Performance des matériaux de construction

Bac S 2017 Polynésie rattrapage (ancien programme) · Exercice 1 **7 points** **Durée conseillée 1 h 10**

1.1.1 Déterminer l'unité de la résistance thermique.

Données utiles $R_{th} = \dfrac{e}{\lambda \times S}$; λ en $\mathrm{W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}}$; e en m ; S en $\mathrm{m^2}$

On remplace chaque grandeur par son unité dans $R_{th} = \dfrac{e}{\lambda \times S}$:

$$\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}} \times \mathrm{m^2}} = \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{W \cdot K^{-1} \cdot m}} = \mathrm{K \cdot W^{-1}}$$

La résistance thermique s'exprime en $\mathrm{K \cdot W^{-1}}$.

MÉTHODE

Autre chemin, plus rapide : $\Phi = \dfrac{T_1 - T_2}{R_{th}}$ donne $R_{th} = \dfrac{T_1 - T_2}{\Phi}$, une température divisée par une puissance, donc des $\mathrm{K \cdot W^{-1}}$.

1.1.2 Déterminer la valeur de la résistance thermique du panneau CLT en épicéa.

Données utiles $\lambda_{\text{épicéa}} = 0{,}11\ \mathrm{W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}}$; longueur 6,0 m ; largeur 3,0 m ; $e = 20\ \mathrm{cm} = 0{,}20\ \mathrm{m}$

Surface du panneau : $S = 6{,}0 \times 3{,}0 = 18\ \mathrm{m^2}$.

$$R_{th} = \frac{e}{\lambda_{\text{épicéa}} \times S} = \frac{0{,}20}{0{,}11 \times 18}$$

$R_{th} = 0{,}10\ \mathrm{K \cdot W^{-1}}$

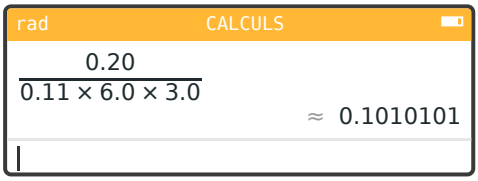
PIÈGE

Laisser l'épaisseur en centimètres donne une résistance cent fois trop grande.

COMPRENDRE

Données à deux chiffres significatifs, résultat aussi : 0,10, pas 0,1.

À LA CALCULATRICE



1.1.3 Déterminer l'épaisseur de béton armé nécessaire pour obtenir une paroi de même surface et de mêmes performances thermiques que le panneau CLT. Commenter.

Données utiles $\lambda_{\text{béton}} = 2{,}2\ \mathrm{W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}}$; $\lambda_{\text{épicéa}} = 0{,}11\ \mathrm{W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}}$; $e_{\text{épicéa}} = 0{,}20\ \mathrm{m}$

Mêmes performances thermiques : les deux parois ont la même résistance thermique. Avec la même surface S :

$$\frac{e_{\text{béton}}}{\lambda_{\text{béton}} \times S} = \frac{e_{\text{épicéa}}}{\lambda_{\text{épicéa}} \times S} \quad \text{donc} \quad e_{\text{béton}} = e_{\text{épicéa}} \times \frac{\lambda_{\text{béton}}}{\lambda_{\text{épicéa}}}$$

$$e_{\text{béton}} = 0{,}20 \times \frac{2{,}2}{0{,}11}$$

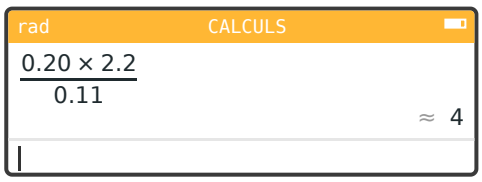
$e_{\text{béton}} = 4{,}0\ \mathrm{m}$

Il faudrait un mur de béton vingt fois plus épais que le panneau de bois : c'est irréalisable. Le béton armé isole beaucoup moins bien que l'épicéa ; un mur en béton doit être doublé d'un isolant.

MÉTHODE

À résistance et surface égales, l'épaisseur est proportionnelle à la conductivité. Le rapport $\lambda_{\text{béton}}/\lambda_{\text{épicéa}} = 20$ donne directement le rapport des épaisseurs.

À LA CALCULATRICE



1.2.1 Citer le mode de transfert d'énergie prépondérant à travers le vitrage. En donner une interprétation microscopique.

Le transfert thermique à travers le vitrage se fait principalement par **conduction**.

Interprétation microscopique : du côté chaud, les entités (atomes, molécules) sont plus agitées. Par chocs et interactions avec leurs voisines, elles leur cèdent une partie de leur énergie cinétique. L'agitation thermique se propage ainsi de proche en proche, du côté chaud vers le côté froid, sans déplacement d'ensemble de la matière.

PIÈGE
Citer la conduction sans préciser « sans transport de matière » : c'est ce qui la distingue de la convection, où le fluide lui-même se déplace.

COMPRENDRE
La lame d'air est mince et enfermée : l'air ne peut presque pas y circuler, la convection y est très limitée. Les questions suivantes utilisent d'ailleurs les conductivités thermiques, grandeurs propres à la conduction.

1.2.2 Déterminer la valeur du flux thermique traversant la fenêtre en double vitrage pour un écart de température de 10 °C entre l'intérieur et l'extérieur.

Données utiles $e_{\text{verre}} = 4{,}0\ \text{mm}$; $e_{\text{air}} = 12{,}0\ \text{mm}$; $S = 4{,}0\ \text{m}^2$; $\lambda_{\text{verre}} = 1{,}2\ \text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$; $\lambda_{\text{air}} = 0{,}026\ \text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

La fenêtre comporte trois couches (verre, air, verre) ; leurs résistances thermiques s'ajoutent :

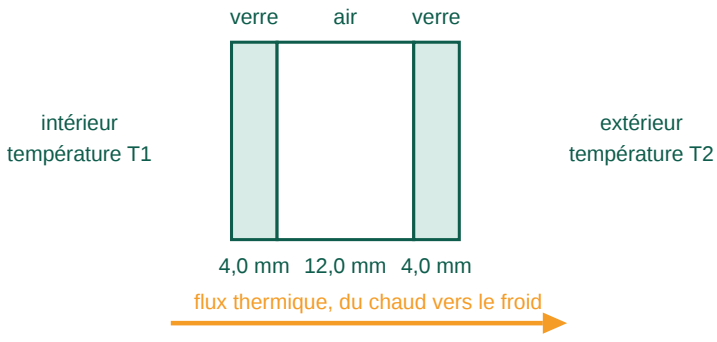
$$R_{th} = 2 \times \frac{e_{\text{verre}}}{\lambda_{\text{verre}} \times S} + \frac{e_{\text{air}}}{\lambda_{\text{air}} \times S}$$

$$R_{th} = 2 \times \frac{4{,}0 \times 10^{-3}}{1{,}2 \times 4{,}0} + \frac{12{,}0 \times 10^{-3}}{0{,}026 \times 4{,}0} = 0{,}117\ \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$$

Un écart de 10 °C est aussi un écart de 10 K : $T_1 - T_2 = 10\ \text{K}$.

$$\Phi = \frac{T_1 - T_2}{R_{th}} = \frac{10}{0{,}117}$$

$\Phi = 85\ \text{W}$

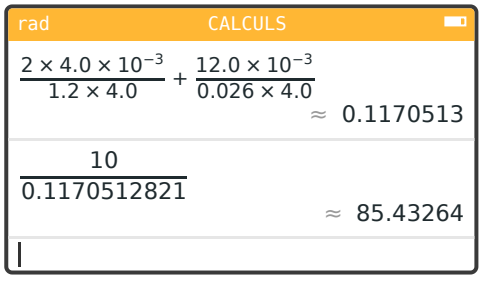


1.2.2 · Le double vitrage : trois résistances thermiques qui s'ajoutent

PIÈGE
Oublier l'une des deux vitres, ou laisser les épaisseurs en millimètres. Inutile en revanche d'ajouter 273 : seule la différence de températures intervient.

COMPRENDRE
Les deux vitres ne comptent que pour $0{,}003\ \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$ sur $0{,}117$: c'est la lame d'air qui isole, pas le verre.

À LA CALCULATRICE



1.2.3 En supposant que seul le mode de transfert prépondérant intervient, ce vitrage respecte-t-il la règlementation ? Justifier.

Données utiles U maximal réglementaire : $2\ \text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$; $\Phi = 85\ \text{W}$ pour $S = 4{,}0\ \text{m}^2$ et un écart de 10 K (1.2.2)

U est le flux thermique par unité de surface et par kelvin d'écart de température :

$$U = \frac{\Phi}{S \times (T_1 - T_2)} = \frac{85}{4{,}0 \times 10}$$

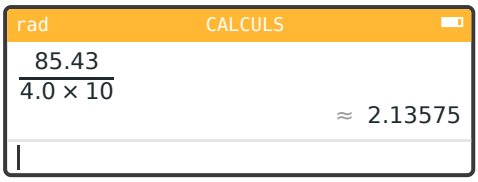
$U = 2{,}1\ \text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$

$U = 2{,}1\ \text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1} > 2\ \text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$: ce vitrage ne respecte pas la règlementation, de peu.

COMPRENDRE
On a aussi $U = \frac{1}{R_{th} \times S}$: U ne dépend que des couches traversées, ni de la surface ni de l'écart de température.

MÉTHODE
Traduire la définition mot à mot : « par unité de surface » signifie diviser par S, « pour 1 °C d'écart » diviser par $T_1 - T_2$.

À LA CALCULATRICE



1.2.4 Proposer, en justifiant, deux solutions pour améliorer les performances thermiques de ce vitrage.

Données utiles $\lambda_{\text{air}} = 0{,}026\ \text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$; $\lambda_{\text{argon}} = 0{,}018\ \text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

Améliorer le vitrage, c'est diminuer le flux thermique, donc augmenter sa résistance thermique $R_{th} = \dfrac{e}{\lambda \times S}$, somme de celles des couches.

- Remplacer l'air par de l'argon : sa conductivité thermique est plus faible, la résistance de la couche de gaz augmente.
- Augmenter l'épaisseur e de la couche de gaz, ou ajouter une troisième vitre et une seconde couche de gaz (triple vitrage) : une résistance supplémentaire s'ajoute.

Remplacer l'air par de l'argon ; épaissir la couche de gaz ou passer au triple vitrage.

COMPRENDRE
Épaissir le verre change très peu le résultat : le verre conduit environ 50 fois mieux la chaleur que l'air. C'est sur la couche de gaz qu'il faut agir.

2.1 Vérifier, par analyse dimensionnelle, que la relation $m_S = \rho \cdot e$ est correcte.

Par définition, la masse surfacique est une masse divisée par une surface : $[m_S] = \text{M} \cdot \text{L}^{-2}$.

La masse volumique est une masse divisée par un volume : $[\rho] = \text{M} \cdot \text{L}^{-3}$. L'épaisseur est une longueur : $[e] = \text{L}$.

$$[\rho \cdot e] = \text{M} \cdot \text{L}^{-3} \times \text{L} = \text{M} \cdot \text{L}^{-2}$$

$[\rho \cdot e] = \text{M} \cdot \text{L}^{-2} = [m_S]$: la relation est homogène.

COMPRENDRE
L'analyse dimensionnelle n'est plus exigée sous cette forme en spécialité. Le même contrôle se fait avec les unités : $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3} \times \text{m} = \text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$.

2.2 Calculer la fréquence critique du double vitrage 4-12-4. Le résultat est-il cohérent avec les courbes d'atténuation acoustique ?

Données utiles $f_c = 60 \times \sqrt{\dfrac{1}{d}\left(\dfrac{1}{m_{S1}} + \dfrac{1}{m_{S2}}\right)}$; $d = 12{,}0\ \text{mm}$; $e = 4{,}0\ \text{mm}$; $\rho = 2500\ \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$

Les deux vitres sont identiques : $m_{S1} = m_{S2} = \rho \cdot e = 2500 \times 4{,}0 \times 10^{-3} = 10\ \text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$.

$$f_c = 60 \times \sqrt{\frac{1}{d} \times \frac{2}{m_S}} = 60 \times \sqrt{\frac{1}{12{,}0 \times 10^{-3}} \times \frac{2}{10}}$$

$f_c = 2{,}4 \times 10^2\ \text{Hz}$

Sur les graphiques a et b, l'atténuation du vitrage 4-12-4 passe par un minimum marqué (15 dB) à 250 Hz : à cette fréquence le son est le mieux transmis. La valeur calculée, environ 245 Hz, est cohérente avec ces courbes.

PIÈGE
La surface $S = 4{,}0\ \text{m}^2$ ne sert pas : la masse surfacique est déjà une masse par mètre carré. Convertir d et e en mètres.

COMPRENDRE
Le creux de la courbe est une résonance : les deux vitres reliées par le « ressort » d'air vibrent alors avec une grande amplitude et laissent passer le son.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$2500 \times 4.0 \times 10^{-3}$

≈ 10

$60 \times \sqrt{\frac{1}{12.0 \times 10^{-3}} \times \frac{2}{10}}$

≈ 244.949

2.3 Le double vitrage présente-t-il un intérêt par rapport au simple vitrage du point de vue de l'isolation acoustique ? Justifier.

Sur le graphique a, entre 125 Hz et 630 Hz environ, la courbe du simple vitrage « Verre 4 » est au-dessus de celle du double vitrage 4-12-4 : le simple vitrage atténue mieux les sons graves (à 250 Hz : environ 26 dB contre 15 dB).

Au-delà de 800 Hz environ, c'est l'inverse : le double vitrage atténue davantage, de quelques décibels.

Le double vitrage 4-12-4 n'est intéressant que pour les sons aigus (au-delà de 800 Hz environ) ; pour les sons graves, il isole moins bien que le simple vitrage.

COMPRENDRE
L'axe des fréquences n'est pas régulier : chaque graduation multiplie la fréquence par 1,25 environ. Lire les valeurs sur les étiquettes, sans interpoler.

MÉTHODE
Pour comparer deux courbes : repérer l'abscisse où elles se croisent, puis conclure séparément de part et d'autre, avec une lecture chiffrée à l'appui.

2.4 Comment les fabricants peuvent-ils modifier le double vitrage pour améliorer ses propriétés acoustiques ?

Sur le graphique b, la courbe du vitrage 8-12-4 est au-dessus de celle du vitrage 4-12-4 à presque toutes les fréquences, et le creux à 250 Hz a disparu (25 dB au lieu de 15 dB).

Les fabricants augmentent l'épaisseur de l'une des deux vitres (vitrage dissymétrique, par exemple 8-12-4).

COMPRENDRE
Avec une vitre de 8 mm, $m_{S1} = 20\ \text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$ et la formule donne $f_c \approx 212\ \text{Hz}$: une paroi plus lourde abaisse la fréquence critique et vibre moins.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$60 \times \sqrt{\frac{1}{12.0 \times 10^{-3}} \times \left(\frac{1}{20} + \frac{1}{10}\right)}$

≈ 212.132

3.1 Identifier l'intervalle de longueur d'onde dans lequel il est préférable d'utiliser la caméra thermique. Justifier.

La caméra reçoit le rayonnement infrarouge émis par le bâtiment après sa traversée de l'air. Il faut donc que l'atmosphère l'absorbe le moins possible : facteur de transmission proche de 100 %.

Dans la bande de travail (2 à 15 µm), le graphique montre un large plateau proche de 100 %, sans bande d'absorption, entre 8 µm et 14 µm.

Intervalle à privilégier : de 8 µm à 14 µm.

PIÈGE
Répondre « de 2 à 15 µm » : c'est la bande de travail donnée par l'énoncé. Autour de 2,7 µm, 4,3 µm et de 5 à 8 µm, CO_2 et H_2O absorbent le rayonnement.

3.2 Quel type de convertisseur doit-on placer entre le capteur et le calculateur qui génère l'image ?

Le capteur délivre une tension qui varie de façon continue : c'est un signal analogique. Le calculateur ne traite que des nombres binaires : le signal doit être numérisé.

Il faut un convertisseur analogique-numérique (CAN).

COMPRENDRE
La numérisation des signaux (échantillonnage, quantification, CAN) appartenait à l'ancien programme de Terminale S ; elle ne figure plus au programme actuel de la spécialité.

3.3 Sachant qu'un pixel est codé en 24 bits, quelle serait la capacité minimale, en octets, de la carte MiniSD en l'absence de compression ?

Données utiles image de 160×120 pixels ; 24 bits par pixel ; 1000 images enregistrables ; 1 octet = 8 bits

Un pixel occupe $\frac{24}{8} = 3$ octets.

Une image compte $160 \times 120 = 19\,200$ pixels, soit $19\,200 \times 3 = 57\,600$ octets.

La carte doit contenir 1000 images : $1000 \times 57\,600 = 57\,600\,000$ octets.

Capacité minimale : $5{,}76 \times 10^7$ octets, soit environ 58 Mo.

PIÈGE
Donner le résultat en bits ($1{,}38 \times 10^9$) alors que la question demande des octets, ou oublier les 1000 images.

COMPRENDRE
Ici les nombres sont des comptages exacts : aucun arrondi n'est nécessaire. Le codage des images numériques relève lui aussi de l'ancien programme.

À LA CALCULATRICE

