

Énergie interne et transfert thermique

TD2

🎓 Capacités exigibles

- Définir le flux thermique à travers une paroi comme un débit d'énergie équivalent à une puissance.
- Calculer le flux thermique à travers une paroi.
- Exploiter la relation entre flux thermique à travers une paroi en régime permanent, résistance thermique et écart de température.
- Relier qualitativement l'augmentation de la résistance thermique d'une paroi à la diminution du flux thermique la traversant pour un même écart de température.
- Calculer la valeur de la résistance thermique d'une paroi à partir de son épaisseur et de la conductivité thermique du matériau.
- Calculer la résistance thermique d'une paroi composée de plusieurs couches de matériaux différents.

📌 Niveaux

- ♥ À savoir refaire !
- 📦 Niveau découverte
- ★ Niveau apprenti
- ★★ Niveau confirmé
- ★★★ Niveau expert

Exercice 1 : Questions de cours ♥

- Q1** Rappeler l'origine de l'énergie interne.
- Q2** Rappeler les trois types de transferts thermiques et leurs caractéristiques.
- Q3** Avec vos mots, décrire la notion de flux et de flux surfacique. Toujours avec vos mots, donner la relation les reliant.
- Q4** La conductivité thermique dépend-elle de l'épaisseur du matériau ?
- Q5** Sachant que la résistance thermique s'exprime en $\text{K} \cdot \text{W}^{-1}$, retrouver par analyse dimensionnelle son expression.
- Q6** Dans le cas d'une paroi multicouche en série, comment calcule-t-on la résistance totale ?
- Q7** Pour une façade de maison avec une fenêtre, exprimer (littéralement) la résistance.

Exercice 2 : Calculs de flux thermiques ★

Dans chaque cas, calculer le flux thermique :

- Q1** Une quantité de chaleur $Q = 650 \text{ kJ}$ est échangé à travers une paroi en 1h15.
- Q2** La différence de température entre deux faces d'une paroi de résistance $R_{\text{th}} = 5.35 \text{ K} \cdot \text{W}^{-1}$ est de 17°C .
- Q3** La différence de température entre deux faces de laine de mouton (épaisseur de 5.0 cm et surface de 1.0 m^2) est de 17°C . On donne $\lambda = 0.035 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.

Exercice 3 : La glacière ★

La température à l'intérieur d'une glacière est de 5°C , celle de l'extérieur est de 20°C . On supposera ces températures constantes. Le flux thermique échangé entre l'intérieur de la glacière et l'extérieur est de 14 W.

- Q1** Calculer la résistance thermique de la glacière.
- Q2** Préciser le sens de ce transfert. Commenter.
- Q3** Quelle est l'énergie thermique transférée en une heure ?
- Q4** Proposer des améliorations pour réduire ce flux.

Exercice 4 : Résistance thermique des vêtements ★★

Plusieurs mesures de résistance thermique surfacique (r_{th}) d'un même pull en fibre polaire ont été réalisées. Voici les résultats :

| Mesure | 1 | 2 | 3 | 4 | | |
|--|------|------|------|------|------|------|
| r_{th} en $\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$ | 0.46 | 0.47 | 0.45 | 0.45 | | |
| | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| | 0.49 | 0.47 | 0.46 | 0.47 | 0.45 | 0.46 |

- Q1** Évaluer l'incertitude-type sur les mesures effectuées et proposer une valeur de résistance thermique.
 ⚠ On prêtera ici une grande attention à la rédaction !
- Q2** La résistance thermique des vêtements se mesure habituellement en "clo" tel que $1 \text{ clo} =$

$0.155 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$. Sachant que la résistance thermique d'un pull en fibre polaire est de l'ordre de 3 clo, les résultats de l'expérience vous semblent-ils cohérents ?

Exercice 5 : Fenêtre et résistance thermique ★★

Dans les années 1970, les premiers doubles vitrages ont vu le jour afin de limiter les pertes d'énergie mais aussi de supprimer la condensation sur les fenêtres en hiver. Différentes améliorations ont alors été proposées :

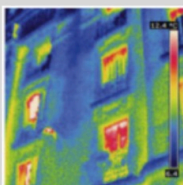
Document 1 : Améliorations

La première et la plus répandue est le double vitrage à lame d'argon. Il est constitué de deux plaques de verre de 4.0 mm d'épaisseurs séparées par 16 mm de gaz d'argon.

La seconde consiste en un triple vitrage. Il est constitué de trois plaques de verre de 4.0 mm d'épaisseur séparées par 16 mm d'air. Malgré le fait qu'elle soit plus performante en terme de résistance thermique, cette solution a eu du mal à s'imposer car elle réduit les apports en énergie solaire et présente un coût plus important. Enfin, ces fenêtres sont plus lourdes et nécessite plus de matières premières.

Document 2 : Pont thermique

Les pourtours des fenêtres sont souvent des zones dites de pont thermique : elles présentent un défaut d'isolation, le flux thermique peut alors s'avérer important.



Q1 En vous appuyant sur les documents, donner deux arguments justifiant le changement des fenêtres lors d'une rénovation thermique des bâtiments.

Q2 Réaliser un schéma des deux types de vitrage cités dans le document 1.

Q3 Calculer la résistance thermique pour 1.0 m^2 de chacun de ces deux vitrages et indiquer celui qui est le plus rentable du point de vue de la résistance thermique.

Données :

- $\lambda_{\text{air}} = 0.024 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$;
- $\lambda_{\text{argon}} = 0.017 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$;
- $\lambda_{\text{verre}} = 1.0 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.

Exercice 6 : Isolation d'un cabanon ★★

Léonie décide d'aménager son cabanon de jardin en salle de jeux pour ses enfants et compte équiper son cabanon d'un chauffage. Les murs et le toit sont constitués de bois de 3.0 cm d'épaisseur recouverts avec des panneaux isolants en fibre de bois de 10 cm d'épaisseur. La superficie des murs et du toit est de 60 m^2 .

Q1 Déterminer la résistance thermique surfacique des murs et du toit.

Q2 Léonie souhaite utiliser son cabanon en hiver. La température à l'intérieur et à l'extérieur sont égales toutes deux à -5°C . Que vaut le flux thermique ?

Q3 Léonie met le chauffage en route. Comment évolue la température intérieure ? le flux thermique total ?

Q4 Que vaut le flux thermique total lorsque le système arrive à l'équilibre sachant que le chauffage fournit une puissance de 500 W.

Q5 Si on néglige les pertes par le sol et la porte, déterminer la température à l'intérieur du cabanon si la température extérieure reste égale à -5°C .

Données :

- Conductivité thermique du bois :
 $\lambda_B = 1.15 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$;
- Conductivité thermique de la fibre de bois :
 $\lambda_F = 0.038 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.

Exercice 7 : Stockage d'une carotte de glace (extrait du Baccalauréat 2021, Métropole)**Mots clés : résistance thermique, flux thermique, molécules organiques**

Afin de prélever un échantillon de glace, les glaciologues réalisent des forages aussi appelés carottages. Ils consistent en une découpe verticale réalisée à l'aide d'un carottier, un tube en acier en forme de vis, dont l'extrémité est équipée de lames coupantes. Les glaciologues récupèrent un cylindre de glace, la carotte. Celle-ci est alors protégée dans une housse, après avoir été mesurée, numérotée et qualifiée (haut / bas, lieu, profondeur de prélèvement), puis soigneusement stockée dans des boîtes isothermes jusqu'à son transport par conteneur frigorifique.

La chaîne de froid, à mettre en place du lieu de forage jusqu'au stockage, est particulièrement sensible et représente un élément crucial dans une opération de carottage.

D'après : www.ice-memory.org

On souhaite étudier la performance thermique d'une boîte isolée par un nouveau matériau technique : les panneaux ISOVIP.

Les isolants sous vide

Appelés PIV (panneaux isolants sous-vide) ou VIP (Vacuum Insulation Panels), les isolants sous-vide, qui ont fait leur apparition sur le marché il y a quelques années, restent une solution pour l'isolation par l'intérieur fort intéressante.

Leur principal atout est une conductivité thermique particulièrement faible.



Au moment de leur création, les panneaux ISOVIP présentait la meilleure performance thermique du marché, avec une conductivité thermique λ de $0,0052 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$, **soit 6 à 8 fois moins que les plus performantes des laines de verre actuelles.**

La résistance thermique des panneaux ISOVIP, d'épaisseur $e = 36 \text{ mm}$, est en moyenne de :

- $R = 6,2 \text{ m}^2\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}$ pour les petits panneaux ($600 \times 300 \text{ mm}$) ;
- $R = 6,7 \text{ m}^2\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}$ pour les grands panneaux ($600 \times 1000 \text{ mm}$).

À noter : le calcul de la résistance thermique pour ce produit fait l'objet d'un traitement un peu spécial, qui tient compte des « **effets de bords** », la conductivité des « bords » de panneaux en polyester métallisé étant supérieure à celle du « cœur de panneau ».

D'où le fait que l'on ne retrouve pas exactement la formule $R = \frac{e}{\lambda}$.

Source : www.isover.fr/guides/materiaux-isolants

La boîte est transportée dans un conteneur frigorifique dont la température est maintenue constante à $\theta_{\text{conteneur}} = -18\text{ °C}$.

Caractéristiques techniques de la boîte isotherme

Constitution des parois :

- plaques en aluminium : épaisseur 1,0 mm, conductivité thermique de l'aluminium $\lambda_{\text{alu}} = 220\text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$;
- doublées à l'intérieur de panneaux ISOVIP (4 grands, 4 petits).

Résistance thermique du caisson

1. Calculer la résistance thermique des panneaux ISOVIP obtenue à l'aide de la formule $\frac{e}{\lambda}$.
2. Expliquer la différence entre la résistance calculée et les valeurs réelles annoncées pour les deux types de panneaux.
3. Expliquer qualitativement, pourquoi la résistance thermique ajoutée par la plaque d'aluminium est négligeable pour calculer la résistance globale des parois de la boîte isotherme.

Flux thermique à travers la boîte

4. Donner le sens du transfert thermique entre l'intérieur de la boîte isotherme, où est stockée la carotte à $\theta_{\text{carotte}} = -40\text{ °C}$, et le conteneur frigorifique.
5. En déduire si l'expression « pertes thermiques » est appropriée pour la boîte.

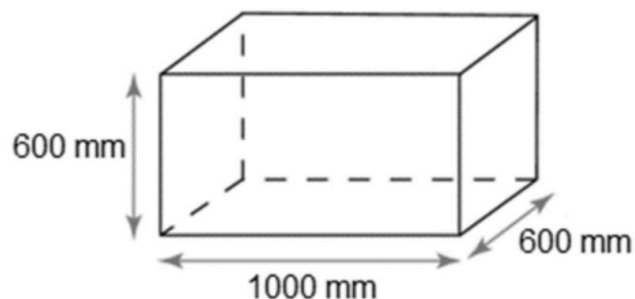
On suppose, pour simplifier, que seule la paroi intervient dans le calcul des pertes thermiques.

Lorsqu'il y a un écart de température $\Delta\theta$ (en °C) de part et d'autre d'une paroi de résistance thermique R_{th} , alors un flux thermique surfacique φ (en $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$) traverse la paroi ; son expression est :

$$\varphi = \frac{\Delta\theta}{R_{th}}$$

avec $\Delta\theta = \theta_{\text{conteneur}} - \theta_{\text{carotte}}$

6. En tenant compte des dimensions de la boîte données ci-dessous, déterminer le flux thermique Φ à travers la surface totale des parois de la boîte en prenant une valeur moyenne de $R_{th} = 6,5 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$.



Dimensions du caisson

7. À partir de la capacité thermique massique de la glace, on peut montrer qu'il faut une énergie d'environ 124 kJ pour augmenter de 1 °C la température des 60 kg de carotte de glace contenus dans la boîte isotherme. À l'aide du flux thermique, déduire en combien de temps la température des carottes de glace augmente de 1 °C. Commenter.