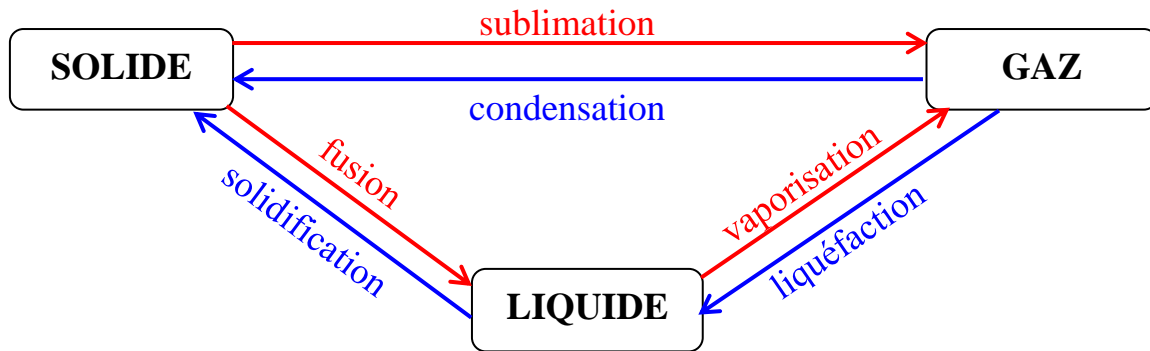


## I Les changements d'état

### 1) Les différents changement d'état

La matière qui nous entoure peut se trouver sous trois états physiques différents : **solide**, **liquide** et **gaz**. Les différents changements d'état portent des noms à connaître :



Attention ! Ne pas confondre : vaporisation, évaporation et ébullition.

La **vaporisation** est le nom du passage de l'état liquide à l'état gazeux. Ce changement d'état peut s'effectuer :

- par **évaporation**, à température ambiante, à la surface libre du liquide (évaporation d'une flaque d'eau ou à la surface d'un lac).
- par **ébullition**, en chauffant le liquide à une température précise (100°C pour l'eau), au sein même du liquide.

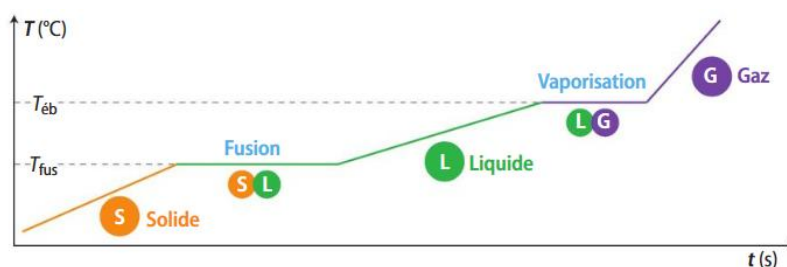


Ces changements d'état se rencontrent au quotidien :

- L'atmosphère contient de la vapeur d'eau qui subit **liquéfaction** ou **condensation**. Cela donne neige, grêle, brouillard, pluie, ...
- En cuisine, pour réaliser du popcorn, l'eau subit une **vaporisation** qui augmente brutalement le volume du grain de maïs et le fait éclater.
- Le procédé de lyophilisation permet de conserver les aliments. L'eau des aliments subit une **solidification** puis une **sublimation**.



**Rappel** : À une pression donnée, les changements d'état de corps purs s'effectuent à température constante. Les deux états coexistent pendant le changement d'état.



### 2) Ecriture symbolique d'un changement d'état

Au cours d'un changement d'état, les entités chimiques (atomes, ions, molécules) ne sont pas modifiées. Quand un glaçon fond, il y a des molécules d'eau dans le glaçon et également dans l'eau liquide que l'on obtient. C'est l'arrangement spatial des entités qui est modifié, entraînant des changements dans les propriétés de la matière. On parle donc de **transformations physiques** (seul l'état physique change).

Pour modéliser un changement d'état d'une espèce chimique, on écrit une équation avec la formule de l'espèce (identique au début et à la fin) et une petite lettre à côté de la formule, entre parenthèse et en indice, qui indique l'état physique de l'espèce au début et à la fin :

(s) : solide                      (l) : liquide                      (g) : gaz

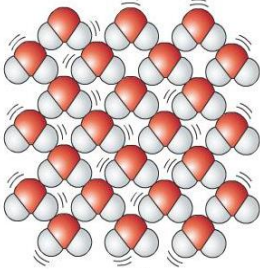
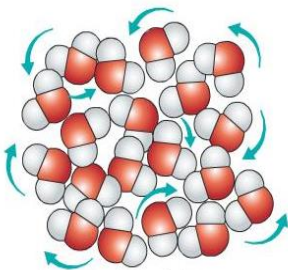
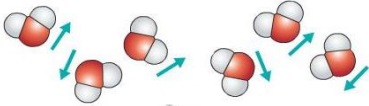
**formule de l'espèce**(état physique 1) → **formule de l'espèce**(état physique 2)

Exemples :

- Equation de vaporisation de l'eau :  $\text{H}_2\text{O}_{(l)} \rightarrow \text{H}_2\text{O}_{(g)}$
- Equation de fusion du sucre (saccharose) :  $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11(s)} \rightarrow \text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11(l)}$

### 3) Modélisation microscopique d'un changement d'état

A l'échelle microscopique, quel que soit l'état physique, les entités constituant la matière sont en permanence en mouvement : c'est l'agitation thermique. Celle-ci est différente suivant l'état physique.

Etat solide	Etat liquide	Etat gazeux
		
<p><b>Un solide</b> est formé d'espèces chimiques <b>très rapprochées</b> et fortement liées les unes aux autres, ne disposant que de très peu de liberté de mouvement.</p> <p>Dans un solide, les particules sont quasi <b>immobiles</b>, et <b>liées</b> entre elles.</p>	<p><b>Un liquide</b> est constitué d'espèces chimiques <b>très rapprochées</b> qui « glissent » les unes sur les autres en étant reliées entre elles par des liaisons faibles.</p> <p>Dans un liquide, les particules sont <b>légèrement agitées</b> et <b>peu liées</b> entre elles.</p>	<p><b>Un gaz</b> est composé d'espèces chimiques <b>espacées</b>. Elles sont libres les unes par rapport aux autres, sans liaison entre elles. Elles se choquent sans cesse.</p> <p>Dans un gaz, les particules sont <b>très agitées</b> et <b>non liées</b> entre elles.</p>

A l'échelle microscopique, lors d'un **changement d'état physique** :

- Quand on chauffe, l'agitation thermique augmente jusqu'à ce que les liaisons entre les particules s'affaiblissent ou se cassent.
- Quand on refroidit, les entités ralentissent et l'agitation thermique diminue jusqu'à ce que les liaisons entre les particules se créent ou deviennent de plus en plus fortes, si elles existaient déjà.

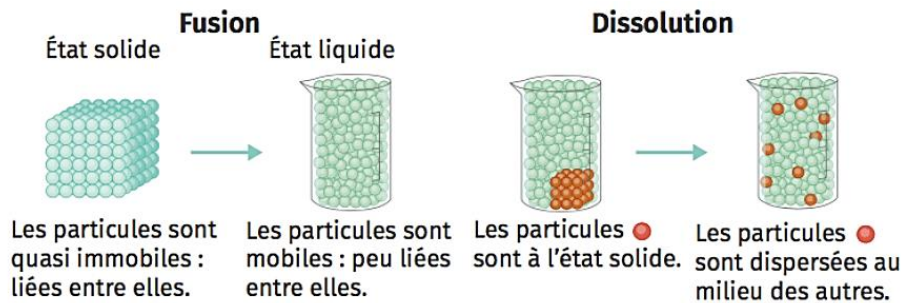
Attention ! Ne pas confondre : fusion et dissolution.

- La **fusion** est le nom du passage de l'état solide à l'état liquide. L'agitation des particules augmente et les liaisons entre les particules sont de plus en plus faibles.

Exemple : fusion de la glace, d'équation  $\text{H}_2\text{O}_{(s)} \rightarrow \text{H}_2\text{O}_{(l)}$

- La **dissolution** est la mise en solution d'un soluté dans un solvant. Les particules du soluté sont séparées de leur voisin par le solvant.

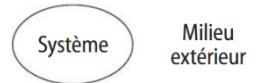
Exemple : quand on met un sucre dans de l'eau, il est physiquement faux de dire : « le sucre fond ». En fait, le sucre se dissout dans l'eau. On obtient une solution **aqueuse**. L'équation de cette transformation est :  $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11(s)} \rightarrow \text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11(aq)}$ . L'indice « aq » signifie que les molécules de sucre sont dispersées entre les molécules d'eau.



## II Energie d'un changement d'état

### 1) Changement d'état et transfert thermique

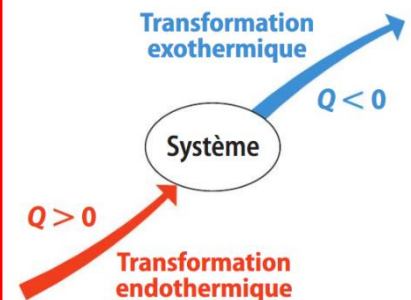
On définit, comme en mécanique, le **système** que l'on étudie et on analyse les échanges d'énergie thermique qu'il effectue avec le milieu extérieur.



L'énergie thermique échangée (appelé également transfert thermique) se note  $Q$  et se mesure en joule (symbole : J). On utilise très souvent le kilojoule ( $1 \text{ kJ} = 10^3 \text{ J}$ ) et le mégajoule ( $1 \text{ MJ} = 10^6 \text{ J}$ ).

Au cours d'un changement d'état, à température constante :

- Si le système cède (libère) de l'énergie thermique, alors le changement d'état est dit exothermique. Le milieu extérieur se réchauffe. L'énergie thermique libérée est alors comptée négativement pour le système ( $Q < 0$ ).
- Si le système reçoit (ou absorbe) de l'énergie thermique, alors le changement d'état est dit endothermique. Le milieu extérieur se refroidit. L'énergie thermique absorbée est alors comptée positivement pour le système ( $Q > 0$ ).

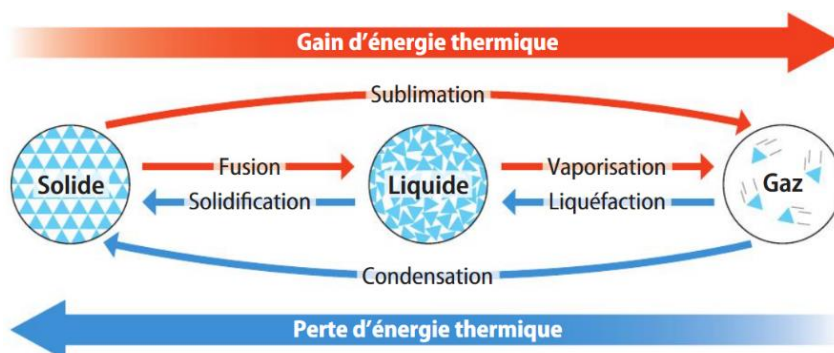


Les transformations physiques telles que la **fusion**, la **vaporisation** ou la **sublimation** absorbent de l'énergie au milieu extérieur qui se refroidit. Cette énergie absorbée augmente l'agitation des particules, les liaisons entre les particules peuvent se rompre. Elles sont **endothermiques**.

*Exemple* : quand on sort de la douche, l'eau liquide sur notre corps s'évapore et prend l'énergie nécessaire à son changement d'état à notre corps qui se refroidit. Voilà pourquoi on a froid !

Les transformations physiques telles que la **solidification**, la **condensation** ou la **liquéfaction** libèrent de l'énergie vers le milieu extérieur qui se réchauffe. L'agitation des particules diminue, les liaisons entre elles peuvent se créer. Elles sont **exothermiques**.

*Exemple* : les chauffettes de poche contiennent un liquide qui libère de l'énergie thermique (qui nous réchauffe) quand il se solidifie.



## 2) Energie massique de changement d'état

**L'énergie massique de changement d'état d'une espèce, notée  $L$ , est l'énergie échangée (absorbée ou libérée) lors du changement d'état d'un kilogramme de l'espèce. Elle se mesure en joule par kilogramme ( $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$ ).**

Comme la fusion, la vaporisation et la sublimation sont des transformations endothermiques (elles absorbent de l'énergie), leur énergie massique de changement d'état est positive ( $L > 0$ ).

A l'inverse, la solidification, la liquéfaction et la condensation sont des transformations exothermiques (elles libèrent de l'énergie), leur énergie massique de changement d'état est négative ( $L < 0$ ).

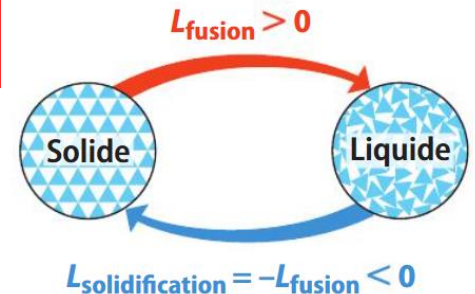
	$L_{\text{fusion}}$ en $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$	$L_{\text{vap}}$ en $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$
Éthanol	109	855
Eau	335	2 265
Or	65	1 644

**Les changements d'état inverses (fusion et solidification par exemple) ont des énergies massiques opposées.**

$$L_{\text{fusion}} > 0 \text{ et } L_{\text{solidification}} = -L_{\text{fusion}}$$

$$L_{\text{vaporisation}} > 0 \text{ et } L_{\text{liquéfaction}} = -L_{\text{vaporisation}}$$

$$L_{\text{sublimation}} > 0 \text{ et } L_{\text{condensation}} = -L_{\text{sublimation}}$$



*Remarque* : Cette énergie est également appelée chaleur latente de changement d'état ou enthalpie de changement d'état.

*Exemple* : énergie massique de vaporisation de l'eau :  $L_{\text{vaporisation}} = 2\,265 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ . Cela signifie qu'il faut apporter 2 265 kJ à un kilogramme d'eau liquide, en la chauffant, pour qu'elle se vaporise entièrement.

On constate que 3 kg d'eau liquide nécessite un apport 3 fois plus important d'énergie pour la vaporiser, soit  $3 \times 2\,265 = 6\,795 \text{ kJ}$ .



> L'apport d'énergie permet de faire bouillir de l'eau.

**L'énergie thermique échangée  $Q$  est proportionnelle à la masse de l'espèce chimique qui subit la transformation.**

$$Q = m \times L$$

$Q$  : quantité d'énergie échangée en joule (J)

$m$  : masse de l'espèce chimique en kilogramme (kg)

$L$  : énergie massique de changement d'état en  $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$ .

*Exercice* : Un bac à glaçons contenant 50,0 g d'eau liquide est placé dans un congélateur.

**Donnée** :  $L_{\text{fusion}} = 335 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ .

1) Quelle est la valeur de l'énergie massique de solidification de l'eau ?

**La solidification est le changement d'état inverse de la fusion donc :  $L_{\text{solidification}} = -L_{\text{fusion}} = -335 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$**

2) Ecrire l'équation de la solidification de l'eau.

**L'équation de la solidification de l'eau est :  $\text{H}_2\text{O}_{(l)} \rightarrow \text{H}_2\text{O}_{(s)}$**

3) La solidification de l'eau est-elle endothermique ou exothermique ?

**Ce changement d'état est exothermique.**

4) Calculer l'énergie échangée lors de la solidification des 50,0 g de glace. Commenter son signe.

**Attention aux unités :**  $m = 50,0 \text{ g} = 0,0500 \text{ kg}$   $L_{\text{solidification}} = -335 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1} = -335 \times 10^3 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}$

$Q = m \times L_{\text{solidification}} = 0,0500 \times (-335 \times 10^3) = -1,68 \times 10^4 \text{ J}$ .

**$Q$  est négative donc les 50,0 g d'eau liquide libère de l'énergie au milieu extérieur pour se solidifier.**