Une tour énergétique

Bac S 2020 Centres étrangers (ancien programme) · Exercice 2 **7,5 points** **Durée conseillée 1 h 20**

1.1 Donner le nom des trois types de transferts thermiques.

Les trois modes de transfert thermique sont la **conduction**, la **convection** et le **rayonnement**.

COMPRENDRE
Conduction : de proche en proche, sans déplacement de matière (solides). Convection : avec mouvement d'ensemble d'un fluide. Rayonnement : par ondes électromagnétiques, possible même dans le vide.

1.2 Indiquer quel type de transfert thermique principal permet à la température de l'eau de devenir homogène.

L'eau est un fluide : l'eau chaude, moins dense, monte et l'eau plus froide descend. Ces mouvements de matière brassent le contenu de la cuve.

La température devient homogène principalement par **convection**.

1.3.1 Donner la relation entre la variation d'énergie interne de l'eau à l'intérieur de la cuve et la variation de sa température.

L'eau reste liquide (pas de changement d'état) :

$$\Delta U = m_{\text{eau}}\, c_{\text{eau}}\, \Delta T = m_{\text{eau}}\, c_{\text{eau}}\, (T_f - T_i)$$

COMPRENDRE
ΔU est en J, m_{eau} en kg, c_{eau} en $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$. Un écart de température a la même valeur en K et en °C : inutile de convertir.

1.3.2 Montrer que la quantité d'énergie Q à fournir pour élever la température de l'eau contenue dans la tour de 72 à 98 °C est égale à $1{,}1 \times 10^{11}$ J.

Données utiles $V = 1000\ \text{m}^3$; $\rho_{\text{eau}} = 1\,000\ \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$; $c_{\text{eau}} = 4180\ \text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

Système {eau de la cuve}. L'eau ne reçoit aucun travail, donc $\Delta U = Q$.

Masse d'eau : $m_{\text{eau}} = \rho_{\text{eau}}\, V$, d'où

$$Q = \rho_{\text{eau}}\, V\, c_{\text{eau}}\, (T_f - T_i)$$

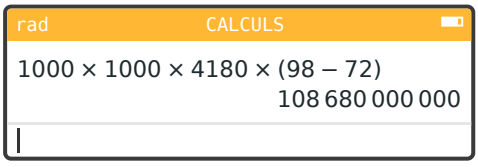
$$Q = 1\,000 \times 1000 \times 4180 \times (98 - 72) = 1{,}09 \times 10^{11}\ \text{J}$$

$Q \approx 1{,}1 \times 10^{11}$ J : c'est bien la valeur annoncée.

PIÈGE
Oublier de passer du volume à la masse, ou ajouter 273 à l'écart de température : seule la différence $98 - 72 = 26$ intervient.

COMPRENDRE
Les températures 98 °C et 72 °C n'ont que deux chiffres significatifs : le résultat s'arrondit à deux chiffres, $1{,}1 \times 10^{11}$ J.

À LA CALCULATRICE



2.1 Indiquer le type de transferts thermiques qui n'existe pratiquement plus entre la cuve et le milieu extérieur.

La laine de verre placée entre les deux enveloppes a une conductivité thermique très faible ($\lambda = 0{,}032\ \text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$) : la paroi conduit très mal la chaleur.

Le transfert par **conduction** à travers la paroi est presque supprimé.

COMPRENDRE
« Pratiquement plus » ne veut pas dire nul : il reste un faible flux à travers l'isolant, celui que l'on limite à 1,0 % à la question 2.3.2.

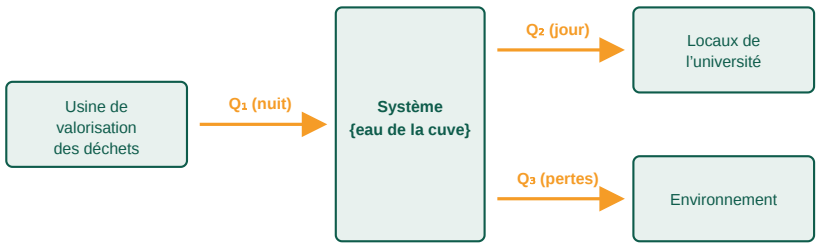
2.2 Schématiser les échanges énergétiques du système {eau de la cuve} sur 24 h avec l'usine de valorisation des déchets, les locaux de l'université et l'environnement. Préciser le sens des transferts thermiques.

Un transfert thermique se fait spontanément du corps le plus chaud vers le corps le plus froid.

- Q_1 : de l'usine vers l'eau (la nuit), énergie **reçue** par l'eau.
- Q_2 : de l'eau vers les locaux de l'université (le jour), énergie **cédée** par l'eau.
- Q_3 : de l'eau (90 °C en moyenne) vers l'environnement (10 °C), pertes **cédées** par l'eau.

L'eau reçoit Q_1 de l'usine ; elle cède Q_2 aux locaux et Q_3 à l'environnement (voir le schéma).

MÉTHODE
Schéma d'échanges : le système au centre, un bloc par milieu extérieur, une flèche par transfert, orientée du chaud vers le froid, avec son nom. Flèche entrante : énergie reçue ; flèche sortante : énergie cédée.



2.2 · Échanges d'énergie du système {eau de la cuve} sur 24 h

2.3.1 Montrer que la surface S de la paroi extérieure de la cuve en contact avec l'air est égale à 653 m².

Données utiles $h = 19{,}50$ m ; $d = 9{,}50$ m

La paroi en contact avec l'air comprend :

- la surface latérale du cylindre (un rectangle de côtés πd et h une fois déroulé) : $S_{\text{lat}} = \pi\, d\, h$;
- le disque supérieur : $S_{\text{disque}} = \pi \left(\dfrac{d}{2}\right)^2$.

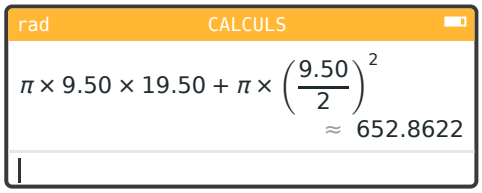
Le fond repose sur le sol : il n'est pas compté.

$$S = \pi\, d\, h + \pi \left(\frac{d}{2}\right)^2 = \pi \times 9{,}50 \times 19{,}50 + \pi \times \left(\frac{9{,}50}{2}\right)^2$$

$S = 582 + 71 = 653$ m² : c'est bien la valeur annoncée.

PIÈGE
Compter deux disques (le fond touche le sol, pas l'air) ou utiliser le diamètre à la place du rayon dans l'aire du disque.

À LA CALCULATRICE



2.3.2 Calculer l'épaisseur minimale e de la couche d'isolant pour que les pertes thermiques n'excèdent pas 1,0 % de l'énergie reçue de l'usine de valorisation sur 24 h.

Données utiles $Q = 1{,}1 \times 10^{11}$ J (1.3.2) ; $S = 653\ \text{m}^2$ (2.3.1) ; $\lambda = 0{,}032\ \text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$; $T_1 = 90$ °C ; $T_2 = 10$ °C ; $\Delta t = 24$ h

Pertes maximales tolérées sur 24 h : $Q_p = \dfrac{1{,}0}{100} \times Q = 1{,}1 \times 10^9$ J.

Flux thermique correspondant, avec $\Delta t = 24 \times 3600 = 8{,}64 \times 10^4$ s : $\varphi = \dfrac{Q_p}{\Delta t}$.

Or $\varphi = \dfrac{T_1 - T_2}{R_{th}}$ et $R_{th} = \dfrac{e}{\lambda S}$, donc $\dfrac{Q_p}{\Delta t} = \dfrac{\lambda S (T_1 - T_2)}{e}$, soit

$$e = \frac{\lambda S (T_1 - T_2) \Delta t}{Q_p}$$

$$e = \frac{0{,}032 \times 653 \times (90 - 10) \times 24 \times 3600}{1{,}1 \times 10^9} = 0{,}13\ \text{m}$$

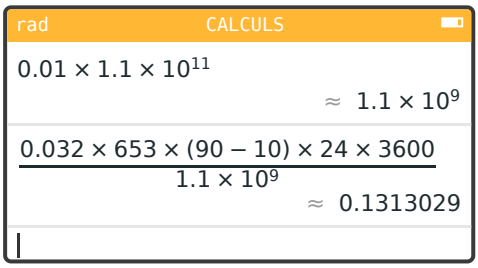
Si e augmente, R_{th} augmente et le flux perdu diminue : cette valeur est bien un minimum.

$e_{\min} \approx 0{,}13$ m, soit environ 13 cm de laine de verre.

PIÈGE
Laisser la durée en heures : un flux en watts est une énergie en joules divisée par une durée en secondes, soit $24\ \text{h} = 86\,400$ s.

MÉTHODE
Relier énergie et flux par $Q = \varphi\,\Delta t$, puis enchaîner les deux relations données. Garder l'expression littérale jusqu'au bout évite les arrondis intermédiaires ($\varphi \approx 1{,}3 \times 10^4$ W, $R_{th} \approx 6{,}3 \times 10^{-3}\ \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$).

À LA CALCULATRICE



3.1 Écrire l'équation de combustion complète du méthane CH_4, les produits étant le dioxyde de carbone et l'eau.

Le comburant est le dioxygène. On équilibre C, puis H, puis O :

$$CH_4\,(g) + 2\,O_2\,(g) \longrightarrow CO_2\,(g) + 2\,H_2O\,(g)$$

MÉTHODE
Vérification : 1 C, 4 H et 4 O de chaque côté. Dans une combustion, on ajuste le dioxygène en dernier, car il n'apporte que l'élément oxygène.

3.2 « 2 500 MWh sont ainsi récupérés par an, entraînant une réduction des émissions de CO_2 de la métropole brestoise de 12 700 tonnes sur 20 ans. » Les données chiffrées de cette affirmation sont-elles cohérentes ?

Données utiles 1 kg de gaz naturel libère 54,0 MJ ; $M(CO_2) = 44{,}0\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$; $M(CH_4) = 16{,}0\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$; 1 MWh = 3 600 MJ

Démarche : calculer la masse de CO_2 qu'aurait dégagée, en 20 ans, le gaz naturel nécessaire pour fournir la même énergie.

Énergie récupérée en un an : $E = 2\,500 \times 3\,600 = 9{,}00 \times 10^6$ MJ.

Masse de méthane économisée en un an : $m(CH_4) = \dfrac{9{,}00 \times 10^6}{54{,}0} = 1{,}67 \times 10^5$ kg.

D'après l'équation (3.1), une mole de CH_4 brûlée forme une mole de CO_2 : $n(CO_2) = n(CH_4)$, donc

$$m(CO_2) = m(CH_4) \times \frac{M(CO_2)}{M(CH_4)} = 1{,}67 \times 10^5 \times \frac{44{,}0}{16{,}0} = 4{,}58 \times 10^5\ \text{kg}$$

soit 458 t par an. Sur 20 ans : $20 \times 458 = 9{,}17 \times 10^3$ t.

Écart relatif avec la valeur annoncée : $\dfrac{12\,700 - 9\,170}{12\,700} \approx 28\ \%$.

On trouve environ $9{,}2 \times 10^3$ t de CO_2 évitées en 20 ans, contre 12 700 t annoncées : même ordre de grandeur, mais un écart de 28 %. Les données ne sont pas rigoureusement cohérentes.

PIÈGE

Comparer une masse annuelle à une valeur donnée sur 20 ans, ou confondre kilogrammes et tonnes (1 t = 10^3 kg). Sans conclusion argumentée, la question n'est pas terminée.

COMPRENDRE

L'écart peut venir du modèle : le gaz naturel n'est pas du méthane pur et une chaudière a un rendement inférieur à 1, il faut donc brûler davantage de gaz pour fournir 2 500 MWh utiles.

À LA CALCULATRICE

