

# Les changements d'états de l'eau : approche phénoménologique

## I. Les états physiques de l'eau

L'eau existe sous trois états physiques : solide (glace), liquide (eau), gaz (vapeur d'eau).

On peut l'observer naturellement sous différentes formes : neige, grêle (solide) - pluie, givre, brouillard, buée (liquide)

Les changements d'états sont réversibles

- Comment se forment les nuages ?

Tout d'abord, un nuage n'est pas constitué de vapeur d'eau mais de fines gouttelettes d'eau et de cristaux de glace car la vapeur d'eau est invisible.

Pour qu'il y ait formation d'un nuage, il faut tout d'abord qu'il y ait de l'air humide au sol. Cet air humide est soulevé en altitude, donc va aller de plus en plus haut mais il va toujours garder la même quantité de vapeur d'eau.

À une certaine altitude, cet air humide va atteindre un seuil où la quantité de vapeur qu'il contient sera maximale (il ne pourra pas en contenir plus) : on dit que l'air est saturé en vapeur d'eau. En augmentant son altitude, la vapeur d'eau qui ne pourra pas être contenue dans l'air va se liquéfier autour des noyaux de condensation (fines particules de poussières invisibles) et va permettre la formation des nuages de gouttelettes d'eau.

En augmentant encore son altitude, la vapeur d'eau et les gouttelettes vont se condenser autour des noyaux de congélation et va permettre la formation des nuages de cristaux de glace.

## II. Propriétés des états physiques

La matière est constituée de molécules, elles mêmes constituées d'atomes. La différence d'assemblage des molécules dans la matière permet d'expliquer la présence de ces trois états.

Nous allons montrer comment sont assemblées les molécules dans chaque état, citer quelques propriétés des ces états et les illustrer avec l'eau.

### Définition :

**Surface libre** : surface en contact avec l'air

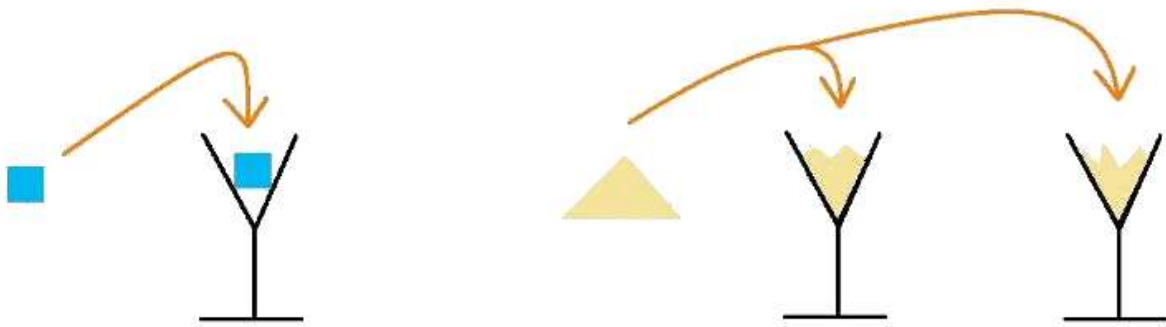
### 1. L'état solide

- Assemblage : les molécules sont en contact entre elles et sont extrêmement resserrées (on peut considérer qu'elles sont attachées entre elles). Cela donne donc un état compact et ordonné.

- Propriétés : un solide peut être pris totalement ou partiellement dans la main. Un solide que l'on pourra prendre dans sa main totalement sera appelé **solide compact** (glace) et un solide dont on ne pourrait prendre qu'une petite quantité sera appelé **solide divisé** (sable).

Les solides compacts ont une forme propre tandis que les solides divisés prennent la forme du récipient dans lequel ils sont mais ont une surface libre quelconque.

Illustration :



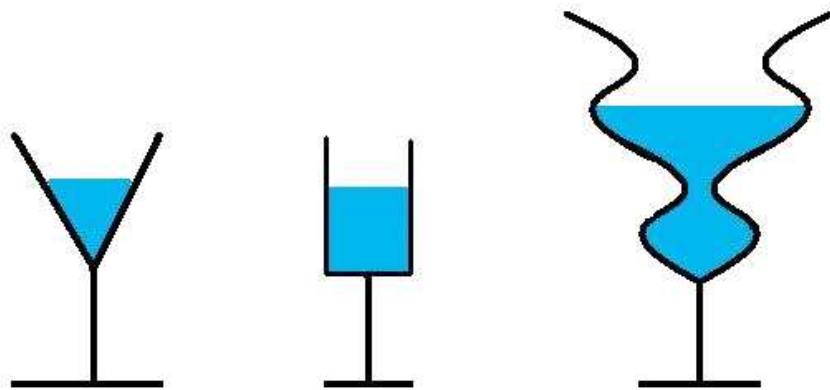
**Le solide ne prend pas la forme du verre : c'est un solide compact**

**Le solide prend la forme du verre et a une surface libre quelconque : c'est une solide divisé**

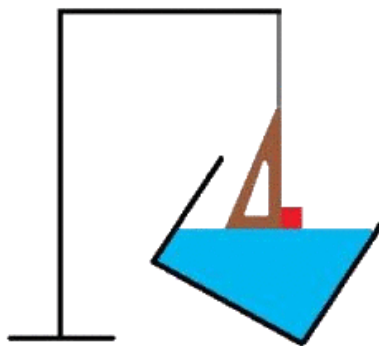
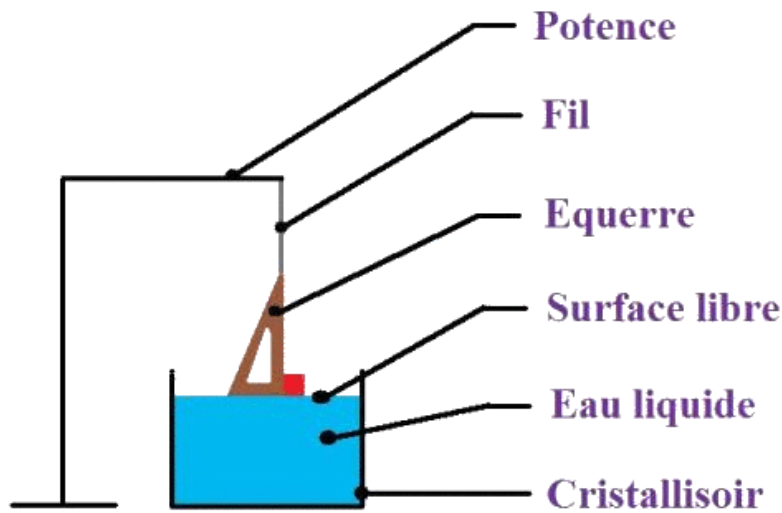
## 2. L'état liquide

- Assemblage : les molécules sont en contact entre elles mais ne sont pas attachées entre elles, elles glissent les unes sur les autres : c'est un état compact et désordonné
- Propriétés : les liquides n'ont pas de forme propre car ils prennent la forme du récipient qui les contient.

Illustrations :



**Quelle que soit la forme du récipient, le liquide prend toujours sa forme.  
L'état liquide ne possède pas de forme propre**



**Bien que le cristallissoir ait pivoté, la surface libre de l'eau est toujours horizontale**

### 3. L'état gazeux

- Assemblage : les molécules ne se touchent pas. Entre les molécules, il y a du vide, c'est à dire absence de matière. Les molécules sont en perpétuelle agitation.
- Propriétés : les gaz n'ont pas de forme propre. Ils sont cependant très compressibles et expansibles.



#### **Définitions :**

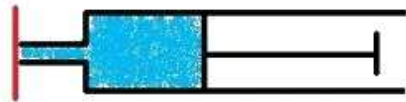
- **Compressibilité** : caractéristique d'un corps à pouvoir réduire son volume sous une pression donnée.
- **Expansibilité** : caractéristique d'un corps à pouvoir occuper l'espace qui lui est attribué.

Illustration : utilisation d'une seringue



Compression

En bouchant la sortie, on peut comprimer le gaz jusqu'à un certain point : le gaz est compressible

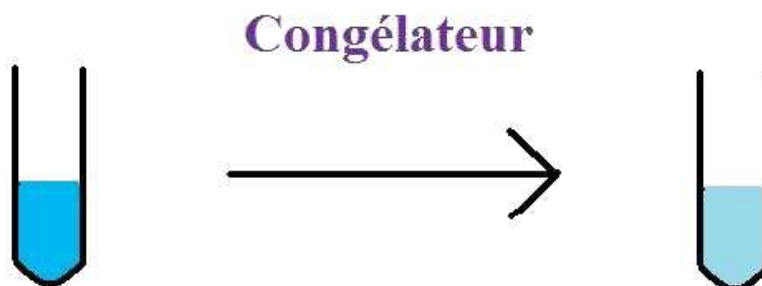


### III. Les changements d'états de l'eau

#### 1. La solidification

**⚠ Définition :**

La **solidification** est le passage de l'état liquide à l'état gazeux.



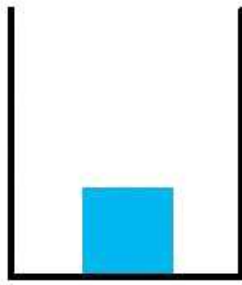
Après un passage au congélateur, l'eau liquide s'est transformée en glace : c'est la solidification

#### 2. La fusion

**⚠ Définition :**

La **fusion** est le passage de l'état solide à l'état liquide.

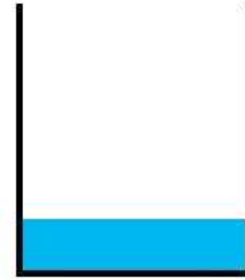
**Eau solide**



**Chauffage**



**Eau liquide**



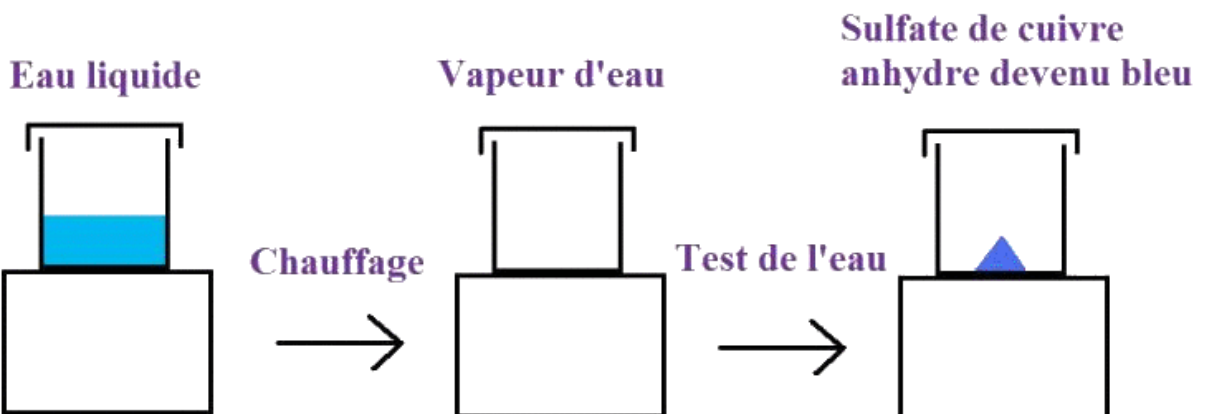
**Lorsque l'on chauffe de la glace, on obtient de l'eau : c'est la fusion**

### 3. La vaporisation



**Définition :**

La **vaporisation** est le passage de l'état liquide à l'état gazeux.

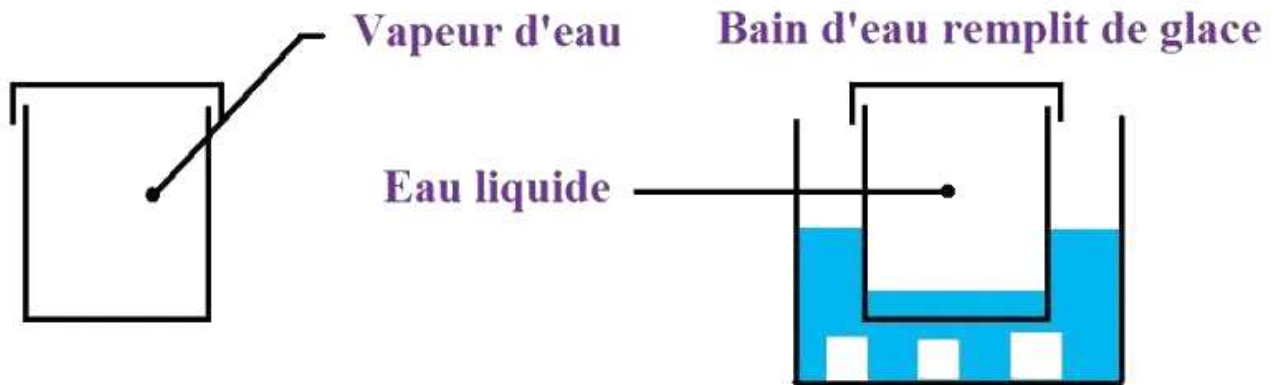


**Quand on chauffe de l'eau liquide, elle se transforme en eau vapeur : c'est la vaporisation. Puisque la vapeur est invisible, il suffit de mettre du sulfate de cuivre anhydre (test de l'eau). Il devient bleu, preuve que le gaz présent est de l'eau.**

### 4. La liquéfaction

**Définition :**

La **liquéfaction** est le passage de l'état vapeur à l'état liquide.



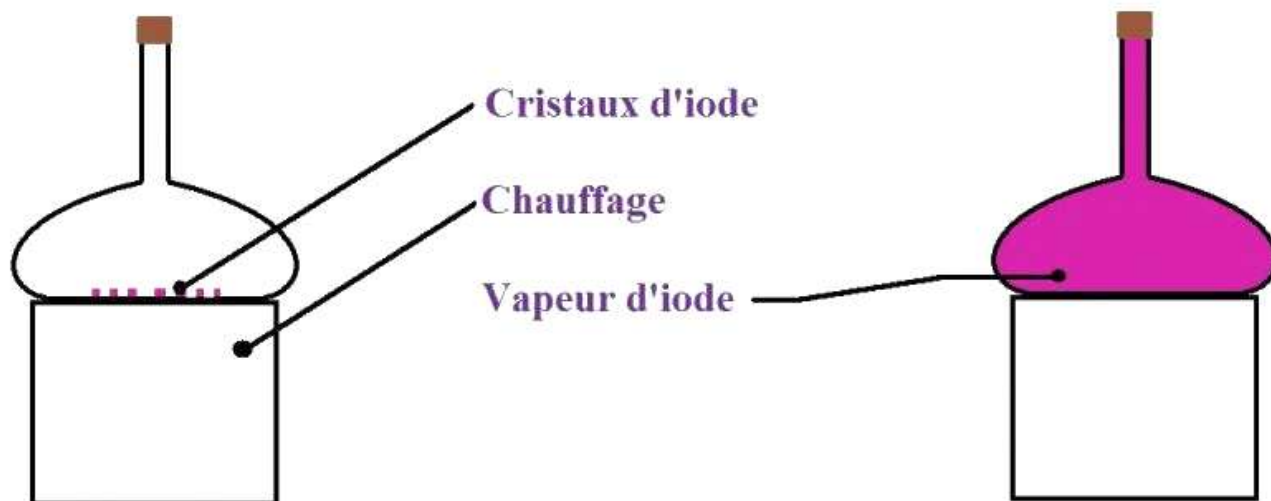
**Quand on plonge un bocal fermé rempli de vapeur d'eau dans une eau glacée, on voit apparaître de l'eau liquide : c'est la liquéfaction**

## 5. Condensation et Sublimation

**Définitions :**

- La **condensation** est le passage de l'état gazeux à l'état solide.
- La **sublimation** est le passage de l'état solide à l'état vapeur.

Il n'est pas possible d'observer ces phénomènes à pression ambiante avec l'eau. Il est cependant possible de le faire avec l'iode :



Quand on chauffe, les cristaux se subliment et le gaz occupe tout le volume qui lui est offert

## IV. Le cycle de l'eau

Voir la fiche  L'eau dans notre environnement et dans l'alimentation

## V. Unité de masse et de volume

### 1. Masse

- Tableau des unités de masse :

T (tonne)	Q (quintal)	* kg (kilogramme)	hg (hectogramme)	dag (décagramme)	g (gramme)	dg (décigramme)	cg (centigramme)	mg (milligramme)
-----------	-------------	-------------------	------------------	------------------	------------	-----------------	------------------	------------------

* * $\mu$ g (microgramme)	* * ng (nanogramme)	* * pg (picogramme)
---------------------------	---------------------	---------------------

Le symbole \* signifie qu'il n'y a pas de nom pour la colonne.

Remarque : il est important de savoir convertir une unité en une autre.

- Préfixe : kilo (1000), hecto (100), deca (10), deci (0,1), centi (0,01), mili (0,001), micro (0,000001), nano (0,000000001), pico (0,000000000001)

On voit donc facilement qu'un kilogramme, c'est mille fois un gramme donc  $1 \text{ kg} = 1 \text{ g}$  ; un milligramme, c'est un millième de fois un gramme donc  $1 \text{ g} = 0,001 \text{ mg}$  etc...

L'utilisation de ce tableau est extrêmement simple pour convertir dans une autre unité (à condition de l'avoir en tête)

Si on veut convertir 1 kg en dg, il suffit de placer le 1 dans la colonne kg et de remplir de 0 jusqu'à la colonne

dg. On obtient donc  $1\text{kg} = 10\,000\text{dg}$

Si on veut convertir 20 hg en g, on place le dernier chiffre (0) dans la colonne hg et on remplit de 0 jusqu'à la colonne g. On obtient donc  $20\text{hg} = 2000\text{g}$

Si on veut convertir 1 mg en g, on place le 1 dans la colonne mg et on remplit de 0 jusqu'à la colonne g et sans oublier la virgule. On obtient donc  $1\text{mg} = 0,001\text{g}$

Il n'est pas interdit de rajouter une colonne quand il en manque une (pour écrire 200 tonnes ou 0,001 picogramme par exemple).

Voici un tableau rempli avec les exemples précédents :

	T	Q		kg	hg	dag	g	dg	cg	mg					µg			ng			pg			
				1	0	0	0	0																
				2	0	0	0																	
							0	0	0	1														
2	0	0																						
																						0	0	1

- La masse d'un solide compact

Pour mesure la masse d'un solide compact, on utilise une balance et on lit sa masse sur le cadran.

- La masse d'un solide divisé

Pour mesurer la masse d'un solide divisé, il y a deux façons.

- Soit on pose un bécher sur la balance, on lit une masse A puis on met le sable dans le bécher, on lit une masse B et on fait la différence B-A pour trouver la masse du sable.

- Soit on pose le bécher sur la balance numérique et on appuie sur le bouton "TARE" ce qui aura pour effet de mettre la masse à 0g. On met ensuite le sable et on peut directement lire sa valeur sur le cadran.

- La masse d'un liquide

La mesure de la masse d'un liquide se fait avec la même méthode que pour les solides divisés.

## 2. Le volume

Si l'utilisation du tableau des unités de masse est relativement simple, celui des volumes est un peu plus compliqué car il existe deux sortes de tableau : celui des litres et des mètres cubes.

Le tableau des unités de volume en litres correspond au tableau des unités de masse en remplaçant "gramme" par "litre" (kilogramme devient kilolitre, décagramme devient décalitre, milligramme devient millitre) et en supprimant les colonnes tonne et quintal (la tonne et le quintal sont utilisés exclusivement pour les masses).

Le tableau des unités de volume en mètres cubes a une particularité, celle de posséder trois sous colonnes par colonne. C'est assez compréhensible car **un mètre cube, c'est un mètre (une colonne) multiplié par un mètre (une colonne) multiplié par un mètre (une colonne)**. On a donc trois sous colonnes par colonne.

La principale difficulté sera donc de convertir d'un tableau à l'autre.

Voici les deux tableaux d'unités :

kl (kilolitre)	hl (hectolitre)	dal (decalitre)	l (litre)	dl (decilitre)	cl (centilitre)	ml (millilitre)	*
----------------	-----------------	-----------------	-----------	----------------	-----------------	-----------------	---

* µl (microlitre)	* * nl (nanolitre)	* * pl (picolitre)
-------------------	--------------------	--------------------



km <sup>3</sup>	hm <sup>3</sup>	dam <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	dm <sup>3</sup>	cm <sup>3</sup>	mm <sup>3</sup>

Le plus simple est d'apprendre quelques équivalences entre les deux tableaux.



Les deux qu'on retient généralement sont :  $1 \text{ dm}^3 = 1 \text{ L}$  et  $1 \text{ cm}^3 = 1 \text{ mL}$ .  
De plus,  $1 \text{ kg} = 1000 \text{ g}$  et  $1 \text{ g} = 1000 \text{ mg}$ .

Exemple : Pour convertir des L en mL ou des m<sup>3</sup> en hm<sup>3</sup>, on utilise le tableau correspondant.

Pour convertir 1 hL en cm<sup>3</sup>, on utilise les équivalences. On convertit 1 hL en litre soit 100 L puis on utilise l'équivalence ce qui donne 100 L = 100 dm<sup>3</sup>. Ensuite, on convertit en cm<sup>3</sup> ce qui donne 100 dm<sup>3</sup> = 100 000 cm<sup>3</sup>.

N.B : En laboratoire, on utilise beaucoup plus les unités en litre mais l'unité du système international (Unité S.I) est le mètre cube.

- Mesure du volume d'un solide



### Quelques formules à retenir :

- Volume d'un cube de côté c vaut  $c^3$
- Volume d'un pavé droit de longueur L, de largeur l et de hauteur h vaut  $L \times h \times l$
- Volume d'un cylindre de rayon r et de hauteur h vaut  $\pi r^2 \times h$

**Important** : quand on calcule le volume avec une formule (ceci est vrai pour les calculs de longueurs, surfaces, masses etc.), il faut veiller à ce que toutes les longueurs soient dans la même unité.

- Mesure du volume d'un solide irrégulier

Exemple de solide irrégulier : une pierre

On remplit une éprouvette graduée d'eau et on lit le volume en regardant la graduation de l'éprouvette.

On plonge la pierre dans l'éprouvette et on lit le volume. Le volume de la pierre est la différence entre le deuxième et le premier volume.

**Attention** : la lecture de la graduation se fait en lisant au bas du ménisque (forme arrondie de la surface libre)

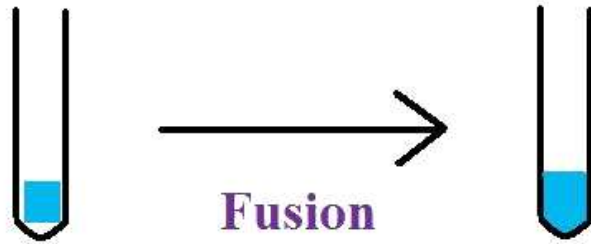
## VI. Conservation de la masse et variation de volume lors des changements d'états

Lors d'un changement d'état, les molécules s'éloignent ou se rapprochent (d'où la variation de volume) mais n'augmentent pas et ne se réduisent pas.

On pourrait penser que si le volume augmente, la masse augmente mais lorsque les molécules s'éloignent, il y a uniquement du vide entre elles et le vide a une masse nulle.

Une petite expérience simple permettant de constater ce phénomène : la fusion d'un glaçon.

Mettons un glaçon (de masse  $m=7,336\text{g}$ ) ayant la forme d'un cube de côté 2cm dans une éprouvette et attendons sa fusion.



Le glaçon a un volume de  $8\text{cm}^3$ .

Après la fusion, on peut lire sur la graduation de l'éprouvette  $7,3\text{mL}$ . Si on pèse le liquide, on trouvera une masse de  $7,336\text{g}$ .

On a vu que lorsqu'un liquide se solidifiait, les molécules se rapprochaient et s'attachaient entre elles (Le volume diminue donc). Il est donc assez particulier de voir que l'eau en se solidifiant, augmente de volume. C'est une particularité de certains composés. Dans le cas de l'eau, en se solidifiant, ses molécules adoptent une disposition spéciale qui explique l'augmentation du volume.

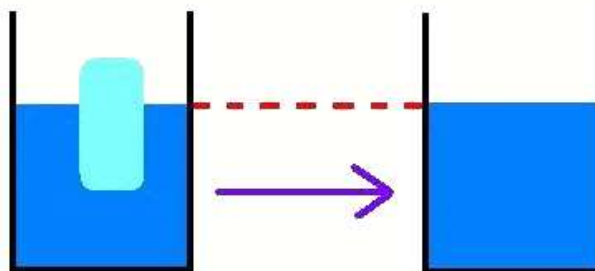
Le sodium, l'argent et le bismuth possèdent également cette particularité.

#### **Changement d'état :**

Au cours d'un changement d'état, il y a variation de volume et conservation de la masse.

- La fonte des icebergs et des glaciers ferait-elle augmenter le niveau de l'eau ?

Illustration : expérience du glaçon dans l'eau :



### **Fusion du glaçon**

Lors de la fusion du glaçon, la hauteur de l'eau ne varie pas, étrange non ?

Il faut savoir que pour la glace, seule  $10\%$  du glaçon émerge de l'eau et  $90\%$  reste en dessous. Quand l'eau passe de l'état solide à l'état liquide, son volume diminue de  $10\%$ .

Quand on met le glaçon dans le verre, le volume de l'eau augmente de  $90\%$  du volume du glaçon. Ensuite, il y a fusion et on s'attendrait plutôt à voir une augmentation de la hauteur (Le volume des  $90\%$  du glaçon immergé qui est passés à l'état liquide remplacerait le volume des  $90\%$  du glaçon solide et les  $10\%$  restant contribueraient à faire augmenter la hauteur).

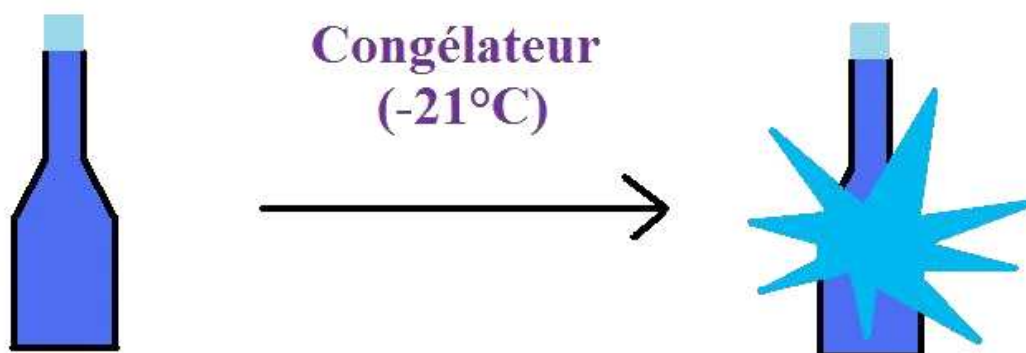
Mais la fonte du glaçon s'accompagne d'une diminution de 10% de son volume donc les 10% du glaçon qui contribueraient à faire augmenter la hauteur sont compensée par cette diminution de volume.

La fonte des icebergs ne ferait pas augmenter le niveau de la mer. Les glaciers par contre ne sont pas situés dans l'eau et dans ce cas la hauteur augmenterait. (C'est comme si on avait un glaçon en dehors de l'eau que l'on mettrait dans un verre d'eau, il y aurait évidemment une variation de la hauteur).

**N.B** : Cette expérience fonctionne seulement si le solide et le liquide sont le même composé.

- Pourquoi les canalisations d'eau éclatent par grand froid ?

Illustration : expérience de la bouteille d'eau dans le congélateur :



Lorsque l'on place une bouteille d'eau remplie au congélateur, la bouteille explose. Ceci s'explique tout simplement par l'augmentation du volume de l'eau pendant sa solidification. Son volume augmente et la bouteille, ne pouvant pas contenir ce volume, explose.

L'explication est la même pour les canalisations gelées, le volume grandit en se solidifiant et la canalisation explose.

Le même problème se pose lors du moulage de l'argent (qui possède cette même propriété que l'eau).

## VII. La température

### 1. Température d'un corps

La température sert à caractériser l'état d'un corps.

On utilise communément pour mesurer une température, le degré Celsius (noté °C). Il existe plusieurs autres échelles de température : le degré Fahrenheit (°F, mesure anglo-saxonne) et le Kelvin (K, unité S.I).

Le 0 de l'échelle Celsius est la température à laquelle l'eau se solidifie.

Le 0 de l'échelle Fahrenheit est la température la plus basse qu'ait observé Fahrenheit pendant l'hiver de 1708/1709.

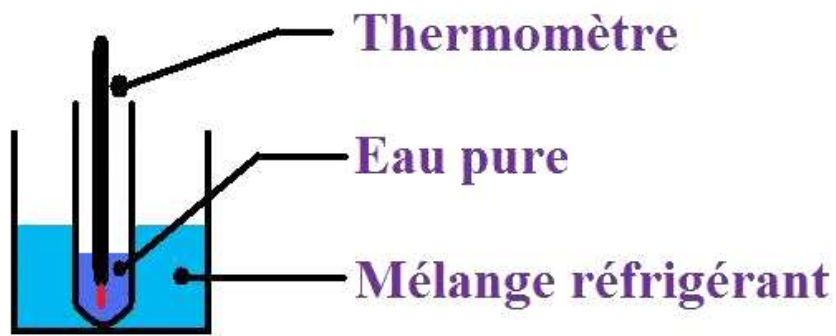
Le 0 de l'échelle Kelvin est la température la plus basse possible. On parle du 0 absolu.

Pour mesurer la température, on utilise un thermomètre que l'on plonge là où on veut connaître la température.

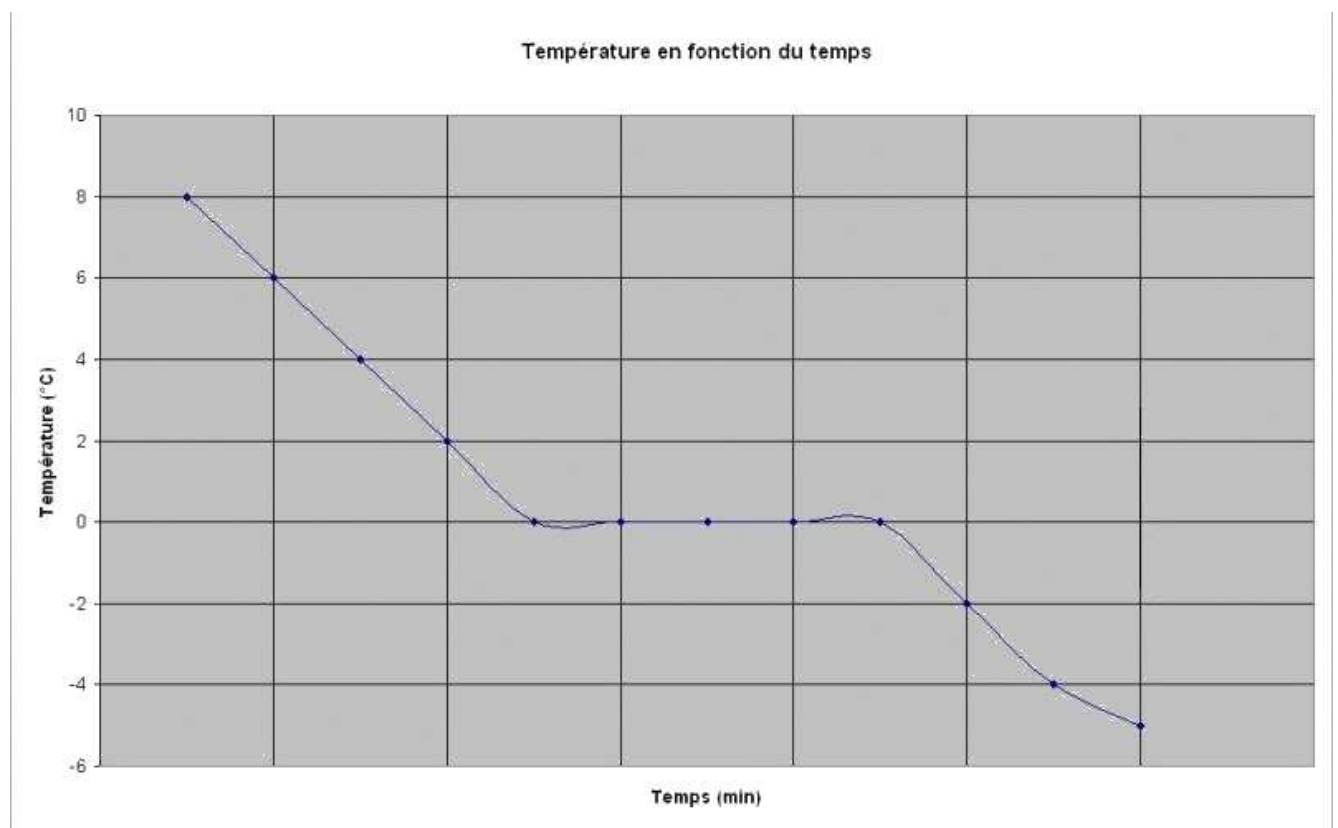
### 2. Variation de la température lors d'un changement d'état

- Expérience : prenons un mélange réfrigérant (1/3 sel, 2/3 glace). Plongeons un tube à essai contenant 5mL d'eau pure et plaçons-y un thermomètre.

Nous allons suivre la température de l'eau pure avec le thermomètre.



- Résultat :voici le graphique de la température en fonction du temps :



On remarque que lors de la solidification à  $0^{\circ}\text{C}$ , la température reste constante. On dit qu'il y a existence d'un **palier de température**.

Ce palier de température est généralisable à tous les changements d'états pour un corps pur.

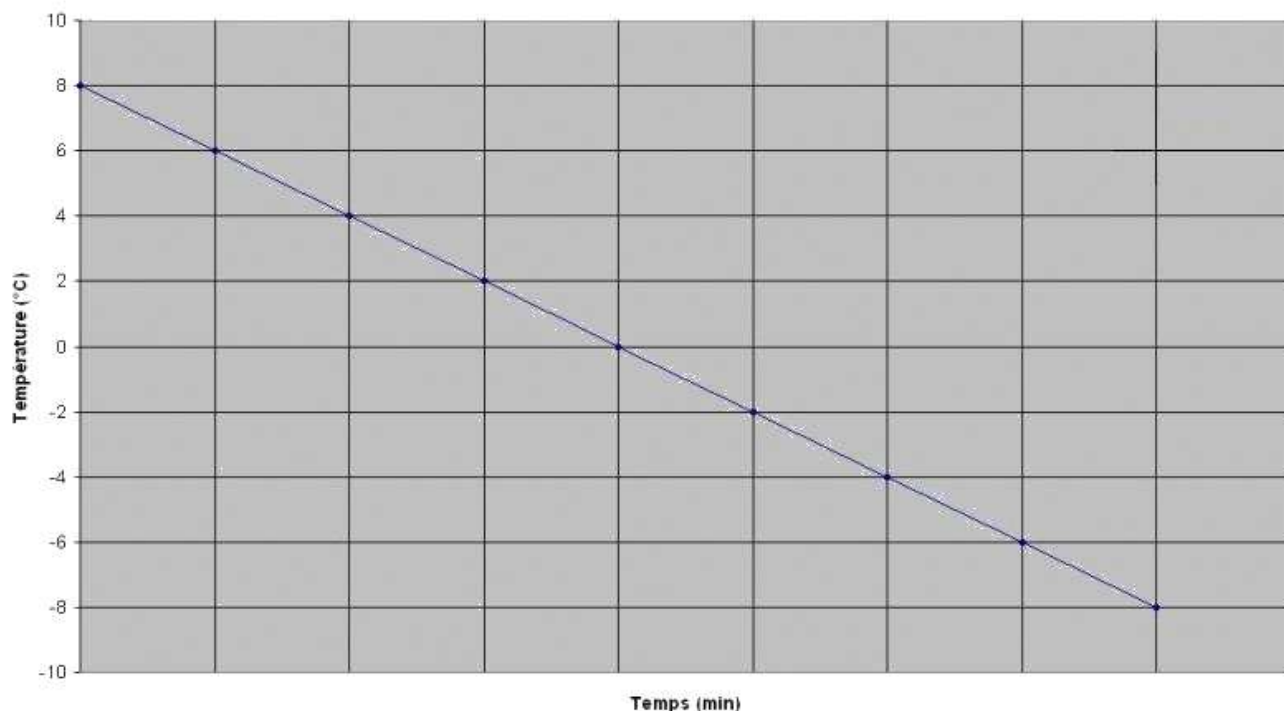


#### **Palier de changement d'état :**

Lors d'un changement d'état d'un corps pur, la température reste constante.

Remarque : en refaisant l'expérience avec de l'eau salée, on obtiendrait le graphique suivant :

Température en fonction du temps



On s'aperçoit qu'il n'y a pas de palier de température car c'est un mélange et l'eau salée ne se solidifie pas à 0°C mais à -23,5°C. C'est d'ailleurs pour cette raison que l'on verse du sel sur le verglas en hiver pour qu'il y ait fusion.

## VIII. Energie lors des changements d'états

Pour changer d'état, le corps peut avoir besoin d'énergie ou au contraire, peut en rejeter.

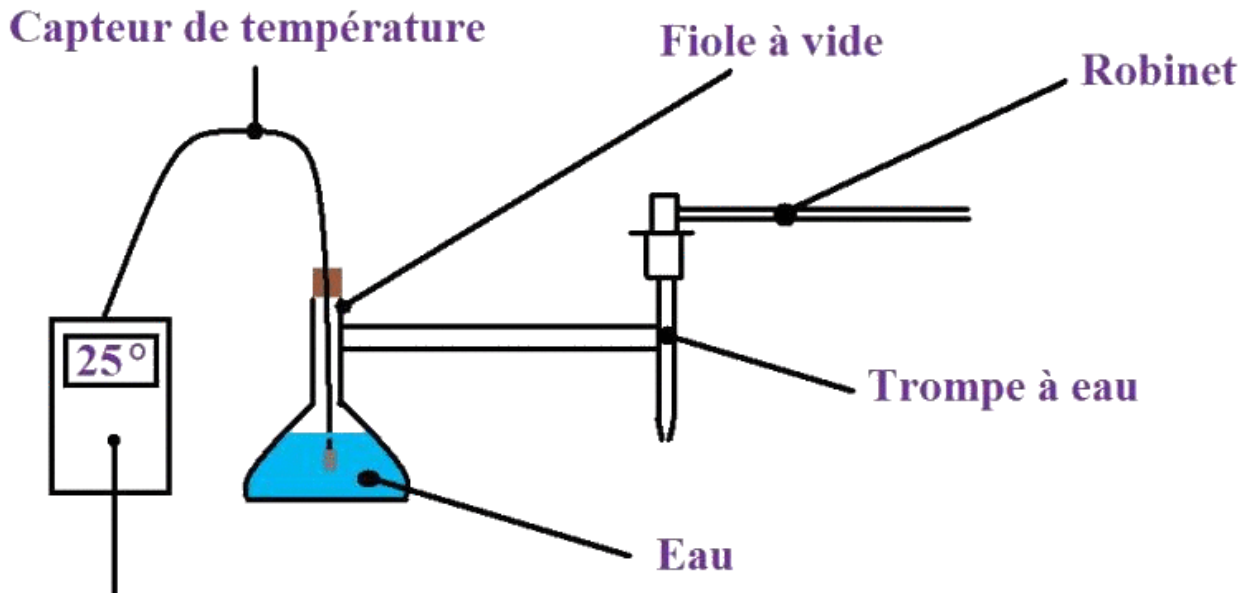
L'énergie vient de la chaleur qu'il y a dans l'air. Lors de la fusion d'un glaçon à température ambiante, le glaçon prend la chaleur (calorie) contenu dans l'air afin de passer à l'état liquide. (En chauffant le glaçon, on apporte une plus grande quantité d'énergie calorifique, la fusion a lieu plus rapidement)

Des six changements d'états, trois ont besoin d'énergie : la fusion, la vaporisation et la sublimation. Les trois autres : condensation, liquéfaction et solidification rejettent de l'énergie (sous forme de chaleur).

## IX. Variation de la température d'ébullition avec la pression

Dans toutes les expériences que nous avons effectuées jusqu'alors, nous étions à pression ambiante. Mais est-ce que l'eau se vaporise à 100°C partout ?

Expérience : ébullition de l'eau sous pression réduite



## Thermomètre électrique

On s'aperçoit que l'eau entre en ébullition à température ambiante, incroyable non ?  
 La température d'ébullition varie en fonction de la pression. Nous sommes habitués à voir une ébullition à 100°C parce que nous la faisons à chaque fois à pression ambiante.

### ⚠ Température d'ébullition :

- Si la pression augmente, la température d'ébullition augmente.
- Si la pression diminue, la température d'ébullition diminue.

- Pourquoi une cocotte minute fait-elle cuire les aliments plus rapidement qu'une casserole ?  
 La cocotte-minute est une enceinte hermétiquement close qui contient toute la vapeur d'eau. Cette vapeur d'eau crée une surpression et de ce fait, la pression est supérieure à la pression atmosphérique et la température d'ébullition va s'en trouver augmentée. L'eau liquide pourra donc atteindre une température nettement plus élevée sans vaporisation (de l'ordre de 120°C).