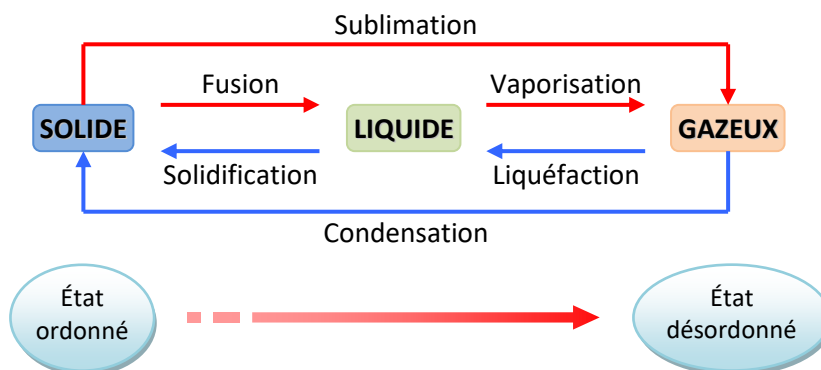


Chapitre 2 : Énergie interne

1. Les changements d'état [Rappel]

Définition :

Le **changement d'état** physique d'un corps est une transformation physique au cours de laquelle le corps passe d'un état physique à un autre :



2. La température

La **température** est une grandeur physique mesurée à l'aide d'un thermomètre. C'est une fonction croissante du **degré d'agitation thermique** des particules (atomes, molécules, ions) qui composent un corps : plus elle est élevée, plus ces particules s'agitent.

Ainsi, lorsque le corps est « froid », ces particules sont bien rangées et pratiquement immobiles (état compact et ordonné), lorsque le corps est « chaud » et sous forme gazeuse elles ont un mouvement désordonnés et peu d'interactions entre elles (état dispersé et désordonné) :

État physique	Solide	Liquide	Gaz
Arrangement des particules	<p>Compact Ordonné</p>	<p>Compact Désordonné</p>	<p>Dispersé Désordonné</p>
	Matière dense	Matière moins dense	Matière peu dense

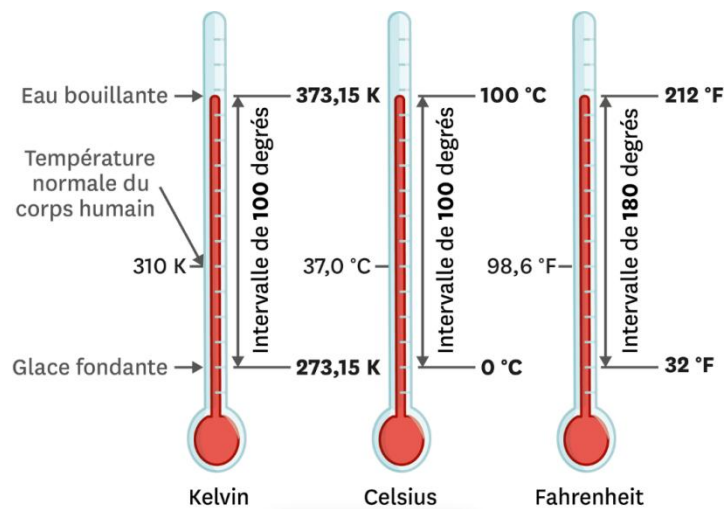
Définitions :

- Au sein de la matière, quel que soit son état, les particules (atomes, ions ou molécules) sont en perpétuelle agitation. Cette agitation est de moins en moins importante lorsque la température diminue et inversement. Ce phénomène s'appelle **l'agitation thermique** ;
- La **température** est une mesure indirecte du degré d'agitation microscopique (ou agitation thermique) des particules (molécules, atomes ou ions) qui composent la matière. On la mesure avec un thermomètre.

Pour aller plus loin :

- [Wikipedia.org \(Température\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Temp%C3%A9rature)

Les échelles de température :



$$T(K) = \theta(^{\circ}C) + 273,15$$

→ Une variation de 1°C est égale à une variation de 1K.

3. L'énergie interne

Les particules qui composent la matière (molécules, atomes ou ions) ne sont jamais au repos : elles sont en vibration permanente et possèdent donc une certaine **énergie cinétique**⁽¹⁾. Elles sont également en interaction, elles possèdent donc une **énergie potentielle d'interaction**⁽²⁾.

Définitions :

L'énergie interne, notée **U**, est égale à la somme de l'énergie cinétique (microscopique) de chaque entité élémentaire (de masse non nulle) et de toutes les énergies potentielles (microscopiques) d'interaction des entités élémentaires de ce système.

L'énergie interne est donc une composante de l'énergie totale d'un système qui s'écrit comme la somme de l'énergie mécanique et de l'énergie interne :

$$E_{\text{Totale}} = E_{\text{Cinétique (macroscopique)}} + E_{\text{Potentielle (macroscopique)}} + U$$

Remarque :

La valeur de l'énergie interne n'est ni mesurable, ni calculable : on peut néanmoins avoir accès à des variations d'énergie interne ΔU .

Variations d'énergie interne par transferts d'énergie à l'échelle macroscopique :

Dans le cas d'une réaction chimique, le système réactionnel sera au repos à l'échelle macroscopique (le réacteur n'est pas en mouvement dans les champs de gravitation, électriques et magnétiques). Son énergie macroscopique reste donc constante :

$$E_{\text{Totale}} = \text{Constante} + U$$

⇒ La variation d'énergie du système au cours de la réaction chimique est donc égale à la variation de son énergie interne :

$$\Delta E_{\text{Totale}} = \Delta U$$

¹ Les énergies cinétiques correspondant au mouvement du système dans son ensemble ainsi qu'aux mouvements des particules qui le constituent.

² Les énergies potentielles dues aux interactions du système avec le milieu extérieur par l'intermédiaire de champs (gravitationnel, électriques ou magnétiques) mais aussi dues aux interactions entre les molécules, ions, atomes, électrons, noyaux, nucléons... qui constituent ce système.

A RETENIR :

Lorsque la température d'un corps solide ou liquide varie d'une valeur initiale θ_{initiale} à une valeur finale θ_{finale} , la quantité de chaleur Q (ou énergie thermique) transférée est égale à la variation d'énergie interne ΔU :

$$Q = \Delta U = m \times c \times (\theta_{\text{finale}} - \theta_{\text{initiale}})$$

4. Les échanges d'énergie

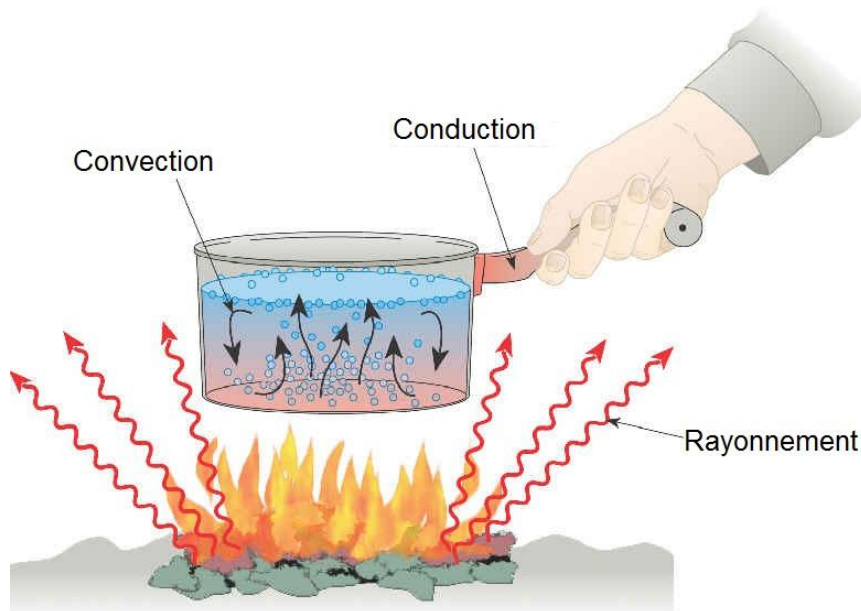
L'expérience montre que lorsqu'on met en présence deux corps pris à des températures différentes, ils échangent spontanément de l'énergie thermique et, au bout d'un certain temps, leur température finit par devenir la même : l'un des deux corps a des particules qui ont plus d'énergie cinétique et, en les mettant en contact, les chocs entre particules font que cette énergie cinétique microscopique se transmet d'un corps à l'autre. Le corps chaud a transféré de l'énergie thermique (ou énergie sous forme de **chaleur**) au corps froid.



Définition :

On appelle **transfert thermique**, un échange d'énergie sous forme de chaleur entre deux corps ayant des températures différentes.

Les modes de transferts thermiques :



Conduction

C'est le mode de transfert qui apparaît toujours dans un fluide ou un solide dès qu'il y a un gradient de température. Il s'agit d'un transfert thermique de proche en proche par chocs microscopiques entre particules d'énergie différente, les particules les plus énergétiques transmettant de l'énergie cinétique à celles qui en ont moins.

Exemple : un métal que l'on chauffe à l'une de ses extrémités.

Convection

C'est un mode de transfert observable dans un **fluide en mouvement**. Il est donc lié à un transfert de masse macroscopique.

Exemple : de l'eau que l'on fait chauffer.

Rayonnement

Contrairement aux deux précédents, ce mode de transfert d'énergie ne nécessite pas de milieu matériel. Le transport se fait par des ondes électromagnétiques : le corps chaud émet des photons, donc une onde qui est absorbée par le corps froid qui s'échauffe.

Exemple : chauffage de la Terre par la lumière du Soleil.

Un transfert thermique peut avoir pour conséquence :

- Une variation de température des corps : la température du corps froid augmente, celle du corps chaud diminue ;
- Un changement d'état physique du corps sans variation de sa température.

A RETENIR :

- **L'énergie échangée** au cours d'un transfert thermique se note **Q** (ou **ΔE**), et s'exprime, dans le système international d'unité, en **joule** (symbole : **J**) ;
- La **capacité thermique** (ou capacité calorifique) est l'énergie qu'il faut apporter à un corps pour augmenter sa température de un kelvin. Elle se note **C** et s'exprime en **joule par kelvin** (symbole : **J.K⁻¹**) ;
- La capacité thermique massique (ou chaleur spécifique) est la quantité d'énergie à apporter (par échange thermique) pour élever de un kelvin la température d'un corps de un kilogramme. Elle se note **c** et s'exprime en joule par kilogramme-kelvin (symbole : **J.kg⁻¹.K⁻¹**) ;
- Au cours d'un transfert thermique, l'énergie **Q** mise en jeu pour faire varier la température d'un corps de masse **m** de **Δθ** est :

$$Q = m \times c \times (\theta_{\text{finale}} - \theta_{\text{initiale}})$$

m = masse (en kg)

c = capacité thermique massique du corps (en J.kg⁻¹.°C⁻¹)

Δθ = θ_{finale} - θ_{initiale} = variation de température du corps
au cours du transfert thermique (en °C)

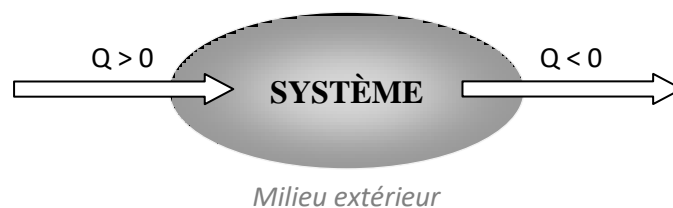
Q = énergie thermique échangée (en J)

Remarques :

- Plus la différence d'énergie cinétique entre 2 particules est grande, plus elles échangent de l'énergie ;
- La capacité thermique **C** s'exprime aussi en **joule par degré Celsius** (symbole : **J.°C⁻¹**) :

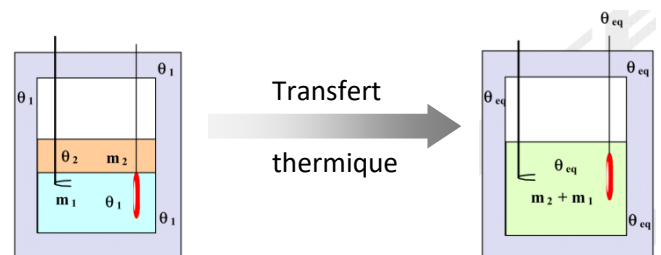
Symbole	C	c	C _m	Commentaire
Unité	J.°C ⁻¹	J.kg ⁻¹ .°C ⁻¹	J.mol ⁻¹ .°C ⁻¹	$c = C_m \times \frac{n}{m} = \frac{C_m}{M}$ (M = masse molaire du corps en g.mol ⁻¹)

- Par convention, l'énergie échangée est une grandeur algébrique :
 - L'énergie reçue par un système du milieu extérieur est **positive** ;
 - L'énergie cédée au milieu extérieur par un système est **négative**.



5. Énergie de changement d'état

Dans le cas où se produit un changement d'état, on peut déterminer, par calorimétrie, l'énergie massique de changement d'état, notée **L**.



Définitions :

- On appelle **énergie massique de changement d'état**, l'énergie qu'il faut apporter ou retirer par transfert thermique à un kilogramme d'un corps pur (ayant atteint sa température de changement d'état) pour qu'il effectue un changement d'état physique. Elle se note **L** et s'exprime, dans le système international d'unités, en **joule par kilogramme** (symbole : J.kg^{-1}). Elle est caractéristique d'un corps.
- À pression constante, l'énergie de changement d'état **Q** d'un corps est le produit de la masse **m** du corps par l'énergie massique de changement d'état **L** :

$$Q = m \times L$$

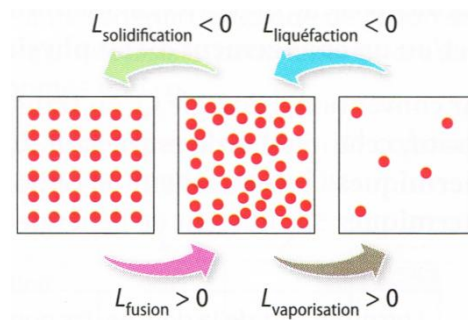
m = masse (en kg)

L = énergie massique de changement d'état (en J.kg^{-1})

Q = énergie de changement d'état (en J)

Remarques :

- L'énergie massique de changement d'état est aussi appelée « **chaleur latente de changement d'état** » ;
- Certains changements d'état nécessitent un apport d'énergie : on parle de transformation **endothermique** ;
- Certains changements d'état libèrent de l'énergie : on parle de transformation **exothermique** ;
- L'énergie massique de changement d'état est caractéristique d'un corps et dépend du changement d'état :



$$L_{\text{fusion}} = - L_{\text{solidification}}$$

$$L_{\text{vaporisation}} = - L_{\text{liquefaction}}$$

$$L_{\text{sublimation}} = - L_{\text{condensation}}$$

- L'énergie molaire de changement d'état L_m , est l'énergie reçue ou cédée par une mole du corps pur lors d'un changement d'état :

$$L_m = \frac{L}{1000} \times M$$

(M = masse molaire du corps, en g.mol^{-1})