« J'ai froid aux pieds sur le carrelage, je préfère le parquet ! »

Bac 2026 Amérique du Nord Jour 2 · Exercice 1 **11 points** **Durée conseillée 1 h 56**

Q.1 Montrer que l'effusivité s'exprime en $\mathrm{J \cdot K^{-1} \cdot m^{-2} \cdot s^{-1/2}}$.

Données utiles $E = \sqrt{\lambda \times c_v}$; λ en $\mathrm{J \cdot K^{-1} \cdot m^{-1} \cdot s^{-1}}$; c_v en $\mathrm{J \cdot K^{-1} \cdot m^{-3}}$

Le produit $\lambda \times c_v$ a pour unité :

$$(\mathrm{J \cdot K^{-1} \cdot m^{-1} \cdot s^{-1}}) \times (\mathrm{J \cdot K^{-1} \cdot m^{-3}}) = \mathrm{J^2 \cdot K^{-2} \cdot m^{-4} \cdot s^{-1}}$$

Prendre la racine carrée revient à diviser chaque exposant par 2 ($\sqrt{a} = a^{1/2}$) :

E s'exprime en $\mathrm{J \cdot K^{-1} \cdot m^{-2} \cdot s^{-1/2}}$.

MÉTHODE
Pour l'unité d'une grandeur, remplacer chaque terme de la formule par son unité, regrouper les exposants de chaque unité, puis appliquer la puissance demandée.

Q.2 Indiquer le sens dans lequel s'opère le transfert thermique entre le corps chaud et le corps froid.

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

L'énergie passe du carrelage (39,7 °C) vers l'eau (25,4 °C).

Q.3 Rappeler le premier principe de la thermodynamique, en définir les termes et leurs unités, puis l'appliquer au système dans le calorimètre.

Pour un système fermé, au repos à l'échelle macroscopique, qui passe d'un état initial à un état final :

$$\Delta U = W + Q$$

- ΔU : variation de l'énergie interne du système, en joule (J) ;
- W : travail échangé avec l'extérieur, en joule (J) ;
- Q : transfert thermique échangé avec l'extérieur, en joule (J).

W et Q sont comptés positivement s'ils sont reçus par le système.

Pour le système {eau + carrelage}, le calorimètre empêche tout échange avec l'extérieur : $W = 0$ et $Q = 0$.

$\Delta U_{\text{système}} = \Delta U_{\text{eau}} + \Delta U_{\text{carrelage}} = 0$

PIÈGE
$Q = 0$ concerne les échanges avec l'extérieur. À l'intérieur du système, le carrelage cède bien de l'énergie à l'eau, mais cet échange interne n'apparaît pas dans le bilan.

Q.4 Montrer que la variation d'énergie interne de l'eau dans le calorimètre vaut $1{,}50 \times 10^3$ J.

Données utiles $m_{\text{eau}} = 720\ \text{g} = 0{,}720\ \text{kg}$; $c_{\text{eau}} = 4{,}18 \times 10^3\ \mathrm{J \cdot K^{-1} \cdot kg^{-1}}$; $\theta_i = 25{,}4\ °\text{C}$; $\theta_f = 25{,}9\ °\text{C}$

L'eau est un système incompressible : $\Delta U_{\text{eau}} = C_{\text{eau}} \times \Delta T = m_{\text{eau}} \times c_{\text{eau}} \times (\theta_f - \theta_i)$

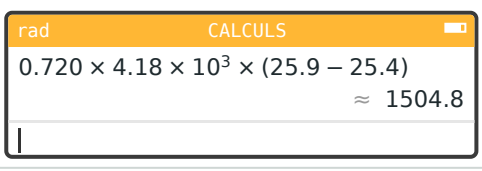
$$\Delta U_{\text{eau}} = 0{,}720 \times 4{,}18 \times 10^3 \times (25{,}9 - 25{,}4) = 1{,}5048 \times 10^3\ \text{J}$$

$\Delta U_{\text{eau}} = 1{,}50 \times 10^3$ J, valeur attendue.

PIÈGE
La masse doit être en kilogramme. En revanche, un écart de température a la même valeur en °C et en K : inutile d'ajouter 273.

COMPRENDRE
Le résultat est écrit avec trois chiffres significatifs, comme la masse et c_{eau}, ainsi que le fait l'énoncé. Il est positif : l'eau reçoit de l'énergie.

À LA CALCULATRICE



Q.5 En déduire que la capacité thermique du morceau de carrelage vaut $C_{\text{carrelage}} = 109\ \text{J}\cdot\text{K}^{-1}$.

Données utiles $\Delta U_{\text{eau}} = 1{,}50\times10^{3}$ J (Q.4) ; carrelage : $\theta_i = 39{,}7$ °C ; $\theta_f = 25{,}9$ °C

D'après Q.3 : $\Delta U_{\text{carrelage}} = -\Delta U_{\text{eau}}$.

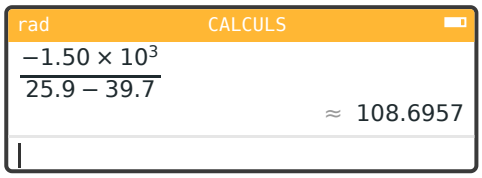
Le carrelage est incompressible : $\Delta U_{\text{carrelage}} = C_{\text{carrelage}} \times (\theta_f - \theta_i)$, donc

$$C_{\text{carrelage}} = \frac{-\Delta U_{\text{eau}}}{\theta_f - \theta_i} = \frac{-1{,}50\times10^{3}}{25{,}9 - 39{,}7} = 109\ \text{J}\cdot\text{K}^{-1}$$

$C_{\text{carrelage}} = 109\ \text{J}\cdot\text{K}^{-1}$, valeur attendue.

PIÈGE
La variation de température est toujours « finale moins initiale » : elle est négative pour le carrelage, qui refroidit. Oublier ce signe donne une capacité thermique négative, ce qui n'a pas de sens.

À LA CALCULATRICE



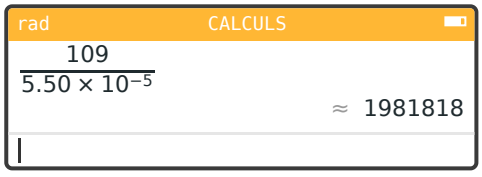
Q.6 Calculer la valeur de la capacité thermique volumique du carrelage $c_{v\,\text{carrelage}}$.

Données utiles $C_{\text{carrelage}} = 109\ \text{J}\cdot\text{K}^{-1}$ (Q.5) ; $V = 5{,}50\times10^{-5}\ \text{m}^3$

$$c_{v\,\text{carrelage}} = \frac{C_{\text{carrelage}}}{V} = \frac{109}{5{,}50\times10^{-5}}$$

$c_{v\,\text{carrelage}} = 1{,}98\times10^{6}\ \text{J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{m}^{-3}$

À LA CALCULATRICE



Q.7 Montrer que l'effusivité du carrelage vaut $E_{\text{carrelage}} = 1{,}60\times10^{3}\ \text{J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1/2}$.

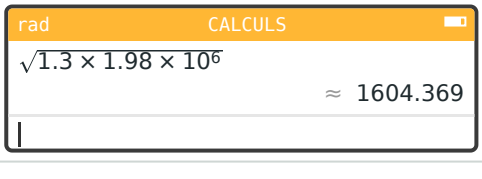
Données utiles $\lambda_{\text{carrelage}} = 1{,}3\ \text{J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$; $c_{v\,\text{carrelage}} = 1{,}98\times10^{6}\ \text{J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{m}^{-3}$ (Q.6)

$$E_{\text{carrelage}} = \sqrt{\lambda_{\text{carrelage}} \times c_{v\,\text{carrelage}}} = \sqrt{1{,}3\times1{,}98\times10^{6}}$$

$E_{\text{carrelage}} = 1{,}60\times10^{3}\ \text{J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1/2}$, valeur attendue.

COMPRENDRE
$\lambda_{\text{carrelage}}$ n'a que deux chiffres significatifs : en toute rigueur le résultat s'écrit $1{,}6\times10^{3}$. L'énoncé en affiche trois ; on montre que le calcul redonne bien cette valeur.

À LA CALCULATRICE



Q.8 Justifier la cohérence des valeurs d'effusivité des matériaux par rapport au texte d'introduction.

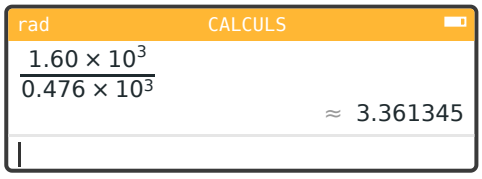
Données utiles $E_{\text{carrelage}} = 1{,}60\times10^{3}$ et $E_{\text{bois}} = 0{,}476\times10^{3}\ \text{J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1/2}$

$$\frac{E_{\text{carrelage}}}{E_{\text{bois}}} = \frac{1{,}60\times10^{3}}{0{,}476\times10^{3}} \approx 3{,}4$$

Le texte range le carrelage parmi les matériaux de forte effusivité (il absorbe vite l'énergie sans se réchauffer en surface) et le bois parmi ceux de faible effusivité (sa surface se réchauffe vite).

$E_{\text{carrelage}} \approx 3{,}4 \times E_{\text{bois}}$: les valeurs sont cohérentes avec le texte.

À LA CALCULATRICE



Q.9 Exprimer la valeur de $T_{\text{mesure.SB}}$ en kelvin.

Données utiles $\theta_{\text{mesure.SB}} = 28{,}3$ °C ; $T(\text{K}) = \theta(^\circ\text{C}) + 273$

$$T_{\text{mesure.SB}} = \theta_{\text{mesure.SB}} + 273 = 28{,}3 + 273$$

$$\boxed{T_{\text{mesure.SB}} = 301{,}3 \text{ K}}$$

Q.10 Calculer la valeur de la température de contact théorique $T_{\text{calcul.SB}}$ entre la poche de silicone et le bois.

Données utiles $E_{\text{silicone}} = 0{,}756 \times 10^3$ et $E_{\text{bois}} = 0{,}476 \times 10^3$ J · K^{-1} · m^{-2} · s$^{-1/2}$; $\theta_{i\,\text{silicone}} = 34{,}1$ °C ; $\theta_{i\,\text{bois}} = 19{,}6$ °C

Températures initiales en kelvin : $T_{\text{silicone}} = 34{,}1 + 273 = 307{,}1$ K et $T_{\text{bois}} = 19{,}6 + 273 = 292{,}6$ K.

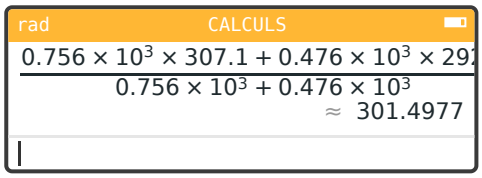
$$T_{\text{calcul.SB}} = \frac{E_{\text{silicone}} \times T_{\text{silicone}} + E_{\text{bois}} \times T_{\text{bois}}}{E_{\text{silicone}} + E_{\text{bois}}}$$

$$T_{\text{calcul.SB}} = \frac{0{,}756 \times 10^3 \times 307{,}1 + 0{,}476 \times 10^3 \times 292{,}6}{0{,}756 \times 10^3 + 0{,}476 \times 10^3}$$

$$\boxed{T_{\text{calcul.SB}} = 301{,}5 \text{ K (soit 28,5 °C)}}$$

COMPRENDRE
La température de contact est une moyenne des deux températures initiales, pondérée par les effusivités : elle se rapproche de celle du matériau le plus effusif. On garde le dixième de kelvin, comme pour les températures mesurées.

À LA CALCULATRICE



Q.11 Comparer les températures de contact mesurées $T_{\text{mesure.SB}}$ et $T_{\text{mesure.SC}}$ aux températures calculées $T_{\text{calcul.SB}}$ et $T_{\text{calcul.SC}}$, et conclure.

Données utiles $T_{\text{mesure.SB}} = 301{,}3$ K (Q.9) ; $T_{\text{calcul.SB}} = 301{,}5$ K (Q.10) ; $T_{\text{mesure.SC}} = 297{,}2$ K ; $T_{\text{calcul.SC}} = 297{,}4$ K ; incertitude-type $u(T) = 0{,}2$ K

Silicone-bois : $\dfrac{|T_{\text{mesure.SB}} - T_{\text{calcul.SB}}|}{u(T)} = \dfrac{|301{,}3 - 301{,}5|}{0{,}2} = 1$

Silicone-carrelage : $\dfrac{|T_{\text{mesure.SC}} - T_{\text{calcul.SC}}|}{u(T)} = \dfrac{|297{,}2 - 297{,}4|}{0{,}2} = 1$

Dans les deux cas l'écart vaut une seule incertitude-type, donc moins de deux.

Les valeurs mesurées sont compatibles avec les valeurs calculées : la relation de la température de contact est validée.

MÉTHODE
Comparer une mesure à une valeur de référence : calculer l'écart, le diviser par l'incertitude-type. Si le quotient est inférieur à 2, mesure et référence sont compatibles.

Q.12 Expliquer les raisons de la sensation décrite dans le titre de l'exercice.

Données utiles $T_{\text{mesure.SB}} = 301{,}3$ K ; $T_{\text{mesure.SC}} = 297{,}2$ K

Température de contact du « pied » : 301,3 K (28,3 °C) sur le bois, contre 297,2 K (24,2 °C) sur le carrelage, soit environ 4 °C de moins.

Le carrelage est plus effusif que le bois : il absorbe rapidement l'énergie cédée par le pied sans que sa surface se réchauffe, et la température de contact reste proche de celle du sol. Le bois se réchauffe vite en surface : la température de contact reste plus proche de celle du pied.

La peau est plus froide au contact du carrelage qu'au contact du bois : le carrelage paraît plus froid, alors que les deux sols sont à la même température.

PIÈGE
Le pied ne mesure pas la température du sol mais la température de contact. Écrire « le carrelage est plus froid que le parquet » est faux.

Q.13 Préciser quel transfert thermique supplémentaire, lié à la présence d'eau liquide, apparaît dans le thermostat par rapport aux matériaux solides.

Entre deux solides en contact, le transfert thermique se fait par conduction. L'eau liquide est un fluide : elle peut se déplacer et transporter de l'énergie avec elle.

Le transfert supplémentaire est la convection.

Q.14 Donner l'expression du transfert thermique Q en fonction du flux thermique ϕ pendant une durée très petite Δt.

Le flux thermique est l'énergie transférée par unité de temps : $\phi = \dfrac{Q}{\Delta t}$.

$$Q = \phi \times \Delta t$$

COMPRENDRE
Un flux thermique est une puissance, en watt ($\mathrm{J \cdot s^{-1}}$). La durée doit être très petite pour que ϕ, qui dépend de θ, puisse être considéré comme constant.

Q.15 Montrer, en appliquant le premier principe au silicone, que la température vérifie $\dfrac{\mathrm{d}\theta}{\mathrm{d}t} + \dfrac{1}{\tau}\theta = \dfrac{1}{\tau}\theta_T$ avec $\tau = \dfrac{C_{\text{silicone}}}{h_{\text{eau-silicone}} \times S}$.

Système {silicone de la poche}, incompressible, au repos. Entre t et $t + \Delta t$, sa température varie de $\Delta\theta$.

Premier principe : $\Delta U = W + Q$ avec $W = 0$, donc $\Delta U = Q$.

Or $\Delta U = C_{\text{silicone}} \times \Delta\theta$ et $Q = \phi \times \Delta t = h_{\text{eau-silicone}} \times S \times (\theta_T - \theta) \times \Delta t$, d'où

$$C_{\text{silicone}} \times \frac{\Delta\theta}{\Delta t} = h_{\text{eau-silicone}} \times S \times (\theta_T - \theta)$$

Quand Δt tend vers 0, $\dfrac{\Delta\theta}{\Delta t}$ tend vers $\dfrac{\mathrm{d}\theta}{\mathrm{d}t}$:

$$\frac{\mathrm{d}\theta}{\mathrm{d}t} = \frac{h_{\text{eau-silicone}} \times S}{C_{\text{silicone}}} \times (\theta_T - \theta) = \frac{1}{\tau}(\theta_T - \theta)$$

$$\frac{\mathrm{d}\theta}{\mathrm{d}t} + \frac{1}{\tau}\theta = \frac{1}{\tau}\theta_T \text{ avec } \tau = \frac{C_{\text{silicone}}}{h_{\text{eau-silicone}} \times S}$$

PIÈGE
Le signe se vérifie : ici $\theta > \theta_T$, donc $\phi < 0$ et $\dfrac{\mathrm{d}\theta}{\mathrm{d}t} < 0$. Le silicone cède de l'énergie et sa température diminue.

MÉTHODE
Toujours le même enchaînement : système ; premier principe avec $W = 0$; $\Delta U = C\,\Delta\theta$; $Q = \phi\,\Delta t$; division par Δt et passage à la limite ; mise sous la forme demandée.

Q.16 Comparer les deux courbes obtenues en annexe et commenter.

Points communs : les deux courbes décroissent de moins en moins vite et tendent vers la température du thermostat, voisine de 0 °C. Elles sont presque confondues au-delà de 5×10^3 s.

Différences : la courbe mesurée part d'environ 16 °C, alors que le modèle part de 11,6 °C. Elle chute plus vite au tout début, passe sous le modèle, le croise vers 1×10^3 s, puis reste légèrement au-dessus jusqu'à environ 5×10^3 s.

Le modèle exponentiel décrit correctement l'allure du refroidissement, mais pas les premiers instants.

COMPRENDRE
L'équation du modèle se lit comme la solution : $\theta(0) - \theta_T = 11{,}6$ °C, $\tau = 1{,}04 \times 10^3$ s et $\theta_T = 16{,}3 \times 10^{-3}$ °C, soit pratiquement 0 °C.

Q.17 Déterminer la valeur du temps caractéristique τ par construction graphique sur l'annexe.

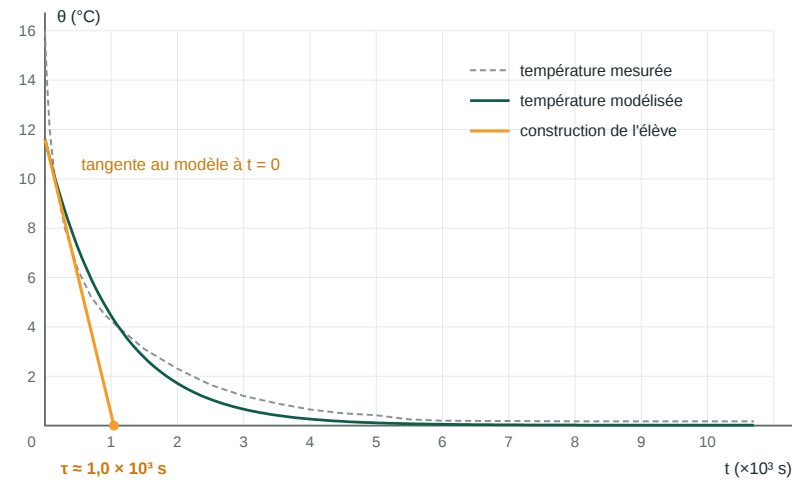
On trace la tangente à la courbe modélisée à l'instant $t = 0$. Elle coupe l'asymptote $\theta = \theta_T$, ici confondue avec l'axe des temps, à l'instant $t = \tau$.

Lecture sur l'annexe : la tangente coupe l'axe des temps à la graduation 1.

$\tau \approx 1{,}0 \times 10^3$ s

PIÈGE
La tangente se trace sur la courbe du modèle, pas sur les mesures, dont le départ est différent. L'axe est gradué en milliers de secondes.

MÉTHODE
Autre construction : à $t = \tau$, l'écart à l'asymptote ne vaut plus que 37 % de l'écart initial. Ici $0{,}37 \times 11{,}6 \approx 4{,}3$ °C, atteint vers $1{,}0 \times 10^3$ s.



Q.17 · Annexe complétée : tangente à l'origine de la courbe modélisée

Q.18 Calculer la valeur de $h_{\text{eau-silicone}}$.

Données utiles $C_{\text{silicone}} = 179\ \text{J} \cdot \text{K}^{-1}$; $S = 0{,}0172\ \text{m}^2$; $\tau = 1{,}0 \times 10^3$ s (Q.17)

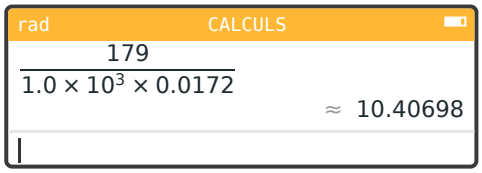
$$\tau = \frac{C_{\text{silicone}}}{h_{\text{eau-silicone}} \times S} \text{ donc}$$

$$h_{\text{eau-silicone}} = \frac{C_{\text{silicone}}}{\tau \times S} = \frac{179}{1{,}0 \times 10^3 \times 0{,}0172}$$

$h_{\text{eau-silicone}} \approx 10\ \text{J} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs seulement : la lecture graphique de τ limite la précision. Avec la valeur du modèle, $1{,}04 \times 10^3$ s, on obtient aussi 10.

À LA CALCULATRICE



Q.19 Comparer les valeurs des deux coefficients conducto-convectifs et indiquer le fluide dans lequel le pied se refroidit le plus vite.

Données utiles $h_{\text{eau-silicone}} \approx 10\ \text{J} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ (Q.18) ; $h_{\text{air-silicone}} = 3{,}51\ \text{J} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$

$$\frac{h_{\text{eau-silicone}}}{h_{\text{air-silicone}}} = \frac{10}{3{,}51} \approx 3$$

Plus le coefficient est grand, plus le flux thermique est important pour un même écart de température, et plus le temps caractéristique $\tau = \frac{C}{h \times S}$ est court.

$h_{\text{eau-silicone}} \approx 3 \times h_{\text{air-silicone}}$: le pied se refroidit plus vite dans l'eau que dans l'air.

À LA CALCULATRICE

