# Énergie interne et transfert thermique

## Prérequis

Avant d'aborder ce cours, il est essentiel de maîtriser les concepts suivants :

- **Notion de température** : Comprendre ce que représente la température à l'échelle macroscopique et son lien avec l'agitation moléculaire.
- **Énergie cinétique et potentielle** : Connaître les définitions et les formules de l'énergie cinétique et de l'énergie potentielle.
- **Les trois états de la matière** : Solide, liquide et gazeux et les changements d'état.
- **Les différentes formes d'énergie** : mécanique, électrique, chimique, etc.

Ce cours se situe généralement après l'étude de la thermodynamique et des bilans énergétiques en classe de terminale technologique, et permet d'approfondir la notion de transfert thermique.

## Énergie interne

### Définition de l'énergie interne

L'**énergie interne**, notée *U*, d'un système thermodynamique est la somme des énergies cinétiques microscopiques (translation, rotation, vibration) et potentielles microscopiques (interactions entre les particules) de toutes les particules (atomes, molécules, ions) qui le composent. L'énergie interne est une fonction d'état, c'est-à-dire qu'elle ne dépend que de l'état actuel du système (température, pression, volume, etc.) et non de la manière dont cet état a été atteint. Son unité est le Joule (J).

*Remarque :* Il est impossible de connaître la valeur absolue de l'énergie interne. On ne peut mesurer que les variations d'énergie interne, notées $\Delta U$.

### Variation de l'énergie interne et transfert d'énergie

La variation d'énergie interne $\Delta U$ d'un système peut être due à deux types de transferts d'énergie :

- Le **travail**, noté *W*, qui correspond à un transfert d'énergie ordonné (par exemple, le déplacement d'un piston).
- Le **transfert thermique**, noté *Q*, qui correspond à un transfert d'énergie désordonné (agitation thermique).

Le **premier principe de la thermodynamique** exprime la conservation de l'énergie et relie la variation d'énergie interne au travail et au transfert thermique :

$$\Delta U = W + Q$$

Où :

- $\Delta U$ est la variation d'énergie interne du système (en J).
- $W$ est le travail reçu par le système (en J).
- $Q$ est le transfert thermique reçu par le système (en J).

Par convention, on considère que :

- $W>0$ si le système reçoit du travail.
- $W<0$ si le système fournit du travail.
- $Q>0$ si le système reçoit de la chaleur.
- $Q<0$ si le système cède de la chaleur.

### Modes de transfert thermique

Il existe trois modes principaux de transfert thermique :

- La **conduction** : transfert d'énergie thermique à travers un matériau sans mouvement macroscopique de matière. Elle est prépondérante dans les solides.
- La **convection** : transfert d'énergie thermique par mouvement macroscopique d'un fluide (liquide ou gaz).
- Le **rayonnement** : transfert d'énergie thermique par ondes électromagnétiques (infrarouges, visible, ultraviolet). Il ne nécessite pas de support matériel et peut se produire dans le vide.

## Flux thermique

### Définition du flux thermique

Le **flux thermique**, noté $\Phi$, à travers une surface est la quantité d'énergie thermique (chaleur) qui traverse cette surface par unité de temps. Il s'exprime en Watts (W). On peut le définir comme un débit d'énergie.

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

Où :

- $\Phi$ est le flux thermique (en W).
- $Q$ est la quantité d'énergie thermique transférée (en J).
- $\Delta t$ est la durée du transfert (en s).

### Flux thermique à travers une paroi

Considérons une paroi d'épaisseur *e* et de surface *S*, dont les faces sont maintenues à des températures $T_1$ et $T_2$, avec $T_1>T_2$. Le flux thermique $\Phi$ qui traverse la paroi est proportionnel à la surface *S* et à la différence de température $\Delta T=T_1-T_2$, et inversement proportionnel à l'épaisseur *e*.

### Régime permanent

En **régime permanent**, la température en chaque point de la paroi est constante au cours du temps. Dans ce cas, le flux thermique est constant et la quantité d'énergie qui entre dans la paroi est égale à la quantité d'énergie qui en sort.

## Conductivité et résistance thermique

### Conductivité thermique

La **conductivité thermique**, notée $\lambda$ (lambda), caractérise la capacité d'un matériau à conduire la chaleur. Elle s'exprime en Watts par mètre-Kelvin ($W.m^{-1}.K$^-1). Plus la conductivité thermique est élevée, plus le matériau est un bon conducteur de chaleur.

*Exemples :*

- Cuivre : $\lambda \approx 400\, W.m^{-1}.K^{-1}$
- Acier : $\lambda \approx 50\, W.m^{-1}.K^{-1}$
- Eau : $\lambda \approx 0.6\, W.m^{-1}.K^{-1}$
- Bois : $\lambda \approx 0.15\, W.m^{-1}.K^{-1}$
- Polystyrène expansé : $\lambda \approx 0.03\, W.m^{-1}.K^{-1}$
- Air : $\lambda \approx 0.025\, W.m^{-1}.K^{-1}$

La relation entre le flux thermique $\Phi$, la conductivité thermique $\lambda$, la surface *S*, l'épaisseur *e* et la différence de température $\Delta T$ est donnée par la loi de Fourier :

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

### Résistance thermique

La **résistance thermique**, notée *R*, d'une paroi caractérise sa capacité à s'opposer au passage de la chaleur. Elle s'exprime en Kelvin par Watt (K.W$^{\wedge -1}$). Plus la résistance thermique est élevée, plus la paroi est isolante.

La résistance thermique d'une paroi d'épaisseur *e*, de surface *S* et de conductivité thermique $\lambda$ est donnée par :

$$R = \frac{(e)}{(\lambda \times S)}$$

On peut alors relier le flux thermique $\Phi$, la résistance thermique *R* et la différence de température $\Delta T$ par la relation :

$$\Phi=\frac{(\Delta T)}{(R)}$$

Cette relation est analogue à la loi d'Ohm en électricité ($U=R\times I$).

### Résistance thermique d'une paroi composée

Lorsque la paroi est composée de plusieurs couches de matériaux différents, la résistance thermique totale est la somme des résistances thermiques de chaque couche :

$$R_{totale}=R_1+R_2+R_3+...$$

**Exemple :** Une fenêtre est constituée d'une vitre simple, d'une lame d'air et d'une deuxième vitre. La résistance thermique totale de la fenêtre est la somme des résistances thermiques de chaque élément.

### Exemple d'application

Calculer la résistance thermique d'un mur de briques de 20 cm d'épaisseur, de 10 $m^2$ de surface et de conductivité thermique $\lambda=0.6$ W.m^-1.K^-1.

*Corrigé :*

$$R=\frac{(e)}{(\lambda\times S)}=\frac{(0.2m)}{0.6W.m^{(-1)}.K^{-1}\times 10m^2}=0.033K.W^{-1}$$

## Application à l'isolation thermique

### Importance de l'isolation thermique

L'isolation thermique est essentielle pour limiter les pertes de chaleur en hiver et les gains de chaleur en été, afin de réduire la consommation d'énergie et d'améliorer le confort thermique.

### Matériaux isolants

Les matériaux isolants sont caractérisés par une faible conductivité thermique et donc une résistance thermique élevée. On utilise couramment :

- Les laines minérales (laine de verre, laine de roche)
- Les isolants synthétiques (polystyrène expansé, polyuréthane)
- Les isolants naturels (laine de mouton, ouate de cellulose, liège)

### Stratégies d'isolation

Pour améliorer l'isolation thermique d'un bâtiment, on peut agir sur :

- Les murs (isolation par l'intérieur, par l'extérieur ou par la pose d'un bardage isolant)
- Le toit (isolation des combles perdus ou aménagés)
- Les fenêtres (double ou triple vitrage, remplacement des menuiseries)
- Le sol (isolation de la dalle ou du plancher)

*Question de réflexion :* Comment l'épaisseur de l'isolant influence-t-elle la résistance thermique et donc les pertes de chaleur ?

## Exercices

### Exercice 1

Un mur en béton de 15 cm d'épaisseur a une surface de 20 $m^2$. La température de la face intérieure est de 20 °C et celle de la face extérieure est de 5 °C. La conductivité thermique du béton est de $1{,}0\,W.m^{-1}.K^{-1}$.

1. Calculer la résistance thermique du mur.
2. Calculer le flux thermique à travers le mur.
3. Calculer la quantité d'énergie thermique perdue à travers le mur en une heure.

*Corrigé :*

1. $R=\frac{(e)}{(\lambda\times S)}=\frac{(0.15\,m)}{1.0W.m^{(-1)}.K^{-1}\times 20m^2}=0.0075\,K.W^{-1}$
2. $\Phi=\frac{(\Delta T)}{(R)}=\frac{(20\,°C-5\,°C)}{0.0075\,K.W^{(-1)}}=2000\,W$
3. $Q=\Phi\times\Delta t=2000\,W\times 3600\,s=7.2\times 10^6\,J$

### Exercice 2

Une fenêtre est constituée de deux vitres de 4 mm d'épaisseur séparées par une lame d'air de 10 mm. La conductivité thermique du verre est de $1{,}0\,W.m^{-1}K^{-1}$ et celle de l'air est de $0{,}025\,W.m^{-1}.K^{-1}$. La surface de la fenêtre est de 1,5 $m^2$.

1. Calculer la résistance thermique de chaque vitre.
2. Calculer la résistance thermique de la lame d'air.
3. Calculer la résistance thermique totale de la fenêtre.

*Corrigé :*

1. $R_{vitre}=\frac{(e)}{(\lambda\times S)}=\frac{(0.004m)}{1.0W.m^{(-1)}.K^{-1}\times 1.5m^{2}}=0.0027K.W^{-1}$
2. $R_{air}=\frac{(e)}{(\lambda\times S)}=\frac{(0.01m)}{0.025W.m^{(-1)}.K^{-1}\times 1.5m^{2}}=0.267K.W^{-1}$
3. $R_{totale}=2\times R_{vitre}+R_{air}=2\times 0.0027K.W^{-1}+0.267K.W^{-1}=0.272K.W^{-1}$

# Résumé

- L'**énergie interne** (*U*) d'un système est la somme des énergies cinétiques et potentielles microscopiques de ses constituants.
- La **variation d'énergie interne** ($\Delta U$) est liée au travail (*W*) et au transfert thermique (*Q*) par le premier principe de la thermodynamique : $\Delta U=W+Q$.
- Le **flux thermique** ($\Phi$) est la quantité d'énergie thermique qui traverse une surface par unité de temps : $\Phi=\frac{(Q)}{(\Delta t)}$.
- La **conductivité thermique** ($\lambda$) caractérise la capacité d'un matériau à conduire la chaleur.
- La **résistance thermique** (*R*) caractérise la capacité d'une paroi à s'opposer au passage de la chaleur : $R=\frac{(e)}{(\lambda\times S)}$.
- Le flux thermique à travers une paroi est lié à la résistance thermique et à la différence de température : $\Phi=\frac{(\Delta T)}{(R)}$.
- La résistance thermique d'une paroi composée est la somme des résistances thermiques de chaque couche : $R_{totale}=R_1+R_2+R_3+...$.
- **Modes de transfert thermique:** Conduction, Convection et Rayonnement.
- **Loi de Fourier:** $\Phi=\frac{\lambda\times S\times(\Delta T)}{(e)}$

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

Permanent link:
**https://wikiprof.fr/doku.php?id=cours:lycee:sti2d:terminale_technologique:physique_chimie:energie_interne_et_transfert_thermique&rev=1750447803**

Last update: **2025/06/20 21:30**