

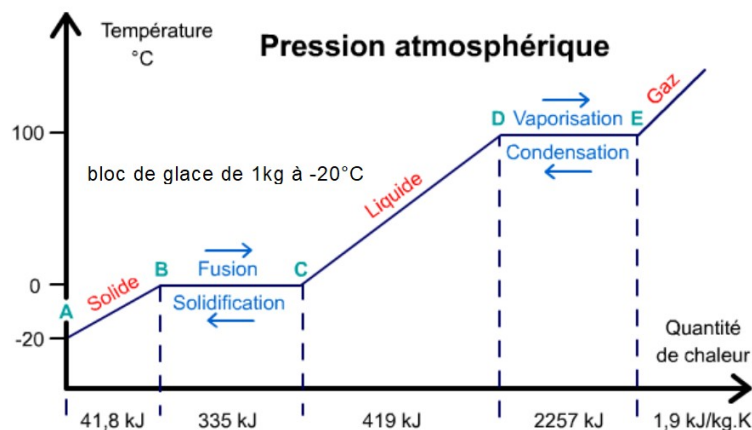
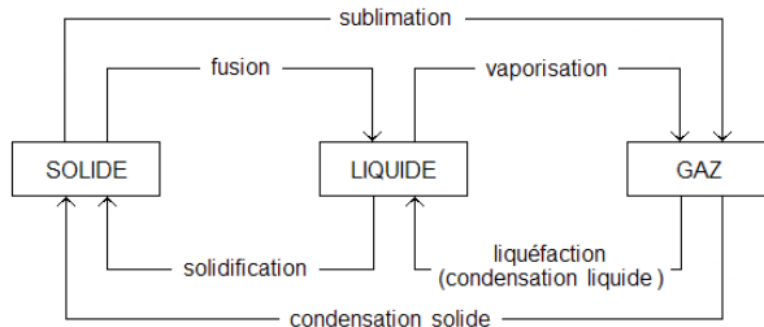
Changement d'état lors d'un échange d'énergie

Il arrive qu'un transfert d'énergie thermique fasse changer l'état d'un corps.
Un corps peut se trouver sous 3 états différents : **l'état liquide, l'état solide et l'état gazeux.**

Chaque changement d'état porte un nom bien précis :

- Le passage de l'état solide à l'état liquide se nomme **la fusion** et à l'inverse, le passage de l'état liquide à l'état solide se nomme **la solidification**.
- Le passage de l'état gazeux à l'état solide se nomme **la condensation** et à l'inverse le passage de l'état solide à l'état gazeux se nomme **la sublimation**.
- Le passage de l'état liquide à l'état gazeux se nomme **la vaporisation** et à l'inverse le passage de l'état gazeux à l'état liquide se nomme **liquéfaction**.

Les changements d'états sont résumés dans l'image qui suit :



La chaleur Q (en joule) mise en jeu dans un transfert thermique permet de :

- Chauffer le Système
- Le faire changer d'état

Énergie nécessaire pour chauffer un corps.

C : capacité calorifique massique (en $J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$)

$$Q = m \cdot c \cdot (\theta_f - \theta_i)$$

Énergie de changement d'état

$$Q_L = m \cdot L$$

L est la chaleur Latente massique en (J/kg)

Exercice N°1

1. Complète le second tableau en indiquant l'état physique du corps aux températures données. Indique S si le corps est solide, L si le corps est liquide et G si le corps est gazeux.

Substances	Température de fusion (°C)	Température d'ébullition (°C)
Alcool	- 117	78
Fer	1538	2861
Mercure	- 39	357
Or	1064	2856
Plomb	327	1749

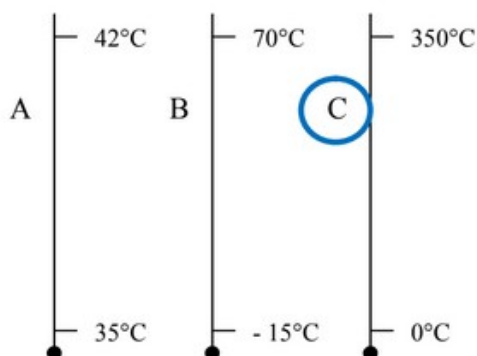
Matière	- 50 °C	100°C	500°C	1000°C	2000°C	3000°C
Alcool	L	G	G	G	G	G
Mercure	S	L	G	G	G	G
Plomb	S	S	L	L	G	G
Or	S	S	S	S	L	G

2. Fabrication des soldats de plomb ... Marc fabrique des soldats de plomb.

Marc note les variations de température du métal en fusion :

	Le plomb est chauffé												Le plomb fond		
Durée en min	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Température en °C	19	46	71	97	124	150	176	203	230	256	281	307	327	327	327
	S												S et L		

a) Quel thermomètre a-t-il utilisé ? Justifie ton choix.



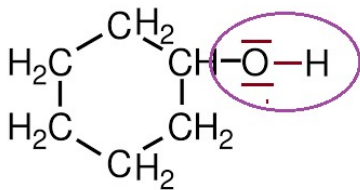
C'est le seul qui permet de mesurer des températures comprises entre 19°C et 327°C

Exercice N°2

Le graphe ci-contre représente l'évolution de la température en fonction du temps lorsqu'on chauffe du cyclohexanol, un alcool polaire de formule $C_6H_{11}-OH$.

1) Interprétez le graphique en précisant l'état physique de cet alcool sur chacune des portions du graphe.

2) Quelles interactions assurent la cohésion du cyclohexanol à 20 °C ? Expliquez.

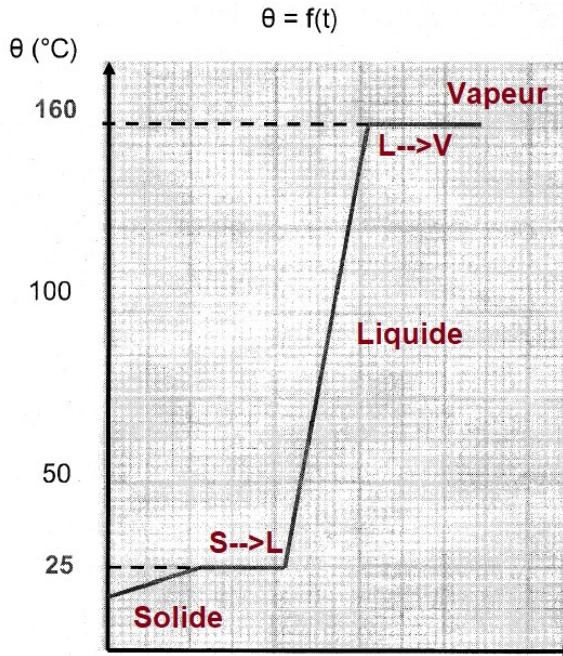


Le Groupe hydroxyle (OH) constitue la partie polaire de la molécule qui de ce fait est capable d'assurer des liaisons hydrogène avec les autres molécules.

3) Les propositions suivantes sont-elles exactes ?

a. À la température de 25 °C, l'agitation des molécules croît pendant toute la durée de chauffage.

L'augmentation de la température se traduit toujours par l'agitation des molécules.



b. À la température de 170 °C, il n'existe plus de liaison hydrogène entre les molécules.

La cohésion du liquide est assurée par des liaisons intermoléculaires (hydrogène) qui contrebalancent l'agitation moléculaire. Lors du passage à l'état vapeur, La distance entre les molécules est telle que les attractions intermoléculaires ne soient plus opérantes.

Exercice N°3

Au café, le serveur réchauffe 250 mL de lait en y injectant de la vapeur d'eau à 120°C. Le lait, initialement à la température de 18,0°C, est réchauffé à 60,0°C. On suppose que les transferts thermiques se font uniquement entre le lait et la vapeur d'eau et que toute la vapeur injectée devient liquide et se refroidit à 60,0°C.

On considère que le lait a la même capacité thermique massique que l'eau liquide.

On se propose de répondre à la question : *quelle masse m de vapeur d'eau faut-il injecter ?*

1. Calculer l'énergie Q_1 que doit recevoir, sous forme de chaleur, le lait pour s'échauffer de 18,0°C à 60,0°C.
2. Exprimer, en fonction de la masse m de vapeur d'eau injectée :
 - 2.1. l'énergie Q_2 que peut fournir cette vapeur en se refroidissant jusqu'à 100°C ;
 - 2.2. l'énergie Q_3 que peut fournir cette vapeur en devenant liquide ;
 - 2.3. l'énergie Q_4 que peut fournir l'eau liquide formée en se refroidissant de 100°C à 60,0°C.
3. À l'aide d'un bilan des échanges énergétiques, calculer la masse m de vapeur d'eau à injecter dans le lait.

Données :

- Chaleur latente de vaporisation de l'eau : $L_{\text{vap}} \approx 2\,250 \text{ kJ.kg}^{-1}$.
- Capacité thermique massique de la vapeur d'eau : $c_{\text{vapeur}}(\text{eau}) \approx 2,0 \text{ kJ.kg}^{-1}.\text{°C}^{-1}$.
- Capacité thermique massique de l'eau liquide : $c_{\text{liquide}}(\text{eau}) \approx 4,0 \text{ kJ.kg}^{-1}.\text{°C}^{-1}$.

1. Calculer l'énergie Q_1 que doit recevoir, sous forme de chaleur, le lait pour s'échauffer de 18,0°C à 60,0°C.

$$Q_1 = m_1 c_1 \Delta\theta = 0,25 \times 4000 \times (60 - 18) = 42\,000 \text{ J} = +42 \text{ kJ}$$

Le signe + signifie le lait reçoit de la chaleur

2. Exprimer, en fonction de la masse m de vapeur d'eau injectée :

- 2.1. l'énergie Q_2 que peut fournir cette vapeur en se refroidissant jusqu'à 100°C ;

$$Q_2 = m_2 c_2 \Delta\theta = m_2 \times 2000 \times (100 - 120) = -40\,000 \times m_2 \text{ J.kg} = -40 \text{ kJ.kg}$$

Le signe - signifie la vapeur d'eau cède de la chaleur

- 2.2. l'énergie Q_3 que peut fournir cette vapeur en devenant liquide ;

$$Q_3 = m_2 L_{\text{vap}} = m_2 \times 2250 \text{ kJ.kg}$$

- 2.3. l'énergie Q_4 que peut fournir l'eau liquide formée en se refroidissant de 100°C à 60,0°C.

$$Q_4 = m_2 c_4 \Delta\theta = m_2 \times 4000 \times (60 - 100) = -160\,000 \times m_2 \text{ J.kg} = -160 \text{ kJ.kg}$$

3. À l'aide d'un bilan des échanges énergétiques, calculer la masse m de vapeur d'eau à injecter dans le lait.

On applique le principe de conservation de l'énergie :

L'énergie cédée par la vapeur égale l'énergie acquise par le lait.

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 = 0$$

$$42\,000 = 40\,000 \times m_2 + m_2 \times 2250\,000 + 160\,000 \times m_2 = 2450\,000 \times m_2$$

$$m_2 = 0,017 \text{ kg} = 17 \text{ g}$$

Il faut donc 17g de vapeur d'eau pour 250g de lait. Le goût du lait n'est pas trop dénaturé par la présence de l'eau.

Exercice N°4

Pour recouvrir un pendentif d'une fine couche d'or, un bijoutier doit vaporiser le précieux métal dans une enceinte sous pression réduite. Le métal solide doit d'abord fondre, puis se vaporiser, pour ensuite se déposer sur le pendentif.

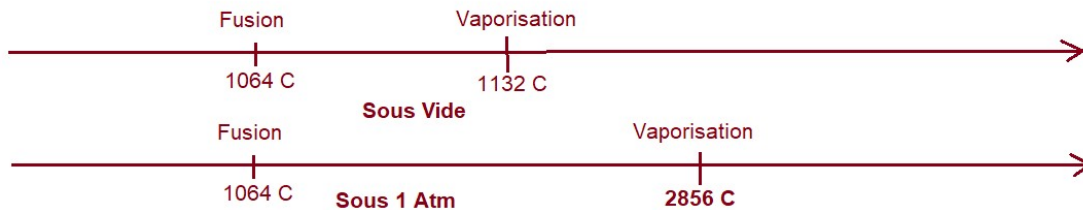
Cet exercice étudie l'énergie de la vaporisation du métal sous pression réduite et à pression atmosphérique.

1. Placer sur un axe les températures de changements d'état, et l'état physique de l'or, sous pression réduite. *Faire de même, sur un autre axe, pour les changements d'état à pression atmosphérique.*

➤ Température de fusion : $\theta_{\text{fusion}} = 1\,064^\circ\text{C}$.

➤ Températures de vaporisation :

« sous vide » : $\theta_1 \text{ vaporisation} = 1\,132^\circ\text{C}$; sous pression atmosphérique : $\theta_2 \text{ vaporisation} = 2\,856^\circ\text{C}$.



2. Calculer l'énergie thermique Q_1 à fournir, sous forme de chaleur, pour chauffer 0,100 g d'or de la température $\theta_1 = 24,0^\circ\text{C}$ jusqu'à sa température de fusion, sous pression réduite.

Capacité thermique massique de l'or à l'état solide : $C_m = 129 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$.

$$Q_1 = m \times c \times \Delta\theta = 0,1 \times 10^{-3} \times 129 \times (1064 - 24) = 13,4 \text{ J}$$

3. Calculer l'énergie thermique Q_2 à fournir, sous forme de chaleur, pour faire fondre cette masse d'or solide à cette température de fusion.

➤ Chaleur latente de fusion de l'or solide : $L_{\text{fus}} = 64,9 \text{ kJ.kg}^{-1}$.

$$Q_2 = m \times L_{\text{fus}} = 0,1 \times 10^{-3} \times 64900 = 6,49 \text{ J}$$

4. Calculer l'énergie thermique Q_3 à fournir, sous forme de chaleur à la pression réduite, pour chauffer 0,100 g d'or liquide de la température de fusion jusqu'à la température de vaporisation.

➤ Capacité thermique massique de l'or à l'état liquide : $C'_m = 168 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$.

$$Q_3 = m \times c \times \Delta\theta = 0,1 \times 10^{-3} \times 168 \times (1132 - 1064) = 1,14 \text{ J}$$

5. Calculer l'énergie thermique Q_4 à fournir, sous forme de chaleur à la pression réduite, pour vaporiser cette masse d'or liquide en restant à cette température.

➤ Chaleur latente de vaporisation de l'or liquide : $L_{\text{vap}} = 1\,650 \text{ kJ.kg}^{-1}$.

$$Q_4 = m \times L_{\text{vap}} = 0,1 \times 10^{-3} \times 1650\,000 = 165 \text{ J}$$

6. En déduire l'énergie thermique minimale Q_{min} à fournir, sous forme de chaleur à la pression réduite, pour vaporiser 0,100 g d'or pris à l'état solide à $24,0^\circ\text{C}$.

$$Q_{\text{min}} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 = 186 \text{ J}$$

7. En suivant une démarche analogue, calculer l'énergie thermique Q nécessaire pour vaporiser, sous la pression atmosphérique, la même masse d'or métallique initialement solide à $24,0^\circ\text{C}$.

➤ Chaleur latente de fusion de l'or solide : $L_{\text{fus}} = 64,9 \text{ kJ.kg}^{-1}$.

Il n'y a que Q_3 qui change

$$Q'_3 = m \times c \times \Delta\theta = 0,1 \times 10^{-3} \times 168 \times (2856 - 1064) = 30,1 \text{ J}$$

$$Q_{\text{max}} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 = 215 \text{ J}$$

On peut faire l'hypothèse que qu'une pression plus basse permet d'économiser de l'énergie. Toutefois pour réduire la pression il faut dépenser de l'énergie...

Donc l'enjeu ne se situe pas du côté énergétique du processus mais du côté de la qualité des dépôts métalliques.

Exercice N°5

1. Nommer les différents changements d'états physiques de la matière (liquide, solide, gaz)

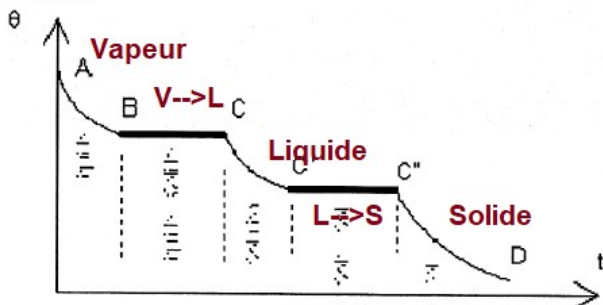
Voir fiche de cours

2. Expliquer au niveau microscopique la différence entre l'état liquide et l'état solide.

A l'état solide les atomes occupent une place fixe au sein d'une maille rigide.

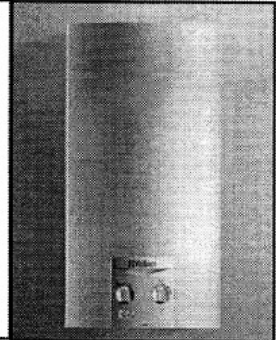
A l'état liquide les atomes (ou les molécules) sont mobiles les uns par rapport aux autres et peuvent "glisser" car les forces internes sont plus faibles.

3. On donne l'évolution de la température d'un composé inconnu en fonction du temps. Commenter cette courbe.



Les chauffe-eau instantanés alimentent une douche ou un évier en étant raccordé sur un mélangeur. Ils fournissent 3,5 L d'eau à 40°C par minute (avec eau froide à 15°C)

Puissance 6 kW (26 A) 230 V.
L/H/P : 14,4 x 23,5 x 8 cm
1,7 kg



4.1. Calculer la quantité d'énergie nécessaire pour chauffer les 3,5 L d'eau dans les conditions indiquées.
Donnée : $C_{eau} = 4,2 \text{ kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$

$$Q_1 = m \cdot c \cdot \Delta\theta = 3,5 \times 4200 \times (40 - 15) = 368 \text{ kJ} = 102 \text{ W.h}$$

C'est la Chaleur dépensée en 1 minute c'est à dire 60s

4.2. En déduire la puissance correspondante et comparer celle-ci à la valeur indiquée sur la notice.

$$P = Q_1 / t = 368 \text{ kJ} / 60 = 6133 \text{ W}$$

La valeur est proche de celle indiquée par la documentation.

Peut-être le temps de chauffage a-t-il été sous-estimé.

Exercice N°6

Pour réaliser une fondue savoyarde, vous chauffez une masse $m_v = 0,82$ kg de vin blanc dans un caquelon en fonte grâce à un brûleur à alcool, ici de l'éthanol.

On considère que l'énergie libérée par l'éthanol sert unique à chauffer le caquelon + le vin blanc et à vaporiser l'éthanol.

Données :

Énergie de combustion de l'éthanol $\Delta E_c = 29,7 \text{ kJ.g}^{-1}$

Énergie massique de changement d'état de l'éthanol : $L_{eb} = 926 \text{ J.g}^{-1}$

Capacité thermique du caquelon : $C_q = 2,0 \text{ kJ.}^\circ\text{C}^{-1}$

Capacité thermique massique du vin : $c_v = 4,18 \text{ J.g}^{-1}.^\circ\text{C}^{-1}$

Formules à utiliser selon les unités des capacités massiques thermiques ou non :

$$\Delta E = C \times \Delta\theta \quad (1)$$

$$\Delta E = m \times c \times \Delta\theta \quad (2)$$

1) Que représente $\Delta\theta$ dans les expressions (1) et (2) ?

Il s'agit de la différence entre la température finale et la température initiale.

2) Justifiez le choix de l'expression (1) pour calculer l'énergie reçue par le caquelon à partir des unités.

$$\Delta E = C \times \Delta\theta \quad (1)$$

[Joule] [C]

[Joule/Celcius]

C'est bien l'unité choisie dans l'expression 1 pour la capacité thermique du caquelon.

3) Justifiez le choix de l'expression (2) pour calculer l'énergie reçue par le vin à partir des unités.

$$\Delta E = m \times c \times \Delta\theta \quad (2)$$

[Joule] [gramme] [C]

[Joule/ (gramme. Celcius)]

4) Exprimez (pas de calcul) l'énergie utilisée pour vaporiser la masse m_{ol} de l'éthanol.

$$Q_3 = m_{ol} \times L_{eb}$$

5) Exprimez (pas de calcul) la conservation d'énergie dans cette situation.

$$\Delta E_c - m_{ol} \times L_{eb} = m_{vin} \times c_v \times \Delta\theta + C_q \times \Delta\theta$$

L'alcool du réchaud brule (ΔE_c)

Cette énergie permet de vaporiser l'alcool du réchaud. $m_{ol} \times L_{eb}$

et de réchauffer le récipient ($C_q \times \Delta\theta$) et le vin contenu ($m_{ol} \times c_v \times \Delta\theta$)

6) Justifiez l'égalité de ces deux expressions : $\Delta E_c \text{ (J.g}^{-1}\text{)} = \Delta E_c \text{ (J.mol}^{-1}\text{)} / M$
M étant la masse molaire de l'éthanol.

Masse=Quantité de matière/masse molaire=n/M

7) L'énergie de combustion est exprimée par la relation $\Delta E(\text{combustion}) = m_{ol} \times \Delta E_c \text{ (J.g}^{-1}\text{)}$,
exprimez et calculez la masse minimale d'éthanol nécessaire.
Données : températures initiale et finale $\theta_i = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ $\theta_f = 90 \text{ }^\circ\text{C}$

$$\Delta\theta=90-20=70^\circ\text{C}$$

$$\Delta E_c - m_{ol} \times L_{eb} = m_{vin} \times c_{vx} \Delta\theta + C_q \times \Delta\theta$$

$$m_{ol} \times 29700 - m_{ol} \times 926 = 240\,000 + 140\,000$$

$$m_{ol}(29700 - 926) = 380\,000$$

$$m_{ol}(28774) = 380\,000$$

$$m_{ol} = 380\,000 / 28774 = 13,2\text{g}$$

8) Pourquoi le terme « minimale » est-il employé dans la question précédente ?

Dans l'étude on néglige les pertes thermiques en estimant que le transfert de chaleur est intégral ce qui n'est pas évidemment le cas.