

	Sciences et Technologies de l'Industrie et du Développement Durable		
	ENERGIE CALORIFIQUE		
	Energie et Environnement – Conversion d'énergie	ANNEXE	

# Bilans thermiques

*D'après Paul Milan, Physique-Chimie*

## Table des matières

<b>1</b>	<b>L'état macroscopique et microscopique de la matière.....</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Énergie interne d'un système .....</b>	<b>2</b>
2.1	Définition .....	2
2.2	Application .....	3
<b>3</b>	<b>Les différents types d'échange de chaleur.....</b>	<b>4</b>
<b>4</b>	<b>Flux thermique .....</b>	<b>4</b>
4.1	Définition .....	4
4.2	La résistance thermique.....	5
<b>5</b>	<b>Bilan énergétique.....</b>	<b>5</b>

# 1 L'état macroscopique et microscopique de la matière

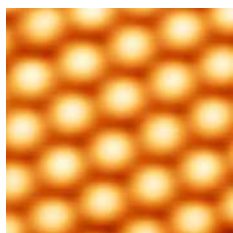
## L'état macroscopique

L'état macroscopique de la matière concerne la matière qui est accessible à l'échelle humaine et en particulier dans la vie quotidienne. Cet état est quantifié par la masse ou la quantité de matière (g ou mol)

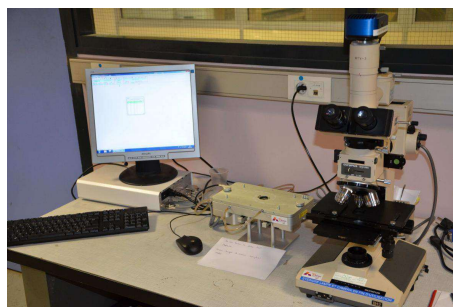
## L'état microscopique

L'état microscopique de la matière concerne la matière à l'échelle atomique ou moléculaire.

Entre l'état macroscopique et microscopique, il existe une constante de liaison : le nombre d'Avogadro  $N_A = 6,023 \times 10^{23}$  particules par mole. Depuis les années 80 grâce aux microscopes à effet tunnel et aux microscopes à force atomique, on peut observer la surface des atomes.



Atomes de silicium à la surface d'un cristal de carbure de silicium (SiC). Image obtenue à l'aide d'un microscope à effet tunnel (STM).



Microscope à force atomique

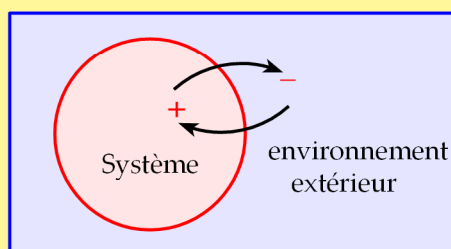
## 2 Énergie interne d'un système

### 2.1 Définition

**Définition 1 :** On appelle **système** un corps ou l'ensemble de corps qui fait l'objet d'une étude.

On distingue trois types de systèmes :

- Un **système ouvert** : échange de matière et d'énergie avec l'extérieur.
- Un **système fermé** : échange uniquement d'énergie avec l'extérieur.
- Un **système isolé** : pas d'échange avec l'extérieur.



**Définition 2 :** On appelle **énergie interne U d'un système** l'ensemble de toutes les énergies qui se manifestent au niveau des particules microscopiques (énergie cinétique, électrostatique, ...)

- 1) On ne peut pas déterminer l'énergie interne d'un système mais seulement la variation de l'énergie interne :  $\Delta U = U_2 - U_1$

avec :

- $U_1$  : énergie interne du système à l'état 1
- $U_2$  : énergie interne du système à l'état 2

Remarque :  $\Delta U$  ne dépend pas des états intermédiaires mais uniquement des états 1 et 2.

- 2) État du système : ensemble des paramètres qui caractérisent le système. On a :

$$\Delta U = m.c.(T_f - T_i) \quad \text{avec}$$

$c$  = capacité thermique massique en  $\text{J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$

$T_i$  = température initiale en K ou en  $^{\circ}\text{C}$

$T_f$  = température finale en K ou en  $^{\circ}\text{C}$

$m$  = masse en kg

Température T (Kelvin) =  $\theta(\text{degré celsius}) + 273,15$

Remarque : Cette formule n'est valable que si le système ne change pas de phase c'est à dire par exemple que l'eau reste à l'état liquide.

## 2.2 Application

Calculer la variation d'énergie interne de :

- a) 150 L d'eau chauffés de  $15^{\circ}\text{C}$  à  $60^{\circ}\text{C}$
- b) 10 kg de fonte dont la température passe de  $130^{\circ}\text{C}$  à  $20^{\circ}\text{C}$ .

Données : capacité massique de l'eau et de la fonte :

$$c_{\text{eau}} = 4,18.10^3 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1} \quad \text{et} \quad c_{\text{fonte}} = 4,70.10^2 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$$



- a) Comme la température de l'eau augmente, l'énergie interne augmente. On convertit le volume d'eau en masse soit 150 kg. On a alors :

$$\begin{aligned} \Delta U_{\text{eau}} &= mc(T_f - T_i) \\ &= 150 \times 4,18.10^3(60 - 15) \\ &= 2,8.10^7 \text{ J} \end{aligned}$$

- b) Comme la température de la fonte diminue l'énergie interne de la fonte diminue. On a alors :

$$\begin{aligned} \Delta U_{\text{fonte}} &= mc(T_f - T_i) \\ &= 10 \times 4,70.10^2(20 - 130) \\ &= -5,1.10^5 \text{ J} \end{aligned}$$

### 3 Les différents types d'échange de chaleur

#### Échange de chaleur

On distingue trois types d'échange de chaleur :

- échange par **conduction** : échange par contact sans déplacement de matière.
- échange par **convection** : échange par mouvement de matière comme dans une casserole d'eau
- échange par **rayonnement** : échange à l'aide d'ondes électromagnétiques comme l'infra rouge ou le rayonnement solaire.

*Remarque : Les transferts de chaleur se font souvent par plusieurs types d'échange : dans le radiateur d'une voiture, l'eau est refroidie par rayonnement du métal dans l'air et par convection avec le ventilateur situé à côté.*

### 4 Flux thermique

#### 4.1 Définition

**Définition 3** : On appelle flux thermique, noté  $\Phi$ , à travers une paroi, la puissance thermique qui la traverse. Il évalue la rapidité du transfert thermique. Il s'obtient par la relation

$$\Phi = \frac{Q}{t} \quad \text{avec}$$

$\Phi$  = flux thermique en Watt

$Q$  = quantité de chaleur transférée à travers la paroi, en joules

$t$  = temps en secondes

*Remarque : On peut faire l'analogie entre le flux thermique à travers une paroi en thermodynamique et l'intensité traversant un récepteur en électricité. Le flux est déterminé par la différence de température entre les faces de la paroi tandis que l'intensité est déterminée par la différence de potentiel entre les bornes du récepteur. Pour cette raison on peut définir une résistance thermique.*

## 4.2 La résistance thermique

**Définition 4 :** La résistance thermique  $R_{th}$  d'une paroi traduit sa capacité à s'opposer au transfert thermique. Elle est définie comme le rapport de la différence de températures entre les faces de la paroi sur le flux thermique. On a alors :

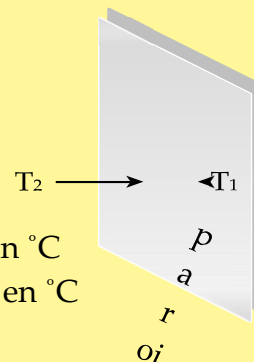
$$R_{th} = \frac{T_2 - T_1}{\Phi} \quad \text{avec}$$

$R_{th}$  = résistance thermique en  $K.W^{-1}$

$T_1$  = température absolue de la face froide en K ou en  $^{\circ}C$

$T_2$  = température absolue de la face chaude en K ou en  $^{\circ}C$

$\Phi$  = flux thermique en Watt



**Remarque :** Lorsque la paroi, de surface  $S$  ( $m^2$ ) et d'épaisseur  $e$  ( $m$ ), est homogène et isotrope (même résistance dans toute les directions), on définit la conductivité thermique  $\lambda$  en  $W.m^{-1}.K^{-1}$ . On a alors :  $R_{th} = \frac{e}{\lambda.S}$

Plus la conductivité  $\lambda$  est petite, plus la résistance est grande. Un matériau est considéré comme isolant si sa conductivité thermique est inférieure à  $0,065 W.m^{-1}.K^{-1}$ .

Matériaux	Conductivité	Matériaux	Conductivité
Cuivre	390	Verre	0,2
Fer	80	Bois	0,15
Titane	10	Carton	0,07
Granite	2,2	Laine de verre	0,04
Béton	0,9	Polystyrène	0,036
Eau	0,6	Air	0,026

### Analogie entre électricité et thermodynamique

	Électricité	Thermodynamique
Cause	différence de potentiel $\Delta U$	différence de température $\Delta T$
Effet	$I$ intensité	$\Phi$ flux thermique
Résistance	$R$ en $\Omega$	$R_{th}$ en $W.m^{-1}.K^{-1}$
Loi	$\Delta U = RI$ (loi d'Ohm)	$\Delta T = R_{th}\Phi$

## 5 Bilan énergétique

Effectuer un bilan énergétique sur un système lors d'une transformation consiste à :

- déterminer tous les transferts énergétiques qui ont lieu entre le système et l'extérieur, les énergies reçues sont comptées positives, les énergies cédées négatives ;
- représenter éventuellement les transferts par une chaîne énergétique, en distinguant les convertisseurs d'énergie des systèmes qui la stockent ;
- conclure par une évaluation de l'efficacité de la transformation. La variation de l'énergie totale d'un système au cours d'une évolution est donc uniquement égale à la somme des travaux  $W$  et des transferts thermiques  $Q$  échangés avec le milieu extérieur :  $\Delta E_{totale} = W + Q$