Ballon de chauffage sanitaire

Bac S 2019 Antilles-Guyane (ancien programme) · Exercice 3 **5 points** **Durée conseillée 50 min**

1.1 Citer les trois modes de transfert thermique.

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

COMPRENDRE
Conduction : de proche en proche, sans déplacement de matière (paroi). Convection : avec déplacement de matière (eau, air). Rayonnement : par ondes électromagnétiques, possible même dans le vide.

1.2 L'eau du ballon est chauffée de 15 °C à 65 °C, pertes négligées. Calculer la durée de chauffage et vérifier qu'elle est cohérente avec la valeur du fabricant.

Données utiles $V = 200\ \text{L} = 0{,}200\ \text{m}^3$; $P = 2200\ \text{W}$; $c_{eau} = 4180\ \text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$; $\rho_{eau} = 1000\ \text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$; temps de chauffe annoncé : 5 h 17 min

Masse d'eau : $m = \rho_{eau}\, V = 1000 \times 0{,}200 = 200$ kg.

L'eau reste liquide ; sa variation d'énergie interne est $\Delta U = m\, c_{eau}\, (\theta_f - \theta_i)$.

Sans pertes, toute l'énergie électrique reçue par la résistance est transférée à l'eau : $P\,\Delta t = \Delta U$, donc

$$\Delta t = \frac{\rho_{eau}\, V\, c_{eau}\, (\theta_f - \theta_i)}{P}$$

$$\Delta t = \frac{1000 \times 0{,}200 \times 4180 \times (65 - 15)}{2200} = 1{,}90 \times 10^4\ \text{s}$$

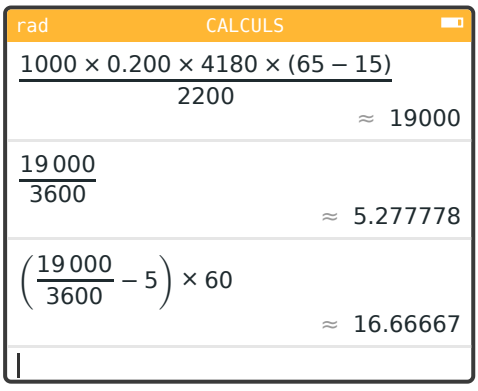
Conversion : $\dfrac{1{,}90 \times 10^4}{3600} = 5{,}28$ h, soit 5 h et $0{,}28 \times 60 \approx 17$ min.

$\Delta t = 1{,}90 \times 10^4\ \text{s} \approx 5\ \text{h}\ 17\ \text{min}$: la durée calculée est identique au temps de chauffe annoncé par le fabricant.

PIÈGE
Laisser le volume en litres alors que ρ_{eau} est en $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$: le résultat est alors mille fois trop grand. Et 5,28 h ne signifie pas 5 h 28 min.

COMPRENDRE
Un écart de température a la même valeur en °C et en K : inutile d'ajouter 273. Le résultat est donné à la minute près pour être comparé à la valeur du fabricant.

À LA CALCULATRICE



1.3.1 Montrer que le flux thermique à travers les parois du ballon, entre l'eau à 65 °C et l'air extérieur à 20 °C, vaut $\Phi = 67$ W.

Données utiles $S = 2{,}9\ \text{m}^2$; $e = 70\ \text{mm}$; $\lambda = 0{,}036\ \text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$

Les parois ont une épaisseur négligeable : seule la laine de roche s'oppose au transfert. Avec $R_{th} = \dfrac{e}{\lambda\, S}$ et $\Phi = \dfrac{\Delta T}{R_{th}}$:

$$\Phi = \frac{\lambda\, S\, \Delta T}{e} = \frac{0{,}036 \times 2{,}9 \times (65 - 20)}{70 \times 10^{-3}} = 67\ \text{W}$$

$\Phi = 67$ W : c'est bien la valeur annoncée.

PIÈGE
Oublier de convertir l'épaisseur : $e = 70\ \text{mm} = 70 \times 10^{-3}$ m, sinon le flux est mille fois trop faible.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$$\frac{0.036 \times 2.9 \times (65 - 20)}{70 \times 10^{-3}} \approx 67.11429$$

COMPRENDRE

Deux chiffres significatifs, comme λ, S et e. Le flux va spontanément de l'eau chaude vers l'air plus froid : c'est une perte pour le ballon.

1.3.2 En déduire l'énergie perdue par le ballon en une journée, exprimée en Wh.

Données utiles $\Phi = 67$ W (Q1.3.1) ; $\Delta t = 24$ h

Le flux thermique est l'énergie transférée par unité de temps : $\Phi = \dfrac{E}{\Delta t}$, donc $E = \Phi\,\Delta t$.

Avec Φ en W et Δt en h, l'énergie s'obtient directement en Wh :

$$E = 67 \times 24 = 1{,}6 \times 10^{3}\ \text{Wh}$$

$E = 1{,}6 \times 10^{3}$ Wh perdus en une journée.

MÉTHODE

Le wattheure est l'énergie transférée en une heure sous une puissance de 1 W : $1\ \text{Wh} = 3600$ J. Pour un résultat en Wh, garder la durée en heures.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$$67 \times 24 = 1\,608$$

1.4 À l'aide du résultat précédent, évaluer le coefficient de refroidissement C_r du ballon. Est-il cohérent avec la donnée du fabricant ?

Données utiles $E = 1{,}6 \times 10^{3}$ Wh par jour (Q1.3.2) ; $V = 200$ L ; eau à 65 °C, air à 20 °C ; fabricant : $C_r = 0{,}18\ \text{Wh} \cdot \text{jour}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{L}^{-1}$

D'après son unité, C_r est l'énergie perdue par jour, par litre d'eau et par kelvin d'écart avec l'air ambiant. Ici l'énergie E est perdue en un jour par $V = 200$ L pour un écart $\Delta T = 65 - 20 = 45$ K :

$$C_r = \frac{E}{V\,\Delta T} = \frac{1{,}6 \times 10^{3}}{200 \times 45} = 0{,}18\ \text{Wh} \cdot \text{jour}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{L}^{-1}$$

$C_r = 0{,}18\ \text{Wh} \cdot \text{jour}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{L}^{-1}$: valeur égale à celle du fabricant, le résultat est cohérent.

MÉTHODE

Quand une grandeur n'est définie que par une phrase, son unité donne la formule : des $\text{Wh} \cdot \text{jour}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{L}^{-1}$ s'obtiennent en divisant une énergie journalière par un écart de température et par un volume en litres.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$$\frac{1.6 \times 10^{3}}{200 \times 45} \approx 0.1777778$$

1.5 La réglementation thermique RT 2012 est-elle respectée pour ce ballon ?

Données utiles RT 2012 : $C_r \leqslant 2 \times V^{\alpha}$ avec $\alpha = -0{,}4$ et V en litres ; $C_r = 0{,}18\ \text{Wh} \cdot \text{jour}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{L}^{-1}$ (Q1.4)

Valeur maximale autorisée pour un ballon de 200 L :

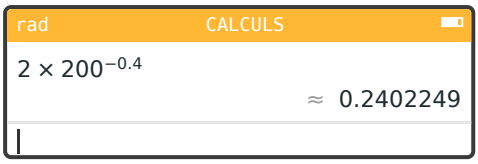
$$C_{r,\max} = 2 \times V^{\alpha} = 2 \times 200^{-0{,}4} = 0{,}24\ \text{Wh} \cdot \text{jour}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{L}^{-1}$$

$C_r = 0{,}18 < 0{,}24$: la constante de refroidissement est inférieure à la limite, le ballon respecte la RT 2012.

PIÈGE

Dans cette formule réglementaire, V est en litres et non en m^3. Attention aussi à l'exposant négatif : le saisir entre parenthèses.

À LA CALCULATRICE



2.1 Vérifier que la plage spectrale de la caméra permet de mesurer la température de sortie du ballon.

Données utiles loi de Wien : $\lambda_{max}\, T = 2{,}898 \times 10^{-3}$ m · K ; température attendue : 65 °C ; plage spectrale : 7,5 µm – 13 µm

Température attendue en sortie : $T = 65 + 273 = 338$ K.

D'après la loi de Wien, le rayonnement émis par le tuyau est maximal pour la longueur d'onde

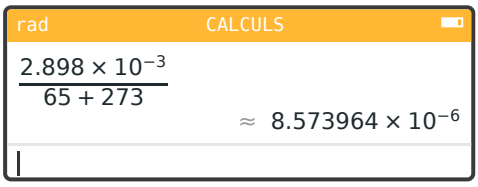
$$\lambda_{max} = \frac{2{,}898 \times 10^{-3}}{T} = \frac{2{,}898 \times 10^{-3}}{338} = 8{,}57 \times 10^{-6}\ \text{m} = 8{,}57\ \mu\text{m}$$

$7{,}5\ \mu\text{m} < \lambda_{max} = 8{,}57\ \mu\text{m} < 13\ \mu\text{m}$: le maximum d'émission se trouve dans la plage spectrale, la caméra convient.

PIÈGE
Utiliser la température en °C dans la loi de Wien : avec 65 au lieu de 338 K, on trouve 45 µm et on conclut à tort que la caméra ne convient pas.

COMPRENDRE
La loi de Wien ne figure plus au programme de spécialité de Terminale (elle est vue en enseignement scientifique) ; elle est donnée ici, il suffit de l'appliquer.

À LA CALCULATRICE



2.2 Estimer une valeur approchée de la température à la sortie du ballon en justifiant la méthode utilisée.

Sur la photographie, l'échelle de niveaux de gris va du noir (20 °C) au blanc (67 °C) : plus une zone est claire, plus elle est chaude.

Le tuyau de sortie d'eau chaude, repéré par le viseur, apparaît presque blanc : sa teinte correspond à l'extrémité chaude de l'échelle, juste en dessous de 67 °C.

La température à la sortie du ballon est voisine de 65 °C, la valeur recommandée par la notice.

COMPRENDRE
Une estimation suffit : aucune mesure de longueur sur l'échelle de teintes n'est attendue. Le tuyau d'arrivée d'eau froide, lui, apparaît noir, proche de 20 °C.

2.3 Chaque pixel de la photographie en niveaux de gris est codé sur 8 bits. Calculer la taille de cette image en octets, puis celle de la même image en couleur.

Données utiles image de 120×120 pixels ; 1 octet = 8 bits

Nombre de pixels : $120 \times 120 = 14\,400$ pixels.

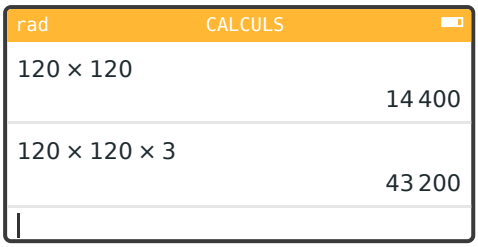
En niveaux de gris, chaque pixel occupe 8 bits, soit 1 octet : la taille est $14\,400 \times 1 = 14\,400$ octets.

En couleur (codage RVB), chaque pixel est décrit par trois composantes, rouge, verte et bleue, de 1 octet chacune : $14\,400 \times 3 = 43\,200$ octets.

Niveaux de gris : $14\,400$ octets ; couleur : $43\,200$ octets.

COMPRENDRE
Ce que le document appelle « résolution » est en réalité la définition de l'image (nombre de pixels). Le codage des images n'est plus au programme de spécialité de Terminale.

À LA CALCULATRICE



2.4 La carte SD a une capacité de 2 Gbit. Combien d'images en couleurs peut-elle stocker ? Ce résultat est-il cohérent avec les caractéristiques données par le constructeur ?

Données utiles image couleur : $43\,200$ octets (Q2.3) ; capacité : $2\ \text{Gbit} = 2 \times 10^9$ bits ; constructeur : 5000 images RGB au maximum

Taille d'une image couleur en bits : $43\,200 \times 8 = 345\,600$ bits.

Nombre d'images : $N = \dfrac{2 \times 10^9}{345\,600} = 5787{,}04$, soit 5787 images entières.

La carte peut contenir 5787 images en couleurs : même ordre de grandeur que les 5000 images annoncées, et un peu plus (environ 16 %), ce qui reste cohérent avec un nombre maximal garanti par le constructeur.

PIÈGE
La capacité est en bits, la taille de l'image en octets : diviser 2×10^9 par $43\,200$ donnerait huit fois trop d'images. Un nombre d'images s'arrondit à l'entier inférieur.

À LA CALCULATRICE

