Calculatrice autorisée

Exercice 1 : Une maison moins gourmande en énergie

11,5 points

Isoler les parois, chauffer l'eau grâce au Soleil, prévoir le refroidissement d'une boisson : la thermodynamique aide à moins dépenser d'énergie à la maison.

Partie A : isoler un comble

Au-dessus des pièces d'habitation d'une maison se trouve un comble qui n'est pas chauffé. Pour limiter les pertes, la propriétaire envisage d'isoler le plancher qui sépare ce comble de l'étage habité.

Données

- Température de l'air du comble : $\theta_1 = 3{,}0\,^\circ\mathrm{C}$; température de l'étage habité : $\theta_2 = 19\,^\circ\mathrm{C}$.
- Aire du plancher du comble : $S = 60\,\mathrm{m}^2$.
- Résistance thermique du plancher, avant travaux : $R = 6{,}4 \times 10^{-3}\,\mathrm{K{\cdot}W^{-1}}$.
- $1\,\mathrm{kW{\cdot}h} = 3{,}6 \times 10^6\,\mathrm{J}$.

1) Préciser, en justifiant, le sens du transfert thermique à travers le plancher.

2) Calculer le flux thermique Φ qui traverse le plancher.

3) En déduire l'énergie perdue à travers le plancher en une journée, exprimée en kilowattheures $(\mathrm{kW{\cdot}h})$.

Les isolants se distinguent par leur conductivité thermique λ : plus elle est grande, plus le matériau laisse passer facilement l'énergie thermique. Un fournisseur propose quatre matériaux, tous vendus en panneaux rigides.

Matériau	Laine de verre	Fibre de bois	Liège expansé	Mousse de polyuréthane
$\lambda\ (\mathrm{W{\cdot}m^{-1}{\cdot}K^{-1}})$	0,032	0,038	0,040	0,022

4) Quel matériau faut-il recommander à la propriétaire ? Justifier.

5) Après travaux, la résistance thermique de l'ensemble {plancher + isolant} doit valoir $R' = 1{,}0 \times 10^{-1}\,\mathrm{K{\cdot}W^{-1}}$. Lorsque des parois sont accolées, leurs résistances thermiques s'additionnent. Calculer la résistance thermique R_{iso} que doit avoir la couche d'isolant choisie à la question 4.

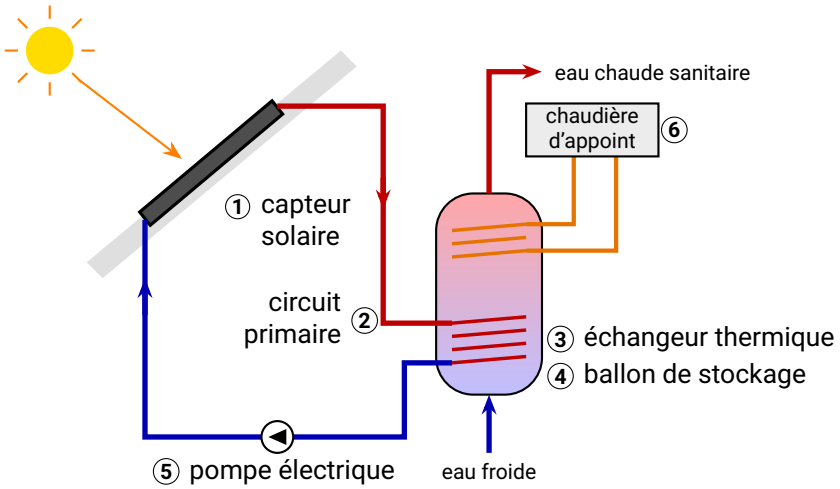
6) La résistance thermique d'une paroi plane d'épaisseur e et d'aire S, constituée d'un matériau de conductivité thermique λ, a pour expression :

$$R_{\mathrm{th}} = \frac{e}{\lambda \times S}$$

Déterminer l'épaisseur minimale des panneaux d'isolant à poser.

Partie B : un chauffe-eau solaire

Pour produire son eau chaude sanitaire, la propriétaire étudie l'installation d'un chauffe-eau solaire, dont le principe est schématisé ci-dessous.



Le capteur solaire (1), placé sur le toit et couvert d'une vitre, fonctionne comme une petite serre. Un liquide caloporteur (eau additionnée d'antigel) y circule dans des tubes et s'y réchauffe. Il descend ensuite, par le circuit primaire (2) calorifugé, jusqu'à un serpentin, l'échangeur thermique (3), plongé dans le bas du ballon de stockage (4). Le liquide caloporteur et l'eau sanitaire ne se mélangent jamais : le liquide cède de l'énergie à l'eau à travers la paroi métallique du serpentin, puis remonte, refroidi, vers le capteur. La circulation est assurée par une pompe électrique (5), mise en marche seulement quand le liquide du capteur est plus chaud que l'eau du ballon. Quand l'ensoleillement ne suffit pas (en hiver par exemple), un second serpentin, alimenté par une chaudière d'appoint (6), chauffe le haut du ballon.

7) Nommer les trois modes de transfert thermique. Pour chacun, préciser s'il nécessite un milieu matériel et en donner une interprétation à l'échelle microscopique.

8) Indiquer le mode de transfert thermique prépondérant : au niveau du capteur solaire (1) ; au niveau de l'échangeur thermique (3) ; dans l'eau du ballon de stockage (4).

9) Sous quelle forme la pompe électrique (5) transfère-t-elle de l'énergie au liquide caloporteur ?

10) Lors de son passage dans le capteur, la température du liquide caloporteur augmente. Comment évolue son énergie interne ? Justifier.

Partie C : de l'eau chaude pour une tisane

La propriétaire fait chauffer, dans un bol placé au four à micro-ondes, un volume $V = 350\,\text{mL}$ d'eau prise à $\theta_\text{i} = 15\,^\circ\text{C}$, qu'elle souhaite porter à $\theta_\text{f} = 85\,^\circ\text{C}$.

Données

- Masse volumique de l'eau : $\rho_\text{eau} = 1{,}00\,\text{kg}\cdot\text{L}^{-1}$.
- Capacité thermique massique de l'eau : $c_\text{eau} = 4\,180\,\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$.

11) Calculer la variation d'énergie interne ΔU de l'eau entre le début et la fin du chauffage.

12) Le four fonctionne à la puissance $P = 800\,\text{W}$ et l'on admet que toute l'énergie qu'il fournit est reçue par l'eau. Déterminer la durée de chauffage nécessaire.

Partie D : attendre que la tisane refroidisse

La tisane se boit agréablement à $60\,°\mathrm{C}$. Sortie du four à $\theta_\mathrm{f} = 85\,°\mathrm{C}$, elle refroidit dans la cuisine, dont l'air est à la température constante $\theta_\mathrm{a} = 22\,°\mathrm{C}$.

Refroidissement d'un système incompressible. Un système incompressible au repos, fermé, de masse m, de capacité thermique massique c et de température θ, n'échange de l'énergie que par transfert thermique avec un fluide jouant le rôle de thermostat, de température constante θ_a. Le flux thermique reçu par le système suit la loi phénoménologique de Newton :

$$\Phi = h \times S \times (\theta_\mathrm{a} - \theta)$$

où S est l'aire de la surface d'échange et h le coefficient d'échange convectif, tous deux constants.

13) En appliquant le premier principe de la thermodynamique au système {eau du bol}, établir l'équation différentielle vérifiée par sa température $\theta(t)$.

14) À partir de mesures non fournies ici, on obtient pour la solution de cette équation, avec t en secondes et θ en degrés Celsius :

$$\theta(t) = 63\,\mathrm{e}^{-t/750} + 22$$

Déterminer au bout de combien de temps la tisane atteint la température de $60\,°\mathrm{C}$.

15) En pratique, la tisane atteint $60\,°\mathrm{C}$ plusieurs minutes avant la date prévue, bien que les mesures aient été faites avec soin. Proposer au moins une explication.

Exercice 2 : Le badge sans contact de la cantine

8,5 points

Dans de nombreux restaurants scolaires, il suffit d'approcher son badge d'une borne pour que le portillon s'ouvre. Le badge, sans pile, renferme une étiquette d'identification par radiofréquence : une puce électronique et une petite bobine servant d'antenne. À quelques centimètres de la borne, l'onde électromagnétique qu'elle émet fait naître un courant dans la bobine, qui charge un condensateur. Dès que la tension du condensateur est suffisante, la puce s'active et renvoie le numéro du badge par onde électromagnétique ; la borne le reconnaît et libère le portillon. Aux heures d'affluence, l'opération doit être très rapide.

Au laboratoire, on modélise le circuit du badge par le montage de la figure 1. La bobine est remplacée par un générateur idéal de tension, de force électromotrice E ; le conducteur ohmique, de résistance $R = 680\,\mathrm{k\Omega}$, représente la résistance du circuit du badge. L'arrivée du badge près de la borne correspond à la fermeture de l'interrupteur K à la date $t = 0$, le condensateur de capacité C étant alors déchargé. Quand la tension u_C aux bornes du condensateur dépasse une valeur seuil U_S, le module électronique P (rôle de la puce) alimente un buzzer H, qui émet un son.

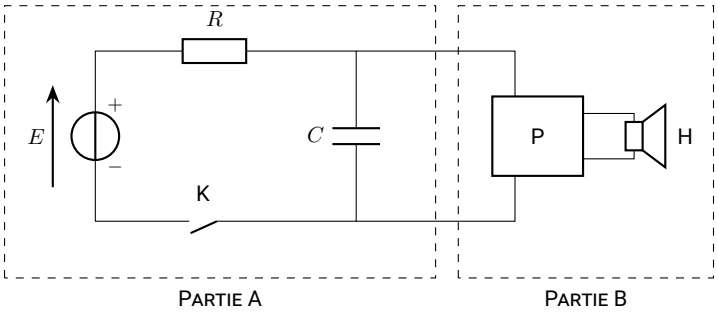


Figure 1 – Modèle du circuit du badge (à compléter sur le sujet)

On étudie uniquement la partie A du montage.

1) Sur la figure 1, interrupteur K fermé, représenter : le sens du courant i dans la branche qui contient le condensateur ; les charges $+q$ et $-q$ portées par ses armatures ; les flèches des tensions u_C (aux bornes du condensateur) et u_R (aux bornes du conducteur ohmique), en convention récepteur.

2) Écrire la relation entre l'intensité i et la charge q, puis la relation entre la charge q et la tension u_C. Préciser l'unité de chaque grandeur.

3) Établir que la tension u_C vérifie l'équation différentielle :

$$\frac{\mathrm{d}u_C}{\mathrm{d}t} = -\frac{1}{RC}\,u_C + \frac{E}{RC}$$

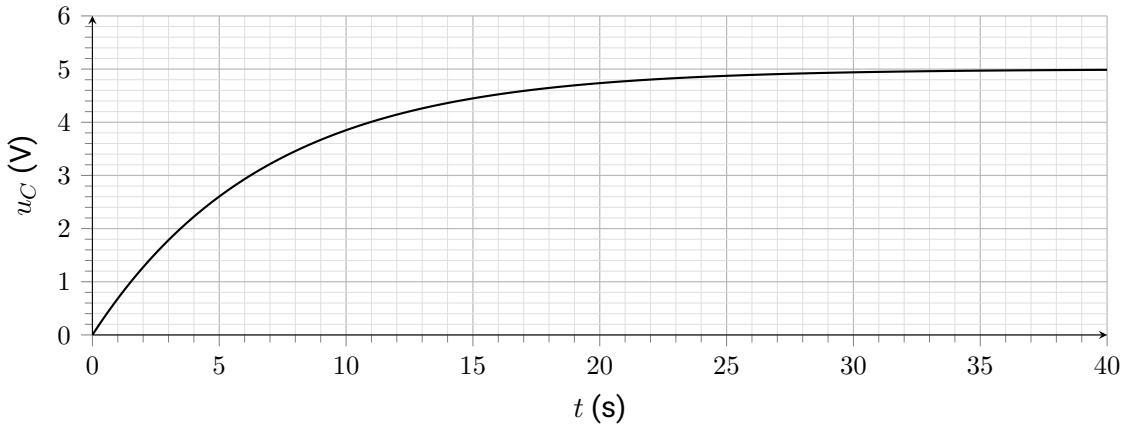


Figure 2 – Évolution de u_C au cours de la charge (à compléter sur le sujet)

4) On pose $\tau = R \times C$. Vérifier que la fonction $u_C(t) = E\left(1 - \mathrm{e}^{-t/\tau}\right)$ est solution de l'équation différentielle de la question 3.

5) Quelle est la limite de u_C quand la durée de charge devient très grande ? En s'appuyant sur un tracé sur la figure 2, en déduire la valeur de E. Justifier brièvement.

6) Montrer, par une analyse dimensionnelle, que τ est homogène à une durée.

7) Déterminer la valeur de τ par la méthode de votre choix, en laissant apparaître la construction sur la figure 2.

8) En déduire la capacité C du condensateur. Cette valeur est-elle d'un ordre de grandeur courant pour un condensateur ?

9) Montrer qu'à la date $t = 5\tau$, $u_C = 0{,}99\,E$.

10) À l'aide du résultat précédent, délimiter sur la figure 2 les deux régimes de fonctionnement du circuit et les nommer. Expliquer brièvement.

11) Le buzzer ne sonne qu'à la date $t = 2\tau$, appelée temps de réponse du montage. Déterminer graphiquement la tension seuil U_S. La charge est-elle terminée à cette date ? Ce délai convient-il au passage du portillon de la cantine ? Argumenter.