



## Chapitre 14 : Comment s'effectuent les transferts d'énergie au niveau macroscopique ?

### I. Notions de système et d'énergie interne.

- Savoir que l'énergie interne d'un système macroscopique résulte de contributions microscopiques.
- Interpréter les transferts thermiques dans la matière à l'échelle microscopique.

#### 1. Système.

Lorsqu'on effectue une étude énergétique dans le but de mettre en évidence des transferts d'énergie, il est nécessaire de définir le système que l'on étudie. Un système est un ensemble macroscopique d'entités microscopiques (atomes, ions ou molécules). Il est séparé du milieu extérieur par une frontière: une interface où peuvent avoir lieu des transferts d'énergie.

#### 2. Energie interne.

L'énergie d'un système se décompose en énergie microscopique et en énergie macroscopique. Ainsi, l'énergie reçue par un système peut être stockée par le système sans que son énergie cinétique ni son énergie potentielle ne soient modifiées. Ce sera l'énergie microscopique qui est modifiée.

##### a) Energies microscopiques:

- L'énergie cinétique microscopique est liée à l'agitation thermique désordonnée des entités du système. Cette énergie augmente avec la température du système.
- Les énergies potentielles d'interaction dépendent de la distance entre les entités. Plus les entités s'éloignent, plus la contribution de l'énergie potentielle d'interaction à l'énergie interne diminue.

On appelle **l'énergie interne U**, l'énergie qu'un système peut stocker sans qu'il y ait modification du mouvement de son centre d'inertie ni de l'altitude à laquelle il se trouve.

**L'énergie interne d'un système est la somme de toutes les énergies microscopiques liées à sa structure à l'échelle moléculaire, atomique et nucléaire.**

##### b) Energies macroscopiques

- énergie cinétique du système s'il est en mouvement;
- énergies potentielles du système en interaction avec son environnement.

L'énergie mécanique d'un système macroscopique résulte de la contribution macroscopique :  $E_c$  et  $E_p$ .

### II. Bilans thermique.

#### 1. Capacité thermique massique.

- Connaître et exploiter la relation entre la variation d'énergie interne et la variation de température pour un corps dans un état condensé.

Soit un système solide ou liquide, de masse  $m$ , qui n'échange de l'énergie que par transfert thermique et ne change pas d'état physique lors de cet échange. Sa variation de température lors de cet échange est notée  $\Delta T$ .

La variation de son énergie interne est alors  $\Delta U = m \times c \times \Delta T = m \times c \times (T_f - T_i)$   
avec  $c$  la capacité thermique massique du solide ou du liquide en question en  $J/g/^\circ C$  ou  $J/g/K$ .  
 $T_f$  et  $T_i$  les températures finales et initiales.

Remarques.

- La variation de température  $\Delta T$  peut s'exprimer en  $^\circ C$  ou en  $^\circ K$ .  
On rappelle la relation:  $T(^{\circ}K) = T(^{\circ}C) + 273,15$
- La capacité thermique massique est l'énergie qu'il faut fournir pour augmenter de  $1^\circ K$  (ou de  $1^\circ C$ ) la température d'un corps de  $1\text{ kg}$ .

Pour un objet (calorimètre par exemple), on définit la capacité thermique de l'objet  $C$  en  $J/^\circ C$  ou  $J/K$ .

Dans ce cas la variation de son énergie interne est :  $\Delta U = C \times \Delta T$

## 2. Transferts thermiques : conduction, convection, rayonnement.

En apportant de l'énergie par travail, on peut chauffer un corps. On peut réaliser les mêmes transformations en mettant le corps en contact avec une source chaude: une flamme ou un conducteur ohmique porté à température élevée par le passage du courant.

On dit alors qu'il s'est produit un transfert d'énergie sous forme thermique; de l'énergie est transférée de la flamme ou du conducteur à l'eau.

Il se produit également un transfert thermique si l'on place un corps chaud dans une pièce: le corps chaud se refroidit en transférant continuellement de l'énergie à l'air de la pièce qui se réchauffe (mais dont la température ne s'élève que très peu).

**Un transfert thermique modifie l'énergie interne d'un corps. Un transfert thermique s'effectue toujours du corps le plus chaud vers le corps froid.**

### 2.1. LE TRANSFERT THERMIQUE PAR CONDUCTION.

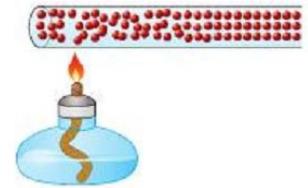
**Définition:** Ce transfert thermique s'effectue sans transport de matière.

Exemple: Si nous plaçons l'extrémité d'une tige métallique dans une flamme, l'autre extrémité devient rapidement brûlante. Il y a un transfert thermique de l'extrémité chaude de la tige, vers l'extrémité froide.

Le transfert thermique à travers les murs d'une maison s'effectue aussi par conduction.

Interprétation.

Nous pouvons donner une interprétation de ce phénomène en considérant que la flamme, en élevant la température d'une extrémité de la tige, augmente l'énergie cinétique des particules du métal (électrons, ions...) dans la zone chauffée. Cette agitation se propage de proche en proche, par chocs successifs, jusqu'à l'autre extrémité.

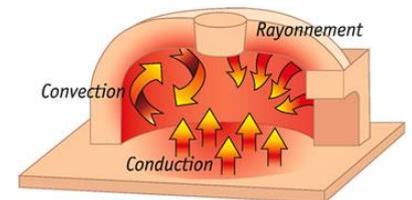


### 2.2. LE TRANSFERT THERMIQUE PAR CONVECTION.

**Définition:** Ce transfert thermique s'effectue avec transport de matière.

Exemple: Si on place une fiole de colorant au fond d'un récipient rempli d'eau.

On chauffe légèrement ce récipient. Des filets de colorant montent vers la surface. On observe un mouvement des parties chaudes de l'eau vers les parties froides.



### 2.3. LE TRANSFERT D'ENERGIE PAR RAYONNEMENT.

Le transfert thermique est un mode de transfert désordonné qui s'interprète à l'échelle microscopique par des transferts d'énergie lors d'interactions concernant des particules situées à l'interface entre le système et son environnement.

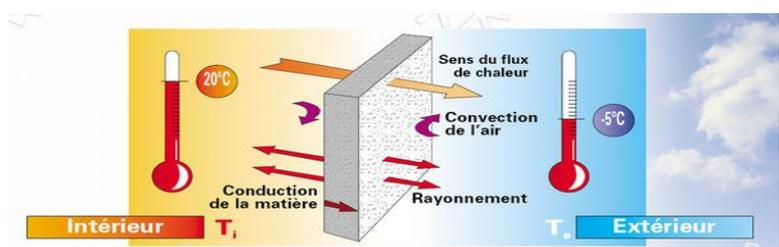
Le Soleil, source de réactions thermonucléaires, dégage une grande quantité d'énergie qui réchauffe la Terre. C'est aussi un transfert d'énergie, MAIS c'est le seul qui s'effectue même dans le vide. On l'appelle le rayonnement. C'est cette différence qui explique la distinction avec le transfert thermique.

Le rayonnement est constitué d'ondes électromagnétiques. Ce sont surtout les radiations infrarouges qui produisent l'échauffement des corps qui les reçoivent.

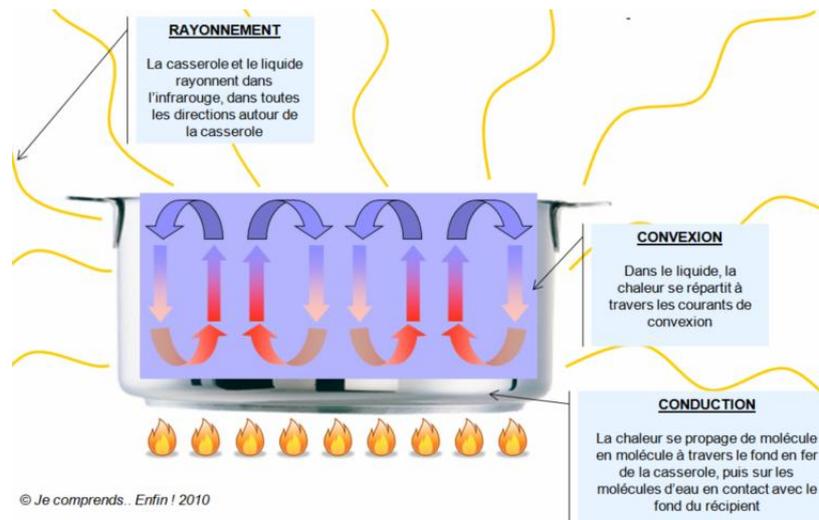
Le Soleil émet surtout des radiations visibles. Ces radiations sont absorbées par le sol et sont réémises sous formes d'infrarouges. L'atmosphère contenant de la vapeur d'eau et du dioxyde de carbone est plus ou moins opaque à ce rayonnement infrarouge.

L'énergie se trouve ainsi piégée: c'est l'effet de serre.

Tout corps chaud émet un rayonnement infrarouge. Ce phénomène est utilisé dans les caméras à infrarouge, les appareils de thermographie.



Exemple de la vie courante où l'on retrouve les 3 types de transferts thermiques :



### 3. Flux thermique et résistance thermique.

- Exploiter la relation entre le flux thermique à travers une paroi plane et l'écart de température entre ses deux faces.

Le flux thermique noté  $\phi$  à travers une surface est la puissance thermique qui la traverse. Il évalue la rapidité du transfert thermique. Il s'obtient par la relation :

$$\Phi = \frac{Q}{\tau}$$

avec Q (en J) l'énergie transférée à travers la paroi pendant un temps  $\tau$  (en s).  
 $\phi$  le flux thermique qui s'exprime en Watts.

La résistance thermique d'un corps traduit sa capacité à s'opposer au transfert thermique.

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

Avec  $R_{th}$  la résistance thermique en K.w-1,  
T1 et T2 en K ou en °C  
 $\phi$  le flux thermique qui s'exprime en Watts.

## III. Bilans d'énergie.

- Établir un bilan énergétique faisant intervenir transfert thermique et travail.

### 1. Conservation de l'énergie.

L'énergie totale  $E_{\text{totale}}$  d'un système est la somme de trois énergies: l'énergie cinétique, l'énergie potentielle et l'énergie interne:

$$E_{\text{Totale}} = E_C + E_p + U = E_m + U \text{ avec } E_m = E_C + E_p \text{ l'énergie mécanique.}$$

L'énergie totale  $E_{\text{Totale}}$  d'un système ne peut être ni créée ni détruite. Si un système perd ou gagne de l'énergie, cette énergie est obligatoirement cédée ou prise à un autre système. Elle peut ainsi être convertie d'une forme en une autre. On parle d'un système qu'il est isolé, s'il n'effectue pas de transferts d'énergie avec d'autres systèmes. L'énergie totale d'un système isolé se conserve.

Exemple: Une bouteille thermos idéale contenant une boisson n'échange pas de chaleur avec le milieu extérieur. Le système thermos est un système isolé.

### 2. 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:  $\Delta E_{\text{totale}} = W + Q$

Exemple :

Un moteur thermique reçoit de l'énergie thermique et fournit un travail mécanique

Or cette même variation de l'énergie totale d'un système au cours d'une évolution est  $\Delta E_{\text{totale}} = \Delta EM + \Delta U$ .

Dans le cas particulier d'un système qui ne subit pas de modification du mouvement de son centre d'inertie ni de l'altitude à laquelle il se trouve, la variation de l'énergie mécanique  $\Delta EM$  est donc nulle.

On aura alors  $\Delta E_{\text{totale}} = \Delta U$

Au final, on a donc pour un système immobile  $\Delta E_{\text{totale}} = W + Q = \Delta U$