Énergie interne et transfert thermique 3

Prérequis

Avant d'aborder ce cours, il est essentiel de maîtriser les concepts suivants, acquis lors des années précédentes :

- **Température et Échelles de température :** Savoir utiliser les échelles Celsius et Kelvin, et effectuer des conversions entre elles.
- **Chaleur et Énergie Interne :** Avoir une compréhension de base de ce qu'est l'énergie interne et comment la chaleur peut la modifier.
- **Transferts Thermiques :** Connaître les trois modes de transfert thermique : conduction, convection et rayonnement.
- **Puissance :** Définition et unité de la puissance.
- **Conductivité thermique :** Définition et unité de la conductivité thermique d'un matériau.

Ce cours se situe dans la continuité de l'étude des transferts thermiques, après l'introduction des concepts d'énergie interne et de température. Il aborde plus spécifiquement la notion de flux thermique et de résistance thermique, concepts essentiels pour l'étude des échanges thermiques à travers des parois.

Chapitre 1 : Introduction au Flux Thermique

Définition du Flux Thermique

Le **flux thermique**, noté Φ, à travers une surface, représente la quantité d'énergie thermique (chaleur) qui traverse cette surface par unité de temps. C'est donc un débit d'énergie.

Unité : Le flux thermique s'exprime en Watts (W), qui est l'unité de puissance du Système International. 1 W = 1 J/s (Joule par seconde).

Analogie : On peut comparer le flux thermique au débit d'eau dans une rivière. Plus le débit est important, plus la quantité d'eau qui traverse une section donnée de la rivière par unité de temps est grande. De même, plus le flux thermique est important, plus la quantité d'énergie thermique qui traverse la surface par unité de temps est grande.

Calcul du Flux Thermique

Le flux thermique à travers une surface est défini par :

$$\Phi=\frac{(Q)}{(\Delta t)}$$

où :

- Q est la quantité d'énergie thermique (chaleur) transférée à travers la surface (en Joules, J).
- Δt est la durée du transfert thermique (en secondes, s).

Remarque : Le flux thermique peut être positif ou négatif. Un flux positif indique un transfert d'énergie vers le système, tandis qu'un flux négatif indique un transfert d'énergie hors du système.

Exemple 1

Un radiateur électrique transfère 360 000 J d'énergie thermique à une pièce en 20 minutes. Calculer le flux thermique du radiateur.

Solution :

1. Convertir le temps en secondes : $\Delta t = 20\,\text{min} = 20.60 = 1200 s$.
2. Calculer le flux thermique : $\Phi = \frac{(Q)}{(\Delta t)} = \frac{(360000)}{(1200)} = 300\,W$.

Le flux thermique du radiateur est de 300 W.

Chapitre 2 : Flux Thermique à travers une Paroi

Facteurs Influant sur le Flux Thermique

Le flux thermique à travers une paroi dépend de plusieurs facteurs :

- **L'écart de température (ΔT) :** Plus la différence de température entre les deux faces de la paroi est importante, plus le flux thermique est élevé. La chaleur se déplace toujours du chaud vers le froid.
- **La surface (S) :** Plus la surface de la paroi est grande, plus le flux thermique est élevé.
- **L'épaisseur (e) :** Plus la paroi est épaisse, plus le flux thermique est faible.
- **La conductivité thermique (λ) du matériau :** La conductivité thermique, exprimée en $W.m^{-1}.K^{-1}$, caractérise la capacité d'un matériau à conduire la chaleur. Plus la conductivité thermique est élevée, plus le flux thermique est important.

Loi de Fourier

La **Loi de Fourier** quantifie le flux thermique à travers une paroi en régime permanent (c'est-à-dire lorsque la température ne varie pas avec le temps) :

$$\Phi = \frac{(\lambda . S . \Delta T)}{(e)}$$

où :

- Φ est le flux thermique (en W).
- λ est la conductivité thermique du matériau (en $W.m^{-1}.K^{-1}$).

- S est la surface de la paroi (en m^2).
- $\Delta T=T_{chaud}-T_{froid}$ est la différence de température entre les deux faces de la paroi (en K ou °C, car la différence est la même).
- e est l'épaisseur de la paroi (en m).

Exemple 2

Une vitre de surface $1,5m^2$ et d'épaisseur 4 mm sépare l'intérieur d'une maison, maintenue à 20°C, de l'extérieur où la température est de 0°C. La conductivité thermique du verre est de $0,8W.m^{-1}.K^{-1}$. Calculer le flux thermique à travers la vitre.

Solution :

1. Convertir l'épaisseur en mètres : $e=4mm=0,004m$.
2. Calculer l'écart de température : $\Delta T=20-0=20°C=20K$.
3. Calculer le flux thermique : $\Phi=\frac{(\lambda.S.\Delta T)}{(e)}=\frac{(0,8.1,5.20)}{(0,004)}=6000W$.

Le flux thermique à travers la vitre est de 6000 W.

Chapitre 3 : Résistance Thermique d'une Paroi

Définition de la Résistance Thermique

La **résistance thermique**, notée R_{th}, caractérise l'opposition d'une paroi au passage du flux thermique. Plus la résistance thermique est élevée, plus le flux thermique est faible pour un même écart de température.

Unité : La résistance thermique s'exprime en $K.W^{-1}$ (Kelvin par Watt) ou °C/W.

Relation entre Flux Thermique, Résistance Thermique et Écart de Température

Le flux thermique, la résistance thermique et l'écart de température sont liés par la relation :

$$\Phi=\frac{(\Delta T)}{R_{(th)}}$$

Cette relation est analogue à la loi d'Ohm en électricité ($U=R.I$), où l'écart de température joue le rôle de la tension, le flux thermique celui du courant, et la résistance thermique celui de la résistance électrique.

Calcul de la Résistance Thermique d'une Paroi Simple

La résistance thermique d'une paroi simple, homogène, est donnée par :

$$R_{th}=\frac{(e)}{(\lambda.S)}$$

où :

- e est l'épaisseur de la paroi (en m).
- λ est la conductivité thermique du matériau (en $W.m^{-1}.K^{-1}$).
- S est la surface de la paroi (en m^2).

Remarque : On constate que la résistance thermique est proportionnelle à l'épaisseur de la paroi et inversement proportionnelle à la conductivité thermique et à la surface.

Exemple 3

Calculer la résistance thermique de la vitre de l'exemple 2.

Solution :

$$R_{th}=\frac{(e)}{(\lambda.S)}=\frac{(0,004)}{(0,8.1,5)}=0,0033\frac{K}{W}.$$

La résistance thermique de la vitre est de 0,0033 K/W.

Chapitre 4 : Résistance Thermique d'une Paroi Composée

Paroi Composée de Plusieurs Couches

Une paroi composée est constituée de plusieurs couches de matériaux différents, chacune ayant sa propre épaisseur et conductivité thermique. Dans ce cas, on considère que les résistances thermiques de chaque couche s'additionnent.

Calcul de la Résistance Thermique Totale

La résistance thermique totale d'une paroi composée est la somme des résistances thermiques de chaque couche :

$$R_{th,totale}=R_{th,1}+R_{th,2}+...+R_{th,n}$$

où $R_{th,i}$ est la résistance thermique de la couche *i*.

Calcul du Flux Thermique à travers une Paroi Composée

Le flux thermique à travers une paroi composée est donné par :

$$\Phi=\frac{(\Delta T)}{R_{(th,totale)}}$$

où ΔT est la différence de température entre les deux faces extérieures de la paroi composée.

Exemple 4

Un mur est constitué de trois couches :

- Une couche de briques (épaisseur $e_1=0,10m$, conductivité thermique $\lambda_1=0,6W.m^{-1}.K^{-1}$).
- Une couche d'isolant (épaisseur $e_2=0,05m$, conductivité thermique $\lambda_2=0,04W.m^{-1}.K^{-1}$).
- Une couche de plâtre (épaisseur $e_3=0,01m$, conductivité thermique $\lambda_3=0,5W.m^{-1}.K^{-1}$).

La surface du mur est de $20m^2$. La température intérieure est de 20°C et la température extérieure est de 5°C. Calculer le flux thermique à travers le mur.

Solution :

1. Calculer les résistances thermiques de chaque couche :
   - $R_{th,1}=\frac{\left(e_1\right)}{\left(\lambda_1.S\right)}=\frac{(0,10)}{(0,6.20)}=0,0083\frac{K}{W}$.
   - $R_{th,2}=\frac{\left(e_2\right)}{\left(\lambda_2.S\right)}=\frac{(0,05)}{(0,04.20)}=0,0625\frac{K}{W}$.
   - $R_{th,3}=\frac{\left(e_3\right)}{\left(\lambda_3.S\right)}=\frac{(0,01)}{(0,5.20)}=0,0010\frac{K}{W}$.
1. Calculer la résistance thermique totale : $R_{th,totale}=R_{th,1}+R_{th,2}+R_{th,3}=0,0083+0,0625+0,0010=0,0718\frac{K}{W}$.
2. Calculer l'écart de température : $\Delta T=20-5=15°C=15K$.
3. Calculer le flux thermique : $\Phi=\frac{(\Delta T)}{R_{(th,totale)}}=\frac{(15)}{(0,0718)}=209W$.

Le flux thermique à travers le mur est de 209 W.

Chapitre 5 : Impact de la Résistance Thermique sur

l'Isolation

Diminution du Flux Thermique

L'augmentation de la résistance thermique d'une paroi entraîne une diminution du flux thermique la traversant, pour un même écart de température. C'est le principe de l'isolation thermique.

Conséquences de l'Isolation

Une bonne isolation thermique permet de :

- Réduire les pertes de chaleur en hiver, et donc de diminuer la consommation d'énergie pour le chauffage.
- Réduire les gains de chaleur en été, et donc de diminuer la consommation d'énergie pour la climatisation.
- Améliorer le confort thermique des occupants d'un bâtiment.

Matériaux Isolants

Les matériaux isolants sont caractérisés par une faible conductivité thermique. Exemples : laine de verre, laine de roche, polystyrène expansé, polyuréthane, etc.

Question : Comment choisir le matériau isolant le plus adapté à une situation donnée ? Quels sont les critères à prendre en compte (coût, performance thermique, impact environnemental, etc.) ?

Chapitre 6 : Exercices Corrigés

Exercice 1

Une fenêtre de surface $2 m^2$ est constituée d'un simple vitrage de 6 mm d'épaisseur et de conductivité thermique $0,8 W.m^{-1}.K^{-1}$. La température intérieure est de 22°C et la température extérieure est de -2°C.

1. Calculer le flux thermique à travers la fenêtre.
2. Calculer la résistance thermique de la fenêtre.
3. Si on remplace le simple vitrage par un double vitrage avec une lame d'air de 12 mm (conductivité thermique de l'air $0,024 W.m^{-1}.K^{-1}$), calculer la nouvelle résistance thermique et le nouveau flux thermique.

Corrigé :

1- *Simple vitrage :*

- $\Delta T=22-(-2)=24K$.
- $e=6mm=0,006m$.
- $\Phi=\frac{(\lambda.S.\Delta T)}{(e)}=\frac{(0,8.2.24)}{(0,006)}=6400W$.

2- *Résistance thermique simple vitrage :*

- $R_{th}=\frac{(e)}{(\lambda.S)}=\frac{(0,006)}{(0,8.2)}=0,00375\frac{K}{W}$.

3- *Double vitrage :*

On considère que le double vitrage est composé de trois couches : une couche de verre, une couche d'air et une autre couche de verre. On néglige l'épaisseur des couches de verre par rapport à celle de la couche d'air.

- $R_{th,air}=\frac{\left(e_{air}\right)}{\lambda_{(air)}.S}=\frac{(0,012)}{(0,024.2)}=0,25\frac{K}{W}$.
- $R_{th,totale}=R_{th,air}=0,25\frac{K}{W}$ (en négligeant la résistance du verre).
- $\Phi=\frac{(\Delta T)}{R_{(th,totale)}}=\frac{(24)}{(0,25)}=96W$.

Remarque : On constate que le double vitrage réduit considérablement le flux thermique par rapport au simple vitrage.

Exercice 2

Un mur de béton (épaisseur 20 cm, conductivité thermique $1,2W.m^{-1}.K^{-1}$) a une surface de $15m^2$. On souhaite isoler ce mur avec de la laine de verre de manière à réduire le flux thermique d'un facteur 5. Quelle épaisseur de laine de verre (conductivité thermique $0,04W.m^{-1}.K^{-1}$) doit-on utiliser ?

Corrigé :

- *Mur en béton seul :*

- $R_{th,beton}=\frac{\left(e_{beton}\right)}{\lambda_{(beton)}.S}=\frac{(0,20)}{(1,2.15)}=0,0111\frac{K}{W}$.
- $\Phi_{beton}=\frac{(\Delta T)}{R_{(th,beton)}}$.

- *Mur isolé :*

On veut $\Phi_{isole}=\frac{\left(\Phi_{beton}\right)}{(5)}$, donc $\frac{(\Delta T)}{R_{(th,totale)}}=\frac{(1)}{(5)}.\frac{(\Delta T)}{R_{(th,beton)}}$.

Cela implique $R_{th,totale}=5.R_{th,beton}=5.0,0111=0,0555\frac{K}{W}$.

- *Épaisseur de laine de verre :*

- $R_{th,totale}=R_{th,beton}+R_{th,laine} implies R_{th,laine}=R_{th,totale}-R_{th,beton}=0,0555-0,0111=0,0444\frac{K}{W}$.
- $R_{th,laine}=\frac{\left(e_{laine}\right)}{\lambda_{(laine)}.S} implies e_{laine}=R_{th,laine}.\lambda_{laine}.S=0,0444.0,04.15=0,0266 m=2,66 cm$.

Il faut utiliser une épaisseur de 2,66 cm de laine de verre.

Résumé

- **Flux thermique** : Débit d'énergie thermique à travers une surface. Unité : Watt (W).
- Formule : $\Phi=\frac{(Q)}{(\Delta t)}$ où Q est l'énergie (en J) et Δt est le temps (en s).
- **Loi de Fourier** : Relie le flux thermique à la conductivité thermique, la surface, l'écart de température et l'épaisseur de la paroi.
- Formule : $\Phi=\frac{(\lambda.S.\Delta T)}{(e)}$ où λ est la conductivité thermique (en $W.m^{-1}.K^{-1}$), S est la surface (en m^2), ΔT est l'écart de température (en K ou °C), et e est l'épaisseur (en m).
- **Résistance Thermique** : Opposition d'une paroi au passage du flux thermique. Unité : $K.W^{-1}$.
- Formule : $R_{th}=\frac{(e)}{(\lambda.S)}$
- **Relation entre Flux Thermique, Résistance Thermique et Écart de Température**
- Formule : $\Phi=\frac{(\Delta T)}{R_{(th)}}$
- **Résistance Thermique d'une Paroi Composée**
- Formule : $R_{th,totale}=R_{th,1}+R_{th,2}+...+R_{th,n}$
- **Chapitre 1 : Introduction au Flux Thermique**
- Le flux thermique est un débit d'énergie qui représente la quantité d'énergie thermique traversant une surface par unité de temps.
- **Chapitre 2 : Flux Thermique à travers une Paroi**
- La Loi de Fourier permet de calculer le flux thermique en fonction des propriétés de la paroi et de l'écart de température.
- **Chapitre 3 : Résistance Thermique d'une Paroi**
- La résistance thermique quantifie l'opposition d'une paroi au passage du flux thermique.
- **Chapitre 4 : Résistance Thermique d'une Paroi Composée**
- La résistance thermique totale d'une paroi composée est la somme des résistances thermiques de chaque couche.
- **Chapitre 5 : Impact de la Résistance Thermique sur l'Isolation**
- Augmenter la résistance thermique d'une paroi permet de diminuer le flux thermique et donc d'améliorer l'isolation.
- **Chapitre 6 : Exercices Corrigés**
- Mise en application des concepts étudiés à travers des exemples concrets.

From:
https://www.wikiprof.fr/ - **wikiprof.fr**

Permanent link:
https://www.wikiprof.fr/doku.php?id=cours:lycee:sti2d:terminale_technologique:physique_chimie:energie_interne_et_transfert_thermique_3

Last update: **2026/08/15 13:47**