(ρ et g sont supposées constantes)

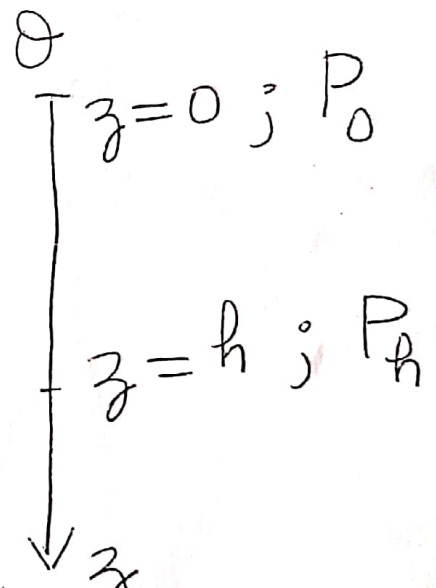
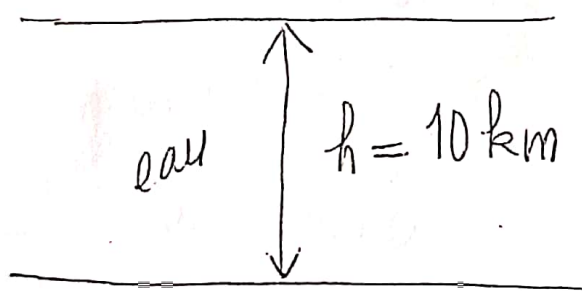
si on prend $P = P_0$ pour $z = 0$

$$\Rightarrow P(z) = -\rho g z + P_0$$

3/ Instruments de mesure de la pression:

- les baromètres,
- les manomètres,

4/



oz orienté vers le bas.

on suppose ρ et g constantes

$$P_h = \rho g h + P_0$$

$$\simeq 1 \cdot 10^3 \cdot 10 \cdot 10^4 + 10^5 > 10^8 P_a = 10^3 P_0$$

Exercice 2 :

$$1/ \theta(^{\circ}F) = a, t(^{\circ}C) + 32$$

$$\begin{cases} 32^{\circ}F = 0^{\circ}C \\ 212^{\circ}F = 100^{\circ}C \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} b = 32 \\ a = \frac{212-32}{100} = 1,8 \end{cases}$$

$$\Rightarrow \theta(^{\circ}F) = 1,8 t(^{\circ}C) + 32$$

$$2/ \theta = t \Rightarrow 1,8 t + 32 = t$$

$$\Rightarrow t = -40^{\circ}C$$

$$3/ \text{Pour } t = 37^{\circ}C : \begin{cases} T \simeq 310 K \\ \theta \simeq 99^{\circ}F \end{cases}$$

4/ Exemples de thermomètres :

- Thermomètre à liquide,
- Thermomètre à résistance,
- Thermocouple.

Exercice 4 :

$$1/ \sum Q_i = 0$$

$$Q_{m_1} + Q_{cal} + Q_{m_2} = 0$$

$$(m_1 c_{eau} + C_{cal})(t - t_1) + m_2 c_{eau}(t - t_2) = 0$$

$$\Rightarrow C_{cal} = -c_{eau} \cdot \left\{ m_1 + m_2 \cdot \frac{t - t_2}{t - t_1} \right\}$$

$$\Rightarrow C_{cal} \approx 83,6 \text{ J, K}^{-1}$$

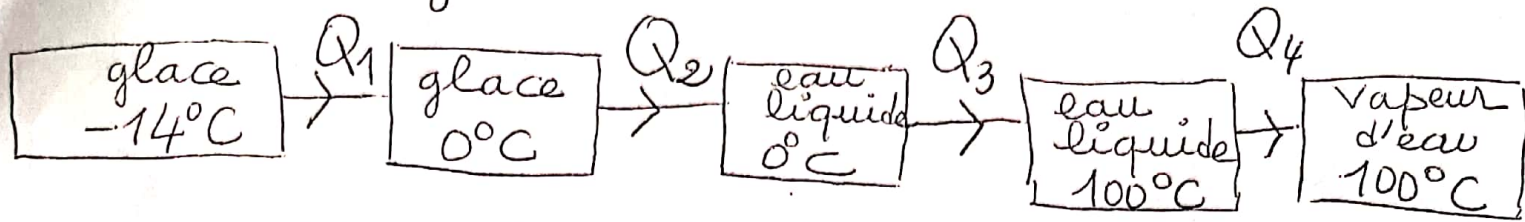
$$2/ \left\{ (m_1 + m_2) c_{eau} + C_{cal} \right\} (t' - t) + m_3 c (t' - t_3) = 0$$

$$\Rightarrow c = \frac{\left\{ (m_1 + m_2) c_{eau} + C_{cal} \right\} (t' - t)}{m_3 (t' - t_3)}$$

$$\Rightarrow c \approx 445 \text{ J, kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

Exercice 5 :

$$m = 10 \text{ kg}$$



$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4$$

$$Q_1 = m c_g \cdot (0 - (-14)) = 280 \text{ kJ}$$

$$Q_2 = m L_f = 3360 \text{ kJ}$$

$$Q_3 = m c_l \cdot (100 - 0) = 4180 \text{ kJ}$$

$$Q_4 = m \cdot L_v = 22500 \text{ kJ}$$

$$\Rightarrow Q = 30320 \text{ kJ}$$