

## THERMODYNAMIQUE ( TD 2 )

### EXERCICE 1 : Loi fondamentale de l'hydrostatique

La pression hydrostatique  $P(x,y,z)$  est une fonction scalaire définie par :  $\frac{dF}{dS} = P \frac{dx}{dS}$  où  $\frac{dF}{dS}$  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  $\rho$  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  $\rho$  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  $0^\circ\text{C}$  au point de solidification de l'eau et  $100^\circ\text{C}$  à sa température d'ébullition.

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

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  $37^\circ\text{C}$  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  $0^\circ\text{C}$  et  $t(\text{ }^\circ\text{C})$  est défini par :

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

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

De même, le coefficient de dilatation volumique moyen entre  $0^\circ\text{C}$  et  $t(\text{ }^\circ\text{C})$  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  $t(\text{ }^\circ\text{C})$  et à  $0^\circ\text{C}$ .

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

#### 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  $C_{\text{cal}}$  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  $-14^\circ\text{C}$ , en vapeur d'eau à  $100^\circ\text{C}$ .

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  $0^\circ\text{C}$  :  $L_f = 336 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$

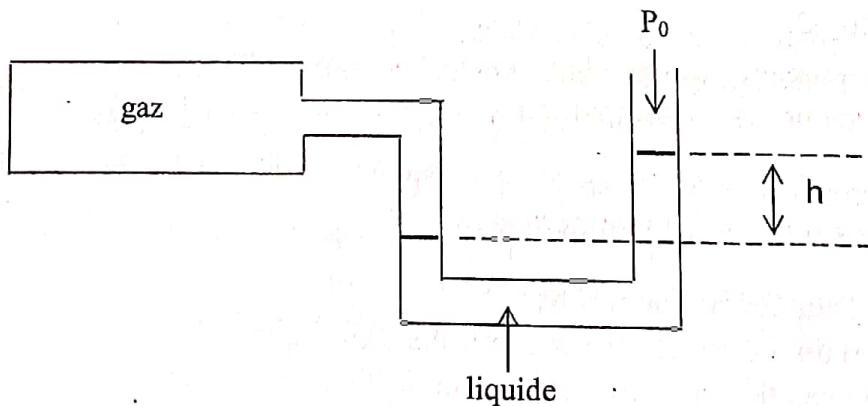
- chaleur spécifique de l'eau à l'état liquide:  $c_{\ell} = 4,18 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

- chaleur latente massique de vaporisation de l'eau à  $100^\circ\text{C}$  :  $L_v = 2250 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$

### EXERCICES SUPPLEMENTAIRES

#### EXERCICE 1 :

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



#### EXERCICE 2 :

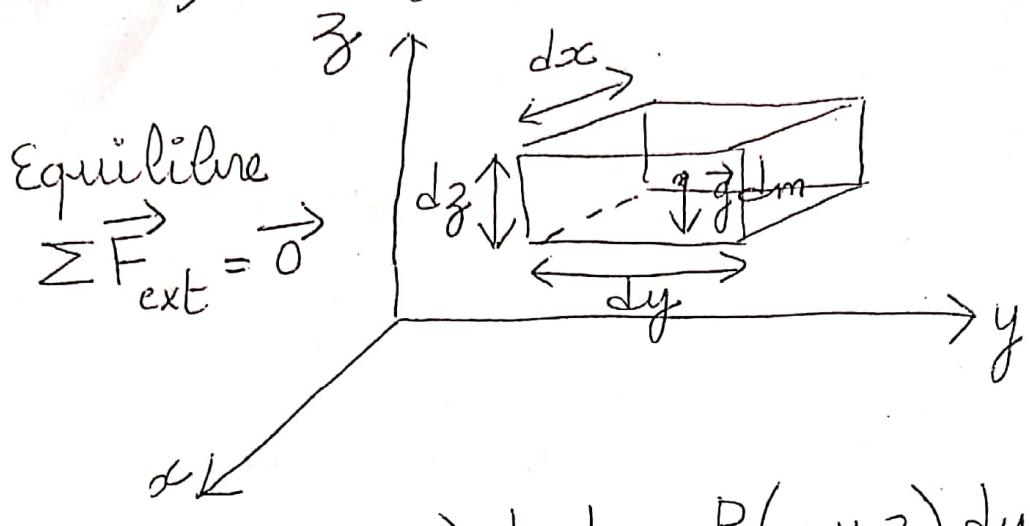
Un rail de chemin de fer de  $50 \text{ m}$  de longueur a sa température qui passe de  $0^\circ\text{C}$  la nuit, à  $80^\circ\text{C}$  le jour au soleil. Calculer la variation de sa longueur sachant que pour le fer de ce rail :  $\bar{\lambda} = 12 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ .

#### 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  $y$ )

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

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

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

$$2/ \frac{dP}{dz} = -\rho g$$

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

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

( $\rho$  et  $g$  sont supposées constantes)

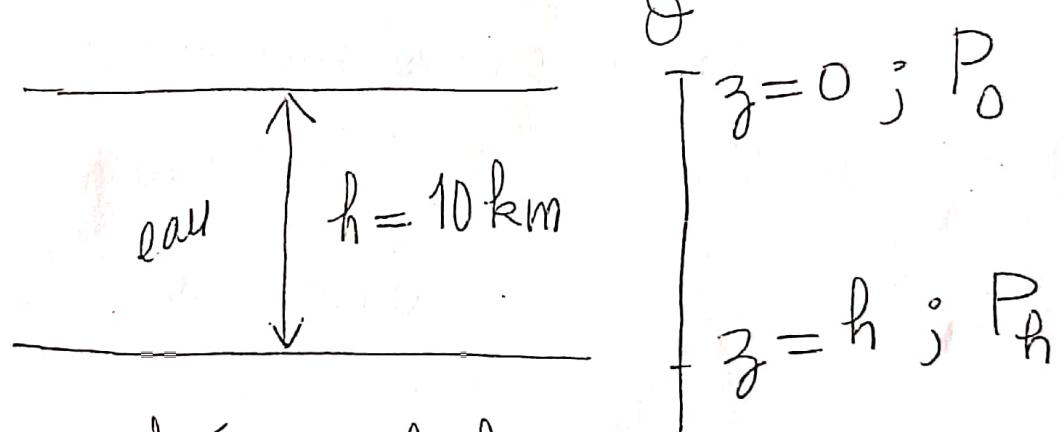
si on prend  $P = P_0$  pour  $z = 0$

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

3/ Instruments de mesure de la pression:

- les baromètres,
- les manomètres,

4/



$Oz$  orienté vers le bas.

On suppose  $\rho$  et  $g$  constantes

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

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

## Exercice 2 :

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

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

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

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

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

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

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/

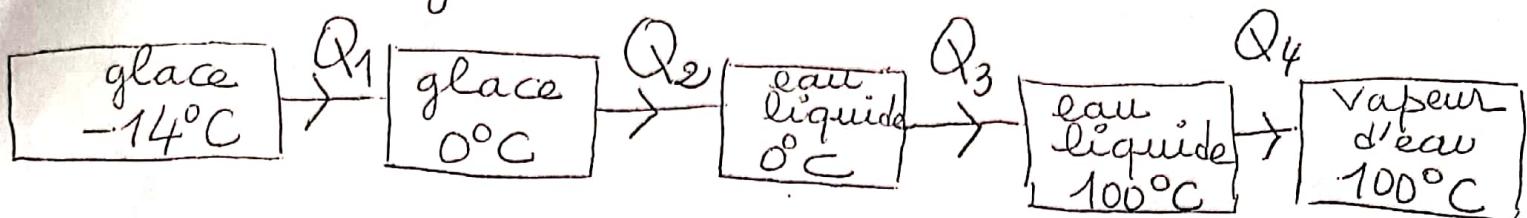
$$\left\{ (m_1 + m_2) c_{eau} + C_{cal} \right\} (t' - t) + m_3 c (t' - t_3) = 0$$

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

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

## Exercice 5 :

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



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

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

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

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

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

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