Corrigé et barème – Transferts thermiques : flux, résistance et loi de Newton

Conduction, convection et rayonnement ; flux thermique et résistance thermique d'une paroi ; parois en série et en parallèle ; bilan thermique du système Terre-atmosphère et effet de serre ; loi phénoménologique de Newton et évolution de la température d'un système.

Durée : 120 min – Calculatrice autorisée – Sur 20 points · Spécialité Physique-Chimie Terminale

Exercice 1 – L'isolation d'une toiture ★★ *(4 pts)*

a) $R_{th} = \dfrac{0{,}24}{0{,}041 \times 68} = \dfrac{0{,}24}{2{,}788}$ (0,5 pt) $\approx 8{,}61 \times 10^{-2}$ $\mathbf{K \cdot W^{-1}}$ (0,5 pt). (1)

b) $\Delta T = 19{,}5 - (-3{,}5) = 23{,}0$ K (0,5 pt) ; $\Phi = \dfrac{23{,}0}{8{,}61 \times 10^{-2}} \approx$ **267 W** (0,5 pt). (1)

c) $\Delta t = 30 \times 86\,400 = 2{,}592 \times 10^{6}$ s ; $Q = \Phi\,\Delta t \approx 6{,}93 \times 10^{8}$ **J** (0,5 pt), soit $\dfrac{6{,}93 \times 10^{8}}{3{,}6 \times 10^{6}} \approx$ **192 kWh** (0,5 pt). (1)

d) $R_2 = \dfrac{23{,}0}{200} = 0{,}115$ K·W^{-1} (0,5 pt) ; $e_2 = R_2\,\lambda S = 0{,}115 \times 2{,}788 \approx 0{,}32$ m, soit **32 cm** (0,5 pt). (1)

Piège — Le flux est en watts ; l'énergie sur une durée se calcule avec des secondes, puis se convertit en kWh.

Exercice 2 – Simple ou double vitrage ? ★★ *(4 pts)*

a) $R_v = \dfrac{4{,}0 \times 10^{-3}}{1{,}05 \times 15{,}0} \approx 2{,}54 \times 10^{-4}$ $\mathbf{K \cdot W^{-1}}$ (0,5 pt) ; $R_a = \dfrac{16 \times 10^{-3}}{0{,}026 \times 15{,}0} \approx 4{,}10 \times 10^{-2}$ $\mathbf{K \cdot W^{-1}}$ (0,5 pt). (1)

b) Les trois couches sont traversées successivement par le même flux : elles sont en série et leurs résistances s'additionnent (0,5 pt). $R = 2R_v + R_a \approx 4{,}15 \times 10^{-2}$ $\mathbf{K \cdot W^{-1}}$ (0,5 pt). (1)

c) $\Phi = \dfrac{19 - 2}{4{,}15 \times 10^{-2}}$ (0,5 pt) $\approx 4{,}1 \times 10^{2}$ **W** (0,5 pt). (1)

d) $\Phi_1 = \dfrac{17}{2{,}54 \times 10^{-4}} \approx 6{,}7 \times 10^{4}$ **W**, environ 160 fois plus (0,5 pt). C'est la lame d'air, très mauvaise conductrice, qui isole ; le verre ne compte presque pas. En réalité, l'air de la lame est mis en mouvement (**convection**) et les deux vitres échangent par **rayonnement** : ces deux modes, ignorés par le calcul de conduction, réduisent le gain (0,5 pt). (1)

Méthode — Couches traversées l'une après l'autre : on additionne les résistances, et c'est la plus grande qui fixe le flux.

Exercice 3 – Au soleil, dans l'espace ★★★ *(4 pts)*

a) La sphère intercepte le rayonnement sur un disque πr^2 et rayonne par sa surface $4\pi r^2$: $1\,361 \times \pi r^2 = \sigma \times 4\pi r^2 \times T^4$ (0,5 pt), d'où $T = \left(\dfrac{1\,361}{4\sigma}\right)^{1/4} \approx \mathbf{278\ K}$ (0,5 pt). (1)

b) Puissance absorbée multipliée par $1 - 0{,}80 = 0{,}20$ (0,5 pt) : $T = \left(\dfrac{0{,}20 \times 1\,361}{4\sigma}\right)^{1/4} \approx \mathbf{186\ K}$ (0,5 pt). Une peinture blanche protège du Soleil. (1)

c) Une même surface S reçoit et rayonne : $1\,361\,S = \sigma S T^4$ (0,5 pt), d'où $T = \left(\dfrac{1\,361}{\sigma}\right)^{1/4} \approx \mathbf{394\ K}$, environ 121 °C (0,5 pt). (1)

d) T^4 est proportionnel à la puissance reçue, donc à $\dfrac{1}{d^2}$: T varie comme $d^{-1/2}$ (0,5 pt). $\dfrac{d}{d_\mathrm{T}} = \left(\dfrac{278{,}3}{273}\right)^2 \approx \mathbf{1{,}04}$: un peu plus loin que la Terre (0,5 pt). (1)

Piège — Le facteur 4 vient de la géométrie : disque éclairé contre surface qui rayonne. Il disparaît pour une plaque qui reçoit et rayonne par la même face.

Exercice 4 – Le refroidissement d'une sonde ★★ *(4 pts)*

a) Système {sonde}, incompressible : $W = 0$ et $\mathrm{d}U = mc\,\mathrm{d}T$; pendant $\mathrm{d}t$, $\delta Q = -hS\,(T - T_{ext})\,\mathrm{d}t$ (0,5 pt). Premier principe : $mc\dfrac{\mathrm{d}T}{\mathrm{d}t} = -hS\,(T - T_{ext})$, soit $\dfrac{\mathrm{d}T}{\mathrm{d}t} + \dfrac{T}{\tau} = \dfrac{T_{ext}}{\tau}$ (0,5 pt). (1)

b) $\tau = \dfrac{mc}{hS} = \dfrac{0{,}140 \times 470}{32 \times 1{,}20 \times 10^{-2}} = \dfrac{65{,}8}{0{,}384}$ (0,5 pt) $\approx 1{,}71 \times 10^2\ \mathbf{s}$ (0,5 pt). (1)

c) $\dfrac{t}{\tau} = \dfrac{240}{171{,}4} \approx 1{,}40$ et $\mathrm{e}^{-1{,}40} \approx 0{,}246$ (0,5 pt) ; $T = 25 + 185 \times 0{,}246 \approx \mathbf{71\ °C}$ (0,5 pt). (1)

d) $\mathrm{e}^{-t/\tau} = \dfrac{60 - 25}{185}$, donc $t = \tau\,\ln\left(\dfrac{185}{35}\right) \approx 2{,}85 \times 10^2\ \mathbf{s}$, environ 4 min 45 s (0,5 pt). La décroissance est exponentielle : le flux cédé diminue avec l'écart, le refroidissement ralentit, et la baisse de température n'est pas proportionnelle à la durée (0,5 pt). (1)

Méthode — Pour une durée : isoler l'exponentielle, puis prendre le logarithme népérien des écarts de température.

Exercice 5 – Une bouteille qui se réchauffe ★★★ *(4 pts)*

a) $\tau = \dfrac{1{,}05 \times 10^3}{0{,}42} = 2{,}5 \times 10^3\ \mathbf{s}$ (0,5 pt), environ 42 min ; $\Phi = hS\,(T_{ext} - T_0) = 0{,}42 \times 15{,}0 \approx \mathbf{6{,}3\ W}$, reçus par la bouteille (0,5 pt). (1)

b) $T = 23{,}0 + (8{,}0 - 23{,}0)\,\mathrm{e}^{-1\,200/2\,500} = 23{,}0 - 15{,}0 \times 0{,}619$ (0,5 pt) $\approx \mathbf{13{,}7\ °C}$ (0,5 pt). (1)

c) $\mathrm{e}^{-t/\tau} = \dfrac{18{,}0 - 23{,}0}{8{,}0 - 23{,}0} = \dfrac{1}{3}$ (0,5 pt) ; $t = 2\,500 \times \ln 3 \approx 2{,}75 \times 10^3\ \mathbf{s}$, environ 46 min (0,5 pt). (1)

d) Cette expression tend vers 0 °C, alors que la bouteille tend vers la température de la pièce, 23,0 °C (0,5 pt) ; et elle décroît, alors que la bouteille se réchauffe. C'est l'**écart** $T - T_{ext}$ qui varie en $\mathrm{e}^{-t/\tau}$ (0,5 pt). (1)

Piège — Réchauffement ou refroidissement, la même formule s'applique : l'écart à la température extérieure, négatif ici, tend vers zéro.

Ce document est la propriété intellectuelle de Ben, professeur particulier (benprofparticulier.fr), protégée par le Code de la propriété intellectuelle (art. L. 111-1 et L. 122-4). Il est mis à disposition pour un usage personnel de révision. Toute reproduction, diffusion, mise en ligne ou revente, totale ou partielle, sans autorisation écrite est interdite et constitue une contrefaçon (art. L. 335-2).