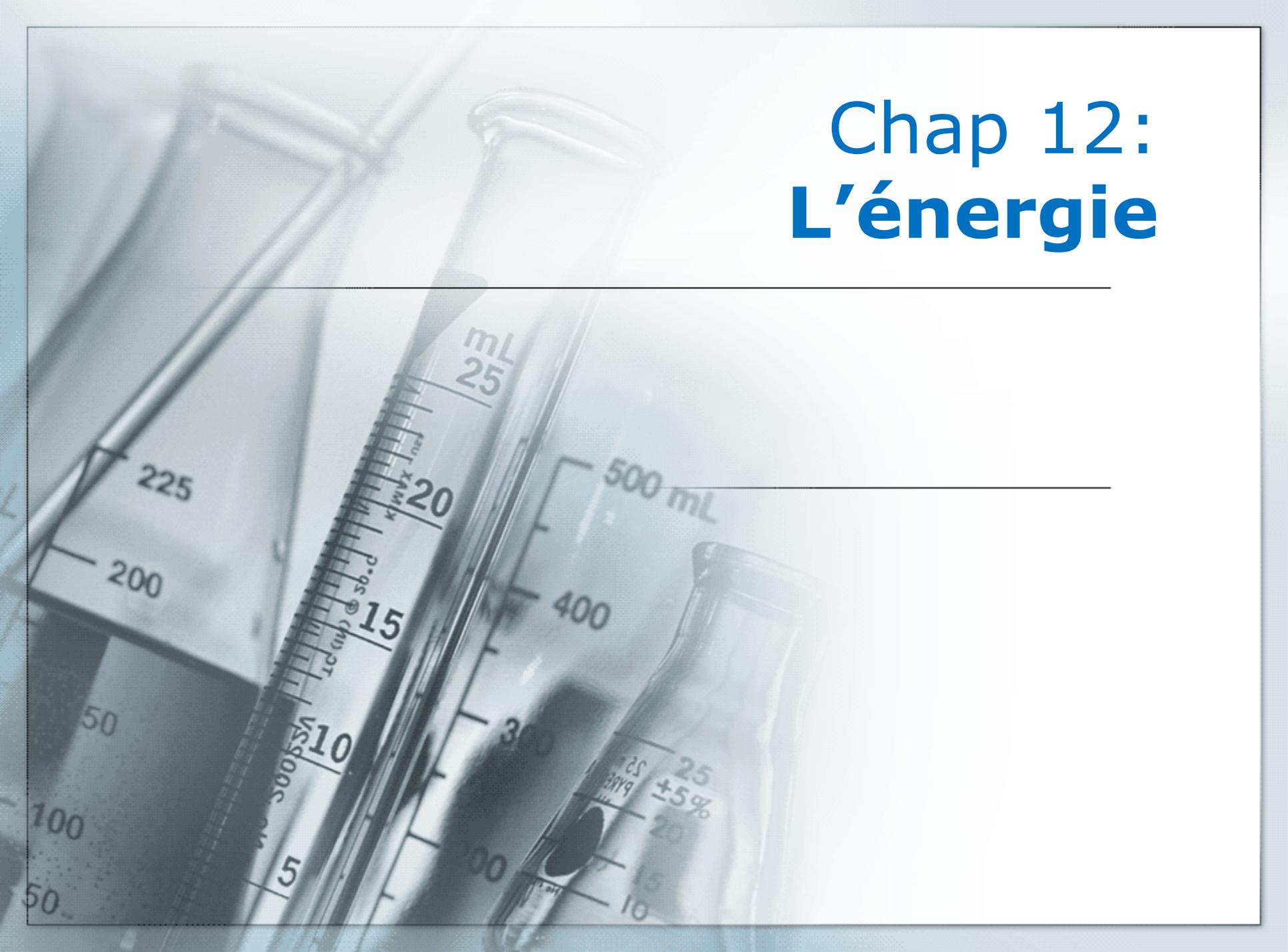


Chap 12: L'énergie



I. Décrire un système thermodynamique

La thermodynamique est la science qui traite des échanges et conversions d'énergie entre systèmes contenant un grand nombre de molécules.

Un système thermodynamique est un ensemble constitué d'un nombre élevé de particules microscopiques.

I.1 Variables d'état

Pour décrire un système thermodynamique, on utilise un nombre réduit de grandeurs physiques, appelées « variables d'état » du système, comme:

- la température T (en Kelvin)
- la pression p (en Pascal)
- Le volume V (en m^3)

Ces variables d'état sont mesurables et permettent de caractériser l'état d'équilibre du système.

-
- La température thermodynamique T , exprimée en kelvin (K),
 - est reliée à la température θ en degré Celsius ($^{\circ}\text{C}$) par la relation

$$T = 273,15 + \theta$$

I.2 Exemple du gaz parfait

https://phet.colorado.edu/sims/html/gas-properties/latest/gas-properties_fr.html

Problème:

- On dispose de deux ballons identiques dans une pièce pleine d'air, le premier est rempli de dioxygène, le deuxième est rempli d'hélium.
- La pression dans le ballon plein de dioxygène est-elle la même, supérieure ou inférieure à la pression dans le ballon rempli d'hélium ?

Collisions sur les parois

168 ▶

Période d'échantillonnage

10 ps ▼

284 K ▼



Pression

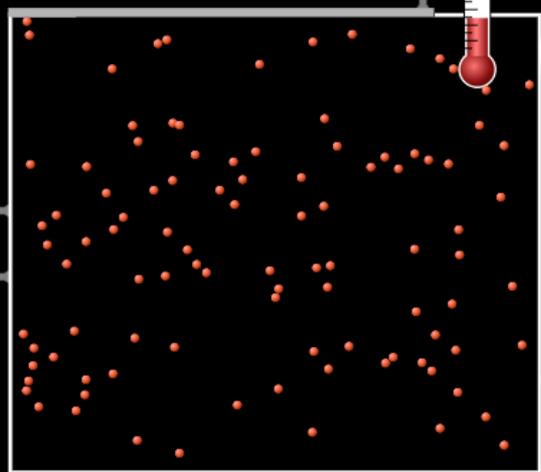


11.0 atm ▼

Grandeur constante

- Rien
- Volume constant (V)
- Température constante (T)
- Pression constante Volume variable
- Pression constante Température variable

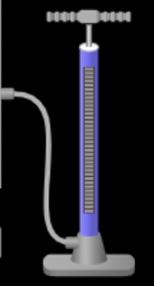
- Largeur ◀ - - ▶
- Chronomètre ■
- Compteur de collisions ■



Chuffer



Refroidir



⏸ ▶

● ●

↻

Propriétés des gaz

- 
- 
Gaz parfait
- 
Explorer
- 
Energie
- 
Diffusion des gaz



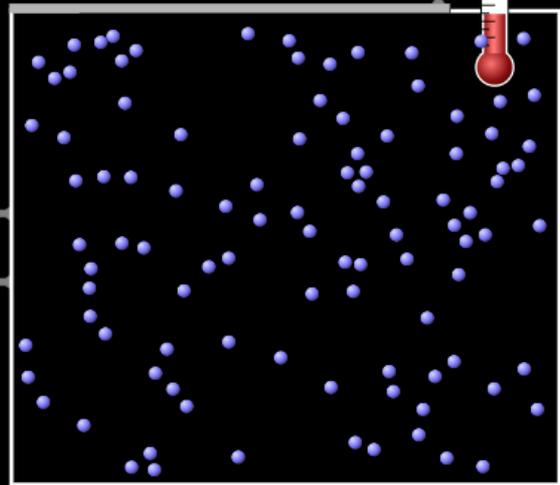
Collisions sur les parois

65

Période d'échantillonnage

10 ps

284 K



Grandeur constante

- Rien
- Volume constant (V)
- Température constante (T)
- Pression constante Volume variable
- Pression constante Température variable

- Largeur
- Chronomètre
- Compteur de collisions

Particules

- Lourdes
- 100
- Légères
- 0

-
- La vitesse des molécules de dioxygène est elle égale supérieure ou inférieure à celle des atomes d'Hélium ?

I.2 Equation d'état du gaz parfait

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

- p : pression du gaz parfait (Pa)
- V : volume du gaz parfait (m^3)
- n : quantité de matière de gaz parfait (mol)
- R : constante des gaz parfaits égale à $R=8,314 \text{ J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
- T : température du gaz parfait (K)

- Quel est le volume d'une mole de dioxygène dans les CNTP: 0°C 1 atm ?
 - $R=8,314 \text{ J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
-

- $p\cdot V = n\cdot R\cdot T$

- $V = 1\cdot R\cdot T/ p$

- ou

- $V_m = V/n = R\cdot T/ p$

- $V_m = 8,314\cdot 273,15/1,013\cdot 10^5$

- $V_m = 0,0224 \text{ m}^3\cdot\text{mol}^{-1}$

- $V_m = 22,4 \text{ L}\cdot\text{mol}^{-1}$

- Quel est le volume d'une mole d'Hélium dans les COTP: 20°C 1 atm ?
-

- $p \cdot V = n \cdot R \cdot T$

- $V = 1 \cdot R \cdot T / p$

- ou

- $V_m = V/n = R \cdot T / p$

- $V_m = 8,314 \cdot 293,15 / 1,013 \cdot 10^5$

- $V_m = 0,0240 \text{ m}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$

- $V_m = 24,0 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1}$

II. Premier principe :

- Activité page 408
- https://phet.colorado.edu/sims/html/states-of-matter/latest/states-of-matter_fr.html

-
- Pour les systèmes fermés subissant une transformation thermodynamique, on définit un principe de conservation de l'énergie, que l'on appelle « premier principe de la thermodynamique ».
 - Celui-ci relie la variation d'énergie $\Delta E = E_{\text{final}} - E_{\text{initial}}$ du système

-
- S'il n'y a ni variation d'énergie cinétique macroscopique ni variation d'énergie potentielle extérieure, le premier principe stipule que la variation d'énergie interne ΔU est égale à :

$$\Delta U = W + Q$$

- ΔU : variation d'énergie interne (J)
- W : travail (J)
- Q : énergie échangée par transfert thermique (J)

-
- Tout comme le travail W , l'énergie échangée Q est une grandeur algébrique qui est :
 - **positive** lorsque le système **reçoit** effectivement de l'énergie ;
 - **négative** lorsque le système **cède** effectivement de l'énergie.

-
- Les transferts d'énergie mécanique ont lieu sous forme de travail W . Ils n'ont lieu que si le système est déformable (ou compressible). $W = p \cdot V$
 - Si le système est incompressible $W = 0$

III. Bilan d'énergie sur un système incompressible:

Système incompressible : $W = 0$

Donc $\Delta U = Q$

III.1. Capacité thermique

Lorsqu'un apport de chaleur Q s'accompagne d'une variation de température ΔT ,

le rapport C de ces deux grandeurs est appelé **capacité thermique**

ou c , *capacité thermique massique*

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T$$

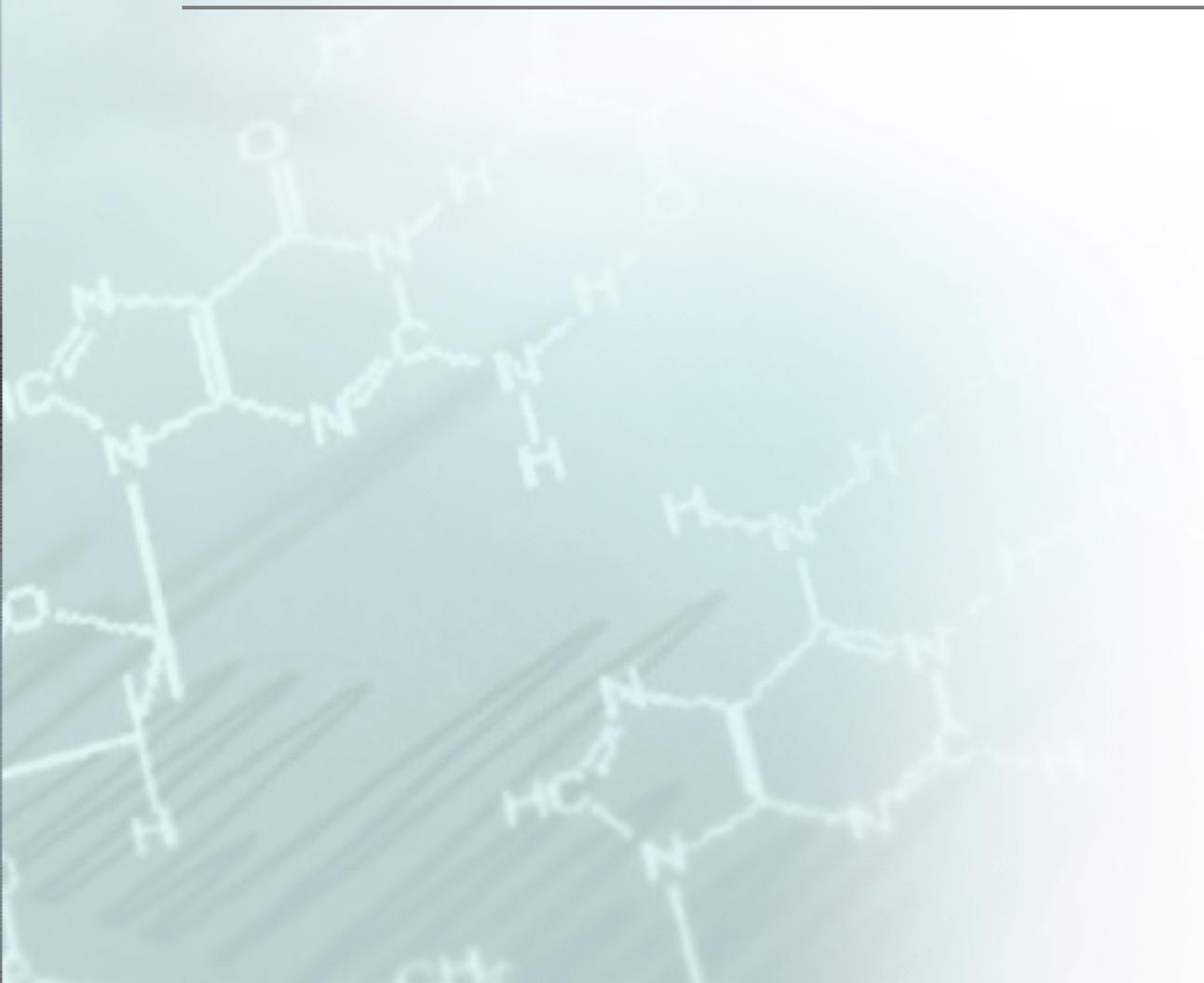
ΔU : variation d'énergie interne (J)

m : masse du système (kg)

c : capacité thermique massique ($\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)

ΔT : variation de température (K)

Ex 21 page 418



Rappel:

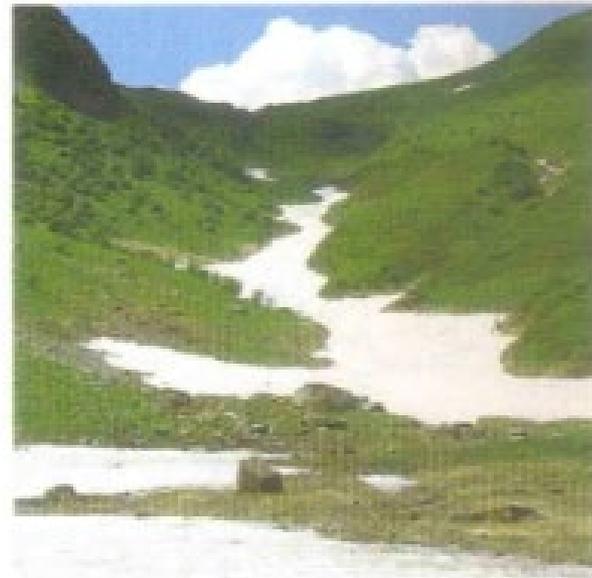
L'énergie massique de changement d'état

- **L'énergie massique de changement d'état d'une espèce chimique est la quantité d'énergie que doit capter ou céder 1 kg de ce corps pour changer d'état.**
- Cette énergie massique de changement d'état est notée L et elle s'exprime en joule par kilogramme ($\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$).

17 La fonte d'un névé (Développement durable)

Un petit névé de 40 m^2 de surface libre et de 30 tonnes de glace à $0 \text{ }^\circ\text{C}$ fond sous l'action du soleil et de l'air ambiant.

Compte tenu de la réflexion du rayonnement solaire, on estime que la puissance disponible pour faire fondre la glace est de 130 W par mètre carré.



- a. Calculer la quantité de chaleur nécessaire à la fonte du névé. La chaleur latente de fusion de la glace est : $L = 335 \text{ kJ/kg}$.
- b. Calculer l'apport d'énergie fournie au névé en 1 heure. En déduire la durée nécessaire pour que le névé se transforme entièrement en eau liquide (le résultat est donné à la dizaine d'heures près).

- 1. $Q = m \cdot L$
- $= 30,103 \cdot 335$
- $= 10,106 \text{ kJ}$

- 2, $E = P \cdot t$
- $= 130 \cdot 40 \cdot 3600$

- $T = Q/E =$

Le responsable d'un camp de randonnée en Laponie doit préparer 5 litres d'eau chaude à 40 °C à partir de la glace prélevée sur des névés. La température de la glace est de -18 °C.

Il fait fondre 5 kilogrammes de glace sur un réchaud à gaz.

Données : $c_{\text{eau}} = 4\,180 \text{ J}/(\text{kg}\cdot^{\circ}\text{C})$; $c_{\text{glace}} = 2\,100 \text{ J}/(\text{kg}\cdot^{\circ}\text{C})$.

1. D'où provient la chaleur qui fait fondre la glace ?
2. Quel est le nom donné au changement d'état décrit ci-dessus ?
3. Calculer la quantité de chaleur :
 - pour élever la température de la glace de -18 °C à 0 °C ;
 - pour faire fondre la glace à 0 °C, sachant qu'il faut fournir 335 kJ pour faire fondre un kilogramme de glace à 0 °C ;
 - pour élever la température de l'eau de 0 °C à 40 °C.

Laquelle de ces trois étapes nécessite plus de chaleur ?

III.2. Transferts thermiques

III.2.1 Modes de transferts

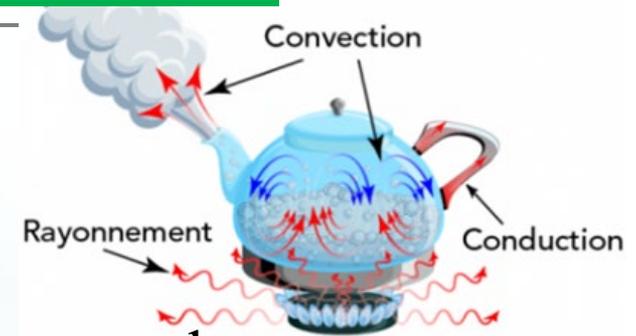
- Il existe trois modes de transfert:

- **Transfert thermique par conduction:**

L'énergie thermique se transmet de proche en proche sans déplacement de matière.

- **Transfert thermique par convection:** L'énergie thermique se transmet avec déplacement de matière.

- **Transfert thermique par rayonnement:** L'énergie thermique se transmet avec un rayonnement électromagnétique.



III.2.2 Notion de flux thermique

Un flux thermique phi majuscule (Φ) caractérise la vitesse du transfert thermique Q pendant une durée Δt au sein d'un système :

$$\Phi = Q / \Delta t$$

avec,

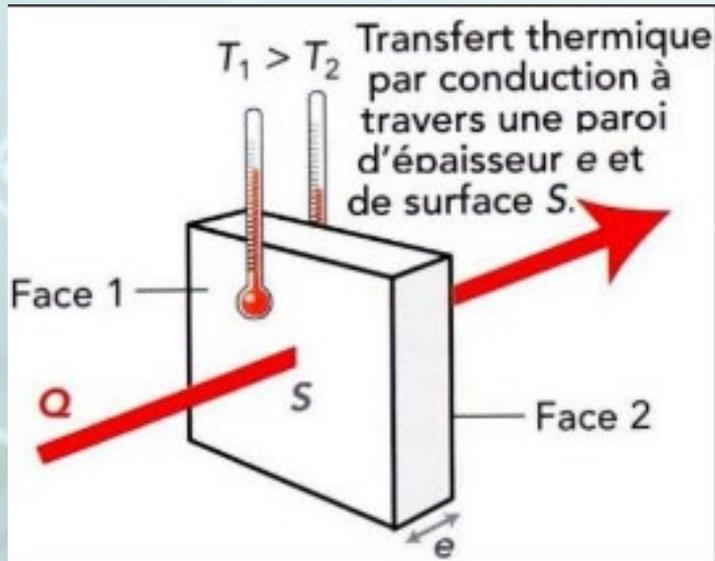
Φ en watt (W)

Δt en seconde (s)

Q en joule (J)

-
- Convention : de même que pour un transfert thermique, un flux thermique est compté positivement
 - s'il s'effectue du milieu extérieur vers le système et négativement dans le cas contraire.

III.2.3 Notion de résistance thermique



- Soit deux surfaces de températures respectives T_1 et $T_2 < T_1$ constantes.
- Ces surfaces sont séparées par un milieu, dans lequel un transfert thermique s'effectue par conduction. Le flux thermique Φ à travers le milieu entre ces surfaces est proportionnel à leur différence de température,
 - Il dépend également de certaines caractéristiques du milieu.

La résistance thermique R_{th} de la paroi est définie par :

$$R_{th} = \frac{T1 - T2}{\Phi}$$

Avec Φ en watt (W)

T en kelvin (K)

R_{th} en kelvin par watt (K. W⁻¹)

- $R_{th} = \frac{e}{\lambda S}$

- **R_{th} la résistance thermique en K.W⁻¹**
 - e l'épaisseur de la paroi en m
 - S la surface de la paroi en m²
- **λ la conductivité thermique du matériau en W.m⁻¹.K⁻¹**

-
- Sujet bac : Pompe à chaleur et habitation

III.2.4 Loi de refroidissement de Newton:

La loi du refroidissement de Newton indique que la vitesse de refroidissement d'un corps est proportionnelle à la différence entre la température T de ce corps à l'instant t et la température T_a constante de l'air ambiant. Le coefficient de proportionnalité dépend de la surface S de contact entre le corps et le milieu ambiant, autrement dit :

$$\Phi = h \cdot S \cdot (T_{\text{ext}} - T)$$

h : coefficient de transfert thermique, dit coefficient de Newton ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$)

S : surface d'échange entre le système et la paroi (m^2)

III.2.5 Equation différentielle du refroidissement:

- Soit un système incompressible, de masse m , de capacité thermique massique c , de température initiale T_0 .
- Ce système est en contact sur une surface d'aire S avec un fluide de température $T_{ext} < T_0$.
 - Un transfert thermique Q s'effectue par conduction/convection du système étudié au fluide.

- Par définition $\Phi = Q / \Delta t$
-

- D'après le premier principe de la thermodynamique pour un système incompressible:

$$\Delta U = Q$$

- $\Delta U = m \cdot c \cdot \Delta T$

- finalement

$$\Phi = m \cdot c \cdot \frac{dT}{dt}$$

$$\Phi = m \times c \times \frac{dT}{dt}$$

Et d'après la loi de Newton

$$\Phi = h \times S \times (T_{ext} - T)$$

Donc

$$m \times c \times \frac{dT}{dt} = h \times S \times (T_{ext} - T)$$

$$m \times c \times \frac{dT}{dt} + h \times S \times T = h \times S \times T_{ext}$$

Equation différentielle que l'on peut écrire sous la forme

$$\frac{dT}{dt} + \frac{T}{\tau} = \frac{T_{ext}}{\tau}$$

La grandeur $\tau = h \cdot S / m \cdot c$ désigne le temps caractéristique d'évolution de la température.

-
- Solution générale : $T = A \cdot \exp(-t/\tau)$
 - Solution particulière $T = T_{\text{ext}}$
 - Finalement $T = (T_0 - T_{\text{ext}}) \cdot \exp(-t/\tau) + T_{\text{ext}}$

Les solutions de cette équation différentielle sont de la forme

$$T(t) = T_{\text{ext}} + (T_0 - T_{\text{ext}}) \cdot \exp(-t/\tau)$$

