

---

# Thème : Constitution de la matière de l'échelle macroscopique à l'échelle microscopique

## Chapitre : Transformation physique

### Objectifs :

- Citer des exemples de changements d'état physique de la vie courante et dans l'environnement.
- Établir l'écriture d'une équation pour un changement d'état.
- Distinguer fusion et dissolution.
- Identifier le sens du transfert thermique lors d'un changement d'état et le relier au terme exothermique ou endothermique.
- Exploiter la relation entre l'énergie transférée lors d'un changement d'état et l'énergie massique de changement d'état de l'espèce.
- Relier l'énergie échangée à la masse de l'espèce qui change d'état.

### Sommaire

<b>1. Cours</b>	<b>2</b>	<b>2. Activité 1 : Zeer, « frigo du désert »</b>	<b>4</b>
1.1 Les changements d'état des corps purs .	2	<b>3. Activité 2 : Énergie de changement d'état</b>	<b>5</b>
1.2 Les transferts d'énergie . . . . .	3	<b>4. Exercices</b>	<b>7</b>

# 1. Cours

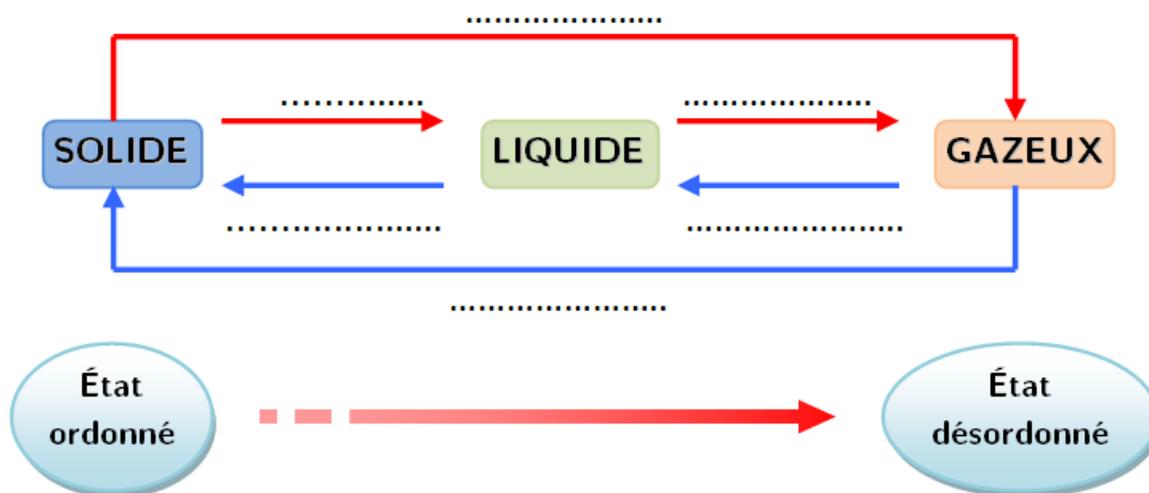
## 1.1 Les changements d'état des corps purs

### a) Transformation physique

Qu'appelle-t-on transformation physique ?

.....  
 .....

Compléter les noms attribués aux changements d'état :



⚠ **Ne pas confondre fusion et dissolution** : lorsque du sucre est introduit dans de l'eau, il est inexact de dire que « le sucre fond ». Le sucre ne passe pas d'un état solide à un état liquide : il se dissout dans l'eau !

Que se passe-t-il à l'échelle microscopique lors d'une transformation physique ?

.....  
 .....

Quelle est la particularité, concernant la température, d'un système qui subit un changement d'état ?

.....  
 .....

### b) Équation d'un changement d'état

L'équation d'un changement d'état est l'écriture symbolique, à l'échelle macroscopique, de la transformation physique d'une espèce.

Exemple : Donner l'équation du changement d'état lorsque l'eau passe de l'état solide à l'état liquide :

.....

## 1.2 Les transferts d'énergie

### a) Énergie massique de changement d'état

Que se passe-t-il lors d'une **fusion**, d'une **vaporisation** ou d'une **sublimation** ?

.....

.....

.....

Que se passe-t-il lors d'une **solidification**, d'une **liquéfaction** ou d'une **condensation** ?

.....

.....

.....

Comment appelle-t-on l'énergie transférée lors du changement d'état d'un kilogramme d'une espèce ?

.....

.....

**Donner** l'expression de l'énergie  $Q$  transférée lors du changement d'état d'une masse  $m$  d'une espèce :

.....

**Remarque :** Les énergies massiques de changement d'état sont positives ou négatives :  $L_{fus} > 0$  et  $L_{solid} = -L_{fus}$  ;  $L_{vapo} > 0$  et  $L_{liquef} = -L_{vapo}$  ;  $L_{sublim} > 0$  et  $L_{cond} = -L_{sublim}$

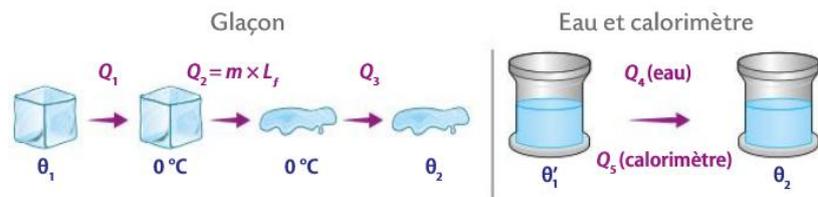
### b) Détermination expérimentale

Quel appareil utilise-t-on pour déterminer des énergies massiques de changement d'état ?

.....

**Exemple :** Un glaçon d'eau de masse  $m$  à la température  $\theta_1$  est plongé dans de l'eau liquide à la température  $\theta'_1$  et contenue dans un calorimètre. On détermine les énergies échangées lorsque le glaçon a entièrement fondu et que la température finale de l'ensemble est  $\theta_2$ . **Donner** la relation liant  $Q_1$ ,  $Q_2$ ,  $Q_3$ ,  $Q_4$  et  $Q_5$ .

.....



Dans la **méthode des mélanges**, la somme des énergies transférées entre les différentes parties du système isolé est nulle :

$$Q_1 + Q_2 + \dots = 0$$

## 2. Activité 1 : Zeer, « frigo du désert »

### Objectif :

- Citer des exemples de changements d'état physique de la vie courante et dans l'environnement.
- Identifier le sens du transfert thermique lors d'un changement d'état et le relier au terme exothermique ou endothermique.

Le « frigo du désert », ou Zeer, est un système de refroidissement sans électricité utilisé dans les pays chauds et secs.

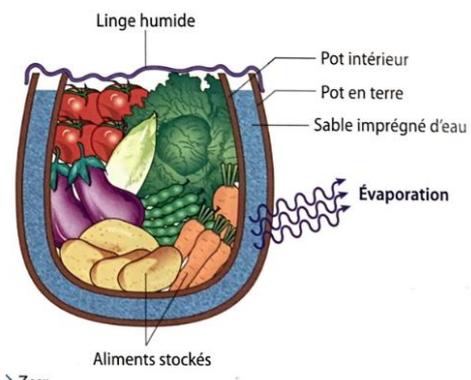
### Sur quel phénomène est basée cette technique ancestrale ?

« Le «frigo du désert» ou Zeer est une technique simple qui ne date pas d'hier. Ces réfrigérateurs sont composés le plus souvent de deux pots en terre imbriqués l'un dans l'autre. Entre les deux, du sable les maintenant en place est imprégné d'eau. Le pot intérieur est imperméable et contient les aliments que l'on souhaite conserver au frais. Le pot extérieur est quant à lui poreux et laisse l'eau s'infiltrer jusqu'à la surface extérieure [...] En pratique, et dans de bonnes conditions, on peut observer des chutes de température de l'ordre de 5 °C à 20 °C !

L'invention n'est pas nouvelle. On en retrouve des traces en Égypte 2 500 ans av. J.-C. et dans la Vallée de l'Indus 3 000 ans av. J.-C. D'autres objets au principe similaire existent comme le Botijo espagnol [ou la gargoulette] : une cruche en terre cuite perméable. L'eau contenue s'évapore partiellement à la surface ».

Extrait de [culturesciencesphysique.ens-lyon.fr/ressource/frigo-desert.xml](http://culturesciencesphysique.ens-lyon.fr/ressource/frigo-desert.xml)

- Au cours d'une transformation dite **exothermique**, l'énergie du système diminue, alors que celle du milieu extérieur environnant augmente ; le milieu extérieur se réchauffe.  
 - Inversement, lors d'une transformation **endothermique**, l'énergie du système augmente, alors que celle du milieu extérieur environnant diminue ; le milieu extérieur se refroidit.



> Zeer



> La Gargoulette de William Bouguereau (1886)

FIGURE 1 – Le « frigo du désert »

- Un tube à essai
- Un thermomètre
- Du coton
- Un sèche-cheveux
- De l'eau distillée

FIGURE 2 – Matériel disponible

### Étapes de la démarche de résolution

1. LIRE les documents, repérer les éléments en relation avec le problème posé et les noter.
2. REFORMULER le problème en utilisant un vocabulaire scientifique.
3. ÉMETTRE une hypothèse permettant d'y répondre.
4. ÉLABORER un protocole expérimental et le mettre en œuvre pour valider l'hypothèse formulée.
5. NOTER les observations, les interpréter et conclure.

FIGURE 3 – Étapes de la démarche de résolution

1. À l'aide des documents ci-dessus et du matériel mis à votre disposition, répondre à la question suivante : Comment un Zeer permet-il de maintenir les aliments au frais ?

**Bilan :** Quels effets thermiques peuvent accompagner une transformation physique ? **Nommer** ces transferts thermiques.

### 3. Activité 2 : Énergie de changement d'état

#### Objectif :

- Exploiter la relation entre l'énergie transférée lors d'un changement d'état et l'énergie massique de changement d'état de l'espèce.
- Relier l'énergie échangée à la masse de l'espèce qui change d'état.

Lorsque l'on ajoute des glaçons à une boisson, on constate qu'au bout de quelques minutes, ils ont fondu.

#### Comment déterminer l'énergie nécessaire au changement d'état d'un corps pur ?



FIGURE 1 – Matériel disponible

Méthode des mélanges	
<input checked="" type="checkbox"/>	MESURER la masse $m$ du calorimètre de capacité $C$ .
<input checked="" type="checkbox"/>	Dans le calorimètre, INTRODUIRE une masse $m_1$ d'eau liquide.
<input checked="" type="checkbox"/>	Lorsqu'elle est stabilisée, NOTER la température $\theta_1$ de cette eau et du calorimètre.
<input checked="" type="checkbox"/>	PRÉLEVER, d'un bain d'eau et de glace, une masse $m_2$ de glaçons préalablement séchés et les introduire dans le calorimètre. Leur température est celle de fusion de la glace : $\theta_{fus} = 0^\circ\text{C}$ .
<input checked="" type="checkbox"/>	DÉTERMINER la masse $m_2$ des glaçons.
<input checked="" type="checkbox"/>	AGITER légèrement. Lorsque la température ne diminue plus, noter la valeur $\theta_f$ de la température de l'eau dans le calorimètre.

FIGURE 2 – Protocole expérimental

Objet	Transformation	Énergie échangée
Calorimètre	Varie de $\theta_i$ à $\theta_f$	$Q_{cal} = C \times (\theta_f - \theta_i)$
Eau liquide de masse $m_1$	Varie de $\theta_i$ à $\theta_f$	$Q_{liq1} = m_1 \times c_{eau} \times (\theta_f - \theta_i)$
Glace de masse $m_2$	Fusion à $\theta_{fus}$	$Q_{fus} = m_2 \times L_{fus}$
Eau liquide de masse $m_2$	Varie de $\theta_{fus}$ à $\theta_f$	$Q_{liq2} = m_2 \times c_{eau} \times (\theta_f - \theta_{fus})$

Lors de l'expérience :

- Le calorimètre et l'eau liquide de masse  $m_1$  se refroidissent. Leur énergie diminue.
- La glace, de masse  $m_2$ , fond, puis l'eau liquide ainsi formée, de masse  $m_2$ , s'échauffe. Leur énergie augmente.

Dans un calorimètre de bonne qualité, les énergies reçues compensent les énergies cédées : leur somme est égale à 0.

- $C$  est la capacité thermique du calorimètre ; elle correspond à l'énergie que l'on doit apporter au calorimètre pour élever sa température de  $1^\circ\text{C}$ .
- $c_{eau}$  est la capacité thermique massique de l'eau liquide ; elle correspond à l'énergie que l'on doit apporter pour élever de  $1^\circ\text{C}$  la température de  $1\text{ kg}$  d'eau liquide ;  $c_{eau} = 4,18 \times 10^3 \text{ J} \cdot ^\circ\text{C}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ .
- $L_{fus}$  est l'énergie massique de fusion de la glace ; elle correspond à l'énergie que l'on doit apporter pour faire fondre  $1\text{ kg}$  de glace à  $0^\circ\text{C}$ .

FIGURE 3 – Complément

1. Traduire, par une égalité mathématique, la phrase écrite en gras dans la figure 3. En déduire l'expression de  $L_{fus}$  en fonction de  $\theta_i$ ,  $\theta_f$ ,  $\theta_{fus}$ ,  $m_1$ ,  $m_2$ ,  $C$  et  $c_{eau}$ . Préciser les unités de chaque grandeur.

2. Mettre en œuvre le protocole expérimental et en déduire la valeur de l'énergie massique de fusion de la glace  $L_{fus}$  en tenant compte de la valeur de la capacité thermique  $C$  du calorimètre fournie par le professeur.

3. En collectant les résultats des divers groupes, déterminer un encadrement de  $L_{fus}$ .

4. Proposer des sources d'erreur pouvant expliquer l'écart entre la valeur extraite des tables ( $L_{fus} = 333,55 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1}$ ) et celle déterminée à l'issue de la manipulation.

Bilan : Comment déterminer l'énergie nécessaire au changement d'état d'un corps pur ?

## Estimation des erreurs

### Erreurs de mesures

Une mesure n'est jamais parfait, même si elle est réalisée avec soin. Il existe toujours des **erreurs de mesures**.

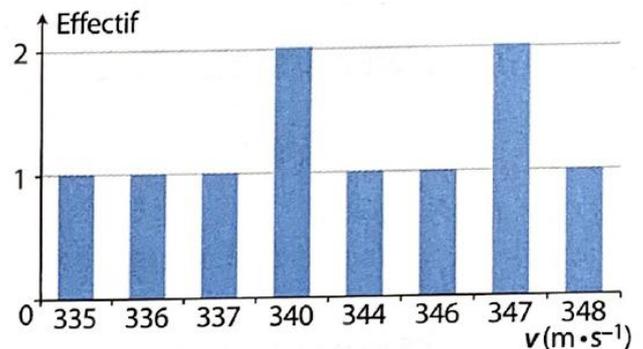
### Variabilité de la mesure d'une grandeur physique

Dans le cas où on effectue  $N$  fois, dans les mêmes conditions, la mesure d'une grandeur  $G$ , on observe une dispersion des mesures. On attribue comme valeur à  $G$ , la moyenne  $\bar{g}$  des résultats des ces  $N$  mesures. Il est possible de visualiser la dispersion des valeurs autour de la moyenne à l'aide d'un histogramme. Cette dispersion est caractérisée par l'écart-type  $\sigma_{n-1}$ . Plus il est faible et plus les résultats sont regroupés autour de la moyenne. L'écart type peut être calculé à l'aide d'un tableur ou d'une calculatrice.

**Exemple :** Résultats de la mesure de la vitesse  $v$  du son obtenus par des élèves à 20°C.

347 m·s <sup>-1</sup>	340 m·s <sup>-1</sup>	337 m·s <sup>-1</sup>	347 m·s <sup>-1</sup>	344 m·s <sup>-1</sup>
346 m·s <sup>-1</sup>	336 m·s <sup>-1</sup>	348 m·s <sup>-1</sup>	335 m·s <sup>-1</sup>	340 m·s <sup>-1</sup>

- La moyenne  $\bar{v}$  de ces mesures est :  $\bar{v} = 342 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$
- L'écart-type  $\sigma_{n-1}$  des mesures est :  
 $\sigma_{n-1} = 4,99 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$



### Incertitude-type

L'incertitude-type associée à une grandeur  $G$  est notée  $u(G)$ . Elle fournit une estimation de l'étendue des valeurs que l'on peut raisonnablement attribuer à  $G$ .

Dans le cas où on effectue  $N$  fois la mesure de la même grandeur  $G$ , dans les mêmes conditions, l'incertitude type  $u(G)$  est estimée par la relation :  $u(G) = \frac{\sigma_{n-1}}{\sqrt{N}}$ .

L'incertitude-type  $u(G)$  est arrondie par excès en ne conservant généralement qu'un seul chiffre significatif.

**Exemple :** Pour les mesures de la valeur de la vitesse de propagation du son du tableau ci-dessus :

On a effectué  $N = 10$  mesures. L'incertitude-type  $u(v) = \frac{4,99}{\sqrt{10}} = 1,58 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Elle est arrondie à  $u(v) = 2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ .

### Écriture du résultat - Valeur de référence

Le résultat de la grandeur mesurée  $G$  s'écrit  $G = \bar{g} \pm u(G)$  ou encore  $\bar{g} - u(G) \leq G \leq \bar{g} + u(G)$ .

**Exemple :** Le résultat de la mesure de la vitesse de propagation du son s'écrit :  $v = (342 \pm 2) \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  ou  $340 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1} \leq v \leq 344 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ .

Dans certains cas, la grandeur mesurée  $G$  a une valeur déjà connue précisément, considérée comme une valeur de référence  $G_{ref}$ .

Si  $\bar{g} - u(G) < G_{ref} < \bar{g} + u(G)$ , il y a comptabilité entre le résultat de la mesure et la valeur de référence.

**Exemple :** À 20°C, la valeur de référence de la vitesse de propagation du son est  $v_{ref} = 343 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . On constate que  $340 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1} \leq v_{ref} \leq 344 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Il y a comptabilité entre le résultat de la vitesse de propagation du son mesurée et la valeur de référence.

## 4. Exercices

### Exercice 1

La température d'ébullition de l'ammoniac  $\text{NH}_3$  est égale à  $-33,3^\circ\text{C}$  à la pression de 1013 hPa.

1. Lorsque de l'ammoniac se vaporise, reçoit-il ou libère-t-il de l'énergie ?
2. Calculer l'énergie  $Q$  transférée lors de la vaporisation de 2,5 kg d'ammoniac.

Donnée : Énergie massique de vaporisation de l'ammoniac :  $L_v(\text{NH}_3) = 1,37 \times 10^3 \text{ kJ.kg}^{-1}$

### Exercice 2

Au café, le serveur réchauffe 220 mL de lait en y injectant de la vapeur d'eau à  $120,0^\circ\text{C}$ . Le lait, initialement à la température de  $18,0^\circ\text{C}$ , est réchauffé à  $60,0^\circ\text{C}$ .

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 puis se refroidit à  $60,0^\circ\text{C}$ .

1. Calculer l'énergie reçue par le lait pour s'échauffer de  $18,0^\circ\text{C}$  à  $60^\circ\text{C}$ .
2. Exprimer, en fonction de la masse  $m$  de vapeur d'eau injectée :
  - a) l'énergie libérée par cette vapeur en se refroidissant jusqu'à  $100,0^\circ\text{C}$  ;
  - b) l'énergie libérée par cette vapeur en devenant liquide ;
  - c) l'énergie libérée par l'eau liquide formée en se refroidissant de  $100,0^\circ\text{C}$  à  $60,0^\circ\text{C}$ .
3. À l'aide d'un bilan des échanges énergétiques, calculer la masse  $m$  de vapeur d'eau que le serveur a injectée dans le lait.

Données :

- $\rho_{\text{lait}} = 1,00 \text{ kg.L}^{-1}$
- Énergie massique de liquéfaction de l'eau :  $L_\ell = -2257 \text{ kJ.kg}^{-1}$
- Énergie transférée lors d'une variation de température  $\Delta\theta$  sans changement d'état, de la masse  $m$  d'un corps de capacité thermique massique  $c$  :  $Q = m \times c \times \Delta\theta$ .
- $c_{\text{eau}(g)} = 1,89 \text{ kJ.kg}^{-1}.\text{C}^{-1}$
- $c_{\text{lait}(l)} \approx c_{\text{eau}(l)} = 4,18 \text{ kJ.kg}^{-1}.\text{C}^{-1}$

### Exercice 3

La congélation d'un liquide pur se produit à une température précise :  $0^\circ\text{C}$  pour l'eau pure sous une pression de 1 bar. Lorsqu'il fait chaud, l'existence de ce plateau au point de congélation est fort utile : il suffit de mettre un corps en contact avec une grande quantité de glace pour maintenir sa température à  $0^\circ\text{C}$ . À l'inverse, le plateau de congélation nous protège du froid : quand ils voulaient éviter que les denrées ne gèlent, les anciens disposaient, dans leur cellier, de grands baquets d'eau. Tant que leur contenu n'était pas entièrement transformé en glace, la température du cellier ne descendait pas au-dessous de  $0^\circ\text{C}$ .

D'après *Les lois du monde*, R. LEHOUCQ, J.-M. COURTY, É. KIERLIK,  
© 2003, Éditions Belin, Pour la Science.

1. De l'énergie est-elle reçue ou libérée par l'eau lorsqu'elle gèle dans le baquet ?
2. Calculer l'énergie transférée lors de la congélation de 20 L d'eau liquide.
3. Calculer, en kJ, l'énergie libérée par un radiateur de 2,0 kW fonctionnant pendant 1,0 h.

#### 4. Expliquer l'usage des baquets d'eau par les anciens.

##### Données :

- Énergie massique de fusion de l'eau :  $L_f(\text{eau}) = 333 \text{ kJ.kg}^{-1}$
- Énergie libérée par un radiateur :  $E = P \times \Delta t$  avec  $P$  en watt (W) et  $\Delta t$  en seconde (s).
- Masse volumique de l'eau  $\rho(\text{eau}) = 1,00 \text{ kg.L}^{-1}$ .

#### Exercice 4

« L'hélium est un gaz monoatomique, de la famille des gaz rares. À température et pression ambiantes, c'est un gaz incolore, insipide et inodore. [C'est l'espèce chimique qui] a la température de liquéfaction la plus basse :  $-269 \text{ }^\circ\text{C}$ . C'est grâce à cette propriété remarquable que l'hélium liquide est utilisé pour refroidir la bobine de l'aimant [dans les scanners utilisés en imagerie médicale IRM]. L'hélium n'est pas directement toxique pour l'organisme mais devient dangereux quand il se vaporise et envahit la salle d'examen. Le "quençh" est l'un des principaux risques de l'IRM. Il s'agit de la vaporisation brutale de l'hélium liquide qui s'échappe de la cuve de l'aimant. »

Extrait du site [www.santopta.fr](http://www.santopta.fr),  
Hervé LECLLET, médecin radiologue

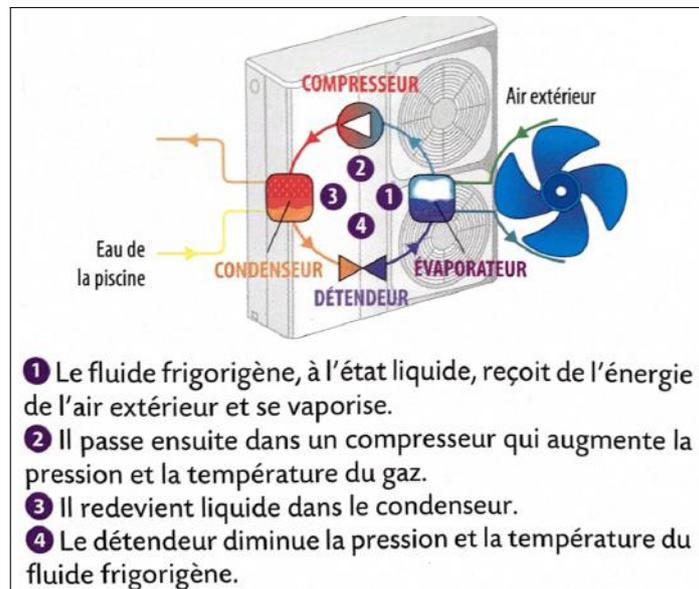
- 1.a) Écrire l'équation de vaporisation de l'hélium He.
- b) Calculer la masse d'hélium qui peut être vaporisée, en une minute, en cas de « quençh ».
2. Lorsque l'hélium se vaporise, la transformation est-elle endothermique ou exothermique ?

##### Données :

- Énergie massique de vaporisation de l'hélium :  $L_v = 20 \text{ kJ.kg}^{-1}$
- Puissance électrique fournie à l'hélium par l'appareil :  $P = 10 \text{ kW}$ .
- Énergie transférée :  $E = P \times \Delta t$  avec  $P$  en watt (W) et  $\Delta t$  en seconde (s).

#### Exercice 5

Les pompes à chaleur (PAC) sont des dispositifs préconisés pour chauffer les piscines. La PAC air-eau contient un fluide frigorigène qui se transforme lors du cycle suivant :



On considère que le fluide a reçu une énergie  $W_e$  de la part du réseau électrique et une énergie  $Q_1$  transférée de l'air extérieur; il a cédé une énergie  $Q_2$  à l'eau du bassin.

**1.a) Nommer** les changements d'état que subit le fluide frigorigène lors de son passage dans le vaporisateur, puis dans le condenseur.

**b)** Lors de ces changements d'état, le fluide frigorigène reçoit-il ou libère-t-il de l'énergie ?

**c) Expliquer** le fonctionnement d'une PAC.

2. On souhaite élever la température de l'eau d'un bassin de  $530 \text{ m}^3$  de  $17^\circ\text{C}$  à  $28^\circ\text{C}$ .

**a) Calculer** l'énergie reçue par l'eau du bassin quand sa température atteint  $28^\circ\text{C}$ .

**b)** Le coefficient de performance est donné par le quotient de l'énergie cédée par l'énergie consommée. **Déterminer** le coefficient de performance de la PAC.

**Données :**

- Energie transférée par un système de masse  $m$  dont la température varie de  $\theta_i$  à  $\theta_f$  :  $Q = m \times c \times (\theta_f - \theta_i)$
- $W_e = 8,0 \times 10^9 \text{ J}$
- Capacité thermique massique de l'eau liquide :  $c_e = 4,18 \text{ kJ.kg}^{-1}.\text{C}^{-1}$ .
- Masse volumique de l'eau liquide :  $\rho(\text{eau}) = 1000 \text{ kg.m}^3$