

**Série - Chapitre : Premier principe de la thermodynamique**

Un système est :

- Isolé : il ne peut échanger ni matière ni énergie avec l'extérieur
- Fermé : il n'échange pas de matière mais peut échanger de l'énergie avec l'extérieur
- Ouvert : il peut échanger matière-énergie avec l'extérieur

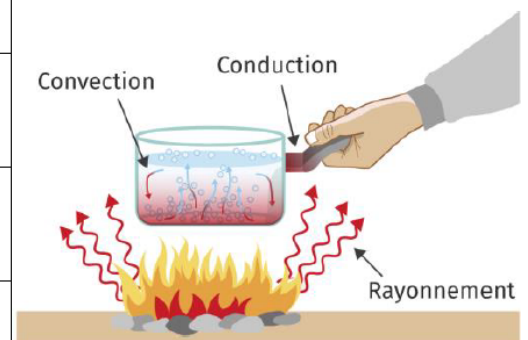
|  | <u>Relation</u>   | <u>Unités</u>   |
|--|---|---|
| <b>Equation d'état du gaz parfait</b>  | $P \times V = n \times R \times T$                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ P la pression du gaz en pascal (Pa)</li> <li>➤ V le volume du gaz en m<sup>3</sup></li> <li>➤ n la quantité de matière en mol</li> <li>➤ R la constante des gaz parfaits R=8,314 J.K<sup>-1</sup>.mol<sup>-1</sup></li> <li>➤ T la température en degré kelvin (K)</li> </ul>  |
| <b>Flux thermique :</b><br>énergie transférée à travers une paroi par unité de temps | $\phi = \frac{Q}{\Delta t}$                               | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ <math>\phi</math> en watt (W)</li> <li>➤ Q en joule (J)</li> <li>➤ <math>\Delta t</math> en secondes (s)</li> </ul>  |
| <b>Résistance thermique :</b> sa capacité à s'opposer au transfert thermique         | $R_{th} = \frac{e}{\lambda S} = \frac{ T_2 - T_1 }{\phi}$ | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ R<sub>th</sub> en K.W<sup>-1</sup> ou en °C.W<sup>-1</sup></li> <li>➤ T<sub>2</sub> et T<sub>1</sub> en degré kelvin (K) ou en degré Celsius (°C)</li> <li>➤ e l'épaisseur en m</li> <li>➤ S la surface en m<sup>2</sup></li> <li>➤ <math>\lambda</math> la conductivité thermique en W.m<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup></li> </ul> |
| <b>Puissance et énergie :</b>  | $P = \frac{E}{\Delta t}$                                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ P en watt (W)</li> <li>➤ E en joule (J)</li> <li>➤ <math>\Delta t</math> en secondes (s)</li> </ul>  |

Rappel :

- 1m<sup>3</sup>=1000L
- 1 bar = 10<sup>5</sup> Pa
- T(K)= $\theta$ (°C)+273,15

**Modes de transfert de l'énergie :** Un transfert thermique s'effectue toujours d'un corps chaud vers un corps froid.

|                    |  |
|--------------------|--|
| <b>Conduction</b>  | Il y a contact entre les corps de température différente. Exemple : transfert thermique à travers les murs d'une maison. |
| <b>Convection</b>  | Il y a transfert de matière. Exemple : mouvement des masses d'air dans l'atmosphère.                                     |
| <b>Rayonnement</b> | L'absorption ou l'émission d'un rayonnement modifie l'agitation thermique.   |



Lorsqu'un système reçoit de l'énergie elle est comptée positivement et lorsqu'il cède de l'énergie elle est comptée négativement.

|  | <b>Relation</b>   | <b>Unités</b>  |
|--|---|--|
| <b>Premier principe de la thermodynamique</b>  | $\Delta U = W + Q$  | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ <math>\Delta U</math> : variation d'énergie interne (J)</li> <li>➤ <math>W</math> : travail (J)</li> <li>➤ <math>Q</math> : énergie thermique échangée (J)</li> </ul>   |
| <b>Capacité thermique :</b>  | $\Delta U = C \times \Delta T$<br>$\Delta U = m \times c_m \times \Delta T$<br>$\Delta U = m \times c_m \times (T_f - T_i)$ | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ <math>C</math> la capacité thermique (<math>J \cdot K^{-1}</math>)</li> <li>➤ <math>c_m</math> la capacité thermique massique (<math>J \cdot Kg^{-1} \cdot ^\circ C^{-1}</math>)</li> <li>➤ <math>\Delta T</math> ou <math>\Delta \theta</math> la variation de température</li> <li>➤ <math>m</math> la masse en Kg</li> </ul>       |
| <b>Loi de Stefan-Boltzmann :</b> Tout corps à température $T$ émet un rayonnement électromagnétique.         | $P_s = \sigma \cdot T^4$  | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ <math>P_s</math>: La puissance surfacique (ou flux thermique surfacique) émis par un corps (<math>W \cdot m^{-2}</math>)</li> <li>➤ <math>\sigma</math> : constante de Stefan-Boltzmann égale à <math>\sigma = 5,67 \times 10^{-8} W \cdot m^{-2} \cdot K^{-4}</math></li> <li>➤ <math>T</math> : température du corps (K)</li> </ul> |
| <b>Échange avec une paroi thermostatée :</b> Un thermostat est un objet dont la température reste constante. | $\phi = h \times S \times (T_{\text{paroi}} - T)$   | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ <math>h</math> : coefficient de transfert thermique, dit coefficient de Newton (<math>W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}</math>)</li> <li>➤ <math>S</math> : surface d'échange entre le système et la paroi (<math>m^2</math>)</li> </ul>  |

### Etablir l'équation différentielle :

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

$$\Phi = \frac{\Delta U}{\Delta t}$$

Or  $\Delta U = C \times \Delta T$   
 et  $\phi = h \times S \times (T_{\text{paroi}} - T)$

D'où

$$\phi = \frac{\Delta U}{\Delta t}$$

$$h \times S \times (T_{\text{paroi}} - T) = \frac{C \times \Delta T}{\Delta t}$$

$$\frac{C \times \Delta T}{\Delta t} = h \times S \times (T_{\text{paroi}} - T)$$

$$\frac{\Delta T}{\Delta t} = \frac{h \times S}{C} \times (T_{\text{paroi}} - T)$$

quand  $\Delta t \rightarrow \text{vers } 0$

$$\frac{\Delta T}{\Delta t} = \frac{dT}{dt}$$

$$\frac{dT_{(t)}}{dt} = \frac{h \times S}{C} \times (T_{\text{paroi}} - T)$$

$$\frac{dT_{(t)}}{dt} = \frac{h \times S}{C} \times T_{\text{paroi}} - \frac{h \times S}{C} T_{(t)}$$

$$\frac{dT_{(t)}}{dt} + \frac{h \times S}{C} T_{(t)} = \frac{h \times S}{C} \times T_{\text{paroi}}$$

On trouve une équation différentielle de la forme :

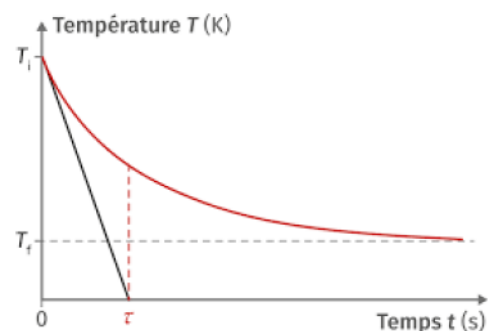
$$\frac{dT_{(t)}}{dt} + \frac{1}{\tau} T_{(t)} = \frac{1}{\tau} T_{\text{paroi}}$$

Par identification :

$$\frac{1}{\tau} = \frac{h \times S}{C}$$

$$\tau = \frac{C}{h \times S}$$

Graphiquement, Le temps  $\tau$  caractéristique est l'abscisse du point d'intersection de la tangente à l'origine et de l'asymptote  $T_{\text{final}}$





**DONNÉES**

▶ Loi de Stefan-Boltzmann  $F = \sigma \cdot T^4$

▶ Loi thermique de Newton  $\frac{dT}{dt} = -\gamma \cdot (T - T_{th})$

**1 Premier principe de la thermodynamique**

|   | A                                  | B                                  | C                                      |
|---|------------------------------------|------------------------------------|--|
| <b>1</b> L'énergie interne $U$ d'un système :               | est l'énergie propre d'un système. | est égale à $E_c + E_{pp}$ .       | est liée à la température du système.  |
| <b>2</b> La variation d'énergie interne :                   | s'écrit $\Delta U$ .               | s'exprime en watt.                 | s'exprime en joule.                    |
| <b>3</b> Si un système est au repos :                       | $E_{totale} = E_c + E_{pp} + U$ .  | $\Delta E_{totale} = \Delta U$ .   | $\Delta E_{totale} = 0J$ .             |
| <b>4</b> Pour un système fermé au repos et incompressible : | $\Delta E_{totale} = \Delta U = W$ | $\Delta E_{totale} = \Delta U = Q$ | $\Delta E_{totale} = \Delta U = W + Q$ |

**2 Transferts et flux thermiques**

|  | A                             | B  | C                                  |
|--|-------------------------------|--|------------------------------------|
| <b>5</b> Un transfert thermique :                    | s'écrit $Q$ .                 | est égale à $C \cdot \Delta T$ .         | est égale à $C \cdot \Delta t$ .   |
| <b>6</b> S'il y a mouvement de matière on parle de : | conduction.                   | convection.                              | flux thermique.                    |
| <b>7</b> Le transfert thermique est orienté :        | uniquement dans un sens.      | de la source froide à la source chaude.  | s'il y a un écart de température.  |
| <b>8</b> Le flux thermique $\Phi$ :                  | est égale à $\Delta t/Q$ .    | est égale à $Q \cdot \Delta t$ .         | est égale à $Q/\Delta t$ .         |
| <b>9</b> La résistance thermique :                   | est égale à $\Delta T/\Phi$ . | est égale à $\emptyset \cdot \Delta T$ . | est égale à $\emptyset/\Delta T$ . |

**3 Deux lois thermiques**

|   | A   | B   | C  |
|---|---|---|--|
| <b>10</b> La loi de Stefan-Boltzmann :                                | n'est valable que pour un corps noir.       | s'écrit $F = \sigma \cdot T^2$ .                      | s'écrit $F = \sigma \cdot T^4$ .   |
| <b>11</b> La température moyenne terrestre est influencée :           | par l'albédo de la Terre et son atmosphère. | par l'effet de serre.                                 | par le flux thermique reçu du Soleil.  |
| <b>12</b> La loi de refroidissement de Newton :                       | est une équation différentielle.            | montre que $dT/dt$ est lié à $(T - T_{th})$ .         | traduit le fait que $T$ tend vers $T_{th}$ .                                     |
| <b>13</b> La température d'un système en contact avec un thermostat : | tend vers la température du thermostat.     | a pour expression $T(t) = T_{th} \cdot e^{-\gamma t}$ | varie d'autant plus rapidement que sa valeur est écartée de celle du thermostat. |

## 20 Pertes thermiques d'une habitation

Pour évaluer les pertes thermiques d'une habitation, on procède à l'expérience suivante : la masse  $m$  d'air à l'intérieur de la maison étant initialement à la température  $T_1 = 19,0\text{ °C}$ , on coupe le système de chauffage pendant une durée  $\Delta t = 1,00\text{ h}$ . On mesure une température finale  $T_2 = 15,6\text{ °C}$ .

**Données :** capacité thermique massique de l'air :

$c_a = 1\,000\text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$  ; volume intérieur de la maison :  
 $V = 400\text{ m}^3$  ; masse volumique de l'air :  $\rho = 1,3\text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ .

1. Exprimer, puis calculer, la variation de l'énergie interne  $\Delta U$  de l'air contenu dans la maison.
2. Interpréter le signe du résultat obtenu à la question précédente.

## 21 Mug de thé au micro-ondes

On réchauffe l'eau de son thé à l'aide d'un four à micro-ondes. Le volume d'eau dans le mug est de  $V = 250\text{ mL}$ . Lorsque les micro-ondes atteignent les molécules d'eau, celles-ci se mettent à osciller. La mise en mouvement des molécules d'eau produit la chaleur nécessaire pour réchauffer les aliments. Le four est réglé sur la position de puissance  $P = 900\text{ W}$ . La température de l'eau passe ainsi de  $10\text{ °C}$  à  $90\text{ °C}$ . On suppose que le four à micro-ondes est bien isolé.

**Données :** masse volumique de l'eau :  $\rho_{eau} = 1,00\text{ kg} \cdot \text{L}^{-1}$  ;

capacité thermique de l'eau :  $c_{eau} = 4\,180\text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$  ;

l'énergie transférée à un système avec une puissance  $P$  pendant la durée  $\Delta t$  est :  $E = P \cdot \Delta t$ .

1. Calculer la variation d'énergie interne de l'eau contenue dans le mug.
2. Au bout de combien de temps l'eau du thé sera-t-elle prête ?

## 23 Café chaud dans un thermos

Dans une bouteille thermos, on verse  $1,0\text{ L}$  de café à la température de  $60\text{ °C}$ . La température de l'ensemble se stabilise à  $52\text{ °C}$ . La capacité thermique et la masse volumique du café seront prises égales à celle de l'eau.

**Données :** capacité thermique massique de l'eau :

$c_{eau} = 4,18\text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$  ; masse volumique de l'eau :

$\rho_{eau} = 1,0\text{ kg} \cdot \text{L}^{-1}$

1. Calculer la valeur de la variation d'énergie interne du café.
2. En supposant que la bouteille thermos est parfaitement isolée, déterminer la variation d'énergie interne du système (thermos + café).
3. En déduire la valeur de la variation d'énergie interne de la bouteille thermos.

## 25 Bon choix d'isolant thermique

Afin de réduire les dépenses de chauffage et d'avoir un comportement écoresponsable, on cherche à améliorer l'isolation thermique d'une habitation. En effet celle-ci ne possède un grenier non chauffé, on décide donc d'en isoler le sol.

Il existe de nombreux matériaux isolants caractérisés par leur conductivité thermique notée  $\lambda$ . Plus la conductivité thermique d'un matériau est élevée, plus il conduit facilement la chaleur.

**Données :**

- température du grenier :  $\theta_1 = 5,0\text{ °C}$  ;

- température de la maison :  $\theta_2 = 20\text{ °C}$  ;

- surface du sol du grenier :  $S = 80\text{ m}^2$  ;

- résistance thermique du sol du grenier non isolé :

$R = 7,5 \times 10^{-3}\text{ K} \cdot \text{W}^{-1}$  ;

- expression de la résistance thermique :  $R = \frac{e}{\lambda \cdot S}$

avec  $e$  épaisseur (en m) et  $S$  surface (en  $\text{m}^2$ ) de la paroi.

| Nom du matériau  | Laine de roche | Polystyrène extrudé | Liège naturel expansé | Cellulose |
|--|----------------|---------------------|-----------------------|-----------|
| Conductivité thermique $\lambda$ en $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ | 0,035          | 0,033               | 0,042                 | 0,039     |

1. a. Dans quel sens s'effectue le transfert thermique dans l'habitation ?  
b. Donner l'expression puis calculer le flux thermique  $\Phi$  à travers le sol du grenier non isolé.
2. a. Quel serait un bon choix de matériau pour un isolant thermique ?  
b. On veut diviser le flux thermique par 10. Sachant que lorsque plusieurs parois sont accolées, la résistance thermique totale est égale à la somme des résistances thermiques de chaque paroi, calculer la résistance thermique de l'isolant  
c. Tous les matériaux proposés s'achètent sous forme de panneaux rigides dans le commerce. Quelle épaisseur minimale doit posséder le panneau du matériau choisi ?

## 26 Température moyenne terrestre

1. Le flux thermique reçu du Soleil et réparti sur la totalité de la surface de la Terre vaut  $342\text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ .

La terre et son atmosphère présentent un albédo  $A = 0,30$ .

- a. Quel est l'effet de l'albédo sur le flux thermique reçu du Soleil à la surface de la Terre ?  
b. On considère la Terre comme un « corps noir », objet idéal qui émet sous forme d'un rayonnement toute l'énergie qu'il reçoit. On suppose que son flux thermique par unité de surface est proportionnel à sa température élevée à la puissance 4. Quel est l'effet de l'albédo sur la température moyenne terrestre ?
2. a. Les gaz de l'atmosphère absorbent environ 20 % du rayonnement émis par le sol. Comment appelle-t-on ce phénomène.  
b. Quel est son effet sur la température moyenne terrestre ?

### 27 Loi de Stefan-Boltzmann

La loi de Stefan-Boltzmann définit la relation qui existe entre le flux thermique par unité de surface  $F$  (en  $W \cdot m^{-2}$ ) d'un objet et la température  $T$  (en K) de l'objet considéré comme un « corps noir », objet idéal qui émet sous forme d'un rayonnement toute l'énergie qu'il reçoit :  $F = \sigma \cdot T_4$  avec  $\sigma = 5,67 \times 10^{-8}$  SI.

**Donnée :**  $T(K) = \theta(^{\circ}C) + 273$

Le flux thermique reçu du Soleil et réparti sur la totalité de la surface de la Terre vaut  $342 W \cdot m^{-2}$ .

1. Établir le bilan d'énergie qui peut permettre d'estimer la température terrestre moyenne.
2. a. Retrouver l'unité de la constante de Boltzmann.  
b. À l'aide de la loi de Stefan-Boltzmann et du bilan d'énergie établi, estimer la température terrestre moyenne.
3. La température terrestre moyenne est de  $15^{\circ}C$ . Comment expliquer l'écart avec la valeur déterminée à l'aide de la loi de Stefan-Boltzmann.

### 28 Refroidissement d'une tasse de café

On considère une tasse de café initialement à la température de  $75^{\circ}C$  dans une pièce à  $25^{\circ}C$ .

Après 5 minutes le café est à  $50^{\circ}C$ .

On suppose que la vitesse de refroidissement du café est proportionnelle à la différence des températures (autrement dit que la température du café suit la loi de Newton) : cela signifie qu'il existe une constante  $\gamma < 0$  telle que la température vérifie l'équation différentielle de premier ordre :  $dT(t)/dt = \gamma(T(t) - T_{amb})$

1. Effectuer un bilan énergie pour le système (café).
2. Donner la valeur de  $T_{amb}$ .
3. Résoudre l'équation différentielle en donnant l'expression de  $T(t)$  en fonction de  $\gamma$ .
4. a. Déterminer la valeur numérique de la constante de refroidissement  $\gamma$ .  
b. En déduire l'expression générale de  $T(t)$ .

### 30 Dans un sauna

Un sauna, installé dans un centre nautique, est constitué d'une pièce équipée de cloisons en bois doublées d'un bon isolant thermique. Il reçoit de l'énergie thermique grâce à une résistance électrique se trouvant à l'intérieur de la pièce.

Des pierres de laves de faible résistance thermique sont positionnées sur une grille au-dessus de la résistance.

Les personnes se trouvant dans le sauna peuvent, s'il le désirent, arroser ces pierres avec de l'eau qui s'évapore à leur contact.

La température extérieure au sauna est de  $18^{\circ}C$ . Pour maintenir une température de  $80^{\circ}C$  à l'intérieur du sauna, la résistance reçoit une puissance  $P = 7,5$  kW pendant 1,0 minute, toutes les 5 minutes.

**Donnée :** La puissance (en W) correspond à une variation d'énergie (en J) par unité de temps (en s) :  $P = \Delta E / \Delta t$

1. Quelle énergie thermique reçoit le sauna pendant la minute de chauffe ?
2. Que vaut la résistance thermique du sauna ?



### 31 Muffins sortis du four



Des muffins sont sortis du four à 12 h 00 quand ils sont brûlants ( $100^{\circ}C$ ). Après 10 minutes, leur température est de  $80^{\circ}C$ .

On suppose que la vitesse de refroidissement  $dT(t)/dt$  des muffins est proportionnelle à la différence ( $T(t) - T_{cuis}$ ) de la température des gâteaux au cours du temps et la température de la cuisine (autrement dit que la température des muffins suit la loi de Newton).

La cuisine est une pièce où il y fait  $20^{\circ}C$ .

1. a. **Établir** l'équation différentielle du premier ordre vérifiée par  $T(t)$  en prenant  $-\gamma$  comme constante de proportionnalité ( $\gamma > 0$ ).  
b. **Résoudre** l'équation différentielle en donnant l'expression de  $T(t)$  en fonction  $\gamma$  et de  $T_{cuis}$ .
2. **Déterminer** la constante  $\gamma$ .
3. Combien de temps faudra-t-il attendre pour que la température des muffins soit divisée par 2 par rapport à celle à la sortie du four.

#### LES CLÉS DE L'ÉNONCÉ

- On donne la température du système à l'instant initial et à un autre instant.
- La loi thermique de Newton est donnée dans l'énoncé, il convient juste de la retranscrire mathématiquement.

#### LES VERBES D'ACTION

- **Établir** : élaborer.
- **Résoudre** : trouver la solution.
- **Déterminer** : mettre en œuvre une stratégie pour trouver un résultat.