Interrogation - Physique

Mardi 19 Mars 2024

Durée : 30 minutes (40 minutes pour les tiers-temps).

Exercice 1 : Questions de cours ($\sim$ 5 points)

1/ Énoncer le premier principe de la thermodynamique. Expliciter chaque terme de l'équation. $\Delta U = W + Q$.

2/ Énoncer le deuxième principe de la thermodynamique. Expliciter chaque terme de l'équation. $\delta S = \frac{\delta Q}{T} + \delta S_c$.

3/ Énoncer la loi de l'hydrostatique pour un fluide incompressible. $P_0 - P(z) = -\rho g z$.

4/ Donner la dérfinition de la convection. La **convection** est le mode de transfert thermique qui implique des mouvements **macroscopiques** de la matière. La convection est donc **médiée par un fluide** (gaz ou liquide).

5/ Donner la définition du rayonnement. Le **rayonnement** est un mode de transfert thermique médié par des ondes électromagnétiques, d'une surface vers une autre surface. En effet, chaque objet émet un rayonnement caractéristique de la température T.

Exercice 2 : Dérivées partielles, gradient, divergence ($\sim$ 4 points)

Dans tout l'exercice, on considérera le repère orthonormé cartésien $(\overrightarrow{u}_x, \overrightarrow{u}_y, \overrightarrow{u}_z)$.

1/ Soit $f(x, y, z) = 2\mathrm{e}^x + 2x + 5yz^3$. Calculer $\frac{\partial f}{\partial x}$, $\frac{\partial f}{\partial y}$ et $\frac{\partial f}{\partial z}$. $\frac{\partial f}{\partial x} = 2\mathrm{e}^x + 2$; $\frac{\partial f}{\partial y} = 5z^3$; $\frac{\partial f}{\partial z} = 15yz^2$.

2/ Donner la différentielle totale de f. $df = (2\mathrm{e}^x + 2)dx + 5z^3 dy + 15yz^2 dz$.

3/ Calculer le gradient de f. $\overrightarrow{\mathrm{grad}}\ f = (2\mathrm{e}^x + 2)\overrightarrow{u}_x + 5z^3\overrightarrow{u}_y + 15yz^2\overrightarrow{u}_z$.

4/ Calculer le laplacien de f. $\Delta f = 2\mathrm{e}^x + 30yz$.

5/ Soit $\overrightarrow{A} = \sin(2xy)\overrightarrow{u}_x - 7z\overrightarrow{u}_y + xz^3\overrightarrow{u}_z$. Calculer la divergence de $\overrightarrow{A}$. $\mathrm{div}\overrightarrow{A} = 2y\cos(2xy) + 3xz^2$.

Exercice 3 : Soudure ($\sim$ 5 points)

Lors de réparations de plomberie, on doit souvent souder des tuyaux en cuivre, par exemple pour installer un bouchon à une extrémité, comme indiqué figure 1. Pour cela, après avoir positionné le bouchon en bout de tuyau, on chauffe au chalumeau (ou au fer à souder) pour amener le tuyau à une température supérieure à la température de fusion de la soudure à base d'étain (typiquement 185°C). On va étudier ici la propagation de la chaleur le long du tuyau lorsque le chalumeau le chauffe.

On suppose que le tuyau est initialement à la température $T_0 = 20$°C. Le chalumeau est tel qu'il impose une température $T_1 = 270$°C à l'extrémité $x = 0$ pendant toute la durée de la soudure. La soudure débute à $t = 0$. En d'autres termes, on a $T(x = 0, t \geqslant 0) = T_1$.

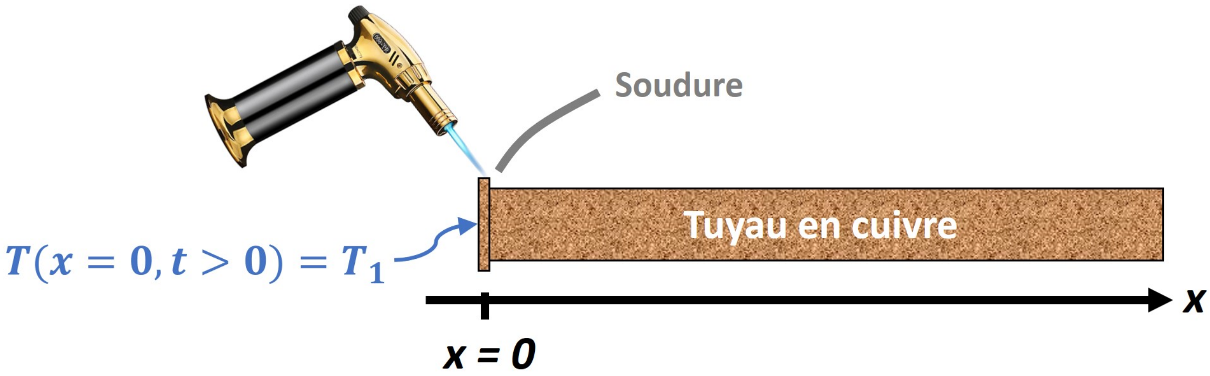

FIGURE 1 – Soudure d'un tuyau de cuivre. ©Fruugo FR.

1/ Donner la loi de Fourier. $\vec{j}_Q = -\lambda\,\overrightarrow{\text{grad}}\,T$.

2/ Donner l'équation de conservation de la chaleur. $\text{div}\,\vec{j}_Q + \mu c_v \frac{\partial T}{\partial t} = \sigma$.

3/ Redémontrer l'équation de la chaleur. $\text{div}\,\vec{j}_Q = -\mu c_v \frac{\partial T}{\partial t} = \sigma = -\lambda \Delta T$. D'où $\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\lambda}{\mu c_v}\Delta T$.

4/ Que vaut le coefficient de diffusion thermique ? $D_{th} = \frac{\lambda}{\mu c_v}$.

5/ Estimer la longueur typique sur laquelle la chaleur du chalumeau se propage s'il chauffe pendant 1 minute. $L \simeq \sqrt{D_{th}\tau} \simeq 7.6$ cm.

Données :

- Capacité thermique massique du cuivre : 385 J.kg^{-1}.K^{-1}.
- Conductivité thermique du cuivre : 328 W.m^{-1}.K^{-1}.
- Masse volumique du cuivre : 8920 kg.m^{-3}.

Exercice 4 : Élévation du niveau des océans ($\sim$ 6 points)

Dans cet exercice, grâce aux dérivées partielles, on va essayer d'estimer l'élévation du niveau de l'océan, du fait de l'augmentation de la température à la surface de la Terre. Pour cela, on a besoin du coefficient de dilatation thermique de l'eau : $\alpha = \frac{1}{V}\frac{\partial V}{\partial T} \simeq 150\,10^{-6}$ K^{-1}. V est le volume et T la température. Ce coefficient indique de quelle proportion augmente le volume lorsque la température augmente d'un degré.

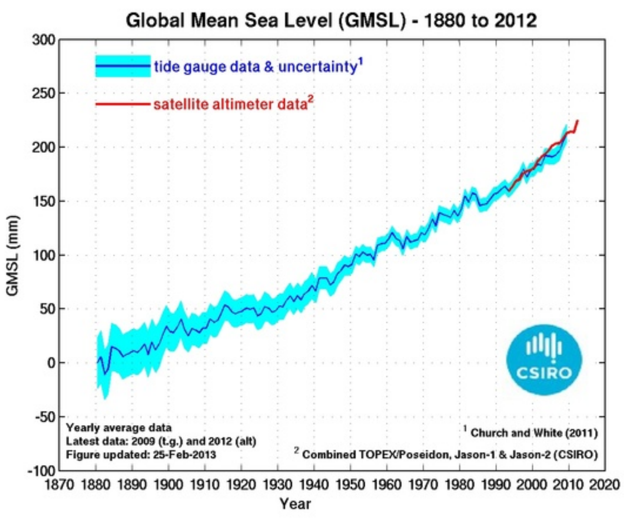

FIGURE 2 – Élévation du niveau de la mer (GMSL) en mm au cours du temps (années). ©CSIRO.

1/ Exprimer $\frac{\partial V}{\partial T}$ en fonction de V et α. $\frac{\partial V}{\partial T} = \alpha V$.

2/ On considère un volume V constitué d'un cylindre d'océan, de hauteur $Z \simeq 1$ km variable et de surface (section) S fixée. (Note : 1 km est la profondeur typique des océans) Que vaut le volume V du cylindre ? Que vaut $\frac{\partial V}{\partial T}$ en fonction de $\frac{\partial Z}{\partial T}$? $V = SZ$, puis $\frac{\partial V}{\partial T} = S\frac{\partial Z}{\partial T}$.

3/ En déduire une relation entre α, Z, l'élévation des océans ΔZ et l'élévation de température ΔT. $\frac{\partial V}{\partial T} = S\frac{\partial Z}{\partial T} = \alpha V$. D'où $\Delta Z = \alpha Z \Delta T$.

4/ Entre 1880 et 2020, la température à la surface de la Terre s'est élevée de 1 K. De combien se seraient élevés les océans, si on ne considère que la dilatation thermique de l'eau ? $\Delta Z \simeq 150$ mm.

5/ Comparer votre résultat avec la figure 2. La figure 2 donne plutôt une augmentation de 200 mm observée.

6/ Quel(s) autre(s) facteur(s) ont pu contribuer à l'élévation du niveau des océans ? D'autres facteurs peuvent intervenir, comme la fonte des glaciers ou de la glace des pôles.