Capteurs solaires passifs, le mur Trombe-Michel

Bac 2022 Amérique du Nord Jour 2 · Exercice 4 **5 points** **Durée conseillée 53 min**

A.1 Citer les trois modes de transfert thermique.

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

COMPRENDRE
La conduction se fait de proche en proche sans déplacement de matière, la convection avec un mouvement d'ensemble du fluide, le rayonnement par des ondes électromagnétiques, y compris dans le vide.

A.2 Citer, pour chacun de ces modes de transfert thermique, un exemple mis en œuvre dans un mur Trombe-Michel.

- **Rayonnement** : le rayonnement solaire traverse le double vitrage et il est absorbé par la surface noire du mur, qui s'échauffe.
- **Conduction** : l'énergie reçue par la face noire traverse l'épaisseur du béton jusqu'à la face située côté pièce.
- **Convection** : l'air de la lame, chauffé au contact du mur, monte et entre dans la pièce par l'ouverture haute, tandis que de l'air plus froid arrive par le bas.

Rayonnement : Soleil vers la surface noire ; conduction : dans le béton ; convection : circulation de l'air de la lame.

PIÈGE
Citer un mode sans préciser où il intervient dans le mur ne rapporte rien : chaque exemple doit nommer un élément du schéma (vitrage, surface noire, béton, lame d'air).

COMPRENDRE
D'autres exemples sont acceptés : le schéma montre aussi le rayonnement infrarouge émis par le mur vers la pièce.

B.1 Exprimer les flux thermiques Φ_1 et Φ_2 correspondant respectivement aux résistances R_1 et R_2, puis calculer leurs valeurs.

Données utiles $L = 3{,}0$ m ; $H = 2{,}5$ m ; béton : $e = 40$ cm, $\lambda = 1{,}75\ \text{W}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{m}^{-1}$; $R_{\text{vitrage}} = 0{,}13\ \text{K}\cdot\text{W}^{-1}$; $R_{\text{air}} = 0{,}46\ \text{K}\cdot\text{W}^{-1}$; $T_{\text{int}} = 19$ °C ; $T_{\text{ext}} = 5{,}0$ °C

Le flux thermique à travers une paroi de résistance R est $\Phi = \dfrac{T_{\text{int}} - T_{\text{ext}}}{R}$, avec $T_{\text{int}} - T_{\text{ext}} = 19 - 5{,}0 = 14$ K.

Résistance du mur de béton, de surface $S = L \times H$:

$$R_{\text{mur}} = \frac{e}{\lambda\, L\, H} = \frac{0{,}40}{1{,}75 \times 3{,}0 \times 2{,}5} = 3{,}0 \times 10^{-2}\ \text{K}\cdot\text{W}^{-1}$$

Les résistances des couches s'ajoutent :

$$\Phi_1 = \frac{T_{\text{int}} - T_{\text{ext}}}{R_{\text{mur}} + R_{\text{vitrage}}} = \frac{14}{0{,}030 + 0{,}13} = 87\ \text{W}$$

$$\Phi_2 = \frac{T_{\text{int}} - T_{\text{ext}}}{R_{\text{mur}} + R_{\text{vitrage}} + R_{\text{air}}} = \frac{14}{0{,}030 + 0{,}13 + 0{,}46} = 23\ \text{W}$$

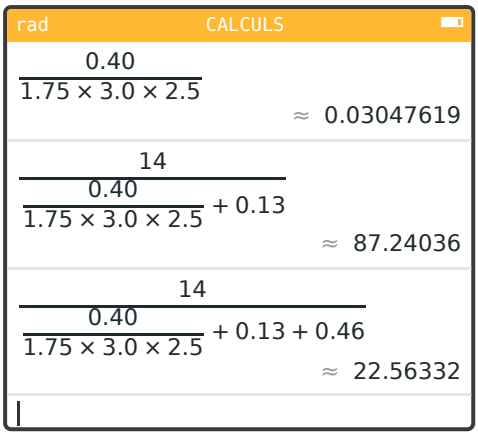
$\Phi_1 = 87$ W et $\Phi_2 = 23$ W

PIÈGE
L'épaisseur du béton est donnée en centimètres : $e = 0{,}40$ m. Le tableau ne donne pas la résistance du mur, il faut la calculer avant d'additionner.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme l'écart de température (14 K) et les résistances du tableau. Un écart de température a la même valeur en kelvins et en degrés Celsius.

MÉTHODE
Garder la valeur non arrondie de R_{mur} dans la calculatrice et n'arrondir que le résultat final.

À LA CALCULATRICE



B.2 En exploitant les valeurs obtenues, conclure quant à l'efficacité de la lame d'air.

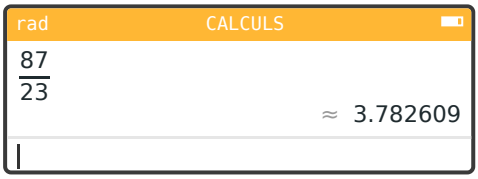
Données utiles $\Phi_1 = 87$ W et $\Phi_2 = 23$ W (B.1)

Pour le même écart de température, $\dfrac{\Phi_1}{\Phi_2} = \dfrac{87}{23} \approx 3{,}8$.

La lame d'air divise par presque 4 le flux thermique perdu vers l'extérieur : elle améliore nettement l'isolation de la façade.

COMPRENDRE
La lame d'air apporte à elle seule $0{,}46\ \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$, soit près de trois fois la résistance de l'ensemble mur et vitrage. Plus la résistance est grande, plus le flux est faible.

À LA CALCULATRICE



C.1 Calculer la variation de l'énergie interne de l'air contenu dans la pièce.

Données utiles $C = 39{,}2\ \text{kJ} \cdot \text{K}^{-1}$; $T_i = 19{,}0$ °C ; $T_f = 23{,}0$ °C

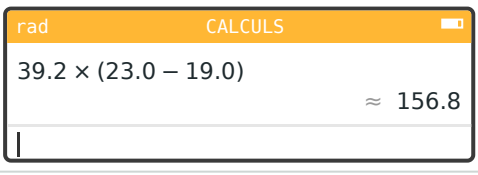
$$\Delta U = C\,(T_f - T_i) = 39{,}2 \times (23{,}0 - 19{,}0) = 157\ \text{kJ}$$

$\Delta U = 157\ \text{kJ} = 1{,}57 \times 10^5$ J

PIÈGE
La capacité thermique est en kilojoules par kelvin : le produit donne des kilojoules. Convertir en joules avant de diviser par une puissance en watts à la question suivante.

COMPRENDRE
ΔU est positive : l'air de la pièce reçoit de l'énergie, sa température augmente.

À LA CALCULATRICE



C.2 Déterminer la valeur de la durée nécessaire au réchauffement de l'air de la pièce de 19 °C à 23 °C.

Données utiles $F_{\text{solaire}} = 675$ W ; 25 % transférés à l'air de la pièce ; $\Delta U = 1{,}568 \times 10^5$ J (C.1)

Puissance thermique reçue par l'air de la pièce : $\Phi = 0{,}25 \times F_{\text{solaire}}$.

L'air ne reçoit que ce transfert thermique, donc $\Delta U = Q = \Phi\,\Delta t$, d'où

$$\Delta t = \frac{\Delta U}{0{,}25 \times F_{\text{solaire}}} = \frac{1{,}568 \times 10^5}{0{,}25 \times 675} = 9{,}3 \times 10^2\ \text{s}$$

$\Delta t = 9{,}3 \times 10^2$ s, soit environ 15 min.

PIÈGE
Diviser par 675 W au lieu de 25 % de 675 W, ou laisser ΔU en kilojoules : la durée serait alors fausse d'un facteur 4 ou 1000.

COMPRENDRE
Cette durée paraît courte : le modèle néglige les pertes de la pièce et l'énergie nécessaire pour chauffer aussi les murs et les meubles. Deux chiffres significatifs, comme 25 %.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$$\frac{1.568 \times 10^5}{0.25 \times 675} \approx 929.1852$$

$$\frac{\frac{1.568 \times 10^5}{0.25 \times 675}}{60} \approx 15.48642$$

D.1 Choisir, en justifiant, parmi les trois expressions proposées celle qui correspond à l'expression du flux thermique de convection.

Données utiles h en $\mathrm{W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}}$; S en $\mathrm{m^2}$; $(T_m - T)$ en K

Un flux thermique s'exprime en watts. On cherche l'unité de chaque expression :

- $\dfrac{h}{S}(T_m - T)$: $\dfrac{\mathrm{W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}}}{\mathrm{m^2}} \times \mathrm{K} = \mathrm{W \cdot m^{-4}}$, ne convient pas ;
- $h\,S\,(T_m - T)$: $\mathrm{W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1} \times m^2 \times K} = \mathrm{W}$, convient ;
- $\dfrac{h\,S}{T_m - T}$: $\dfrac{\mathrm{W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1} \times m^2}}{\mathrm{K}} = \mathrm{W \cdot K^{-2}}$, ne convient pas.

$\Phi_c = h\,S\,(T_m - T)$, seule expression homogène à une puissance.

MÉTHODE
Pour choisir entre plusieurs formules, remplacer chaque grandeur par son unité et simplifier. On peut confirmer par le sens physique : le flux augmente avec la surface et avec l'écart de température.

D.2 En conduisant un raisonnement argumenté, déterminer si, la nuit, le mur restitue la chaleur à l'air de la pièce uniquement selon un mode convectif. Commenter.

Données utiles $h = 10\ \mathrm{W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}}$; $L = 3{,}0$ m ; $H = 2{,}5$ m ; $T_m = 25$ °C ; $T = 19$ °C ; flux total de l'ordre de 4 000 W

Flux de convection entre le mur, de surface $S = L \times H$, et l'air de la pièce :

$$\Phi_c = h\,L\,H\,(T_m - T) = 10 \times 3{,}0 \times 2{,}5 \times (25 - 19) = 4{,}5 \times 10^2\ \mathrm{W}$$

Ce flux est environ neuf fois plus petit que le flux total de 4 000 W : la convection n'en représente qu'environ 11 %.

$\Phi_c = 4{,}5 \times 10^2\ \mathrm{W} \ll 4\,000\ \mathrm{W}$: le mur ne restitue pas la chaleur uniquement par convection ; l'essentiel est cédé par rayonnement infrarouge.

PIÈGE
S'arrêter au calcul de Φ_c. La question demande une comparaison au flux total, une conclusion et le nom de l'autre mode de transfert.

COMPRENDRE
Le schéma du sujet le confirme : des flèches ondulées « rayonnement infrarouge » partent du mur vers la pièce. Le mur chaud émet comme tout corps un rayonnement thermique.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$$10 \times 3.0 \times 2.5 \times (25 - 19) \approx 450$$

$$\frac{450}{4000} \approx 0.1125$$