

Changement d'état de la matière

Activité 1 : Comment utiliser un fluide pour refroidir ou chauffer

Compléter avec les mots (certains peuvent être utilisés plusieurs fois) : *agitation thermique* ; *neige* ; *gazeux* ; *glace* ; *liquide* ; *température* ; *eau du robinet* ; *changement d'état* ; *liaisons hydrogène* ; *dispersée* ; *compacte* ; *constante* ; *ordonnée* ; *ébullition* ; *désordonnée* ; *évaporation*.

Les 3 états de l'eau

Description microscopique

Il existe **trois états** pour l'eau :

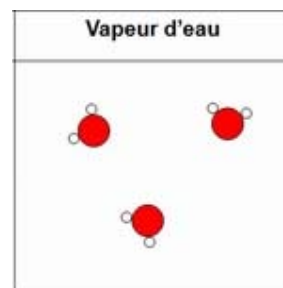
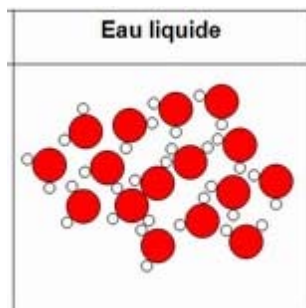
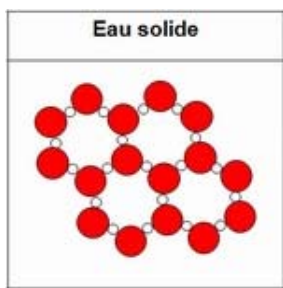
l'état solide (..... , grêle ,), l'état (..... , buée) et l'état (vapeur d'eau)

L'eau prend des aspects physiques différents, mais possède la même composition chimique. La transformation de l'eau liquide en glace ou en vapeur s'appelle un

Les molécules vibrent et/ou se déplacent à différentes vitesses : c'est La est la grandeur qui caractérise cette agitation.

Les molécules d'eau s'associent par des Le nombre moyen ainsi que la durée de vie des liaisons hydrogène que réalise chaque molécule d'eau avec ses voisines permettent de comprendre au niveau microscopique la différence entre les trois états de l'eau.

Structure des différents états physiques de l'eau



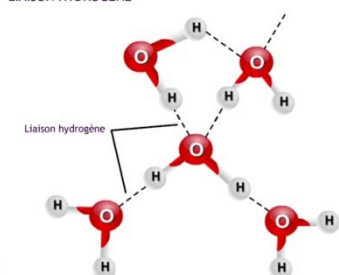
SOLIDE : structure
et

LIQUIDE : structure et

GAZ : structure
.....

Document 1 : Les liaisons hydrogènes

LIAISON HYDROGENE

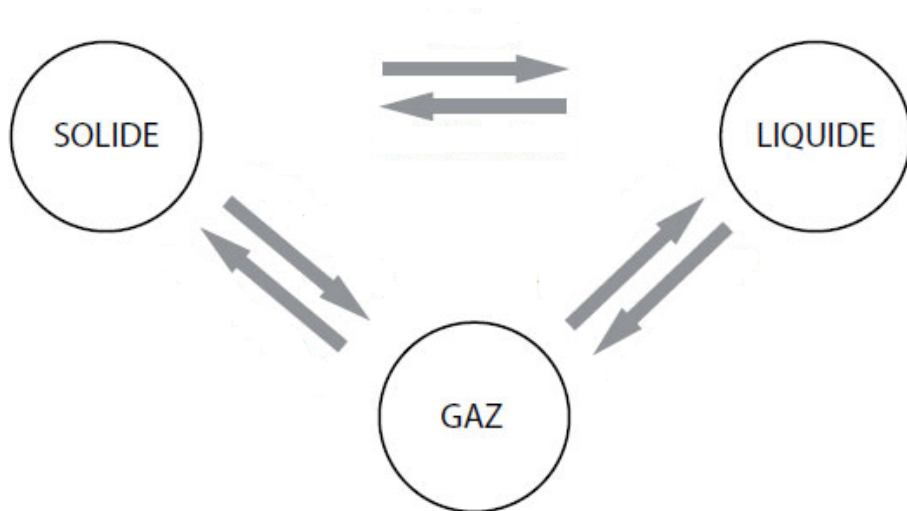


Les molécules d'eau s'associent par des liaisons hydrogène. L'atome d'oxygène étant plus électronégatif que l'atome d'hydrogène, on se retrouve dans le cas d'une molécule dite polaire. Ces pôles de charges ont un rôle d'attraction entre différentes parties de la molécule. En pratique, l'oxygène d'une molécule d'eau attire un hydrogène d'une autre molécule d'eau : ce sont les liaisons hydrogène.

1. Expliquer avec vos mots en 3 lignes qu'est-ce qui différencie les 3 états physiques de l'eau d'un point de vue microscopique et moléculaire.

Document 2 : Les changements d'état de l'eau

Diagramme des changements d'état à compléter à l'aide des mots suivants : **fusion, condensation, vaporisation, sublimation ; liquéfaction ; solidification**



Application : Un sèche-linge à évacuation fonctionne en prélevant l'air de la pièce où il est installé. Au moyen de résistances chauffantes, il réchauffe cet air qui traverse le linge pour le sécher.

Pour un sèche-linge à condensation, l'humidité qui est extraite du linge est non pas évacuée, mais condensée, pour être recueillie dans un bac que l'on doit vider en fin de séchage.

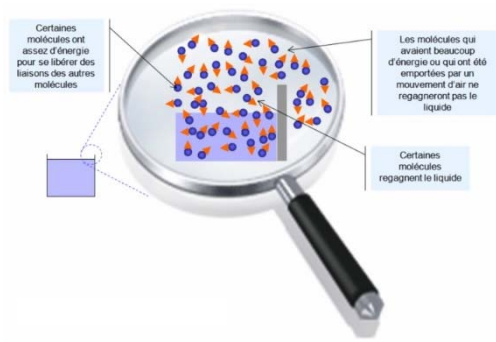
a) Nommer le(s) changement(s) d'état que subit l'eau contenue dans le linge lorsque celui-ci est séché dans un sèche-linge à évacuation.

b) Nommer le(s) changement(s) d'état que subit l'eau contenue dans le linge lorsque celui-ci est séché dans un sèche-linge à condensation.

Document 3 : Les deux modes de vaporisation de l'eau

L'eau peut passer de l'état liquide à l'état gazeux, soit subir une vaporisation, par deux procédés physico-chimiques différents :

L'agitation thermique permet à certaines molécules de rompre leurs liaisons hydrogène et de quitter la surface libre vers l'air : c'est l'évaporation



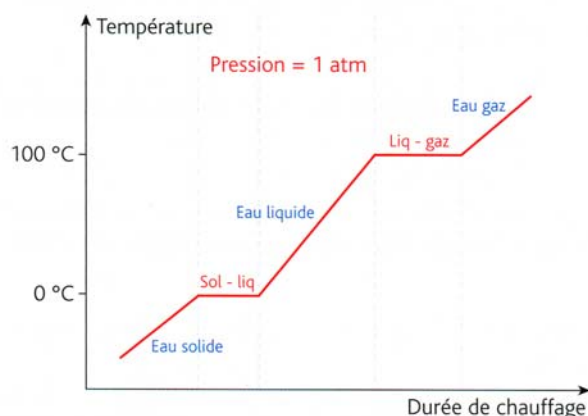
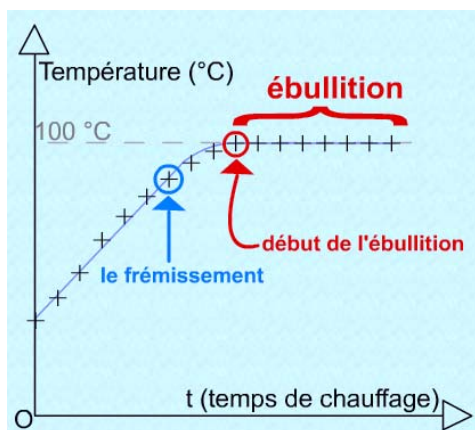
L'ébullition désigne la transformation d'eau liquide en bulles de vapeur lorsqu'on la chauffe. La température d'ébullition dépend de la pression, on peut la lire sur un diagramme d'état (P, T).



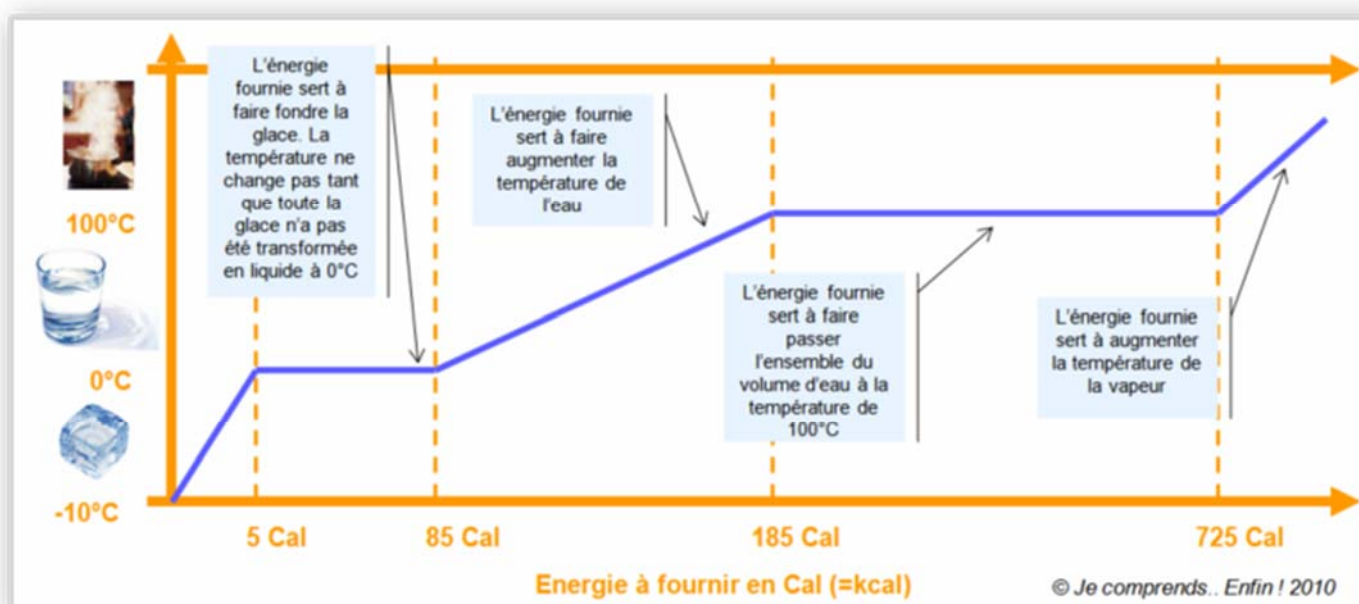
2. Expliquer en 2 phrases quels sont les deux modes de vaporisation de l'eau et ce qui les distingue.

Document 4 : Les paliers de changement d'état

Pour un corps pur, à pression fixe, la température reste constante pendant la durée du changement d'état.



La courbe ci-dessous présente deux paliers de températures, lors du changement d'état de l'eau solide et de l'eau liquide et lors du changement d'état de l'eau liquide à l'eau à l'état gazeux.



3. Que constate-t-on lors des changements d'état d'un corps pur ?

Document 5 : Changements d'état et échanges d'énergie

Par définition, l'enthalpie L (ou chaleur latente) de changement d'état d'un corps pur est l'énergie qu'il échange avec le milieu extérieur pour le changement d'état de son unité de masse, à température constante.

$$Q_{\text{changement d'état}} = m \cdot L$$

Avec :

- Q : énergie thermique échangée exprimée en joule (J)
- m : masse du corps exprimée en kilogramme (kg)
- L : énergie massique de changement d'état exprimée en joule par kilogramme ($J \cdot kg^{-1}$)

Par exemple, la chaleur latente de vaporisation de l'eau à $100^\circ C$ est la quantité de chaleur qu'il faut fournir à $1\ kg$ d'eau liquide pris à $100^\circ C$ pour obtenir $1\ kg$ de vapeur d'eau à $100^\circ C$.

Lors d'un changement d'état vers une phase plus condensée, un corps pur fournit de l'énergie au milieu extérieur, les enthalpies de changement d'état sont alors négatives *donc* : $L_{vap} = -L_{liq}$

Quelques valeurs de chaleur latente : $L_{vap} = 2300 \text{ kJ.kg}^{-1}$; $L_{fus} = 334 \text{ kJ.kg}^{-1}$; $L_{subli} = 2830 \text{ kJ.kg}^{-1}$

Applications :

① Sachant que la température de fusion du cuivre vaut 1083°C à la pression atmosphérique et que son enthalpie de fusion vaut $L_f = 205 \text{ kJ.kg}^{-1}$, calculer la quantité d'énergie ΔE qui doit être transférée à un bloc de cuivre de $2,3 \text{ kg}$ pour le faire fondre sans augmenter sa température.

② Les nettoyeurs vapeur utilisent de la vapeur d'eau à une température de 120°C . La cuve d'un nettoyeur contient une masse $m = 1,5 \text{ kg}$ d'eau. On donne $L_v = 2,20 \times 10^6 \text{ J.kg}^{-1}$

a) Calculer l'énergie nécessaire pour vaporiser l'eau lorsqu'elle est déjà à la température de 120°C .

b) Calculer l'énergie cédée par la vapeur d'eau lorsqu'elle se condense sur le sol.

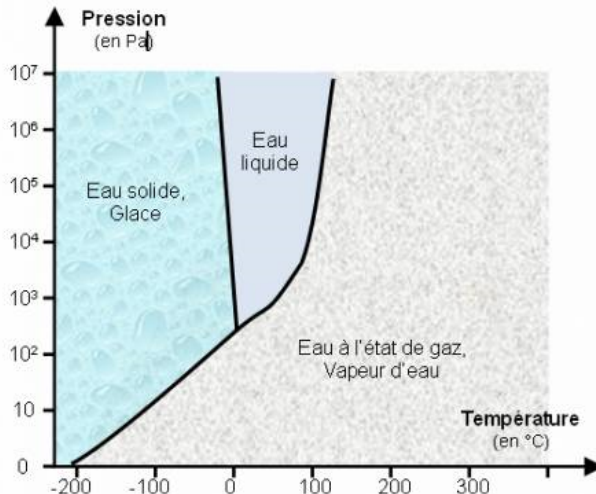
Document 6 : Les domaines des états de l'eau

Le diagramme d'état ci-contre permet de déterminer l'état dans laquelle se trouve l'eau pour une pression et une température données.

Lorsque les états liquide-vapeur coexistent, la vapeur au-dessus du liquide exerce sur lui une pression appelée pression de vapeur saturante. Pour une température donnée, on lit sa valeur sur la courbe de vaporisation.

Diagramme pression-température de l'eau

Word: dissociable, modifiable et recolorisable en quelques clics



Applications :

① Sachant qu'on lit un diagramme de la gauche vers la droite, nommer les 3 courbes du diagramme d'état précédent

② Sachant que la pression atmosphérique décroît avec l'altitude, comment évolue la température d'ébullition quand on fait bouillir de l'eau à la montagne ?

Changement d'état de la matière

Travaux pratiques 1 :

Le trottoir en bas de chez monsieur Moncar, d'une longueur de 10 m et de largeur de 1,5 m, est recouvert d'une épaisse couche de verglas de hauteur $h = 0,050$ m.

On cherche à connaître la quantité d'énergie à apporter pour la faire fondre.

Document 1 :

Protocole expérimental n°1 : Détermination de la capacité calorifique d'un calorimètre :

- Dans le calorimètre, verser un volume V_1 d'eau à température ambiante.
- Noter la masse d'eau froide (m_1) et la température de cette eau (θ_1).
- Dans un bécher, verser un volume V_2 d'eau puis le faire chauffer. Relever la température (θ_2).
- Dans le calorimètre, verser rapidement l'eau chaude.
- Couvrir et agiter.
- Noter la température d'équilibre (θ_3).

Document 2 :

Protocole expérimental n°2 : Détermination de la chaleur latente de l'eau :

- Dans un bécher, verser un volume V_1 d'eau à température ambiante.
- Noter la masse d'eau froide (m_1) et la température de cette eau (θ_1).
- Dans le calorimètre, verser rapidement un ou plusieurs glaçons.
- Noter la masse de glace (m_2) et la température de la glace (θ_2).
- Verser l'eau dans le calorimètre et agiter jusqu'à ce que la glace soit complètement fondue.
- Noter la température d'équilibre (θ_3).

Document 3 : Énergie thermique

La variation de température d'un corps de masse m qui échange de l'énergie thermique dans un calorimètre peut être exprimée avec la relation suivante :

$$Q = m \cdot c_m \cdot \Delta\theta$$

Avec :

- Q : énergie thermique échangée exprimée en joule (J)
- m : masse du corps exprimée en kilogramme (kg)
- c_m : capacité thermique massique dépendant de la nature du corps ($J \cdot ^\circ C^{-1} \cdot kg^{-1}$)
- $\Delta\theta = \theta_f - \theta_i$: différence de température en degré Celsius ($^\circ C$).

Lorsque l'on mesure l'énergie thermique, on utilise un calorimètre qui reçoit lui aussi de l'énergie.

$$Q_{cal} = C \cdot \Delta\theta$$

Avec :

- Q_{cal} : énergie thermique échangée par le calorimètre exprimée en joule (J)
- m : masse du corps exprimé en kilogramme (kg)
- C : capacité thermique du calorimètre ($J \cdot ^\circ C^{-1}$)
- $\Delta\theta = \theta_f - \theta_i$: différence de température en degré Celsius ($^\circ C$)

Document 4 : Principe de conservation de l'énergie

L'énergie thermique se conserve. S'il n'y a aucun échange thermique avec l'extérieur, il doit y avoir conservation de l'énergie thermique du système.

La conservation de la l'énergie thermique s'énonce ainsi :

$$\begin{array}{ccccc} \text{énergie thermique} & + & \text{chaleur échangée} & + & \text{énergie thermique} & = & 0 \\ \text{échangée} & & \text{par le calorimètre} & & \text{échangée} & & \\ \text{par la source} & & & & \text{par la source} & & \\ \text{chaude} & & & & \text{froide} & & \end{array}$$

Document 5 : Chaleur latente

On appelle chaleur latente de changement d'état (notée L) d'une substance la quantité d'énergie à transférer à 1 kg de cette substance pour qu'elle change d'état. Elle s'exprime généralement en $J.kg^{-1}$.

Ainsi, l'énergie thermique de changement d'état se calcule :

$$Q_{\text{changement d'état}} = m \cdot L$$

Avec :

- Q est l'énergie thermique échangée exprimée en joule (J)
- m est la masse du corps exprimée en kilogramme (kg)
- L est l'énergie massique de changement d'état exprimée ($J.kg^{-1}$)

Question 1 :

Réaliser le protocole expérimental du document 1 et compléter le tableau suivant :

m_1 (g)	m_1 (kg)	m_2 (g)	m_2 (kg)	θ_1 (°C)	θ_2 (°C)	θ_3 (°C)

Question 2 :

Calculer l'énergie thermique absorbée par l'eau froide $Q_{\text{eau froide}}$.

Question 3 :

Calculer l'énergie thermique cédée par l'eau chaude $Q_{\text{eau chaude}}$.

Question 4 :

Calculer l'énergie thermique absorbée par le calorimètre Q_{cal} .

Question 5 :

En déduire la capacité thermique du calorimètre.

Question 6 :

Réaliser le protocole expérimental du document n°2 et compléter le tableau suivant.

m_1 (g)	m_1 (kg)	m_2 (g)	m_2 (kg)	θ_1 (°C)	θ_2 (°C)	θ_3 (°C)

Question 7 :

Calculer l'énergie thermique cédée par l'eau Q_{eau} .

Question 8 :

Calculer l'énergie thermique absorbée par les glaçons $Q_{glaçons}$.

Question 8 :

Calculer l'énergie thermique de changement d'état $Q_{changement\ d'état}$.

Question 9 :

En déduire la chaleur latente de fusion de la glace L .

Question 10 :

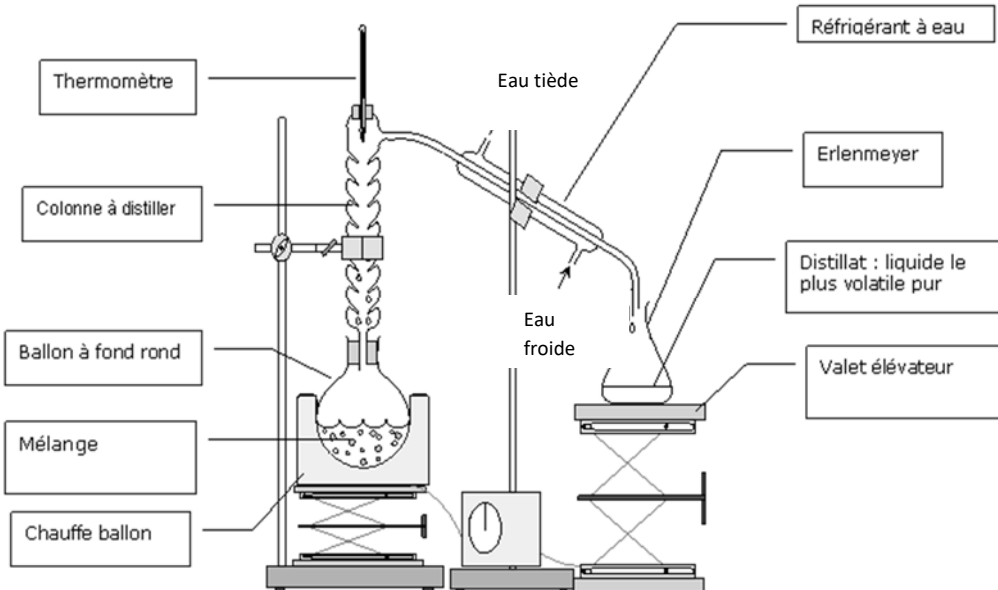
Déterminer l'énergie qu'il faudrait fournir pour faire fondre le verglas et l'amener d'une température de -5°C à une température de 5°C .

Changement d'état de la matière

Travaux pratiques 2 : Chaleur latente de vaporisation

Document 1 : Protocole de mesure de la chaleur latente de vaporisation (L_{vap})

- Introduire dans le ballon du montage une masse d'eau distillée $m_{eau} = 200\text{ g}$, mesurée avec précision.
- Mesurer la masse de l'erenmeyer vide.
- Faire circuler de l'eau dans le réfrigérant droit.
- Mesurer la température initiale de l'eau.
- Lancer le chauffage en même temps que le chronomètre.
- Relever la température toutes les minutes.
- Dès que l'eau bout, noter le temps correspondant.
- Laisser chauffer pendant 15 min en récupérant le distillat dans l'erenmeyer.
- Éteindre le chauffe ballon
- Mesurer la masse de l'erenmeyer.



Document 2 : Quelques formules

$$Q = m \cdot c \cdot (T_f - T_i)$$

Q : quantité d'énergie thermique échangée due à une différence de température (J)

T_i : la température initiale du système ($^{\circ}C$)

T_f : la température finale du système ($^{\circ}C$)

c : capacité thermique du fluide en ($J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$)

m : masse du fluide (kg)

$$Q = m \cdot L$$

Q : énergie thermique échangée due à un changement d'état (J)

m : masse du fluide (kg)

L : chaleur latente du fluide ($J \cdot kg^{-1}$)

$$E = P \cdot \Delta t$$

E : énergie (J)

P : puissance (W)

Δt : temps (s)

Conversion :

$$3600\text{ J} = 1\text{ Wh}$$

Données :

$$c_{eau} = 4180\text{ J} \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$$

1. Tracer la courbe de la température en fonction du temps $T = f(t)$.
2. Comment évolue la température au cours du temps ?

3. Identifier sur la courbe les états de l'eau.
4. Calculer la quantité de chaleur reçue par l'eau pour aller de la température initiale à l'ébullition.

5. À partir de la courbe, déterminer la durée nécessaire à cette élévation de la température.

6. En déduire la puissance de chauffe du dispositif de chauffage.

7. Déduire de ces résultats, la quantité de chaleur qui a permis de vaporiser la masse m d'eau recueillie.

8. Déterminer la valeur de la chaleur latente de vaporisation L_{vap} . Comparer la valeur trouvée à la valeur théorique $L_{vap} = 2257 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ à la pression atmosphérique.

Exercices

Exercice 1 : QCM

	A	B	C
L'état solide est un état de la matière :	Compact et ordonné	Compact et désordonné	Dispersé et ordonné
Le passage de l'état gazeux à l'état liquide est la :	Fusion	Condensation	Vaporisation
Les deux procédés physico-chimiques responsable du passage de l'état liquide à l'état gazeux sont :	L'ébullition et le chauffage	L'ébullition et la condensation	L'ébullition et l'évaporation
Lorsque de l'eau est chauffée :	Elle entre en ébullition à environ 100 °C	On observe un palier de température à 100 °C	Elle a comme température maximale 100 °C
L'énergie qu'il faut fournir à un échantillon de masse m pour changer son état physique est donné par la formule :	$Q = m \cdot c \cdot (T_F - T_I)$	$Q = m \cdot L$	$Q = m \cdot c^2$
L'énergie qu'il faut fournir à un échantillon de masse m pour augmenter sa température T est donné par la formule :	$Q = m \cdot c \cdot (T_F - T_I)$	$Q = m \cdot L$	$Q = m \cdot c^2$
Dans la formule $Q_{vap} = m \cdot L_{vap}$ donnant l'énergie nécessaire pour vaporiser un corps de masse m , L_{vap} est appelé:	Chaleur latente de vaporisation	Énergie massique de changement d'état	Chaleur latente de condensation
L'unité de L_{vap} est :	J/kg	$J \cdot kg$	$J \cdot kg^{-1}$

Exercice 2 : Énergie pour réaliser une fusion

Cent tonnes de ferrailles sont chauffées dans un four électrique afin d'obtenir du fer liquide à $1535\text{ }^{\circ}\text{C}$. La température initiale est 20°C .

Données :

$$c_{fer} = 450 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

$$L_{fusion}(fer) = 270 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$$

Quelle est l'énergie nécessaire pour fondre toute la ferraille ?

Exercice 3 : Température d'équilibre

On considère un bloc d'aluminium de $m_1 = 70 \text{ g}$ porté à la température $T_1 = 390 \text{ K}$ et un bloc d'argent de masse $m_2 = 500 \text{ g}$ porté à la température $T_2 = 600 \text{ K}$. On met les deux blocs en contact.

Données :

$$c_m(Al) = 897 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

$$c_m(Ag) = 235 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

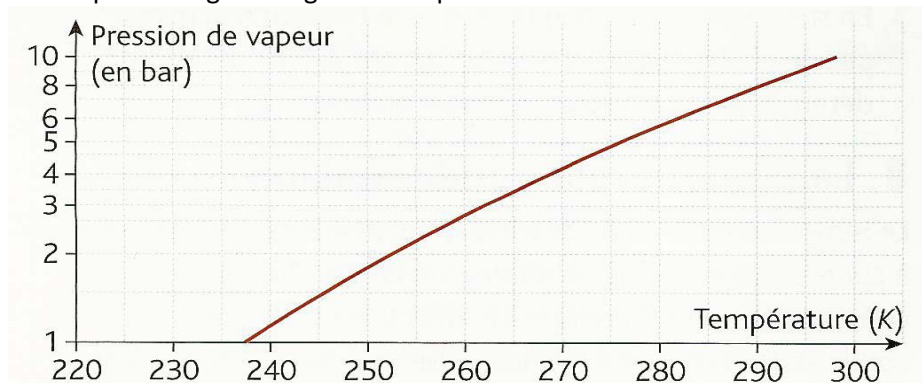
Déterminer la température finale T_f des blocs :

Exercice 4 : Produire du « froid » avec l'ammoniac

L'ammoniac a été utilisé pour la première fois dans une machine de production du froid à compression en 1876 par Carl Von Lindle et s'est vite imposé dans les installations de froid industriel, comme les entrepôts frigorifiques, par exemple. Bien que toxique et inflammable, il dispose des qualités intéressantes. Il n'y a aucun effet sur la couche d'ozone, et sa chaleur latente de vaporisation élevée en fait un réfrigérant le plus efficace par unité de masse.

Ainsi, aujourd'hui, il est souvent choisi pour des raisons environnementales, comme par exemple pour la construction de la patinoire des Jeux Olympiques de Vancouver en 2010.

1. La pression de l'ammoniac dans l'évaporateur est égale à $p = 2,5 \text{ bar}$. Montrer, à partir de la courbe de vapeur saturante de l'ammoniac, ci-dessous, que la température de changement d'état de l'ammoniac est suffisamment basse pour réfrigérer la glace de la patinoire à -6°C .



2. Dans le condenseur, le changement d'état s'effectue à la température de 20°C . A quelle pression doit être comprimé le gaz sortant de l'évaporateur avec son entrée dans le condenseur ?
3. La capacité de réfrigération d'une installation frigorifique de patinoire est de l'ordre de $1\,000 \text{ kW}$. Quelle masse d'eau (à 0°C) peut être transformée en glace (à 0°C) en une heure ?
4. Quelle durée est nécessaire pour fabriquer la glace d'une patinoire olympique de dimension $60 \text{ m} \times 30 \text{ m}$ avec une épaisseur de glace égale à 8 cm ?
5. Le coefficient de performance (COP) d'un tel système est de l'ordre de 3,5. Quelle énergie électrique sera consommée par le compresseur pour la fabrication de la glace de cette patinoire ?

Données :

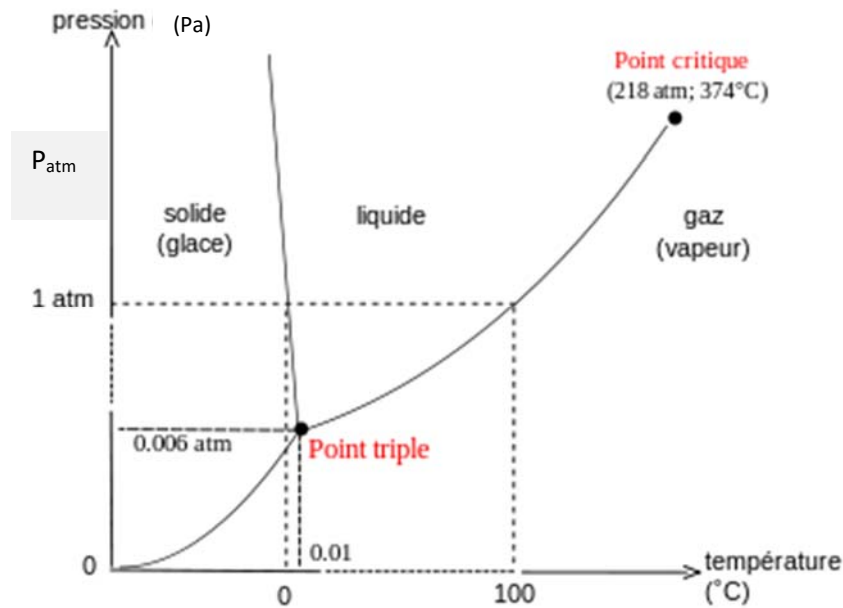
$$L(\text{eau}) = 333 \text{ kJ.kg}^{-1}$$

$$\rho(\text{glace}) = 917 \text{ kg.m}^{-3}$$

Exercice 5 : Diagramme $P = f(T)$ de l'eau

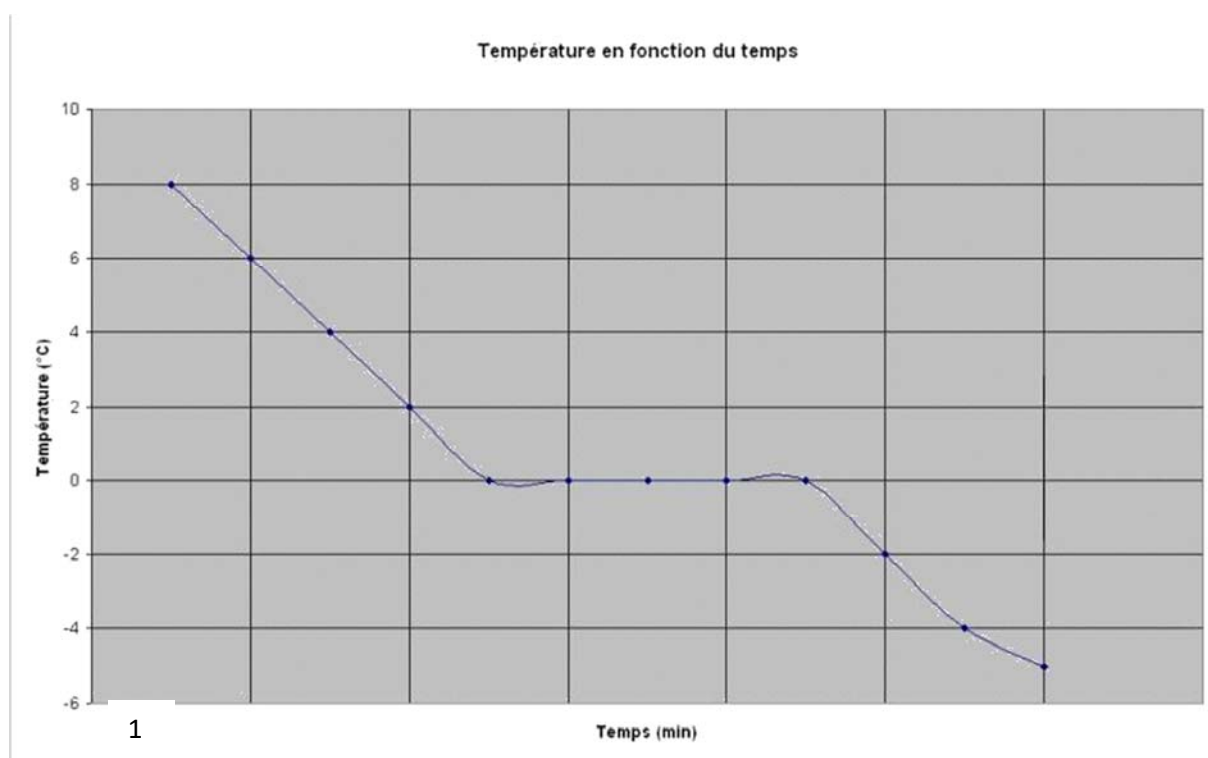
Utilisation du diagramme $P = f(T)$ de l'eau

- Indiquer sur le schéma le chemin parcouru par l'eau durant l'expérience de TP consistant à congeler de l'eau.
- Dans quel état se trouve l'eau à $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ sous une pression atmosphérique ?
- Une eau à $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ peut se mettre à bouillir si la pression est inférieure ou supérieure à la pression atmosphérique ?



Exercice 6 : Analyse d'une évolution de la température

Graphique obtenu dans le cas de 3,0 mL d'eau lors d'une séance de travaux pratiques :



1. Expliquer l'expérience réalisée.
2. Combien de temps dure le palier, que se passe-t-il pendant cette durée ?
3. Les élèves ont réglé l'alimentation sur $U = 12\text{ V}$ et $I = 2,5\text{ A}$. Quelle est l'énergie électrique consommée par le congélateur durant le palier ?
4. Le rendement du congélateur est de 27 %, faire un schéma bilan d'énergie du congélateur et calculer la chaleur absorbée par le congélateur durant ce palier.
5. A quoi a servi cette chaleur absorbée ?
6. Calculer la chaleur latente de fusion de l'eau en $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$.

Exercice 7 : Évaporation et humidité

Air humide et condensation

● L'humidité relative

L'humidité relative est le pourcentage de vapeur d'eau contenue dans l'air par rapport à la quantité maximale que peut contenir cet air. Un air sec est totalement privé de vapeur d'eau ; il a pour humidité relative 0 %. Une humidité relative de 100 % indique que l'air est saturé en vapeur d'eau.

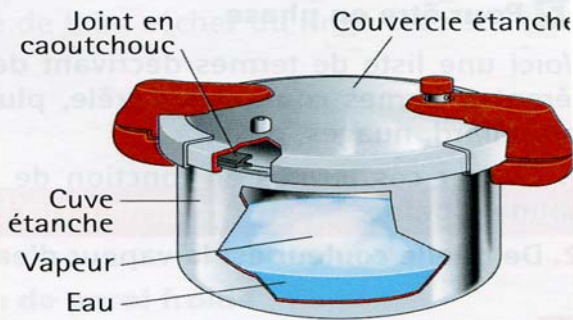
Pour chaque température de l'air, il existe une quantité maximale de vapeur d'eau que l'air peut contenir. Plus l'air est chaud, plus il peut contenir de vapeur d'eau sans qu'elle se condense (voir tableau ci-contre). La vapeur d'eau contenue dans l'air commence à se condenser sous forme de gouttes d'eau liquide lorsqu'une température, appelée température de rosée, est atteinte.

● L'humidité relative dépend de la température de l'air

Température air (°C)	10	15	20
Masse maximale de vapeur pour 1 kg d'air (g)	5,40	7,63	10,64

1. Déterminer la masse de vapeur d'eau dans 1 kg d'air avec une humidité de 50 % à 20 °C
2. Déterminer la masse de de vapeur d'eau dans 1 kg d'air avec une humidité de 90 % à 10 °C

Exercice 7 : Cocotte Minute



Données :

$$C_{eau} = 4180 \text{ J.kg}^{-1}.\text{°C}^{-1}$$

Chaleur latente de vaporisation :

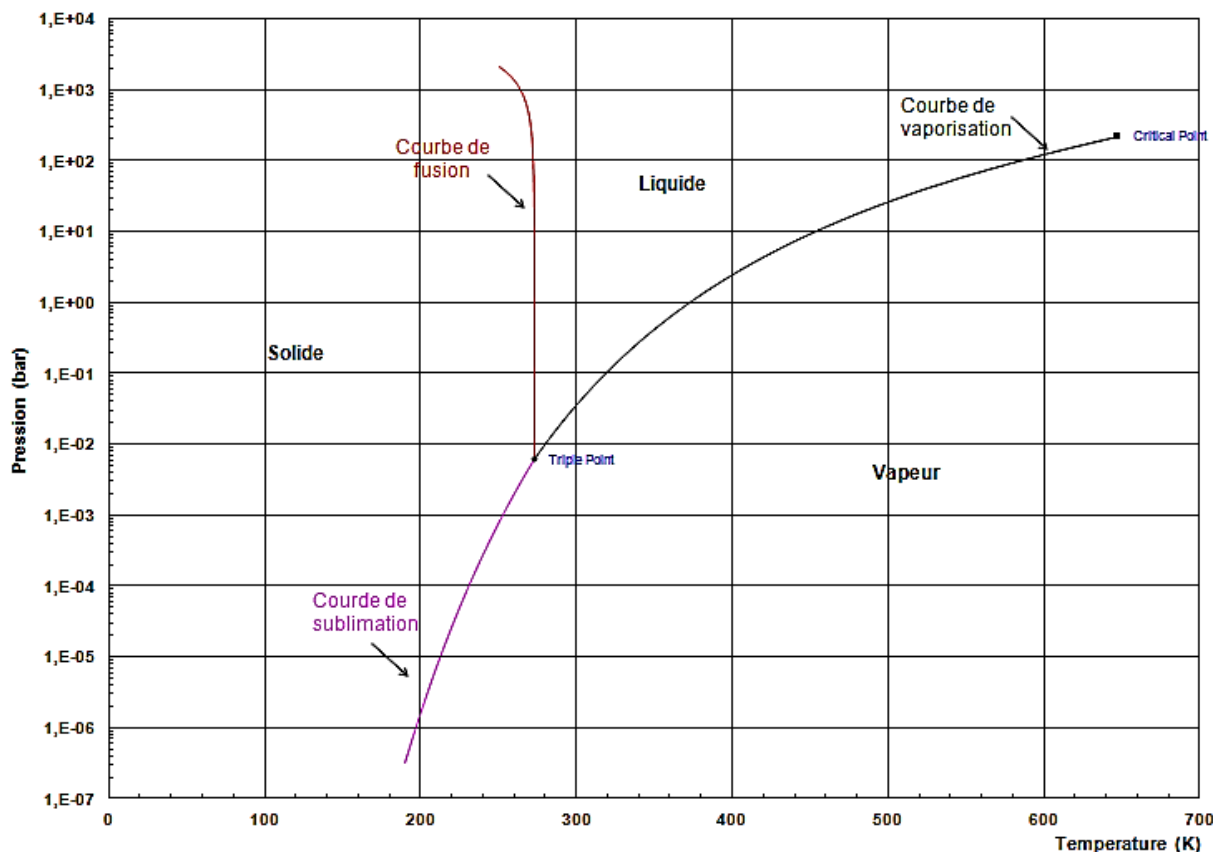
$$L_v(eau) = 2,20 \times 10^6 \text{ J.kg}^{-1}$$

① La soupape tournante laisse sortir la vapeur pour que la pression et la température n'augmentent plus.

② La soupape de sécurité se déclenche vers 2 000 hPa et empêche la cocotte d'exploser si la soupape tournante est bouchée.

③ À l'intérieur d'un autocuiseur, en début de cuisson, la pression est la pression atmosphérique. L'eau bout et se vaporise à 100 °C environ. De la vapeur d'eau apparaît dans l'autocuiseur. La pression augmente jusqu'à 2 000 hPa. Sous cette pression, l'eau se vaporise vers 120 °C. La cuisson à 120 °C permet de diviser le temps de cuisson par 3.

Diagramme d'état de l'eau



1. Placer sur le diagramme d'état de l'eau le point A correspondant à la vaporisation sous pression atmosphérique puis le point B correspondant à la vaporisation dans l'autocuiseur avant que la soupape de sécurité ne se déclenche.
2. Quelle est la température du point B ?
3. On verse 1,0 L d'eau à 10 °C dans l'autocuiseur. Quelle est l'énergie nécessaire pour amener l'eau à une température de 100 °C ?
4. Lorsque 20 g d'eau liquide s'est transformée en vapeur d'eau, la pression atteint les 2000 hPa. Calculer l'énergie nécessaire pour cette transformation.